جمهوری اسلامی ایران

سازمان برنامه و بودجه کشور

مشخصات فنی عمومی و اجرایی تاسیسات برقی ساختمان

جلد اول:

تاسیسات برقی فشار ضعیف و فشار متوسط

ضابطه شماره ۱-۱۱۰

(تجدید نظر سوم)

آخرین ویرایش:

۱۴۰۰/۰۵/۰۷

معاونت فنی، امور زیربنایی و تولیدی

امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران

nezamfanni.ir

مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

معاونت تحقیقات

Bhrc.ac.ir

۱۴۰۱

ریاست جمهوری
سازمان برنامه و بودجه کشور
رئیس سازمان

باسمه تعالی

بخشنامه به دستگاه های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران	شماره : ۱۴۰۱/۴۹۸۷۰۸
	تاریخ : ۱۴۰۱/۰۹/۱۶

موضوع: **مشخصات فنی عمومی و اجرایی تاسیسات برقی ساختمان–جلد اول: تاسیسات برقی فشار ضعیف و متوسط (تجدید نظر سوم)**

در چهارچوب ماده (۳۴) قانون احکام دائمی برنامه‌های توسعه کشور، ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و به استناد تبصره (۲) ماده (۴) «نظام فنی و اجرایی یکپارچه کشور» موضوع مصوبه شماره ۲۵۲۵۴/ت۵۷۶۹۷هـ مورخ ۱۴۰۰/۰۳/۰۸ هیات محترم وزیران، به پیوست دستورالعمل «مشخصات فنی عمومی و اجرایی تاسیسات برقی ساختمان – جلد اول: تاسیسات برقی فشار ضعیف و متوسط (تجدید نظر سوم)» با شماره ۱–۱۱۰، ابلاغ می‌شود.

رعایت مفاد این ضابطه از تاریخ ۱۴۰۲/۰۱/۰۱ برای همه قراردادهایی که از محل وجوه عمومی ویا به صورت مشارکت عمومی و خصوصی منعقد می‌شوند، الزامی است و جایگزین بخشنامه شماره ۱۰۰/۹۶۶۴۰ مورخ ۱۳۸۹/۱۱/۱۶ می‌باشد.

امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران این سازمان دریافت‌کننده نظرات و پیشنهادهای اصلاحی در مورد مفاد این ضابطه بوده و اصلاحات لازم را اعلام خواهد کرد.

سید مسعود میرکاظمی

مشخصات فنی عمومی و اجرایی تاسیسات برقی ساختمان

جلد اول : تاسیسات برقی فشار ضعیف و فشار متوسط

[ضابطه شماره ۱-۱۱۰]

اعضای کمیته تدوین:

۱.	مهندس حامد رشیدی اقدم	رئیس کمیته	کارشناسی ارشد مهندسی برق- الکترونیک
۲.	مهندس پوریا ساسانفر	دبیر کمیته	کارشناسی ارشد مهندسی برق- مدیریت انرژی
۳.	مهندس محمود رنجبر	عضو کمیته	کارشناسی ارشد مهندسی برق- قدرت
۴.	مهندس محمدعلی دهقانی‌منش	عضو کمیته	کارشناسی ارشد مهندسی برق- انرژی‌های تجدیدپذیر
۵.	مهندس سیدحسین ملکوتی	عضو کمیته	کارشناسی ارشد مهندسی برق- الکترونیک
۶.	مهندس آرش آقایی‌فر	عضو کمیته	کارشناسی ارشد مهندسی برق- قدرت

در تهیه این نشریه افراد زیر با کمیته تدوین همکاری داشته‌اند:

*	مهندس احمد جعفری‌یگانه	*	مهندس امیرمسعود شهبازی	*	مهندس شهرام نورصالحی
*	مهندس فاطمه ایزدی	*	مهندس لیلا یارمحمدی	*	مهندس پیام پهلوان‌زاده رحیمی
*	مهندس حمید عصارکاشانی	*	مهندس عزت‌اله پرتوی‌شال	*	مهندس الناز حقیری
*	دکتر علیرضا فریدونیان	*	مهندس عباس مجیدی	*	مهندس سمیه مظلوم‌زاده

داور: دکتر شاهرخ شجاعیان — استادیار دانشگاه آزاد اسلامی

اعضای کمیته نظارت و راهبری فنی:

۱.	دکتر محمد شکرچی‌زاده	رئیس مرکزتحقیقات راه، مسکن و شهرسازی و استاد دانشگاه تهران
۲.	دکتر علی خاکی‌صدیق	معاون آموزشی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری و استاد دانشگاه خواجه نصیرالدین‌طوسی
۳.	مهندس علیرضا توتونچی	معاون امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران سازمان برنامه و بودجه کشور
۴.	دکتر جواد علمایی	معاون علوم، مهندسی و کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی و دانشیاردانشگاه آزاد اسلامی
۵.	مهندس علیرضا فخر رحیمی	کارشناس عالی امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران سازمان برنامه و بودجه کشور
۶.	مهندس محمدحسین افتخار	دبیر کمیته نظارت و راهبری فنی
۷.	مهندس حامد رشیدی اقدم	رئیس بخش پایش و هوشمندسازی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

اعضای گروه هدایت و راهبری (سازمان برنامه و بودجه کشور):

۱.	مهندس علیرضا توتونچی	معاون امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران
۲.	مهندس فرزانه آقا رمضانعلی	رییس گروه امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران
۳.	مهندس علیرضا فخر رحیمی	کارشناس امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل ۱- لوله‌گذاری برق	**۱**
۱-۱- دامنه پوشش	۳
۱-۲- تعاریف و اصطلاحات	۳
۱-۳- استانداردها	۹
۱-۴- طبقه‌بندی	۱۱
۱-۵- مشخصات فنی و الزامات عمومی	۱۶
۱-۶- الزامات عمومی، کاربرد و شرایط انتخاب لوله‌های محافظ	۲۴
۱-۷- الزامات و موارد کاربرد سامانه‌های داکت و ترانک	۳۳
۱-۸- انتخاب ظرفیت	۳۶
۱-۹- اصول و روش‌های نصب لوله‌های برق	۴۰
۱-۱۰- نشانه‌های ترسیمی	۴۷
فصل ۲- سیم، کابل و باسداکت فشار ضعیف	**۴۹**
۲-۱- دامنه پوشش	۵۱
۲-۲- تعاریف و اصطلاحات	۵۱
۲-۳- استانداردها	۵۸
۲-۴- گروه‌بندی هادی‌ها	۶۱
۲-۵- نشانه‌گذاری کابل‌ها	۶۶
۲-۶- کدگذاری کابل‌ها	۶۸
۲-۷- انتخاب و نصب کابل‌ها	۷۴
۲-۸- تنش‌های مکانیکی در کابل‌ها	۷۸
۲-۹- تحویل اولیه و بازرسی دوره‌ای کابل‌ها	۸۱
۲-۱۰- بسته‌بندی، انبارش و جابجایی/حمل و نقل	۸۱
۲-۱۱- محاسبات تعیین سطح مقطع کابل	۸۲
۲-۱۲- اصول و روش‌های نصب کابل‌ها	۱۳۴

۲-۱۳- کابلشوها و مفصل‌ها ۱۴۱
۲-۱۴- آشنایی با اجزا مختلف سیستم باسداکت ۱۴۲
۲-۱۵- اصول طراحی و انتخاب سیستم باسداکت ۱۴۵
فصل ۳- کابل‌های فشار متوسط ۱۵۱
۳-۱- دامنه پوشش ۱۵۳
۳-۲- تعاریف و اصطلاحات ۱۵۳
۳-۳- استانداردها ۱۵۷
۳-۴- مشخصات فنی و موارد کاربرد کابل‌های فشار متوسط ۱۵۸
۳-۵- ضوابط اساسی در طراحی سیستم کابل‌کشی فشار متوسط ۱۶۵
۳-۶- مقادیر مجاز جریان پیوسته برای کابل‌های با عایق اکسترود شده در گستره ولتاژ ۳/۶/۶ تا ۱۸/۳۰ کیلوولت ۱۶۷
۳-۷- محاسبات سطح مقطع کابل براساس انرژی مجاز ۱۸۵
۳-۸- نشانه گذاری کابل ۱۸۷
۳-۹- اصول و روش‌های نصب کابل‌های فشار متوسط ۱۸۷
۳-۱۰- نصب کابل در داخل کانال خاکی ۱۸۹
۳-۱۱- نصب کابل در داخل کانال پیش‌ساخته ۱۹۲
۳-۱۲- کابلشوها، سرکابل‌ها و مفصل‌ها ۱۹۵
فصل ۴- کلید و پریز ۲۰۱
۴-۱- دامنه پوشش ۲۰۳
۴-۲- تعاریف و اصطلاحات ۲۰۴
۴-۳- استانداردها ۲۰۹
۴-۴- کلیدهای برق ۲۱۲
۴-۵- کلیدهای الکترونیکی ۲۲۰
۴-۶- پریزها و دوشاخه‌ها برای مصارف خانگی و مشابه ۲۲۵
۴-۷- پریزها و چندشاخه‌های صنعتی ۲۲۹
۴-۸- انتخاب پریزهای برق ۲۳۱
۴-۹- سیستم‌های سیم‌کشی مدار و تعداد پریزها ۲۳۲
۴-۱۰- اصول و روش‌های نصب کلید و پریز ۲۳۵
۴-۱۱- نشانه‌های ترسیمی ۲۴۵

فصل ۵- سیستم روشنایی **۲۴۹**

۵-۱- دامنه پوشش ۲۵۱

۵-۲- تعاریف و اصطلاحات ۲۵۱

۵-۳- استانداردها ۲۷۰

۵-۴- منابع نوری ۲۷۴

۵-۵- وسایل کنترل و راه‌اندازی ۲۸۳

۵-۶- چراغ‌ها ۲۸۴

۵-۷- طراحی روشنایی ۲۸۹

۵-۸- روشنایی اضطراری ۳۳۱

۵-۹- اصول و روش‌های نصب چراغ‌ها ۳۳۶

۵-۱۰- نشانه‌های ترسیمی الکتریکی ۳۳۸

فصل ۶- تابلوهای فشار ضعیف **۳۴۳**

۶-۱- دامنه پوشش ۳۴۵

۶-۲- تعاریف و اصطلاحات ۳۴۵

۶-۳- استانداردها ۳۶۴

۶-۴- شرایط نصب و بهره‌برداری تابلوهای برق فشار ضعیف ۳۶۷

۶-۵- مدارک و داده برگ‌های‌فنی ۳۷۰

۶-۶- مشخصات فنی ساختمان تابلوها ۳۷۳

۶-۷- شینه ۳۸۲

۶-۸- وسایل حفاظتی ۴۰۰

۶-۹- تجهیزات کنترلی ۴۱۴

۶-۱۰- وسایل اپراتوری ۴۱۷

۶-۱۱- ادوات اندازه‌گیری ۴۲۰

۶-۱۲- نصب و مونتاژ تجهیزات ۴۲۵

۶-۱۳- طراحی مدارها ۴۳۱

۶-۱۴- بازرسی و تست (آزمون) ۴۵۰

۶-۱۵- بسته‌بندی و بارگیری ۴۵۳

فصل ۷- تابلوهای فشار متوسط **۴۵۹**

۷-۱- دامنه پوشش ۴۶۱

۷-۲- تعاریف و اصطلاحات ۴۶۱

۷-۳- استانداردها ۴۷۵

۷-۴- اجزا تشکیل دهنده تابلو قدرت و فرمان فشار متوسط ۴۷۶

۷-۵- طراحی و تعیین مشخصات فنی تابلو فشار متوسط ۴۸۷

۷-۶- الزامات اتاق تابلو فشار متوسط ۴۹۵

۷-۷- آزمون‌های تابلو فشار متوسط ۴۹۷

فصل ۸- ترانسفورماتورهای توزیع **۴۹۹**

۸-۱- دامنه پوشش ۵۰۱

۸-۲- تعاریف و اصطلاحات ۵۰۱

۸-۳- استانداردها ۵۱۰

۸-۴- مقادیر اسمی و الزامات عمومی ۵۱۲

۸-۵- شرایط کاری ۵۱۷

۸-۶- پلاک مشخصات (صفحه مقادیر اسمی) ۵۱۹

۸-۷- آزمون‌های کارخانه‌ای ۵۲۳

۸-۸- دیاگرام قطعات و تجهیزات ترانسفورماتور ۵۲۵

۸-۹- تجهیزات حفاظتی ترانسفورماتور ۵۲۹

۸-۱۰- حمل، انبارش، نصب، راه‌اندازی و بهره‌برداری ۵۳۵

۸-۱۱- ملاحظات ایمنی ۵۴۷

۸-۱۲- علائم ترسیمی ۵۴۸

فصل ۹- مولدهای برق **۵۴۹**

۹-۱- دامنه پوشش ۵۵۱

۹-۲- تعاریف و اصطلاحات ۵۵۱

۹-۳- استانداردهای ساخت ۵۵۳

۹-۴- معیارهای کاربرد ۵۵۴

۹-۵- طبقه‌بندی مولدهای برق بر اساس کلاس کارایی ۵۵۸

۹-۶- شرایط استاندارد مرجع ۵۵۹

۹-۷- شرایط سایت ۵۵۹
۹-۸- تعاریف مقدار اسمی توان ۵۶۰
۹-۹- مولدهای برق اضطراری سیستم‌های تأمین ایمنی ۵۶۴
۹-۱۰- موارد استفاده از نیروی برق اضطراری ۵۶۵
۹-۱۱- مشخصات فنی مولدهای برق ۵۶۵
۹-۱۲- مشخصات فنی موتور درون‌سوز ۵۶۶
۹-۱۳- تابلوی وسایل اندازه‌گیری موتور ۵۷۱
۹-۱۴- سیستم اگزوست موتور و دودکش ۵۷۲
۹-۱۵- سیستم سوخت ۵۷۲
۹-۱۶- ژنراتور ۵۷۴
۹-۱۷- تابلو کنترل الکتریکی ۵۷۵
۹-۱۸- مشخصات فنی اضافی برای مولدهای برق اضطراری ۵۷۶
۹-۱۹- اصول و روش‌های نصب ۵۷۷
۹-۲۰- آزمون دستگاه‌ها ۵۷۷
۹-۲۱- منابع الکتریکی سیستم‌های تأمین ایمنی ۵۷۹
۹-۲۲- مدارهای الکتریکی سیستم‌های تأمین ایمنی ۵۸۱
۹-۲۳- کاربردهای روشنایی ایمنی ۵۸۳
۹-۲۴- سیستم‌های ایمنی حفاظت در برابر حریق ۵۸۵
فصل ۱۰- سیستم برق بدون وقفه (UPS) ۵۸۹
۱۰-۱- دامنه پوشش ۵۹۱
۱۰-۲- تعاریف و اصطلاحات ۵۹۱
۱۰-۳- استانداردها ۶۰۱
۱۰-۴- پیکره‌بندی‌های سیستم برق بدون وقفه (UPS) ۶۰۴
۱۰-۵- توپولوژی‌ها - سیستم برق بدون وقفه ۶۱۰
۱۰-۶- کاربردهای کلید UPS ۶۱۴
۱۰-۷- برگ راهنمای خریدار برای تعیین ویژگی‌ها ۶۲۰
۱۰-۸- انواع باتری ۶۲۶
۱۰-۹- ملاحظات انتخاب باتری ۶۳۲

۱۰-۱۰- ملاحظات کاربردی باتری ۶۳۷
۱۰-۱۱- تعیین ظرفیت باتری ۶۴۴
۱۰-۱۲- استاندارد ساخت باتری و آزمون‌های ساخت ۶۴۷
۱۰-۱۳- اصول و روش‌های نصب باتری‌های انباره‌ای ساکن ۶۴۹
فصل ۱۱- جبران سازی توان راکتیو و ادوات کیفیت توان ۶۵۱
۱۱-۱- دامنه پوشش ۶۵۳
۱۱-۲- تعاریف و اصطلاحات ۶۵۳
۱۱-۳- استانداردها ۶۵۹
۱۱-۴- کیفیت توان ۶۶۱
۱۱-۵- جبران سازی توان راکتیو ۶۶۷
فصل ۱۲- اتصال زمین سیستم نیرو و حفاظت در برابر برق‌گرفتگی ۶۸۹
۱۲-۱- دامنه پوشش ۶۹۱
۱۲-۲- تعاریف و اصطلاحات ۶۹۱
۱۲-۳- استانداردها ۶۹۷
۱۲-۴- اتصال زمین سیستم ۶۹۹
۱۲-۵- حفاظت در برابر برق‌گرفتگی ۷۰۰
فصل ۱۳- آرایش‌های اتصال زمین و هادی‌های حفاظتی ۷۲۱
۱۳-۱- دامنه پوشش ۷۲۳
۱۳-۲- تعاریف و اصطلاحات ۷۲۳
۱۳-۳- استانداردها ۷۲۷
۱۳-۴- فلسفه اتصال زمین ۷۳۰
۱۳-۵- آرایش‌های اتصال زمین ۷۳۱
۱۳-۶- هادی‌های حفاظتی ۷۴۸
۱۳-۷- هم‌بندی هم‌پتانسیل‌کننده ۷۵۴
۱۳-۸- آرایش اتصال زمین در تاسیسات الکتریکی با تغذیه فشار قوی ۷۶۰
۱۳-۹- زمین کردن شیلد و زره فلزی کابل ۷۶۱
۱۳-۱۰- علائم ترسیمی ۷۶۱

فصل ۱۴- حفاظت در برابر اغتشاشات ولتاژی و اغتشاشات الکترومغناطیسی **۷۶۳**
۱۴-۱- دامنه پوشش ۷۶۵
۱۴-۲- تعاریف و اصطلاحات ۷۶۵
۱۴-۳- استانداردها ۷۶۹
۱۴-۴- حفاظت از تاسیسات فشار ضعیف در برابر اضافه‌ولتاژهای موقتی ناشی از وقوع خطا ۷۷۰
۱۴-۵- حفاظت در برابر اضافه‌ولتاژهای گذرا با منشاء جوی یا ناشی از کلیدزنی (قطع و وصل) ۷۷۱
۱۴-۶- تدابیر در برابر تاثیرات الکترومغناطیسی ۷۸۱
۱۴-۷- حفاظت در برابر کاهش ولتاژ ۷۸۷
۱۴-۸- علائم ترسیمی ۷۸۸
فصل ۱۵- حفاظت در برابر صاعقه **۷۸۹**
۱۵-۱- دامنه پوشش ۷۹۱
۱۵-۲- تعاریف و اصطلاحات ۷۹۲
۱۵-۳- استانداردها ۸۰۱
۱۵-۴- ضوابط اصولی برای حفاظت ساختمان‌ها ۸۰۴
۱۵-۵- مدیریت ریسک ۸۱۲
۱۵-۶- سیستم حفاظت صاعقه (LPS) ۸۱۵
۱۵-۷- سیستم حفاظت LEMP (SPM) ۸۳۹
۱۵-۸- سامانه هشدار توفان تندری ۸۵۲
۱۵-۹- علائم ترسیمی ۸۵۴
فصل ۱۶- تست و تحویل تاسیسات الکتریکی **۸۵۵**
۱۶-۱- دامنه پوشش ۸۵۷
۱۶-۲- تعاریف و اصطلاحات ۸۵۷
۱۶-۳- استانداردها ۸۵۸
۱۶-۴- تحویل اولیه ۸۵۹
۱۶-۵- انجام آزمون‌ها ۸۶۰
۱۶-۶- گزارش‌نویسی تحویل اولیه ۸۷۴
۱۶-۷- تحویل دوره‌ای ۸۷۵
۱۶-۸- نمونه فرم‌های بازدید تاسیسات الکتریکی ۸۷۷
۱۶-۹- تحویل سیستم حفاظت صاعقه ۸۸۹

فصل ۱۳

آرایش‌های اتصال زمین و هادی‌های حفاظتی

۱۳-۱- دامنه پوشش

۱۳-۱-۱- این فصل از نشریه با هدف تامین ایمنی تاسیسات الکتریکی به معرفی آرایش‌های اتصال زمین[1] و هادی‌های حفاظتی از جمله هادی‌های هم‌بندی حفاظتی می‌پردازد.

۱۳-۱-۲- موارد زیر خارج از دامنه کاربرد این فصل از نشریه بوده و برای آن‌ها باید به مقررات و استانداردهای تخصصی مرتبط از جمله بخش ۷ استاندارد IEC 60364 مراجعه شود:

- تاسیسات یا مکان‌های مخصوص[2] به طور مثال مراکز درمانی، شهربازی، اصطبل و دامداری‌ها، کاروان‌ها، استخر و غیره.
- مناطق مستعد خطر انفجار[3].

۱۳-۲- تعاریف و اصطلاحات

۱۳-۲-۱- زمین

earth

مفهومی است در بر گیرنده سیاره زمین و تمام متعلقات فیزیکی[4] آن.

۱۳-۲-۲- زمین کردن

earth (verb)

به برقرار ساختن اتصال الکتریکی مابین زمین محلی و نقطه‌ای از سیستم، تاسیسات یا تجهیزات گفته می‌شود.

یادآوری- اتصال به زمین محلی ممکن است عمدی، غیر عمدی یا تصادفی بوده و ممکن است دایمی یا موقتی باشد.

۱۳-۲-۳- زمین مرجع (زمین دور)

reference earth (remote earth)

قسمتی از جرم زمین که رسانا در نظر گرفته شده و پتانسیل الکتریکی‌اش به طور قراردادی برابر صفر منظور شده و مستقل از حوزه تاثیر[5] و آرایش سیستم اتصال زمین مربوطه است.

یادآوری- در اینجا "جرم زمین" به معنای سیاره زمین با تمام موجودیت فیزیکی‌اش است.

---

[1] Earthing Arrangements
[2] Special Installations or Locations
[3] Hazardous Area/Explosive Atmosphere
[4] Physical Matter
[5] Zone of Influence

۱۳-۲-۴- زمین محلی

local earth

قسمتی از سیاره زمین که در تماس الکتریکی با الکترود زمین است و پتانسیل الکتریکی‌اش الزاماً برابر صفر نیست.

۱۳-۲-۵- آرایش اتصال زمین

earthing arrangement

به الگوی اتصالات منبع و وسایل[1] الکتریکی در هنگام زمین کردن یک سیستم، تاسیسات یا تجهیزات[2] گفته می‌شود.

۱۳-۲-۶- سیستم اتصال زمین

earthing system

مجموعه‌ای از اجزاء هستند که برای زمین کردن یک تجهیز یا سیستم به طور جداگانه یا مشترک در کنار هم استفاده می‌شوند.

۱۳-۲-۷- مقاومت ویژه الکتریکی خاک

electric resistivity of soil (ρ_E)

مقاومت ویژه یک نمونه نوعی از خاک

۱۳-۲-۸- مقاومت زمین

resistance to earth (R_E)

قسمت حقیقی امپدانس زمین

۱۳-۲-۹- امپدانس زمین

impedance to earth (Z_E)

امپدانس مابین نقطه‌ای از سیستم یا تاسیسات یا تجهیزات و زمین مرجع در یک فرکانس معلوم

۱۳-۲-۱۰- الکترود زمین

earth electrode

جرمی رسانا و در تماس الکتریکی با جرم زمین است که می‌تواند در خاک یا یک ماده رسانای خاص[3] به طور مثال بتن یا کک، که خود در دل خاک واقع است، قرار گیرد.

---

[1] Devices
[2] Equipment
[3] Specific Conductive Medium

۱۳-۲-۱۱- الکترود زمین فونداسیون (پی سازه) تعبیه شده در بتن

concrete-embedded foundation earth electrode

الکترود زمین تعبیه شده در بتن فونداسیون ساختمان که معمولا به شکل یک یا چند حلقه بسته است.

۱۳-۲-۱۲- الکترود زمین فونداسیون (پی سازه) تعبیه شده در خاک[1]

soil-embedded foundation earth electrode

الکترود زمین تعبیه شده در خاک زیر فونداسیون ساختمان که معمولا به شکل حلقه بسته است.

۱۳-۲-۱۳- ترمینال اصلی اتصال زمین

main earthing terminal

ترمینال یا شینه‌ای که قسمتی از آرایش اتصال زمین[2] تاسیسات محسوب می‌شود و امکان اتصال الکتریکی تعدادی هادی، متصل به قسمت‌هایی که باید زمین شوند را مهیا می‌کند.

۱۳-۲-۱۴- هادی حفاظتی

protective conductor

هادی‌ای است که برای مقاصد ایمنی (حفاظت در برابر برق‌گرفتگی) در نظر گرفته شده است.

یادآوری- هادی هم‌بندی حفاظتی، هادی اتصال زمین حفاظتی (PE) و هادی اتصال زمین در مواردی‌که برای حفاظت در برابر برق‌گرفتگی از آن استفاده شود نمونه‌هایی از هادی حفاظتی هستند.

۱۳-۲-۱۵- هادی اتصال زمین

earthing conductor

هادی اتصال دهنده الکترود زمین به نقطه‌ای از سیستم هم‌بندی هم‌پتانسیل‌کننده، معمولا ترمینال اصلی اتصال زمین، است.

۱۳-۲-۱۶- هادی هم‌بندی حفاظتی

protective bonding conductor

هادی حفاظتی‌ای است که برای هم‌بندی هم‌پتانسیل‌کننده حفاظتی در نظر گرفته می‌شود.

۱۳-۲-۱۷- هادی اتصال زمین حفاظتی (PE)

protective earthing conductor (PE)

هادی حفاظتی‌ای است که برای اتصال زمین حفاظتی در نظر گرفته می‌شود.

---

[1] در برخی استانداردها این نوع الکترود به نام "الکترود زمین رینگ (ring earth electrode)" نام‌گذاری شده است.

[2] Earthing Arrangement

۱۳-۲-۱۸- هادی PEN

PEN conductor

هادی‌ای است که به طور هم‌زمان وظایف هر دو هادی اتصال زمین حفاظتی (PE) و هادی خنثی (N) را انجام می‌دهد.

۱۳-۲-۱۹- اتصال زمین حفاظتی (PE)

protective earthing

به زمین کردن نقطه یا نقاطی در سیستم یا در تاسیسات یا در تجهیزات با مقاصد ایمنی الکتریکی گفته می‌شود.

۱۳-۲-۲۰- اتصال زمین عملکردی (FE)

functional earthing

به زمین کردن نقطه یا نقاطی در سیستم یا در تاسیسات یا در تجهیزات با مقاصدی غیر از ایمنی الکتریکی گفته می‌شود.

۱۳-۲-۲۱- هم‌بندی هم‌پتانسیل‌کننده

equipotential bonding

فراهم کردن اتصالات الکتریکی مابین قسمت‌های رسانا با هدف دست‌یابی به هم‌پتانسیل‌سازی[1]

یادآوری- اثربخشی هم‌بندی هم‌پتانسیل‌کننده ممکن است به فرکانس جریانی که از هم‌بندی عبور می‌کند بستگی داشته باشد.

۱۳-۲-۲۲- (ولتاژ) فشارقوی

high voltage

به ولتاژهای (a.c.) بیش از ۱۰۰۰ ولت گفته می‌شود.

۱۳-۲-۲۳- (ولتاژ) فشارضعیف

low voltage

به ولتاژهای (a.c.) کم‌تر یا برابر با ۱۰۰۰ ولت گفته می‌شود.

۱۳-۲-۲۴- افزایش پتانسیل زمین EPR

earth potential rise (EPR)

به ولتاژ مابین سیستم اتصال زمین و زمین مرجع گفته می‌شود.

[1] Equipotentiality

۱۳-۲-۲۵- سیستم اتصال زمین سراسری

global earthing system

به یک سیستم اتصال زمین معادل، بوجود آمده از هم‌بندی سیستم‌های اتصال زمین محلی به یکدیگر گفته می‌شود که تضمین می‌کند به خاطر مجاورت سیستم‌های اتصال زمین، ولتاژهای تماسی خطرناک بوجود نیاید.

یادآوری ۱- چنین سیستم‌هایی اجازه می‌دهند تا جریان خطای زمین به گونه‌ای تقسیم شود که افزایش پتانسیل زمین در سیستم اتصال زمین محلی کاهش پیدا کند. در مورد چنین سیستمی می‌توان گفت یک سطح شبه هم‌پتانسیل[1] تشکیل شده است.

یادآوری ۲- وجود سیستم اتصال زمین سراسری ممکن است از طریق اندازه‌گیری‌های نمونه[2] یا انجام محاسبه برای سیستم‌های نوعی مشخص شود. مثال‌های نوعی از سیستم‌های اتصال زمین سراسری، مراکز شهر[3]، مناطق شهری یا صنعتی با اتصال زمین فشارضعیف و فشارقوی توزیع شده هستند.

۱۳-۲-۲۶- درجه‌بندی (یکنواخت کردن) پتانسیل

potential grading

به کنترل پتانسیل زمین، به خصوص پتانسیل سطح زمین، به وسیله الکترودهای زمین اطلاق می‌شود.

۱۳-۲-۲۷- جریان نشتی

leakage current

جریانی الکتریکی است که در شرایط عادی در یک مسیر ناخواسته جاری می‌شود.

۱۳-۳- استانداردها

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این فصل از نشریه به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب آن مقررات، جزئی از این نشریه محسوب می‌شود. در صورتی‌که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن مورد نظر این فصل نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدید نظر و اصلاحیه‌های بعدی آن‌ها مورد نظر است.

استفاده از مراجع زیر برای این فصل الزامی است:

- استاندارد ملی ایران به شماره ۱-۱۹۳۷، تاسیسات الکتریکی ساختمان‌ها - قسمت ۱: اصول اساسی، ارزیابی مشخصه‌های کلی و اصطلاحات و تعاریف.

---

[1] Quasi Equipotential Surface
[2] Sample Measurements
[3] City Centres

- استاندارد ملی ایران به شماره ۴۱-۴-۱۹۳۷، تاسیسات الکتریکی فشار ضعیف- قسمت ۴-۴۱: حفاظت برای ایمنی - حفاظت در برابر برق‌گرفتگی.
- استاندارد ملی ایران به شماره ۵۴-۵-۱۹۳۷، تاسیسات الکتریکی فشار ضعیف - قسمت ۵-۵۴: انتخاب و نصب تجهیزات الکتریکی - آرایش‌های اتصال زمین و هادی‌های حفاظتی.
- استاندارد ملی ایران به شماره ۴۱۲۳، زمین حفاظتی تاسیسات الکتریکی - آیین کار.
- استاندارد ملی ایران معادل با DIN 18014 (در حال تدوین)، الکترود زمین فونداسیون (پی سازه) - طراحی، اجرا و مستندسازی.
- استاندارد ملی ایران به شماره ۱-۱۸۴۹۹، قطعات سیستم حفاظت در برابر آذرخش (LPSC) (صاعقه‌گیر)- قسمت ۱: الزامات برای قطعات اتصال.
- استاندارد ملی ایران به شماره ۲-۱۸۴۹۹، قطعات سیستم حفاظت در برابر آذرخش (LPSC) (صاعقه‌گیر)- قسمت ۲: الزامات برای هادی‌ها و الکترودهای زمین.
- استاندارد ملی ایران به شماره ۳-۱۸۴۹۹، قطعات سیستم حفاظت در برابر آذرخش (LPSC) (صاعقه‌گیر)- قسمت ۳: الزامات برای جداسازهای فواصل جرقه (ISG).
- استاندارد ملی ایران به شماره ۴-۱۸۴۹۹، قطعات سیستم حفاظت در برابر آذرخش (LPSC) (صاعقه‌گیر)- قسمت ۴: الزامات برای محکم‌کننده‌های هادی‌ها.
- استاندارد ملی ایران به شماره ۵-۱۸۴۹۹، قطعات سیستم حفاظت در برابر آذرخش (LPSC) (صاعقه‌گیر)- قسمت ۵: الزامات برای حفاظ‌های بازرسی و درزگیرهای الکترود زمین.
- استاندارد ملی ایران به شماره ۷-۱۸۴۹۹، قطعات سیستم حفاظت در برابر آذرخش (LPSC) (صاعقه‌گیر)- قسمت ۷: الزامات برای ترکیب‌های افزودنی برای زمین کردن.

- IEC 60364-4-41:2005+AMD1:2017, Low voltage electrical installations - Part 4-41: Protection for safety - Protection against electric shock.
- IEC 60364-4-44:2007+AMD1:2015+AMD2:2018, Low-voltage electrical installations - Part 4-44: Protection for safety - Protection against voltage disturbances and electromagnetic disturbances.
- IEC 60364-5-51:2005, Electrical installations of buildings - Part 5-51: Selection and erection of electrical equipment - Common rules.
- IEC 60364-5-52:2009, Low-voltage electrical installations - Part 5-52: Selection and erection of electrical equipment - Wiring systems.
- IEC 60364-7, Low-voltage electrical installations - Part 7: Requirements for special installations or locations - all parts.

- IEC 60909-0:2016, Short-circuit currents in three-phase a.c. systems - Part 0: Calculation of currents.
- IEC 61439-1:2013, Low-voltage switchgear and controlgear assemblies - Part 0: Guidance to specifying assemblies.
- IEC 61439-2:2020, Low-voltage switchgear and controlgear assemblies - Part 2: Power switchgear and controlgear assemblies.
- IEC 60949:1988, Calculation of thermally permissible short-circuit currents, taking into account non-adiabatic heating effects.
- IEC 61936-1:2010+AMD1:2014, Power installations exceeding 1 kV (a.c.) - Part 1: Common rules.
- IEC 61400-24:2019, Wind turbines - Part 2: Small wind turbines.
- IEC 61140:2016, Protection against electric shock - Common aspects for installation and equipment.
- IEC 60617, Graphical symbols for diagrams.
- EN 50522:2010, Earthing of power installations exceeding 1 kV (a.c.).
- EN 13601:2013, Copper and copper alloys — Copper rod, bar and wire for general electrical purposes.

۱۳-۳-۱- استاندارد ساخت و آزمون

تمام قطعات، وسایل و تجهیزات مورد استفاده در آرایش اتصال زمین، هم‌بندی و هادی‌های حفاظتی ساختمان‌ها باید مطابق ضوابط بیان شده در این فصل از نشریه باشد و بر اساس استاندارد ملی ایران و/یا شیوه‌نامه مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی ساخته، آزموده شده و موفق به دریافت نشان ملی استاندارد ایران یا اخذ گواهی انطباق از آزمایشگاه‌های مرجع مورد تایید سازمان ملی استاندارد ایران و/یا اخذ گواهینامه فنی از مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی شده باشد.

در صورتی‌که در خصوص بخشی یا کل آزمون‌های مورد نیاز برای یک قطعه، وسیله یا تجهیز، استاندارد ملی ایران و شیوه‌نامه مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، هر دو موجود نباشند، انجام آزمون مطابق استانداردهای بین‌المللی نظیر IEC و ISO در یک آزمایشگاه معتبر و صاحب صلاحیت[۱] و اخذ گواهی آزمون ضروری است.

فهرستی از قطعات، وسایل و تجهیزات مورد استفاده در آرایش اتصال زمین، هم‌بندی و هادی‌های حفاظتی و استانداردهای ساخت و آزمون مربوطه در جدول (۱۳-۱) آمده است.

طراحی، اجرا، نظارت و آزمون و تحویل آرایش اتصال زمین، هم‌بندی و هادی‌های حفاظتی مطابق الزامات بیان شده در این فصل باید به ترتیب توسط طراحان، مجریان، ناظران و بازرسان متخصص و کارآزموده که دارای مجوز مرتبط و معتبر از مراجع ذیصلاح ملی و/یا گواهینامه فنی از مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی باشند، انجام شود.

[۱] صلاحیت آزمایشگاه توسط یکی از مراجع ذیصلاح ملی (شامل سازمان ملی استاندارد ایران یا مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی) تعیین می‌شود.

جدول۱۳-۱- استاندارد ساخت و آزمون

ردیف	شرح تجهیز	استانداردهای ساخت و آزمون مربوطه
۱	• شینه‌های اصلی اتصال زمین، شینه‌های هم‌بندی حفاظتی • انواع اتصالات و کلمپ‌های هادی به هادی و هادی به میله/لوله در هوا، خاک یا بتن • انواع اتصالات هادی به آرماتور در بتن و هادی به اسکلت فلزی در هوا • انواع اتصالات به لوله‌ها و سایر تجهیزات تاسیسات مکانیکی • انواع کلمپ‌های اتصال هادی به مسیرهای هدایت کابل نظیر سینی و نردبان کابل • نقطه/صفحه اتصال زمین یا هم‌بندی برای الکترود زمین فونداسیون یا شبکه هم‌بندی اسکلت • انواع مفصل‌های هادی حفاظتی • ادوات مورد نیاز جهت زمین کردن شیلد و زره فلزی کابل	INSO 18499-1
۲	• انواع الکترودهای زمین، شامل میله، لوله، هادی (مدور، چندمفتولی، تسمه)، صفحه (ساده و مشبک) • انواع هادی‌های حفاظتی با/یا بدون روکش برای اجرا در هوا، خاک یا بتن	INSO 18499-2
۳	ایزوله‌کننده قوسی (ISG)	INSO 18499-3
۴	انواع نگهدارنده‌های (بست‌های) دیواری و کفی هادی‌ها و لوله‌ها	INSO 18499-4
۵	دریچه بازدید الکترود زمین	INSO 18499-5
۶	مواده کاهنده زمین و بتن هادی	INSO 18499-7
۷	نرم‌افزار طراحی، شبیه‌سازی و محاسبات سیستم زمین	-
۸	وسایل پایش الکتریکی اتصال زمین	-
۹	اقلام مسی (میله، سیم و شینه)	EN 13601

۱۳-۴- فلسفه اتصال زمین

هدف اصلی از اتصال زمین در یک ساختمان به شرح زیر است:

۱) تامین ولتاژ ایمن در سرتاسر ساختمان به خصوص در شرایطی که خطای زمین در سیستم تغذیه برق فشارضعیف یا فشارقوی در ساختمان یا بیرون آن رخ داده باشد.

۲) به حداقل رساندن اثرات ناشی از اضافه ولتاژ صاعقه[1] بر روی سازه و تجهیزات.

۳) فراهم کردن مسیر امپدانس پایین برای برگشت جریان خطای زمین.

۴) فراهم کردن مسیر نشتی امپدانس پایین برای هرگونه بارهای ساکنی که ممکن است بر روی تجهیزات جمع شده باشند.

[1] Lightning Surges

۵) فراهم کردن مرجع مشترک سیگنال[1] با پهنای باند وسیع و امپدانس نسبی پایین[2] بین دستگاه‌ها، مدارها و سیستم‌های کامل[3] با هدف به حداقل رساندن تداخلات ناشی از نویز در سیستم‌های جریان ضعیف (ابزاردقیق، کنترلی و مخابراتی).

۱۳-۵- آرایش‌های اتصال زمین

۱۳-۵-۱- الزامات عمومی

۱۳-۵-۱-۱- آرایش‌های اتصال زمین ممکن است مشترکاً یا به‌صورت جداگانه برای اهداف حفاظتی و عملکردی استفاده شوند. همواره باید الزامات مربوط به اهداف حفاظتی در اولویت قرار بگیرد.

۱۳-۵-۱-۲- همه الکترودهای زمین موجود در داخل تاسیسات، باید با استفاده از هادی اتصال زمین به ترمینال اصلی اتصال زمین متصل شوند.

یادآوری- الزامی نیست که یک تاسیسات حتماً الکترود زمین اختصاصی داشته باشد.

۱۳-۵-۱-۳- اگر تغذیه تاسیسات با ولتاژ فشارقوی انجام می‌شود، الزامات آرایش‌های اتصال زمین فشارقوی و فشارضعیف، هر دو باید مطابق با بخش ۱۳-۸ رعایت شوند.

۱۳-۵-۱-۴- هدف از الزامات گفته شده برای آرایش‌های اتصال زمین، تحقق شرایط زیر است:

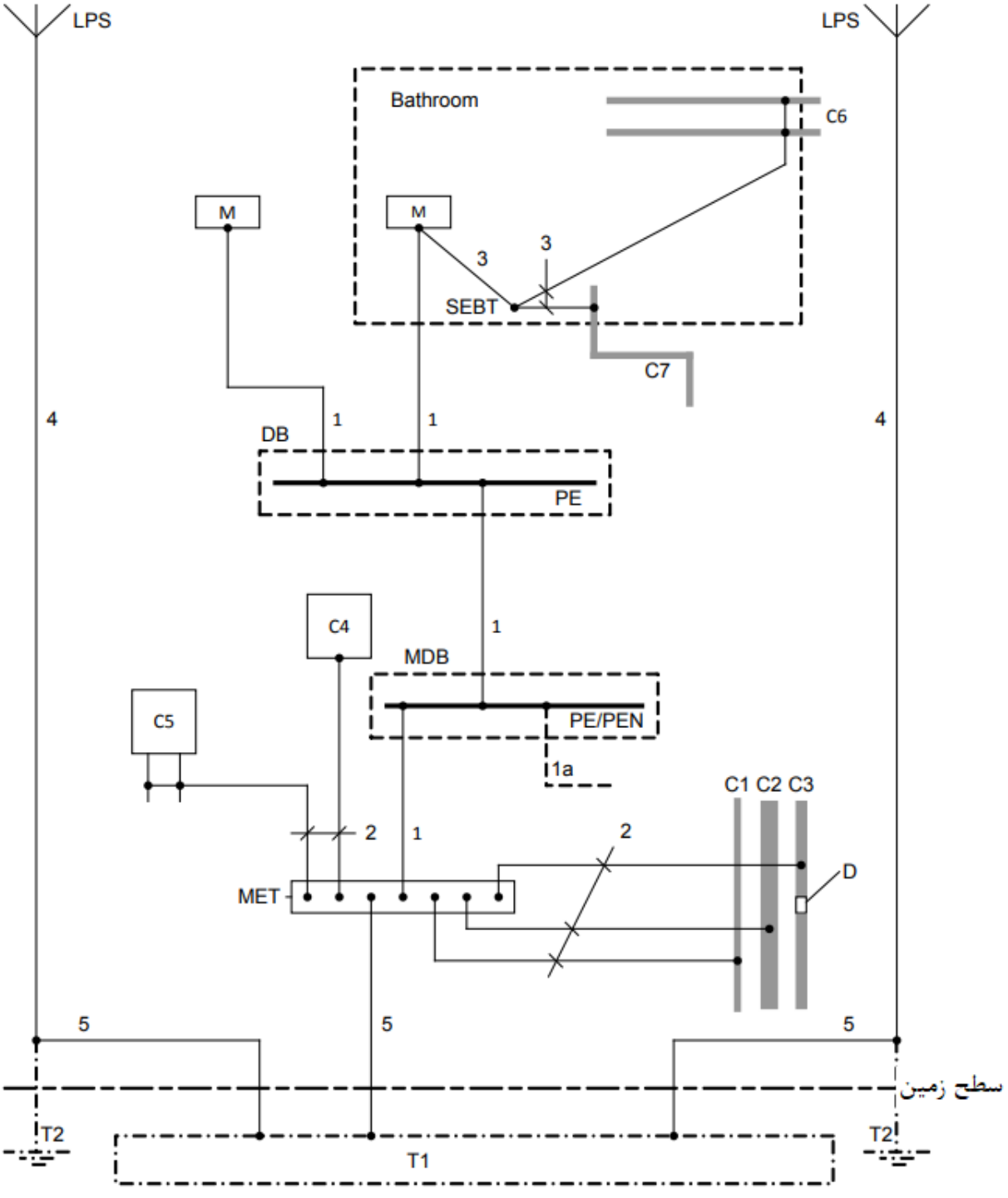
- اتصال زمین، قابل اطمینان و مناسب برای الزامات حفاظتی تاسیسات باشد.
- بتواند جریان‌های خطای زمین و جریان‌های هادی حفاظتی را بدون ایجاد خطر از نقطه نظر تنش‌های حرارتی، حرارتی/مکانیکی و الکترومکانیکی و از نقطه نظر برق‌گرفتگی ناشی از این جریان‌ها، به زمین انتقال دهد.
- در صورت وجود، برای کاربردهای عملکردی نیز مناسب باشد.
- در مقابل عوامل خارجی قابل پیش‌بینی (مثل تنش‌های مکانیکی و خوردگی) مقاوم باشد (ر.ک[4]. استاندارد IEC 60364-5-51).

۱۳-۵-۱-۵- در مواردی‌که انتظار می‌رود جریان‌های فرکانس بالا در سیستم اتصال زمین جاری شود باید ملاحظات لازم طبق بند 444 از استاندارد IEC 60364-4-44 رعایت شوند.

[1] Common Signal Reference
[2] Low Relative Impedance
[3] Complete Systems

[4] رجوع کنید

۱۳-۵-۱-۶- هرگونه تغییر قابل پیش‌بینی در مقاومت الکترود زمین (به طور مثال ناشی از خوردگی، خشک شدن یا یخ‌زدگی خاک) نباید بر روی حفاظت در برابر برق‌گرفتگی (ر.ک. فصل ۱۲)، تاثیر منفی بگذارد.



نشان	نام	توضیح
C	قسمت-رسانای-بیگانه	-
C۱	لوله آب فلزی، ورودی از خارج ساختمان	یا لوله گرمایش منطقه‌ای
C۲	لوله آب فاضلاب فلزی، ورودی از خارج ساختمان	-
C۳	لوله گاز فلزی با رابط عایق‌کننده، ورودی از خارج ساختمان	-
C۴	تهویه مطبوع	-
C۵	سیستم گرمایش	-
C۶	لوله آب فلزی، به طور مثال در حمام	ر.ک. بخش 701.415.2 استاندارد IEC 60364-7-701
C۷	لوله آب فاضلاب فلزی، به طور مثال در حمام	ر.ک. بخش 701.415.2 استاندارد IEC 60364-7-701
D	رابط عایق‌کننده	-
MDB	تابلو توزیع اصلی	-
DB	تابلو توزیع	تغذیه شده از تابلو توزیع اصلی
MET	ترمینال اصلی اتصال زمین	ر.ک. بند ۱۳-۵-۴
SEBT	ترمینال هم‌بندی هم‌پتانسیل‌کننده تکمیلی	-
T۱	الکترود زمین فونداسیون تعبیه شده در بتن یا الکترود زمین فونداسیون تعبیه شده در خاک	ر.ک. بند ۱۳-۵-۲-۳
T۲	الکترود زمین برای LPS، در صورت نیاز	ر.ک. بند ۱۴-۵-۱-۴ فصل ۱۴
LPS	سیستم حفاظت صاعقه، در صورت وجود	-
PE	ترمینال (های) PE در تابلو توزیع	-
PE/PEN	ترمینال (های) PE/PEN در تابلو توزیع اصلی	-
M	قسمت-رسانای-قابل‌تماس	-
۱	هادی اتصال زمین حفاظتی (PE)	ر.ک. بخش ۱۳-۶ . برای سطح مقطع ر.ک. بند ۱۳-۶-۱. برای انواع هادی حفاظتی ر.ک. بند ۱۳-۶-۲. برای پیوستگی الکتریکی ر.ک. بند ۱۳-۶-۳ .
۱a	هادی حفاظتی یا هادی PEN از شبکه تغذیه‌کننده، در صورت وجود	-
۲	هادی هم‌بندی حفاظتی برای هم‌بندی اصلی (اتصال به ترمینال اصلی اتصال زمین)	ر.ک. بند ۱۳-۷-۱.
۳	هادی هم‌بندی حفاظتی برای هم‌بندی تکمیلی	ر.ک. بند ۱۳-۷-۲.
۴	هادی نزولی سیستم حفاظت صاعقه (LPS)، در صورت وجود	ر.ک. فصل ۱۵.
۵	هادی اتصال زمین	ر.ک. بند ۱۳-۵-۳ .
یادآوری ۱- در مواردی‌که سیستم حفاظت صاعقه اجرا شده باشد، الزامات اضافی در بند ۱۵-۸-۲ علی‌الخصوص بندهای ۱۵-۸-۲-۱ و ۱۵-۸-۲-۲ فصل ۱۵ بیان شده است. یادآوری ۲- هادی‌های اتصال زمین عملکردی (FE) در شکل (۱۳-۱) نشان داده نشده‌اند.		

شکل۱۳-۱- مثال‌هایی از آرایش‌های اتصال زمین برای الکترود زمین فونداسیون، هادی‌های حفاظتی و هادی‌های هم‌بندی حفاظتی

۱۳-۵-۲- الکترود زمین[1]

۱۳-۵-۲-۱- کلیات

۱۳-۵-۲-۱-۱- باید از الکترود زمین برای اتصال سیستم اتصال زمین[2] تاسیسات الکتریکی به جرم کلی زمین[3] استفاده شود.

۱۳-۵-۲-۱-۲- نوع، جنس و اندازه الکترودهای زمین باید به گونه‌ای انتخاب شوند که تحمل خوردگی و تنش‌های مکانیکی کافی را در طول عمر مفید بهره‌برداری مورد انتظار خود داشته باشند.

یادآوری- برای خوردگی، پارامترهای زیر ممکن است در نظر گرفته شوند:

- مقدار pH خاک محل و اسیدهای آلی
- مقاومت ویژه خاک
- رطوبت خاک
- جریان (d.c.) و (a.c.) نشتی و سرگردان
- آلودگی‌های شیمیایی[4]
- وجود یون کلرید و نمک‌های محلول[5] در خاک (نظیر یون سولفات)
- مجاورت با مواد ناهم‌جنس[6]
- پتانسیل کاهشی خاک[7]

۱۳-۵-۲-۱-۳- کیفیت یک الکترود زمین به نحوه پیکره‌بندی[8] آن و شرایط خاک مکانی[9] که در آن اجرا شده بستگی دارد. متناسب با شرایط خاک و مقدار مورد نیاز مقاومت زمین، باید یک یا چند الکترود زمین انتخاب شوند.

یادآوری- هر چند در این نشریه هیچ مقدار خاصی برای مقاومت الکترود زمین تعیین نشده است، با این حال کاهش مقدار مقاومت سیستم الکترود زمین به کم‌ترین مقدار ممکن برای تامین الزامات مورد نیاز اهداف زیر، ضروری است و باید توسط طراح ذیصلاح سیستم زمین در نظر گرفته شود:

---

[1] Earth Electrode
[2] Earthing System
[3] General Mass of Earth
[4] Chemical Contamination
[5] Dissolved Salts and Chlorides
[6] Dissimilar Materials
[7] Redox Potential
[8] Configuration
[9] Local Soil Conditions

۱) ترمینال زمینی حفاظت صاعقه (ر.ک. فصل ۱۵).

۲) اتصال قسمت‌های-رسانای-قابل‌تماس سمت فشارقوی پست برق به سیستم اتصال زمین ساختمان (ر.ک. بخش ۱۳-۸).

۳) کاهش تنش ولتاژ بر روی سیستم عایقی تجهیزات در هنگام وقوع خطای زمین (ر.ک. فصل ۱۴).

۴) کاهش تداخلات الکترومغناطیسی (EMI[1]) (ر.ک. فصل ۱۴).

۵) کاهش ریسک ناشی از قطع هادی PE/PEN در سیستم نیروی برق نوع TN.

۶) کاهش ریسک ناشی از اتصال کوتاه بین قسمت‌های برق‌داری که دارای اختلاف پتانسیل نسبت به جرم کلی زمین هستند و زمین در سیستم نیروی برق نوع TN (مثلا از طریق اتصال هادی فاز به قسمت‌های-رسانای-قابل‌تماس یا قسمت‌های-رسانای-بیگانه که در تماس موثر با جرم زمین هستند ولی به خوبی با سیستم اتصال زمین تاسیسات الکتریکی هم‌بند نشده‌اند، یا مثلاً افتادن هادی لخت فاز روی سطح زمین).

برای کاهش ریسک مذکور، در ردیف‌های ۵ و ۶ بند فوق، علاوه بر اینکه باید مقاومت سیستم الکترود زمین کاهش یابد، باید اتصال مکرر هادی PE/PEN به زمین (موسوم به PME[2]) در طول شبکه توزیع نیروی برق فشارضعیف نیز انجام شود. اینکار در عمل از طریق نصب الکترودهای زمین در فواصل مشخص توسط شرکت توزیع برق و احداث الکترود زمین در نقطه تحویل نیرو به مشترکین توسط مالکین/سازندگان ساختمان‌ها انجام می‌شود (ر.ک. بند ۱۲-۵-۲-۴-۱ فصل ۱۲).

۱۳-۵-۲-۱-۴- برای برآورد مقاومت الکترود زمین در مرحله طراحی باید از روابطی که در استانداردهای معتبر به قرار زیر داده شده است، استفاده کرد:

- بخش ت-۳-۲ استاندارد ملی ایران به شماره ۵۴-۵-۱۹۳۷.
- بخش ۹-۵ استاندارد ملی ایران به شماره ۴۱۲۳.
- پیوست I از استاندارد بین‌المللی IEC 61400-24.

برای الکترودهای زمین با پیکره‌بندی پیچیده یا در شرایطی که مقاومت ویژه خاک در لایه‌های عمودی و/یا افقی مقادیر مختلفی دارد، توصیه می‌شود علاوه بر محاسبات دستی، از نرم‌افزارهای معتبر برای شبیه‌سازی کامپیوتری نیز استفاده شود. در خاک‌های همگن و شبهه همگن، انتظار می‌رود نتایج محاسبات دستی و محاسبات نرم‌افزاری با تقریب قابل قبولی به هم نزدیک باشد.

مقدار مقاومت ویژه خاک که در محاسبات دستی/نرم‌افزاری منظور می‌شود باید بر اساس بدترین شرایط محیطی سایت در طول سال (کم‌ترین رطوبت و/یا پایین‌ترین دمای خاک) در نظر گرفته شود.

[1] Electromagnetic Interference
[2] PME: Protective Multiple Earthing

۱۳-۵-۲-۱-۵- گرادیان پتانسیل در اطراف الکترودهای زمین باید مطابق بند ۹-۶ استاندارد ملی ایران به شماره ۴۱۲۳ محاسبه یا با استفاده از نرم‌افزار معتبر شبیه‌سازی شده و در صورتی‌که مقدار آن برای انسان خطرناک است، باید با کمک روش‌های مناسب (نظیر افزایش تعداد الکترودها، بهبود آرایش، افزایش عمق دفن الکترود، استفاده از مواد کاهنده، افزایش مقاومت سطحی خاک اطراف الکترود و ...) مقدار آن کنترل شود.

۱۳-۵-۲-۱-۶- چگالی جریان در سطح الکترود زمین باید مطابق بخش ۹-۸ استاندارد ملی ایران به شماره ۴۱۲۳ محاسبه شده و باید اطمینان حاصل شود که الکترود زمین ساختمان قادر به مستهلک کردن انرژی آن تحت هر شرایط کاری است.

۱۳-۵-۲-۱-۷- روش‌های تست (آزمون) و تحویل سیستم اتصال زمین و اندازه‌گیری مقاومت ویژه خاک در فصل ۱۶ شرح داده شده است.

۱۳-۵-۲-۲- انواع الکترودهای زمین

۱۳-۵-۲-۲-۱- انواع الکترود زمین مجاز به شرح زیر است:

الف) الکترود زمین فونداسیون تعبیه شده در بتن.

ب) الکترود زمین فونداسیون تعبیه شده در خاک (به‌صورت رینگ یا شبکه مش دور و/یا زیر فونداسیون).

پ) الکترود فلزی که به‌صورت افقی یا عمودی مستقیماً در خاک تعبیه شده باشد (مثل میله، لوله، هادی مدور، سیم چندمفتولی، تسمه، شبکه مش یا صفحه).

۱۳-۵-۲-۲-۲- استفاده از موارد زیر به‌عنوان الکترود زمین مجاز نبوده و تاثیر آن‌ها در کاهش مقاومت زمین نباید در محاسبات یا اندازه‌گیری لحاظ شود:

الف) لوله فلزی آب

ب) لوله فلزی حاوی گازها، مایعات و پودرهای قابل اشتعال

پ) شیلد یا هرگونه پوشش فلزی کابل

ت) آرماتورهای فولادی بتن مسلح بدون اینکه شرایط هادی الکترود زمین فونداسیون به شرح ۱۳-۵-۲-۳ در آن رعایت شده باشد.

ث) ستون‌های فلزی افقی/عمودی اسکلت ساختمان.

یادآوری- این مطلب الزامی بودن هم‌بندی هم‌پتانسیل‌کننده حفاظتی به ترمینال اصلی اتصال زمین برای موارد فوق (جهت انطباق با بند ۱۲-۵-۲-۳-۱-۲ فصل ۱۲) را نقض یا منتفی نمی‌کند.

۱۳-۵-۲-۳- الکترود زمین فونداسیون (پی سازه)

۱۳-۵-۲-۳-۱- اجرای الکترود زمین فونداسیون به شکل یک شبکه مش برای تمامی انواع ساختمان‌ها، به‌صورت زیر الزامی است:

الف) الکترود زمین فونداسیون تعبیه شده در بتن در جایی که فونداسیون (پی/شالوده) ساختمان با خاک تماس مستقیم دارد

ب) الکترود زمین فونداسیون تعبیه شده در خاک (الکترود زمین رینگ) در جایی‌که فونداسیون ساختمان توسط عایق حرارتی/رطوبتی به طور کامل از خاک اطراف ایزوله شده باشد.

یادآوری ۱- هادی الکترود زمین فونداسیون تعبیه شده در خاک باید خارج از لایه عایق‌بندی و در تماس مستقیم با خاک اجرا شود.

یادآوری ۲- در صورت اجرای الکترود زمین فونداسیون تعبیه شده در خاک، لازم است یک شبکه هم‌بندی اسکلت نیز بر روی فونداسیون ساختمان اجرا شود (ر.ک. بند ۱۳-۷-۴).

۱۳-۵-۲-۳-۲- ابعاد شبکه مش الکترود زمین فونداسیون نباید از ۲۰×۲۰ متر بزرگ‌تر باشد. در صورتی‌که ساختمان مجهز به سیستم حفاظت صاعقه باشد ابعاد شبکه مش الکترود زمین فونداسیون نباید از ۱۰×۱۰ متر بزرگ‌تر باشد.

یادآوری- در ساختمان‌های کوچک اجرای یک رینگ به‌صورت حلقه بسته، مشروط بر اینکه ابعاد آن از شبکه مش مربوطه کوچک‌تر باشد، کفایت می‌کند.

۱۳-۵-۲-۳-۳- نحوه طراحی، اجرا و مستندسازی الکترود زمین فونداسیون (تعبیه شده در بتن یا خاک) باید مطابق با شماره‌ای از استاندارد ملی ایران که معادل با استاندارد DIN 18014 است، باشد.

۱۳-۵-۲-۳-۴- جنس، شکل و اندازه انواع هادی‌های مجاز به‌عنوان الکترود زمین فونداسیون تعبیه شده در بتن در جدول (۱۳-۱) و به‌عنوان الکترود زمین فونداسیون تعبیه شده در خاک در جدول (۱۳-۳) داده شده است.

یادآوری- استفاده از فولاد گالوانیزه عمقی داغ[1] برای هادی الکترود زمین فونداسیون تعبیه شده در خاک مجاز نیست (ر.ک. بند ۱۳-۵-۲-۵-۶).

[1] به انگلیسی Hot Dipped Galvanized Steel، در برخی منابع به‌صورت "فولاد گالوانیزه غوطه‌وری گرم" یا خلاصه‌تر "فولاد گالوانیزه یا "فولاد گالوانیزه داغ" معادل‌سازی شده است

۱۳-۵-۲-۳-۵- هادی الکترود زمین فونداسیون تعبیه شده در بتن باید به گونه‌ای جاسازی شود که کوتاه‌ترین فاصله را با خاک داشته باشد. با این حال نباید ضخامت بتن روی هادی تا سطح تماس با خاک در هیچ نقطه‌ای از ۵۰ میلی‌متر کم‌تر شود.

۱۳-۵-۲-۳-۶- برای دسترسی به شبکه مش الکترود زمین فونداسیون تعبیه شده در بتن (یا شبکه مش هم‌بندی فونداسیون) باید تعدادی صفحات/نقاط اتصال زمین[1] در پایین‌ترین طبقه ساختمان و در موقعیت‌های زیر در نظر گرفته شود:

- در ستون‌ها یا دیوار بتنی پیرامون ساختمان به فواصلی که از ۲۰ متر بیش‌تر نباشند.
- در داخل هر یک از چاهک‌های آسانسور.
- در مجاورت تابلوهای توزیع برق در صورت وجود.
- در مجاورت تابلو لوازم اندازه‌گیری انرژی الکتریکی (تابلو کنتور) در صورت وجود.
- در مجاورت تمام رایزرهای برق و سیستم‌های جریان ضعیف.
- در صورت وجود در نقطه یا نقاط ورود لوله‌های تاسیساتی فلزی (آب، گاز، فاضلاب و غیره) به ساختمان.

یادآوری- هادی واسط مابین صفحه اتصال زمین و شبکه مش باید مشابه با هادی شبکه مش در فونداسیون (به‌عنوان الکترود زمین یا به‌عنوان هم‌بندی) باشد.

۱۳-۵-۲-۳-۷- در ساختمان‌های اسکلت فلزی، باید تمام ستون‌ها به شبکه مش الکترود زمین فونداسیون تعبیه شده در بتن (یا شبکه مش هم‌بندی فونداسیون) متصل شوند. برای این منظور کافی است اتصال مناسب با حداقل دو مورد از انکربولت‌های هر صفحه ستون[2] برقرار شود.

۱۳-۵-۲-۴- الکترود زمین تکمیلی

۱۳-۵-۲-۴-۱- در صورتی‌که به دلایلی نظیر کوچک بودن سطح تماس فونداسیون با خاک یا عمق کم فونداسیون در خاک، رسیدن به مقاومت زمین مطلوب در تمام طول سال از طریق احداث الکترود زمین فونداسیون به تنهایی مقدور نباشد، می‌توان از سایر انواع الکترودهای زمین مجاز، در ترکیب با الکترود زمین فونداسیون بهره برد. در صورت استفاده از الکترود زمین تکمیلی، باید جنس آن به گونه‌ای باشد که با الکترود زمین فونداسیون، تشکیل پیل گالوانیک ندهد.

---

[1] به انگلیسی Earthing Plate/Point، قطعه‌ای است فلزی که به طور کامل در داخل بتن (ستون یا دیوار بتنی) جاسازی شده و در تماس مستقیم با شبکه مش تعبیه شده در بتن است.

[2] Base Plate Anchor Bolt

۱۳-۵-۲-۴-۲- در جایی که انتظار می‌رود جریان نشتی زمین پیوسته و بزرگی[1] از الکترود زمین فونداسیون تعبیه شده در بتن جاری شود، توصیه می‌شود به منظور جلوگیری از خوردگی آرماتورهای فونداسیون یا کاهش نرخ آن، از انواع دیگر الکترودهای زمین که شرح آن در این بخش می‌رود، به‌عنوان الکترود اصلی استفاده شود. در این صورت از الکترود زمین فونداسیون تعبیه شده در بتن، می‌توان به‌عنوان الکترود کمکی[2] بهره برد.

یادآوری- خوردگی آرماتورهای فونداسیون ناشی از عبور جریان خطای (a.c.) ناچیز فرض می‌شود.

۱۳-۵-۲-۴-۳- کوبیدن میله/لوله در خاک بکر (دست نخورده) موثرترین و متداول‌ترین نوع الکترود زمین است و نسبت به سایر انواع الکترود زمین اولویت دارد. حداقل طول در تماس با خاک بکر برای یک میله/لوله منفرد نباید از ۲ متر کم‌تر باشد[3]. کوبیدن میله/لوله با طول زیاد (مثلا از طریق اتصال چند میله/لوله با طول کم‌تر به هم برای رسیدن به عمق ۶ الی ۲۰ متری زمین) به دلیل ارتباط با بخشی از خاک که به لحاظ میزان دما و رطوبت تغییرات محدودی در طول سال دارد منجر به حصول یک سیستم زمین پایدار می‌شود.

۱۳-۵-۲-۴-۴- گاهی بجای کوبیدن، اجرای میله/لوله به‌صورت دفنی انجام می‌شود. در این‌حالت باید حفره عمیقی (با عمق بیش از دو متر) به قطر بین ۷٫۵ الی ۳۰ سانتی‌متر توسط ماشین حفاری ایجاد شده و یک الکترود زمین از نوع میله یا لوله به اندازه ۳۰ سانتی‌متر در کف آن کوبیده شود. سپس حفره از کف تا نزدیکی سطح زمین با مواد کاهنده استاندارد یا خاک مناسب پر و به خوبی فشرده شود (شکل ۱۳-۲-الف). عملکرد و کارایی این نوع الکترود زمین نباید هیچ‌گونه وابستگی به تزریق دوره‌ای آب یا الکترولیت داشته باشد.

یادآوری ۱- منظور از خاک مناسب در بند فوق، خاکی است که حائز سه ویژگی زیر باشد:

الف- دانه‌بندی بسیار ریز و پودری شکل داشته باشد (به طور مثال خاک آسیاب شده یا سرند شده).

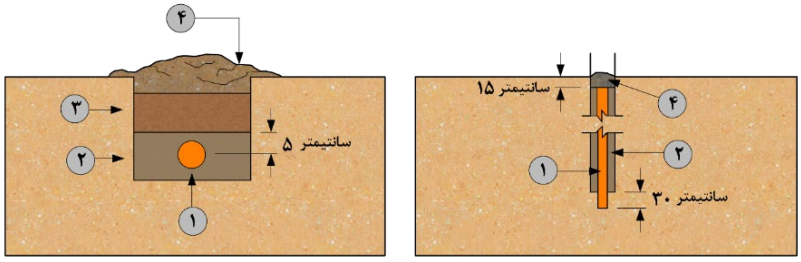
ب- اطمینان حاصل شود که حاوی مواد خورنده (نظیر کلر، آمونیاک و سولفات) نیست یا مقدار آن‌ها ناچیز است.

پ- مقاومت ویژه آن در حالت فشرده و در یک شرایط محیطی مشابه (به طور مثال رطوبت و دمای یکسان)، بیش‌تر از مقاومت ویژه خاک بکر محل اجرای الکترود زمین نباشد.

۱۳-۵-۲-۴-۵- در صورت نیاز به حفر کانال جهت دفن هادی الکترود زمین به‌صورت افقی، عمق دفن هادی باید حداقل ۵۰ سانتی‌متر پایین‌تر از سطح زمین (یا بیش‌تر از عمق یخ زدگی خاک) باشد. توصیه می‌شود اطراف هادی با

[1] Significant Continuous Earth Leakage Current
[2] Auxiliary Electrode
[3] این جمله بدان معنی نیست که طول الکترود باید ۲ متر باشد.

مواد کاهنده استاندارد یا خاک مناسب (مطابق یادآوری بند قبل) پر و به خوبی فشرده شود به گونه‌ای که ضخامت پوشش مواد کاهنده بر روی هادی الکترود زمین در هیچ جهتی کم‌تر از ۵ سانتی‌متر نباشد (شکل ۱۳-۲-ب).



(ب) (الف)

۱ هادی ۳ خاک سرند شده
۲ مواد کاهنده ۴ خاک دستی

شکل ۱۳-۲- اجرای الکترودهای قائم و افقی با استفاده از مواد کاهنده استاندارد

۱۳-۵-۲-۴-۶- اجرای الکترود زمین صفحه‌ای تنها در مواردی توصیه می‌شود که فضای در دسترس برای احداث الکترود زمین محدود بوده و هم‌زمان به دلیل سفت بودن خاک امکان کوبیدن میله یا ایجاد حفره‌های عمیق وجود ندارد. در این حالت ایجاد یک چاهک کم عمق به نحوی که فاصله لبه بالایی صفحه از سطح زمین حداقل ۱٫۵ متر باشد و جاسازی صفحه در آن، باعث افزایش سطح تماس الکترود زمین با خاک می‌شود. اجرای این نوع الکترود زمین به دلیل کم اثر بودن باید جزو آخرین اولویت‌ها در بین انواع الکترودهای زمین مجاز در این نشریه باشد و در صورت اجرای آن، توجه ویژه‌ای باید از حیث حفاظت در برابر خوردگی به نقطه اتصال هادی اتصال زمین به صفحه شود[۱].

۱۳-۵-۲-۴-۷- در هنگام انتخاب نوع و عمق جاسازی یک الکترود زمین، باید به آسیب‌های مکانیکی محتمل و به شرایط خاص محل دفن الکترود با هدف به حداقل رساندن اثر نامطلوب ناشی از خشک شدن یا یخ زدگی خاک توجه شود.

۱۳-۵-۲-۴-۸- الکترودهای زمین نباید مستقیماً در مسیر آب‌های جاری مانند نهر، رودخانه، تالاب، دریاچه و موارد مشابه غوطه‌ور شوند.

۱۳-۵-۲-۴-۹- الکترودهای زمین باید از موادی که باعث خوردگی آن‌ها می‌شود، دور نگه داشته شوند.

---

[۱] بر اساس این نشریه از اجرای روش سنتی احداث الکترود زمین موسوم به "چاه ارت" از طریق حفر چاه عمیق (بیش از ۳ متر) و قطر زیاد (بیش از ۵۰ سانتی‌متر) و دفن صفحات بزرگ یا یک هادی حلقه شده به شکل یک فنر بزرگ (موسوم به ۵ حلقه) و یا سایر اشکال هندسی و سپس پوشاندن اطراف الکترود در یک بخش محدود از عمق چاه توسط مواد کاهنده و تعبیه یک سیستم تزریق مصنوعی آب یا الکترولیت، تا حد امکان باید اجتناب شود.

۱۳-۵-۲-۴-۱۰- توصیه می‌شود هادی اتصال زمین در نقطه خروج از بتن یا خاک به هوا، جهت جلوگیری از خوردگی به طول حداقل ۰٫۳ متر توسط نوار ضد خوردگی یا روکش حرارتی (شیرینگ) پوشش داده شده و هم‌چنین جهت حفاظت مکانیکی از داخل لوله الکتریکی مناسب عبور داده شوند.

۱۳-۵-۲-۵- اندازه و جنس الکترود زمین

۱۳-۵-۲-۵-۱- حداقل مشخصات ابعادی الکترودهای زمین در صورتی‌که برای تعبیه در بتن طراحی شده باشند باید مطابق جدول (۱۳-۲) بوده و در صورتی‌که برای تعبیه در خاک طراحی شده باشند باید از جدول (۱۳-۳) تبعیت کنند.

یادآوری ۱- آرماتورهای موجود در فونداسیون و اسکلت بتن مسلح شرایط لازم برای فراهم کردن پیوستگی الکتریکی مورد نیاز الکترود زمین و هم‌بندی هم‌پتانسیل‌کننده حفاظتی را ندارد.

جدول ۱۳-۲- حداقل اندازه هادی‌های مجاز به‌عنوان الکترود زمین و هم‌بندی حفاظتی و عملکردی تعبیه شده در بتن فونداسیون

جنس	شکل	قطر mm	سطح مقطع mm^2	ضخامت mm	وزن روکش g/m^2	ضخامت روکش/غلاف µm
مس	تسمه	–	۵۰	۲	–	–
	هادی مدور	۸	۵۰	–	–	–
فولاد ضدزنگ الف[1]	تسمه	–	۷۵	۳	–	–
	هادی مدور	۱۰	۷۸	–	–	–
فولاد گالوانیزه عمقی داغ ب	تسمه	–	۷۵	۳	۵۰۰	۶۳
	هادی مدور	۱۰	۷۸	–	۳۵۰	۴۵

الف- ۱۶٪ ≤ کروم ۵٪ ≤ نیکل، ۲٪ ≤ مولیبدیم، ۰٫۰۸٪ ≤ کربن.
ب- روکش باید صاف، پیوسته و فاقد شُرّه[2] باشد.

۱۳-۵-۲-۵-۲- در مناطق ساحلی[3] که ممکن است نمک در آب‌های زمینی[4] آن وجود داشته باشد، توصیه می‌شود از به کارگیری فولاد گالوانیزه (به‌عنوان هادی الکترود زمین فونداسیون تعبیه شده در بتن) در تماس با آرماتورهای بتن مسلح (در داخل بتن) اجتناب شود.

۱۳-۵-۲-۵-۳- سیستم اتصال زمین (تعبیه شده در خاک) از جنس فولاد ضدزنگ و مس می‌تواند مستقیماً به آرماتور فولادی در داخل بتن متصل شود.

[1] Stainless Steel
[2] Flux Stains
[3] Coastal Areas
[4] Ground Water

۱۳-۵-۲-۵-۴- توصیه می‌شود سطح مقطع هادی رینگ پیرامونی الکترود زمین فونداسیون تعبیه شده در بتن از مقادیر حداقلی داده شده در جدول (۱۳-۲) بزرگ‌تر و مقاوم‌تر انتخاب شود، مثلا هادی مدور مسی با قطر ۱۰ میلی‌متر یا هادی مدور فولادی (فولاد ضد زنگ یا فولاد گالوانیزه عمقی داغ) با قطر ۱۲ میلی‌متر.

۱۳-۵-۲-۵-۵- با توجه به اینکه پارامتر اندوکتانس تسمه در مقایسه با هادی مدور کم‌تر است، توصیه می‌شود به خصوص در کاربردهای فرکانس بالا و ساختمان‌های مجهز به حفاظت صاعقه، کل یا بخشی از هادی‌های شبکه مش میانی الکترود زمین فونداسیون تعبیه شده در بتن از نوع تسمه انتخاب شود.

۱۳-۵-۲-۵-۶- در جایی که ریسک عبور جریان‌های بزرگ از سیستم الکترود زمین وجود دارد، مثلاً در ساختمان‌هایی با سطح فونداسیون بسیار وسیع یا در جایی که مقدار سطح جریان اتصال کوتاه بسیار بزرگ باشد، توصیه می‌شود از مقاطع بزرگ‌تر هادی الکترود زمین نسبت به مقادیر داده شده در جدول (۱۳-۲) استفاده شود.

یادآوری- در این گونه موارد استفاده از تسمه از جنس مس، فولاد ضد زنگ و فولاد گالوانیزه عمقی داغ تا سطح مقطع نهایتاً ۲۰۰ میلی‌مترمربع عملیاتی خواهد بود.

۱۳-۵-۲-۵-۷- در الکترود زمین کوبشی با استفاده از میله، هر چقدر قطر میله بیش‌تر باشد، سطح و نیروی تماس بین الکترود زمین و خاک اطراف افزایش می‌یابد که در نتیجه این موجب بهبود کارایی الکترود زمین می‌شود. بر این اساس توصیه می‌شود تا جایی که ممکن است از میله با قطر بزرگ‌تر به نسبت مقادیر داده شده در جدول (۱۳-۳)، مثلاً ۲۰ و ۲۵ میلی‌متر استفاده شود.

یادآوری- یکی دیگر از مزایای استفاده از میله‌های قطور، کوپلینگ بهتر بین میله‌های کوتاه و در نتیجه سهولت رسیدن به اعماق عمیق‌تر از خاک است (ر.ک. به بند ۱۳-۵-۲-۴-۳).

۱۳-۵-۲-۵-۸- الکترود زمین از جنس فولاد گالوانیزه، در خاک (مثلاً به‌عنوان ترمینال زمینی سیستم حفاظت صاعقه) باید از طریق ایزوله‌کننده قوسی (ISG[1]) به آرماتورهای فولادی در بتن متصل شود. اتصال مستقیم در خاک ریسک خوردگی را به شکل قابل توجهی افزایش می‌دهد.

۱۳-۵-۲-۵-۹- در خاک رسی یا مرطوب، فولاد گالوانیزه ممکن است خورده شود.

[1] Isolating Spark Gap

جدول ۱۳-۳- حداقل اندازه الکترودهای زمین مجاز تعبیه شده در خاک

جنس	شکل	قطر mm	سطح مقطع			ضخامت mm	وزن روکش g/m^2	ضخامت روکش/غلاف µm
			هادی mm^2	میله/لوله mm^2	صفحه cm^2			
مس، مس قلع‌اندود[1]	تسمه	–	۵۰	–	–	۲	–	–
	هادی مدور	۸	۵۰	–	–	–	–	–
	میله گرد	۱۵	–	۱۷۶	–	–	–	–
	سیم چندمفتولی	۱٫۷ برای هر یک از مفتول‌های سیم	۵۰	–	–	–	–	–
	لوله	۲۰	–	۱۱۰	–	۲	–	–
	صفحه تو پر	–	–	–	۲۵۰۰	۲	–	–
	صفحه مشبک[2]	–	–	–	۳۶۰۰	–	–	–
فولاد ضدزنگ[3]	تسمه	–	۱۰۰	–	–	۳	–	–
	هادی مدور	۱۰	۷۸	–	–	–	–	–
	میله گرد	۱۵	–	۱۷۶	–	–	–	–
	لوله	۲۵	–	۱۴۰	–	۲	–	–
فولاد گالوانیزه عمقی داغ[4]	تسمه	–	۹۰	–	–	۳	۵۰۰	۶۳
	هادی مدور	۱۰	۷۸	–	–	–	۳۵۰	۴۵
	میله گرد	۱۴	–	۱۵۰	–	–	۳۵۰	۴۵
	لوله	۲۵	–	۱۴۰	–	۲	۳۵۰	۴۵
	صفحه تو پر	–	–	–	۲۵۰۰	۳	۵۰۰	۶۳
	صفحه مشبک[5]	–	–	–	۳۶۰۰	–	۵۰۰	۶۳
	پروفیل	–	–	۲۹۰	–	۳	۵۰۰	۶۳
فولاد روکش مس[6]	تسمه	–	۹۰	–	–	۳	–	۷۰
	هادی مدور	۸	۵۰	–	–	–	–	۲۵۰
	هادی مدور	۱۰	۷۸	–	–	–	–	۷۰
	میله گرد	۱۴	–	۱۵۰	–	–	–	۲۵۰

۱- قلع‌اندود کردن با روش غوطه‌وری داغ یا الکتروپلیت ممکن خواهد بود. حداقل ضخامت روکش باید ۱ میکرومتر باشد. از آنجا که قلع‌اندود کردن مس تنها با هدف زیبایی[1] انجام می‌شود، اندازه‌گیری ضخامت روکش الزامی نیست.

۲- صفحه مشبک باید با حداقل مجموع طول هادی برابر ۴٫۸ متر و در ابعاد ۶۰۰×۶۰۰ میلی‌متر متشکل از تسمه با سطح مقطع ۲۵×۲ میلی‌متر یا هادی مدور با قطر ۸ میلی‌متر ساخته شده باشد.

۳- ۱۶٪ ≥ کروم، ۵٪ ≥ نیکل، ۲٪ ≥ مولیبدیم، ۰٫۰۸٪ ≤ کربن.

۴- روکش باید صاف، پیوسته و فاقد شُرّه باشد.

۵- صفحه مشبک باید با حداقل مجموع طول هادی برابر ۴٫۸ متر و در ابعاد ۶۰۰×۶۰۰ میلی‌متر متشکل از تسمه با سطح مقطع ۳۰×۳ میلی‌متر یا هادی مدور با قطر ۱۰ میلی‌متر ساخته شده باشد.

۶- روکش مسی باید ذاتا به مغز فولاد جوش (متصل) شود. ضخامت روکش را می‌توان با استفاده از لوازم اندازه‌گیری ضخامت سنج الکترونیکی اندازه‌گیری کرد.

یادآوری- فولاد گالوانیزه در بتن به دلیل امکان خوردگی فولاد در نقطه خروج از بتن، نباید به داخل خاک امتداد یابد.

[1] Aesthetic

۱۳-۵-۲-۵-۱۰- در موارد زیر توصیه می‌شود از میله/لوله دارای روکش محافظتی (نظیر فولاد روکش مس و فولاد گالوانیزه) برای کوبیدن در خاک استفاده نشده و به جای آن از میله/لوله تماماً مسی یا تماماً از جنس فولاد ضدزنگ استفاده شود:

- در خاک‌هایی که به علت نوع دانه‌بندی احتمال خراشیده شدن روکش میله/لوله هنگام کوبیده شدن داده شود،
- در خاک‌های خورنده‌ای که احتمال داده شود با از بین رفتن لایه نازک روکش، عمر بهره‌برداری الکترود زمین به شدت کاهش یابد.

۱۳-۵-۲-۵-۱۱- تمامی انواع الکترودهای زمین باید مطابق استاندارد ملی ایران به شماره ۲-۱۸۴۹۹ و/یا شیوه‌نامه مربوطه در مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی ساخته و آزموده شده باشند (ر.ک. بخش ۱۳-۱۰).

۱۳-۵-۲-۶- مواد کاهنده مقاومت خاک[1]

۱۳-۵-۲-۶-۱- در مواردی‌که نیاز به حفر کانال یا چاه برای دفن الکترود زمین در خاک باشد، ممکن است برای کاهش بیش‌تر مقاومت زمین، اطراف الکترود با استفاده از مواد کاهنده پر و فشرده شود.

۱۳-۵-۲-۶-۲- مواد کاهنده زمین باید از نظر شیمیایی برای اکوسیستم خاک بی‌خطر بوده و محیط را آلوده ننمایند. این مواد باید یک محیط پایدار از لحاظ ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی تامین کنند و مقاومت ویژه نسبتاً پایینی داشته باشند. مواد کاهنده زمین نباید باعث خوردگی الکترودهای زمین شوند.

۱۳-۵-۲-۶-۳- در مواردی‌که هدف اصلی از استفاده از ماده کاهنده کاهش مقامت زمین باشد (مثلا در خاک‌هایی با مقاومت ویژه بالا)، مواد کاهنده باید به گونه‌ای انتخاب شوند که مقاومت ویژه آن در تمامی شرایطی محیطی نسبت به خاک محلی سایت بسیار کوچک‌تر (بیش از ۱۰ برابر) بوده و کارایی این مواد هیچ‌گونه وابستگی به آبیاری و/یا تزریق دوره‌ای الکترولیت نداشته باشد.

۱۳-۵-۲-۶-۴- از آنجا که بتن معمولی در صورت خشک شدن یا انجماد، عایق الکتریکی محسوب می‌شود و مقاومت ویژه بسیار بزرگی پیدا می‌کند و امکان هدایت جریان در آن وجود ندارد استفاده از آن به تنهایی به‌عنوان ماده کاهنده زمین توصیه نمی‌شود.

[1] Earthing Enhancing Compounds

۱۳-۵-۲-۶-۵- استفاده از ترکیب سنتی ذغال و نمک به‌عنوان ماده کاهنده زمین به علت خورنده بودن شدید مجاز نیست. علاوه بر آن افزودن هرگونه مواد خورنده نظیر نمک خوراکی، ذغال چوب و مواد حاوی یون کلرید و سولفات به سایر ترکیبات کاهنده زمین به طور کلی ممنوع است.

۱۳-۵-۲-۶-۶- در صورتی‌که برای آماده‌سازی ماده کاهنده از آب استفاده شده باشد یا محل دفن الکترود قبل یا بعد از ریختن ماده کاهنده آبیاری شده باشد، اندازه‌گیری مقاومت زمین الکترود باید با یک فاصله زمانی قابل توجه از زمان احداث آن انجام شود. به گونه‌ای که اطمینان حاصل شود در زمان اندازه‌گیری، آب تزریق شده مصنوعی به خاک یا ماده کاهنده به طور کامل از آن خارج شده باشد.

۱۳-۵-۲-۶-۷- مواد کاهنده زمین باید بر اساس آخرین ویرایش استاندارد ملی ایران به شماره ۷-۱۸۴۹۹ و/یا شیوه‌نامه مربوطه در مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی ساخته و آزموده شده باشند (ر.ک. بخش ۱۳-۱۰).

۱۳-۵-۲-۶-۸- در فرآیند انجام آزمون خوردگی و آزمون تعیین مقاومت ویژه در آزمایشگاه برای تعیین منحنی‌های تافل و اندازه‌گیری مقاومت پلاریزاسیون (قطبش) و آزمون مقاومت ویژه با حداقل مقدار ممکن آب انجام پذیرد و در نتایج باید درصد آب به ماده خشک قید شود.

۱۳-۵-۲-۷- اتصالات

۱۳-۵-۲-۷-۱- زمانی‌که الکترود زمین از اجزایی تشکیل شده است که باید به یکدیگر در زیر خاک متصل شوند، این اتصال باید با استفاده از جوش احتراقی[1]، اتصالات پرسی[2]، کلمپ یا سایر اتصالات مکانیکی مناسب انجام شود.

یادآوری- در مورد الکترود مدفون در بتن، برای اهداف حفاظتی ایجاد اتصال صرفاً با استفاده از پیچاندن سیم‌های مفتولی آهنی[3] قابل قبول نیست.

۱۳-۵-۲-۷-۲- باید از اتصالات مطمئن و به لحاظ الکتریکی رضایت‌بخش برای اتصال هادی اتصال زمین به الکترود زمین استفاده شود. این اتصال باید با استفاده از جوش احتراقی، اتصالات پرسی، کلمپ یا سایر اتصالات مکانیکی مناسب انجام شود.

۱۳-۵-۲-۷-۳- اتصالات مکانیکی باید مطابق دستورالعمل سازنده نصب گردند.

[1] Exothermic Welding
[2] Pressure Connectors
[3] Wrapped Iron Wire

۱۳-۵-۲-۷-۴- زمانی‌که از کلمپ استفاده می‌شود نباید در اثر محکم کردن آن، به الکترود یا هادی اتصال زمین صدمه‌ای وارد کند.

۱۳-۵-۲-۷-۵- از آنجا که لوازم و تجهیزات اتصال لحیمی استقامت مکانیکی مطمئنی فراهم نمی‌کنند نباید استفاده شوند.

۱۳-۵-۲-۷-۶- تمامی اتصالات مدفون در خاک از هر نوعی که باشد باید با استفاده از نوار محافظ‌خوردگی[1] در نقاط اتصال محافظت شود.

۱۳-۵-۲-۷-۷- تمام اتصالات باید مطابق استاندارد ملی ایران به شماره ۱-۱۸۴۹۹ و/یا شیوه‌نامه مربوطه در مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی ساخته و آزموده شده باشند (ر.ک. بخش ۱۳-۱۰).

۱۳-۵-۲-۷-۸- برای اتصالات از جنس آلیاژ مس که در بتن مدفون نمی‌شود، نباید میزان عنصر مس به لحاظ وزنی از ۸۰ درصد کم‌تر باشد.

۱۳-۵-۲-۷-۹- برای اتصال اجزای الکترود زمین تعبیه شده در بتن به یکدیگر باید از کلمپ‌هایی با جنسی مناسب با نوع هادی بهره برد (مثلا فولاد گالوانیزه، فولاد ضد زنگ یا مسی). ولی برای اتصال هادی الکترود زمین فونداسیون به آرماتورهای فولادی در داخل بتن می‌توان از کلمپ‌های فولادی بدون روکش محافظ استفاده کرد.

یادآوری- باید از تماس مستقیم بین هادی و اتصالات مسی (و آلیاژ مسی) و هادی و اتصالات از جنس فولاد گالوانیزه در داخل خاک یا بتن خودداری شود.

۱۳-۵-۲-۸- دریچه بازدید

۱۳-۵-۲-۸-۱- دریچه بازدید الکترود زمین[2] محفظه‌ای است فلزی یا غیرفلزی که بر روی الکترود زمین، به خصوص الکترودهای عمودی، با هدف بازرسی اتصالات، انجام آزمون بر روی الکترود زمین و جایگزینی احتمالی میله‌های قائم قرار می‌گیرد. البته نصب آن برای تمامی الکترودهای زمین الزامی نیست.

۱۳-۵-۲-۸-۲- دریچه بازدید باید مطابق استاندارد ملی ایران به شماره ۵-۱۸۴۹۹ و/یا شیوه‌نامه مربوطه در مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی ساخته و آزموده شده باشد (ر.ک. بخش ۱۳-۱۰).

[1] Corrosion Protection or Anti-Corrosion Tape
[2] Earth Electrode Inspection Housing

۱۳-۵-۳- هادی اتصال زمین[1]

۱۳-۵-۳-۱- هادی اتصال زمین باید تمامی الزامات زیر را پاس کند:

۱) شرایط بندهای ۱۳-۶-۱-۱ و ۱۳-۶-۱-۲.

۲) سطح مقطع آن نباید از ۲۵ میلی‌مترمربع برای مس یا ۵۰ میلی‌مترمربع برای فولاد کوچک‌تر باشد.

۳) در صورتی‌که هادی اتصال به زمین لخت بوده و در زیر خاک دفن شده باشد، ابعاد و مشخصات آن باید مطابق الزامات الکترودهای زمین (جدول (۱۳-۳)) تعیین شود.

۴) هادی آلومینیومی با یا بدون روکش نباید به‌عنوان هادی اتصال زمین استفاده شود.

۱۳-۵-۴- ترمینال اصلی اتصال زمین (MET)

۱۳-۵-۴-۱- در هر تاسیساتی که هم‌بندی هم‌پتانسیل‌کننده حفاظتی استفاده شده است، باید ترمینال اصلی اتصال زمین فراهم گردیده و موارد زیر باید به آن متصل شوند (ر.ک. شکل (۱۳-۳)):

- هادی‌های هم‌بندی حفاظتی،
- هادی‌های اتصال زمین،
- هادی‌های حفاظتی،
- در موارد مربوط، هادی‌های اتصال زمین عملکردی.

یادآوری ۱- اتصال مستقیم هر یک از هادی‌های حفاظتی به ترمینال اصلی اتصال زمین در حالی که از طریق سایر هادی‌های حفاظتی به این ترمینال متصل شده‌اند، مورد نظر نیست.

یادآوری ۲- می‌توان از ترمینال اصلی اتصال زمین ساختمان برای اهداف اتصال زمین عملکردی استفاده کرد. برای اهداف فن‌آوری اطلاعات (IT[2])، این ترمینال به‌عنوان نقطه اتصال به زمین در نظر گرفته می‌شود.

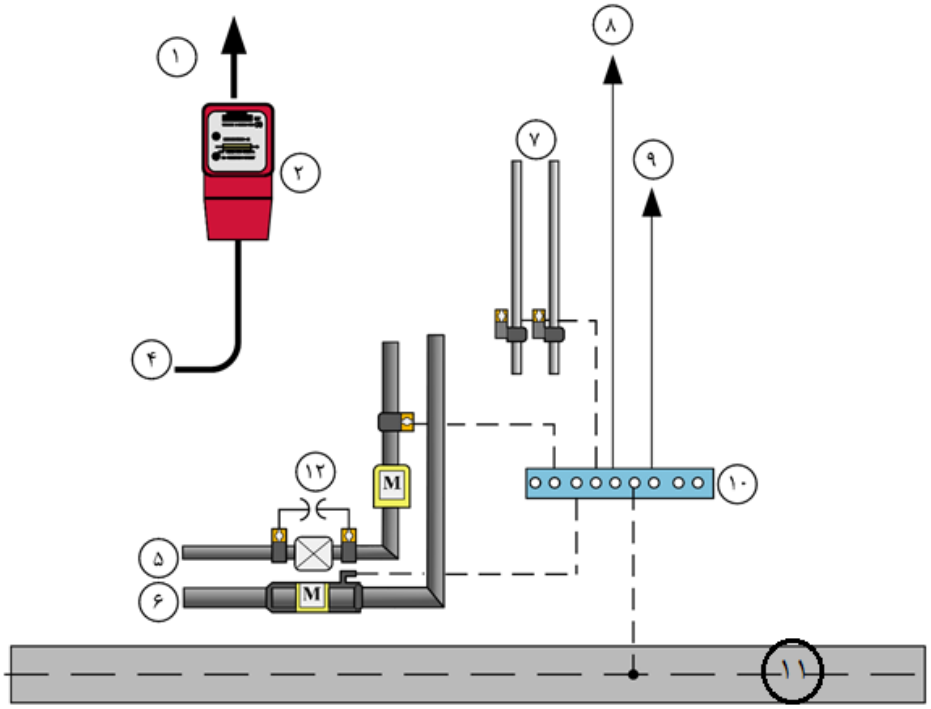
در صورتی‌که بیش از یک ترمینال اتصال زمین موجود باشد، باید همه آن‌ها به یکدیگر هم‌بند گردند.

۱۳-۵-۴-۲- هر یک از هادی‌های متصل به ترمینال اصلی اتصال زمین باید به‌صورت مستقل قابل جدا کردن باشند. این اتصال باید قابل اطمینان بوده و به گونه‌ای باشد که فقط به وسیله نوعی ابزار بتوان آن را جدا نمود.

یادآوری- ممکن است قابلیت جدا کردن به شکل مناسبی با ترمینال اصلی اتصال زمین ترکیب شده تا اجازه اندازه‌گیری مقاومت الکترود زمین را بدهد.

---

[1] Earthing Conductor
[2] IT: Information Technology



۱	تغذیه برق در سمت مشترک	۸	لوازم الکترونیکی
۲	تابلو لوازم اندازه‌گیری انرژی الکتریکی (کنتور برق)	۹	شیلد کابل آنتن
۴	تغذیه برق در سمت شبکه توزیع (در سیستم TN هادی PEN/PE باید به MET متصل شود)	۱۰	ترمینال اصلی اتصال زمین (MET)
۵	لوله گاز فلزی با رابط عایق‌کننده	۱۱	الکترود زمین فونداسیون
۶	لوله آب فلزی	۱۲	ایزوله‌کننده قوسی (ISG)
۷	سیستم گرمایش مرکزی	M	لوازم اندازه‌گیری (کنتور)

شکل۱۳-۳- مثالی از آرایش هم‌بندی هم‌پتانسیل‌کننده

۱۳-۶- هادی‌های حفاظتی[1]

یادآوری- الزامات داده شده در بند 516 استاندارد IEC 60364-5-51 باید در نظر گرفته شوند.

۱۳-۶-۱- حداقل سطح مقطع

۱۳-۶-۱- سطح مقطع هادی حفاظتی باید شرایط قطع خودکار مدار تغذیه را مطابق بند ۱۲-۵-۲ فصل ۱۲ برآورده نموده و توانایی تحمل تنش‌های مکانیکی و حرارتی ناشی از جریان اتصال کوتاه مورد انتظار[2] در طول زمان قطع وسیله حفاظتی را داشته باشد.

[1] Protective Conductors
[2] Prospective Fault Current

سطح مقطع هادی حفاظتی یا باید مطابق بند ۱۳-۶-۱-۲ محاسبه شود یا مطابق جدول (۱۳-۴) انتخاب شود. در هر دو مورد الزامات بند ۱۳-۶-۱-۳ باید لحاظ شوند. ترمینال‌های در نظر گرفته شده برای اتصال هادی‌های حفاظتی با اندازه‌ای که توسط مطالب این نشریه الزام می‌شود، باید مطابقت داشته باشند.

۱۳-۶-۱-۲- سطح مقطع هادی‌های حفاظتی نباید از یکی از مقادیر زیر کوچک‌تر باشد:

- مقداری که مطابق استاندارد IEC 60949 تعیین شده باشد.
- به وسیله فرمول زیر که تنها برای زمان قطع حداکثر ۵ ثانیه قابل استفاده است، تعیین شده باشد:

$$S = \frac{\sqrt{I^2 t}}{k} \qquad (۱-۱۳)$$

که در آن:

S: سطح مقطع بر حسب میلی‌مترمربع است،

I: مقدار موثر جریان مورد انتظار خطا بر حسب آمپر برای خطا با امپدانس ناچیز است که می‌تواند از وسیله حفاظتی عبور کند (ر.ک. استاندارد IEC 60909-0)،

t: زمان عملکرد وسیله حفاظتی برای قطع خودکار بر حسب ثانیه است،

k: ضریبی بر حسب جنس هادی حفاظتی، عایق و سایر قسمت‌های و دمای اولیه و نهایی است (برای محاسبه k به پیوست الف استاندارد ملی ایران به شماره ۱۹۳۷-۵-۵۴ مراجعه شود).

در مواردی‌که نتیجه رابطه فوق منجر به اندازه‌ای خارج از استاندارد شود، باید نزدیک‌ترین سطح مقطع استاندارد و بزرگ‌تر از مقدار محاسبه شده را به کار برد.

یادآوری- توصیه می‌شود اثر محدودکنندگی جریان[1] ناشی از امپدانس مدار و محدودیت I^2t وسیله حفاظتی در نظر گرفته شوند.

جدول۱۳-۴- حداقل سطح مقطع هادی‌های حفاظتی (در مواردی‌که بر اساس بند ۱۳-۶-۱-۲ محاسبه نشده باشد).

سطح مقطع هادی فاز مس بر حسب میلی‌مترمربع	حداقل سطح مقطع هادی حفاظتی متناظر با آن مس بر حسب میلی‌مترمربع	
	در مواردی‌که هادی حفاظتی هم‌جنس هادی فاز باشد	در مواردی‌که هادی حفاظتی هم‌جنس هادی فاز نباشد
$S \leq ۱۶$	S	$(k_۱ / k_۲) \times S$
$۱۶ < S \leq ۳۵$	۱۶ الف	$(k_۱ / k_۲) \times ۱۶$
$S > ۳۵$	S/۲ الف	$(k_۱ / k_۲) \times (S/۲)$
که در آن: k_1 مقدار k هادی فاز که از فرمول پیوست الف استاندارد ملی ایران به شماره ۱۹۳۷-۵-۵۴ محاسبه یا از جدول‌های استاندارد ملی ایران به شماره ۱۹۳۷-۴-۴۳ بر حسب جنس هادی و عایق انتخاب می‌شود. k_2 مقدار k هادی حفاظتی که متناسب با کاربرد از جدول‌های (الف-۵۴-۲) تا (الف-۵۴-۶) استاندارد ملی ایران به شماره ۱۹۳۷-۵-۵۴ بدست می‌آید.		
الف- سطح مقطع هادی PEN را تنها می‌توان بر اساس قواعد تعیین ابعاد هادی خنثی (ر.ک. استاندارد IEC 60364-5-52)، کاهش داد.		

[1] Current-Limiting Effect

۱۳-۶-۱-۳- سطح مقطع هادی حفاظتی در صورتی‌که رشته‌ای از کابل نبوده یا در محفظه‌ای مشترک[1] با هادی فاز قرار نداشته باشد، نباید از موارد زیر کم‌تر باشد:

- ۲٫۵ میلی‌مترمربع مسی یا ۱۶ میلی‌مترمربع آلومینیومی اگر حفاظت در برابر صدمه مکانیکی فراهم شده باشد.
- ۴ میلی‌مترمربع مسی یا ۱۶ میلی‌مترمربع آلومینیومی اگر حفاظت در برابر صدمه مکانیکی فراهم نشده باشد.

در صورتی‌که هادی حفاظتی رشته‌ای از کابل نباشد تنها در صورتی به لحاظ مکانیکی حفاظت شده در نظر گرفته می‌شود که در داخل لوله[2]، ترانکینگ[3] یا مشابه آن‌ها قرار داشته باشد.

۱۳-۶-۱-۴- در جایی‌که هادی حفاظتی بین دو یا تعداد بیش‌تری مدار مشترک است، سطح مقطع آن باید:

- براساس بند ۱۳-۶-۱-۲ برای شدیدترین جریان خطای قابل انتظار و زمان بهره‌برداری که این مدارها با آن مواجه می‌شوند محاسبه شود.
- مطابق با جدول (۱۳-۵) و متناظر با بزرگ‌ترین هادی فاز آن مدارها انجام شود.

۱۳-۶-۲- انواع هادی‌های حفاظتی

۱۳-۶-۲-۱- هادی‌های حفاظتی ممکن است به شکل یک یا تعدادی از موارد زیر باشند:

- هادی‌های موجود در کابل‌های چندرشته.
- هادی‌های عایق‌شده (روکش‌دار) یا لخت (بدون روکش) در محفظه‌ای مشترک[4] با هادی‌های برق‌دار.
- هادی‌های عایق‌شده یا لخت نصب ثابت.
- غلاف کابل فلزی، شیلد کابل، زره کابل، سیم بافته‌ای لوله‌ای[5]، هادی هم‌مرکز[6]، لوله فلزی در صورتی‌که شرایط بیان شده در ۱۳-۶-۲-۲-الف و ب را داشته باشند.

یادآوری- بند ۱۳-۶-۷ را برای آرایش هادی‌های حفاظتی ببینید.

[1] Common Enclosure
[2] Conduit
[3] Trunking
[4] Common Enclosure
[5] Wirebraid
[6] Concentric

۱۳-۶-۲-۲- برای تجهیزاتی که محفظه‌های فلزی دارند نظیر تابلو قدرت و فرمان فشارضعیف[1] (ر.ک. استانداردهای IEC 61439-1 و IEC 61439-2) یا سیستم‌های باسداکت[2] (ر.ک. استاندارد IEC 60439-2)، ممکن است از محفظه یا چارچوب[3] فلزی‌شان به‌عنوان هادی حفاظتی استفاده شود مشروط بر اینکه هم‌زمان هر سه شرط زیر را رعایت نمایند:

الف) پیوستگی الکتریکی آن‌ها یا باید بر اساس نوع ساختمان‌شان تضمین شود یا با اجرای اتصالات مناسب به گونه‌ای که از داشتن حفاظت کافی در برابر استهلاک[4] مکانیکی، شیمیایی یا الکتروشیمیایی اطمینان حاصل شود.

ب) با الزامات بند ۱۳-۶-۱ انطباق داشته باشد.

پ) باید امکان اتصال سایر هادی‌های حفاظتی را در تمام نقاط انشعاب[5] از پیش تعیین شده بدهد.

۱۳-۶-۲-۳- استفاده از قسمت‌های فلزی زیر به‌عنوان هادی حفاظتی یا هادی هم‌بندی حفاظتی مجاز نیست:

- لوله‌های فلزی آب.
- لوله‌های فلزی حاوی مواد قابل اشتعال نظیر گازها، مایعات، پودر.
- قسمت‌های ساختمانی[6] که در شرایط کار معمول‌شان تحت تنش مکانیکی هستند.
- لوله‌های فلزی قابل انعطاف یا خم‌پذیر[7]، مگر اینکه برای چنین هدفی طراحی شده باشند.
- قسمت‌های فلزی قابل انعطاف.
- سیم‌های نگهدارنده[8]، سینی کابل و نردبان کابل.

یادآوری- مثال‌هایی از هادی حفاظتی شامل هادی هم‌بندی حفاظتی، هادی اتصال زمین حفاظتی (PE) و هادی اتصال زمینی که برای حفاظت در برابر برق‌گرفتگی استفاده می‌شود، هستند.

۱۳-۶-۳- پیوستگی الکتریکی هادی‌های حفاظتی

۱۳-۶-۳-۱- هادی‌های حفاظتی باید به شکل مناسبی در برابر آسیب مکانیکی، تخریب شیمیایی و الکتروشیمیایی، نیروهای الکترودینامیکی و نیروهای ترمودینامیکی محافظت شوند.

---

[1] Low-Voltage Switchgear and Controlgear Assemblies
[2] Busbar Trunking Systems
[3] Frames
[4] Deterioration
[5] Tap-Off Point
[6] Constructional Parts
[7] Pliable
[8] Support Wires

تمامی اتصالات (به طور مثال اتصالات پیچی، کلمپ‌ها) مابین هادی‌های حفاظتی یا مابین هادی حفاظتی و سایر تجهیزات باید پیوستگی الکتریکی با دوام، استقامت و حفاظت مکانیکی کافی را فراهم نمایند. پیچ‌هایی که برای اتصال هادی‌های حفاظتی به کار می‌روند نباید کار دیگری انجام دهند. مفصل[۱] نباید از نوع لحیمی[۲] باشد.
یادآوری- تمامی اتصالات الکتریکی باید ظرفیت حرارتی و استقامت مکانیکی رضایت‌بخشی برای تحمل هر ترکیبی از جریان/زمان که ممکن است در هادی یا کابل/محفظه با بزرگ‌ترین سطح مقطع اتفاق بیافتد، داشته باشند.

۱۳-۶-۳-۲- مفصل هادی‌های حفاظتی باید برای بازرسی و انجام آزمون در دسترس باشند. به جز موارد زیر:

- مفصل‌های پر شده با مواد ترکیبی[۳]
- مفصل‌های کپسول شده[۴]
- مفصل‌ها در لوله‌های فلزی، داکت‌کشی[۵] و سیستم‌های باسداکت[۶]
- مفصل‌هایی که مطابق استانداردهای تجهیز، قسمتی از آن را تشکیل می‌دهند.
- مفصل‌هایی که با جوشکاری یا لحیم‌کاری سخت[۷] ساخته شده باشند.
- مفصل‌هایی که به وسیله ابزار پرسی[۸] ساخته شده باشند.

۱۳-۶-۳-۳- نباید هیچ وسیله قطع و وصلی[۹] در مسیر هادی حفاظتی قرار داده شود ولی استفاده از مفصل به گونه‌ای که برای انجام آزمون بتوان آن را با استفاده از نوعی ابزار قطع نمود، مجاز خواهد بود.

۱۳-۶-۳-۴- در جایی که از پایش الکتریکی اتصال زمین[۱۰] استفاده می‌شود، وسایل اختصاصی (به طور مثال حسگرهای عملیاتی[۱۱]، سیم‌پیچ، ترانسفورماتورهای جریان)، نباید به‌صورت سری در مسیر هادی‌های حفاظتی قرار بگیرند.

۱۳-۶-۳-۵- قسمت‌های-رسانای-قابل‌تماس تجهیزات الکتریکی نباید به‌عنوان قسمتی از هادی حفاظتی برای سایر تجهیزات به کار روند مگر مواردی‌که در بند ۱۳-۶-۲-۲ مشخص گردیده‌اند.

---
[1] Joint
[2] Soldering
[3] Compound-Filled Joints
[4] Encapsulated Joints
[5] Ducting
[6] Busbar Trunking Systems
[7] Brazing
[8] Compression Tool
[9] Switching Device
[10] Electrical Monitoring of Earthing
[11] Operating Sensors

۱۳-۶-۴- هادی‌های PEN

۱۳-۶-۴-۱- استفاده از هادی PEN فقط برای تاسیسات الکتریکی نصب ثابت مجاز است و سطح مقطع آن به دلایل مکانیکی نباید از ۱۰ میلی‌مترمربع مسی یا ۱۶ میلی‌مترمربع آلومینیومی کوچک‌تر باشد.

یادآوری- از منظر سازگاری الکترومغناطیسی (EMC[1]) استفاده از هادی PEN در پایین‌دست مبدا تاسیسات توصیه نمی‌شود.

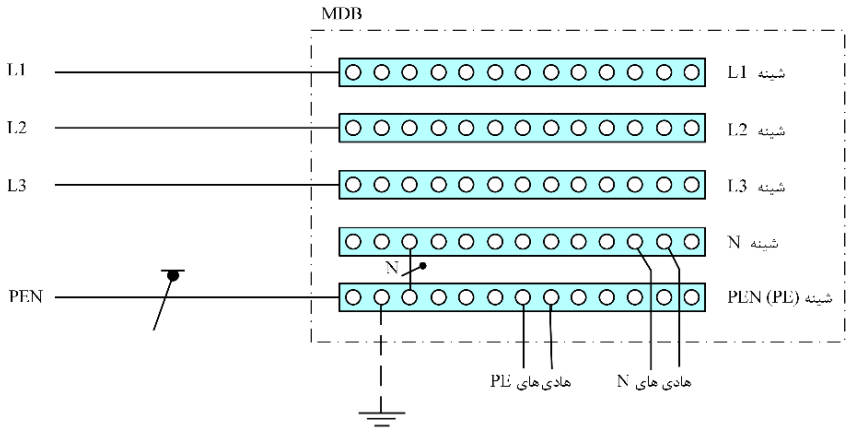
۱۳-۶-۴-۲- هادی PEN باید معادل با ولتاژ نامی هادی فاز، عایق‌بندی شده باشد.

نباید از محفظه فلزی سیستم‌های سیم‌کشی[2] به‌عنوان هادی PEN استفاده شود به جز در مورد سیستم‌های باسداکت[3] که مطابق استاندارد IEC 60439-2 یا سیستم‌های پاورتراک[4] که مطابق با استاندارد IEC 61534-1 تولید شده باشند.

۱۳-۶-۴-۳- از هر نقطه‌ای از تاسیسات که هادی‌های جداگانه‌ای برای عملکرد خنثی و حفاظتی تعبیه شده باشد، اتصال هادی خنثی به هرگونه اجزای زمین شده تاسیسات مجاز نیست. اما انشعاب بیش از یک هادی خنثی و بیش از یک هادی حفاظتی از هادی PEN مجاز است.

هادی PEN باید به ترمینال یا شینه‌ای که برای هادی‌های حفاظتی در نظر گرفته شده است متصل شود، مگر آنکه ترمینال یا شینه به خصوصی برای اتصال هادی PEN وجود داشته باشد (ر.ک. شکل (۱۳-۴)).

۱۳-۶-۴-۴- قسمت‌های-رسانای-بیگانه نباید به‌عنوان هادی PEN استفاده شوند.



MDB تابلو توزیع اصلی

شکل ۱۳-۴- مثالی از نحوه اتصال هادی PEN

[1] EMC: Electromagnetic Compatibility
[2] Wiring Systems
[3] Busbar Trunking Systems
[4] به انگلیسی Powertrack Systems در بخش ۲-۲-۱۹ این نشریه به صورت "سیستم‌های کانال‌های شینه‌دار" ترجمه شده است.

۱۳-۶-۵- هادی‌های مرکب اتصال زمین حفاظتی و عملکردی

در مواقعی که از یک هادی اتصال زمین ترکیبی حفاظتی و عملکردی استفاده می‌شود، باید هم الزامات هادی حفاظتی در مورد آن رعایت شود و هم الزامات عملکردی را برآورد (ر.ک. بخش 444 استاندارد IEC 60364-4-44). در یک سیستم فن‌آوری اطلاعات از هادی برگشت (d.c.) منبع تغذیه، می‌تواند به‌عنوان هادی مرکب اتصال زمین حفاظتی و عملکردی استفاده شود.

یادآوری- اطلاعات بیش‌تر در بخش 7.5.3.1 استاندارد IEC 61140 بیان شده است.

۱۳-۶-۶- جریان عبوری از هادی‌های اتصال زمین حفاظتی (PE)

جریان عبوری از هادی حفاظتی تجهیزات الکتریکی در شرایط عادی بهره‌برداری نباید از مقادیر مشخصی که در بخش 7.6.3 از استاندارد IEC 61140 و بخش 516 و پیوست E از استاندارد IEC 60364-5-51 آورده شده، بیش‌تر باشد.

توصیه می‌شود از هادی اتصال زمین حفاظتی (PE) به‌عنوان مسیر هدایت جریان در شرایط عادی بهره‌برداری (به طور مثال اتصال فیلترها برای دلایل EMC) استفاده نشود (ر.ک. استاندارد IEC 61140). چنانچه جریان در شرایط عادی بهره‌برداری از ۱۰ میلی‌آمپر تجاوز کند باید از هادی حفاظتی تقویت شده[1] استفاده شود (ر.ک. بخش ۵۴۳-۷ استاندارد ملی ایران به شماره ۵۴-۵-۱۹۳۷).

۱۳-۶-۷- آرایش هادی‌های حفاظتی

زمانی‌که از وسایل اضافه جریان برای حفاظت در برابر برق‌گرفتگی استفاده می‌شود، هادی حفاظتی باید در سیستم سیم‌کشی[2] مشابه با هادی‌های برق‌دار اجرا شود یا دقیقاً در مجاورت[3] آن‌ها نصب شود.

۱۳-۷- هم‌بندی هم‌پتانسیل‌کننده[4]

انواع هم‌بندی هم‌پتانسیل‌کننده به شرح زیر است:

۱) هم‌بندی هم‌پتانسیل‌کننده حفاظتی، که خود به سه صورت زیر ممکن است تقسیم‌بندی شود:

- اصلی[5]
- تکمیلی[6]

[1] Reinforced Protective Conductor
[2] Wiring System
[3] Immediate Proximity
[4] Equipotential Bonding
[5] Main Protective Equipotential Bonding
[6] Supplementary Protective Equipotential Bonding

• هم‌بندی محلی بدون-زمین[1] (ر.ک. پیوست پ استاندارد ملی ایران به‌شماره ۴۱-۴-۱۹۳۷)

۲) هم‌بندی هم‌پتانسیل‌کننده عملکردی[2] (ر.ک. فصل ۱۴)

۳) هم‌بندی هم‌پتانسیل‌کننده صاعقه (ر.ک. فصل ۱۵)

۱۳-۷-۱- سطح مقطع هادی هم‌بندی هم‌پتانسیل‌کننده حفاظتی اصلی (به اختصار هم‌بندی اصلی)

سطح مقطع هادی هم‌بندی حفاظتی برای اتصال به ترمینال اصلی اتصال زمین نباید از نصف سطح مقطع بزرگ‌ترین هادی اتصال زمین حفاظتی (PE) تاسیسات کوچک‌تر بوده و در عین حال نباید از مقادیر زیر نیز کوچک‌تر باشد:

• ۶ میلی‌مترمربع مسی

• ۱۶ میلی‌مترمربع آلومینیومی

• ۵۰ میلی‌مترمربع فولادی.

سطح مقطع هادی‌های هم‌بندی حفاظتی برای اتصال به ترمینال اصلی اتصال زمین نیاز نیست از ۲۵ میلی‌مترمربع مسی (یا سطح مقطع معادل آن برای سایر مواد) بزرگ‌تر باشد.

۱۳-۷-۲- سطح مقطع هادی هم‌بندی هم‌پتانسیل کننده حفاظتی تکمیلی

۱۳-۷-۲-۱- سطح مقطع هادی هم‌بندی حفاظتی که دو قسمت-رسانای-قابل‌تماس را به هم متصل می‌کند نباید از هادی حفاظتی متصل به آن دو (هر کدام کوچک‌ترند) کم‌تر باشد.

۱۳-۷-۲-۲- سطح مقطع هادی هم‌بندی حفاظتی که قسمت-رسانای-قابل‌تماس را به قسمت-رسانای-بیگانه متصل می‌کند نباید از نصف سطح مقطع هادی حفاظتی متصل به قسمت-رسانای-قابل‌تماس کم‌تر باشد.

۱۳-۷-۲-۳- حداقل سطح مقطع هادی‌های هم‌بندی حفاظتی برای هم‌بندی تکمیلی و هادی‌های حفاظتی بین قسمت‌های-رسانای-بیگانه، باید مطابق بند ۱۳-۶-۱-۳ باشد.

[1] Earth-Free Local Equipotential Bonding
[2] Functional Equipotential Bonding

۱۳-۷-۳- هم‌بندی تکمیلی در مسیرهای هدایت کابل

۱۳-۷-۳-۱- تمامی اجزای فلزی مورد استفاده در مسیرهای هدایت کابل (اعم از فشارقوی، فشارضعیف و جریان ضعیف) باید به شکل موثری به یکدیگر هم‌بند شوند. این هم‌بندی هم با اهداف حفاظتی (تامین ایمنی) و هم با اهداف عملکردی (کاهش تداخلات الکترومغناطیسی) انجام می‌شود. در صورت نیاز، می‌توان شبکه هم‌بند مسیر هدایت کابل را به اجزای فلزی سازه و تاسیسات فلزی ساختمان هم‌بند کرد.

۱۳-۷-۳-۲- هم‌بندی تکمیلی مسیرهای هدایت کابل به یکی از دو صورت زیر یا ترکیبی از آن‌ها قابل انجام است:

۱) پیش‌بینی حداقل یک رشته هادی هم‌بندی با سطح مقطع مناسب از جنس مس، آلومینیوم یا گالوانیزه عمقی داغ در تمام مسیر هدایت کابل ساختمان و اتصال تمام اجزای فلزی به آن با استفاده از کلمپ مناسب.

۲) جامپر کردن اجزای فلزی سیستم مدیریت کابل به یکدیگر در تمام نقاط انفصال[۱].

در مسیرهای هدایت کابل، هادی هم‌بندی تکمیلی باید هر جا که به یک تابلوی توزیع برق یا جعبه اتصالات سیستم‌های جریان ضعیف وارد یا از آن خارج می‌شود، مستقیماً به شینه PE/PEN یا FE آن متصل شود.

۱۳-۷-۴- شبکه هم‌بندی در اسکلت ساختمان

۱۳-۷-۴-۱- تعبیه یک شبکه هم‌بندی در اسکلت ساختمان برای تامین اهداف زیر ضرورت دارد:

۱) دسترسی به قسمت‌های فلزی اسکلت در نقاطی که اجرای هم‌بندی اصلی و تکمیلی الزامی است (ر.ک. شکل (۱۳-۵)).

۲) ایجاد یک شبکه هم‌بندی هم‌پتانسیل‌کننده عملکردی با امپدانس پایین برای ساختمان‌هایی که تعداد قابل توجهی تجهیزات و شبکه‌های الکترونیکی و مخابراتی حساس در آن‌ها وجود دارد.

۳) تامین موارد زیر برای ساختمان‌هایی که مجهز به سیستم حفاظت صاعقه خارجی هستند (ر.ک. شکل (۱۳-۶)):

- ایجاد یک شبکه هم‌بندی هم‌پتانسیل‌کننده صاعقه امپدانس پایین برای سیستم‌های داخلی[۲]
- امکان انجام هم‌بندی سیستم حفاظت صاعقه خارجی با اسکلت ساختمان به منظور رعایت الزامات فاصله جدایی
- استفاده از شبکه هم‌بندی اسکلت به‌عنوان اجزای طبیعی[۳] برای هادی نزولی سیستم حفاظت صاعقه
- ایجاد یک شبکه شیلد الکترومغناطیسی فراگیر برای سیستم‌های داخلی ساختمان.

---

[۱] در صورت استفاده از روش دوم، در صورت وقوع قطعی در هر یک از جامپرها، ممکن است پیوستگی الکتریکی شبکه هم‌بندی از بین برود.

[2] Internal Systems

[3] Natural Components

۱۳-۷-۴-۲- توصیه می‌شود شینه‌های PE/PEN تابلوهای توزیع در تمام طبقات ساختمان و شینه‌های اصلی اتصال زمین و شینه‌های هم‌بندی تکمیلی ساختمان به شکل موثری به شبکه هم‌بندی اسکلت ساختمان متصل شوند.

۱۳-۷-۴-۳- در ساختمان‌هایی که بخشی یا کل اسکلت به‌صورت بتنی است باید یک شبکه هم‌بندی گسترده و پیوسته به‌صورت حلقه بسته به شرح زیر طراحی و اجرا شود:

۱) از حداقل یک رشته هادی مجاز مطابق با جدول (۱۳-۵) برای اجرای هم‌بندی اسکلت استفاده شود.

۲) در صورتی‌که قرار باشد از شبکه هم‌بندی اسکلت به‌عنوان هادی نزولی سیستم حفاظت صاعقه استفاده شود، سطح مقطع هادی هم‌بندی در مسیرهای بالارو (ستون‌ها) باید مطابق جدول (۱۳-۲) انتخاب شود.

۳) هادی هم‌بندی اسکلت در تمام مسیر خود باید در فواصلی که بیش‌تر از ۲ متر نباشد به آرماتورهای ترجیحاً متعامد با خود به شکل موثری متصل شود.

۴) در هر طبقه از ساختمان باید حداقل یک رینگ به‌صورت حلقه بسته دور تا دور طبقه اجرا شود، به گونه‌ای که تمامی ستون‌های پیرامونی سازه را به هم متصل کند.

۵) بسته به حساسیت ساختمان و کاربری آن لازم است شبکه هم‌بندی اسکلت در طبقات مختلف به‌صورت مش‌هایی با ابعاد ۵×۵ متر الی ۲۰×۲۰ متر (در هر سه بعد هندسی شامل کف، سقف، ستون و دیوار) در نظر گرفته شود (ر.ک. شکل (۱۳-۶)).

یادآوری ۱- ممکن است ابعاد شبکه مش در قسمت‌های مختلف ساختمان با هم برابر نباشد. بسته به ضرورت در برخی قسمت‌ها که تمرکز تجهیزات حساس وجود دارد، شاید شبکه مشی با ابعاد کوچک‌تر لازم باشد، در حالی که در مابقی ساختمان ابعاد بزرگ‌تر کفایت کند.

یادآوری ۲- پارامترهای تاثیرگذار بر روی ابعاد شبکه مش عبارتند از (به‌عنوان مثال): میزان حضور و تمرکز تجهیزات حساس الکترونیکی و مخابراتی، فرکانس کاری شبکه کامپیوتری، نصب سیستم حفاظت صاعقه در ساختمان، استفاده از شبکه مش به‌عنوان شیلد مغناطیسی و غیره.

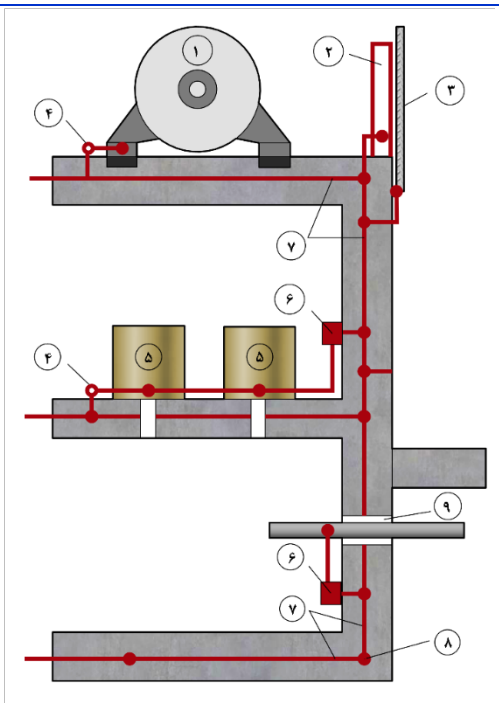
۶) در تمامی نقاط زیر باید یک نقطه/صفحه اتصال هم‌بندی بر روی ستون یا دیوارهای بتنی تعبیه شود:

- در مجاورت تابلوهای توزیع برق،
- در مجاورت تمام فضاهایی که نیاز به انجام هم‌بندی تکمیلی دارند،
- در بام، خرپشته و نمای خارجی ساختمان جهت اتصال سیستم ترمینال هوایی حفاظت صاعقه، در صورت وجود.

جدول ۱۳-۵- حداقل اندازه هادی‌های مجاز به‌عنوان هم‌بندی حفاظتی/عملکردی تعبیه شده در اسکلت بتنی ساختمان

مواد و سطح	شکل	قطر mm	سطح مقطع mm^2	ضخامت mm	وزن روکش g/m^2	ضخامت روکش/غلاف µm
مس	تسمه	–	۳۰	۱٫۵	–	–
	هادی مدور	۶	۲۸	–	–	–
فولاد ضدزنگ[1]	تسمه	–	۵۰	۲	–	–
	هادی مدور	۸	۵۰	–	–	–
فولاد گالوانیزه عمقی داغ[2]	تسمه	–	۵۰	۲	۵۰۰	۶۳
	هادی مدور	۸	۵۰	–	۳۵۰	۴۵

۱- ۱۶٪ ≤ کروم، ۵٪ ≤ نیکل، ۲٪ ≤ مولیبدیم، ۰٫۰۸٪ ≤ کربن.
۲- روکش باید صاف، پیوسته و فاقد شُرّه باشد.



۱ منبع تغذیه الکتریکی (ترانسفورماتور، مولد برق پشتیبان)
۲ تیر فولادی (تیر آهن)
۳ پوشش فلزی نمای ساختمان
۴ صفحه اتصال هم‌بندی
۵ تجهیزات الکتریکی یا الکترونیکی
۶ شینه هم‌بندی
۷ آرماتورهای فولادی در بتن (به همراه هادی‌های شبکه مش اضافه شده)
۸ الکترود زمین فونداسیون تعبیه شده در بتن
۹ دریچه ورودی مشترک برای خدمات مختلف (مانند لوله‌های فلزی آب، گاز و فاضلاب)

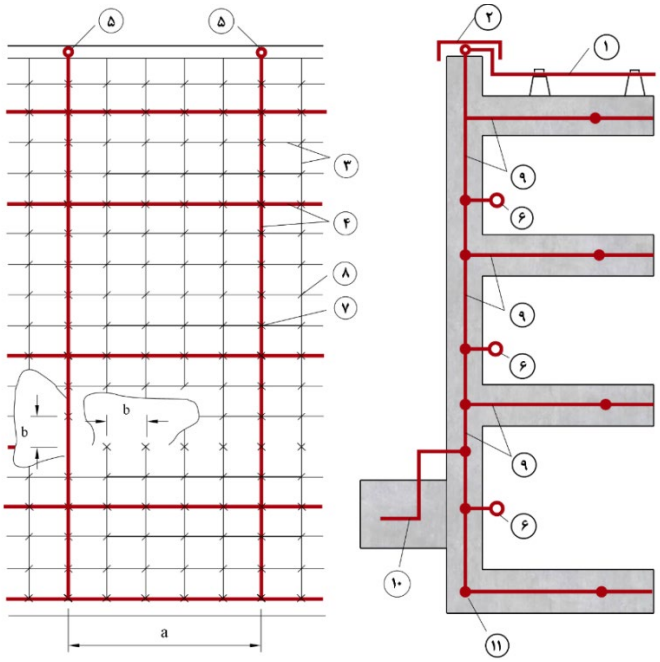
شکل ۱۳-۵- هم‌بندی هم‌پتانسیل‌کننده در اسکلت بتنی ساختمان

۱۳-۷-۴-۴- ساختمان‌های با اسکلت فلزی (جوشی یا پیچ و مهره‌ای) معمولا به لحاظ الکتریکی پیوسته هستند و در نتیجه نیازی به اجرای هادی هم‌بندی برای اتصال اجزای مختلف آن به هم نیست.

یادآوری- پیوستگی الکتریکی سازه را می‌توان به قرار توضیحات ارایه شده در بند ۱۵-۴-۴ فصل ۱۵، مورد آزمون و ارزیابی قرار داد.

۱۳-۷-۴-۵- در صورت اجرای الکترود زمین فونداسیون تعبیه شده در خاک، باید شبکه هم‌بندی اسکلت بر روی فونداسیون ساختمان (هم برای اسکلت بتنی و هم برای اسکلت فلزی) مطابق ۱۳-۵-۲-۳ اجرا گردیده و سپس این دو، در فواصل حداکثر ۲۰ متر یک‌بار به شکل مناسب به یکدیگر متصل شوند. در این حالت شبکه هم‌بندی می‌تواند بر روی سطح آرماتورهای فوقانی فونداسیون تعبیه شود.

یادآوری- در صورت اجرای الکترود زمین فونداسیون تعبیه شده در بتن، اجرای یک شبکه جداگانه برای هم‌بندی اسکلت در تراز فونداسیون ضرورت ندارد، مشروط بر آن که الکترود زمین فونداسیون الزامات حفاظتی و عملکردی مورد نیاز شبکه هم‌بندی اسکت در تراز فونداسیون را برآورده کند.



۱	هادی ترمینال هوایی (سیستم حفاظت صاعقه)	۸	اتصال اختیاری آرماتورها به هم (مثلا توسط سیم‌مفتول)
۲	پوشش فلزی جان‌پناه بام (فلاشینگ)	۹	آرماتورهای فولادی در بتن (به همراه هادی‌های شبکه مش اضافه شده)
۳	آرماتورهای فولادی	۱۰	الکترود زمین رینگ (در صورت وجود)
۴	هادی‌های شبکه مش اضافه شده به آرماتور	۱۱	الکترود زمین فونداسیون تعبیه شده در بتن
۵	صفحه اتصال هادی مش (شبکه هم‌بندی اسکلت)	a	فاصله نوعی ۵ متر برای ابعاد شبکه مش اضافه شده
۶	صفحه اتصال برای شینه هم‌بندی داخلی	b	فاصله نوعی ۱ متر برای اتصال هادی شبکه مش به آرماتور
۷	اتصال هادی شبکه مش به آرماتور با استفاده از کلمپ		

شکل ۱۳-۶- استفاده از آرماتورهای اسکلت بتنی ساختمان برای هم‌بندی هم‌پتانسیل‌کننده

۱۳-۸- آرایش اتصال زمین در تاسیسات الکتریکی با تغذیه فشارقوی

۱۳-۸-۱- اگر سیستم‌های اتصال زمین فشارضعیف و فشارقوی در مجاورت یکدیگر قرار گرفته و تشکیل سیستم اتصال زمین سراسری نداده باشند، بخشی از EPR[1] از سیستم HV[2] می‌تواند به سیستم LV[3] منتقل شود. برای اجتناب از این مشکل، در حال حاضر دو روش زیر به کار می‌رود:

الف) اتصال تمام سیستم‌های اتصال زمین HV و LV به هم.

ب) جدایی کامل سیستم‌های اتصال زمین HV از LV.

در هر دو مورد، الزامات مربوط به پتانسیل‌های گام، تماس و انتقالی[4] داخل پست و در تاسیسات LV تغذیه شده از آن پست باید رعایت گردند.

یادآوری- در صورتی‌که اجرایی کردن الزامات مورد نیاز مشروح در این بخش قابل انجام باشد، اتصال تمام سیستم‌های اتصال زمین HV و LV به هم ترجیح داده می‌شود[5].

۱۳-۸-۲- می‌توان برای کاهش ولتاژهای گام و تماسی که در خلال اتصال کوتاه ظاهر می‌شوند، درجه‌بندی (یکنواخت کردن) پتانسیل را با نصب الکترودهای زمین انجام داد.

یادآوری- برای درجه‌بندی پتانسیل معمولا الکترودهای زمین در فاصله افقی ۱ متر از تجهیزات یا هر جرم رسانای دیگر و در عمق ۰٫۵ متر از سطح زمین دفن شده و به سیستم اتصال زمین متصل می‌شوند (ر.ک. بند ۱۵-۶-۳-۴).

۱۳-۸-۳- الزامات ویژه‌ای که باید برای تاسیسات فشارقوی (شامل پست‌ها) رعایت گردند در بخش ۱۰ استاندارد بین‌المللی IEC 61936-1 و استاندارد اروپایی EN 50522 ارایه شده است. همچنین الزاماتی که باید برای حفاظت از تاسیسات LV در برابر اضافه ولتاژهای موقتی ناشی از وقوع خطاهای زمین در سیستم تغذیه HV رعایت گردند، در فصل ۱۴ و بخش 442 استاندارد IEC 60364-4-44 شرح داده شده است.

یادآوری- راهنمایی‌های بیش‌تری در خصوص ارتباط زیرسیستم‌های LV و HV، شامل مثال‌هایی از چیدمان اتصال زمین[6]، در پیوست الف استاندارد ملی ایران به شماره ۴۱۲۳ ذکر شده‌اند.

---

[1] EPR/GPR: Earth/Ground Potential Rise
[2] HV: High Voltage
[3] LV: Low Voltage
[4] Transfer
[5] Interconnection Is Preferred When Practicable.
[6] Earthing Layouts

۱۳-۹- زمین کردن شیلد و زره فلزی کابل

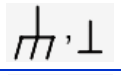
۱۳-۹-۱- شیلد و زره فلزی کابل‌های برق چندرشته و کابل مخابراتی و IT، که کل مسیر آن‌ها در داخل یک ساختمان است، در صورت امکان باید در هر دو سمت به شکلی مناسب مستقیماً زمین شده و/یا در سمت مصرف‌کننده یا تجهیز، به قسمت-رسانای-قابل‌تماس مربوطه متصل گردند[۱].

۱۳-۹-۲- اگر شیلد و زره یک کابل برق تک‌رشته در هر دو طرف زمین شود، باید اثر حرارتی ناشی از جاری شدن جریان القایی در شیلد کابل در کاهش ظرفیت جریانی آن در نظر گرفته شود. در صورتی‌که این کاهش ظرفیت قابل قبول نباشد، با در نظر گرفتن سایر ملاحظات می‌توان شیلد و زره چنین کابل‌هایی را تنها از یک طرف زمین کرد (ر.ک. بخش ۶-۱۱-۳ و ۹-۱۲-۲ استاندارد ملی ایران به شماره ۴۱۲۳).

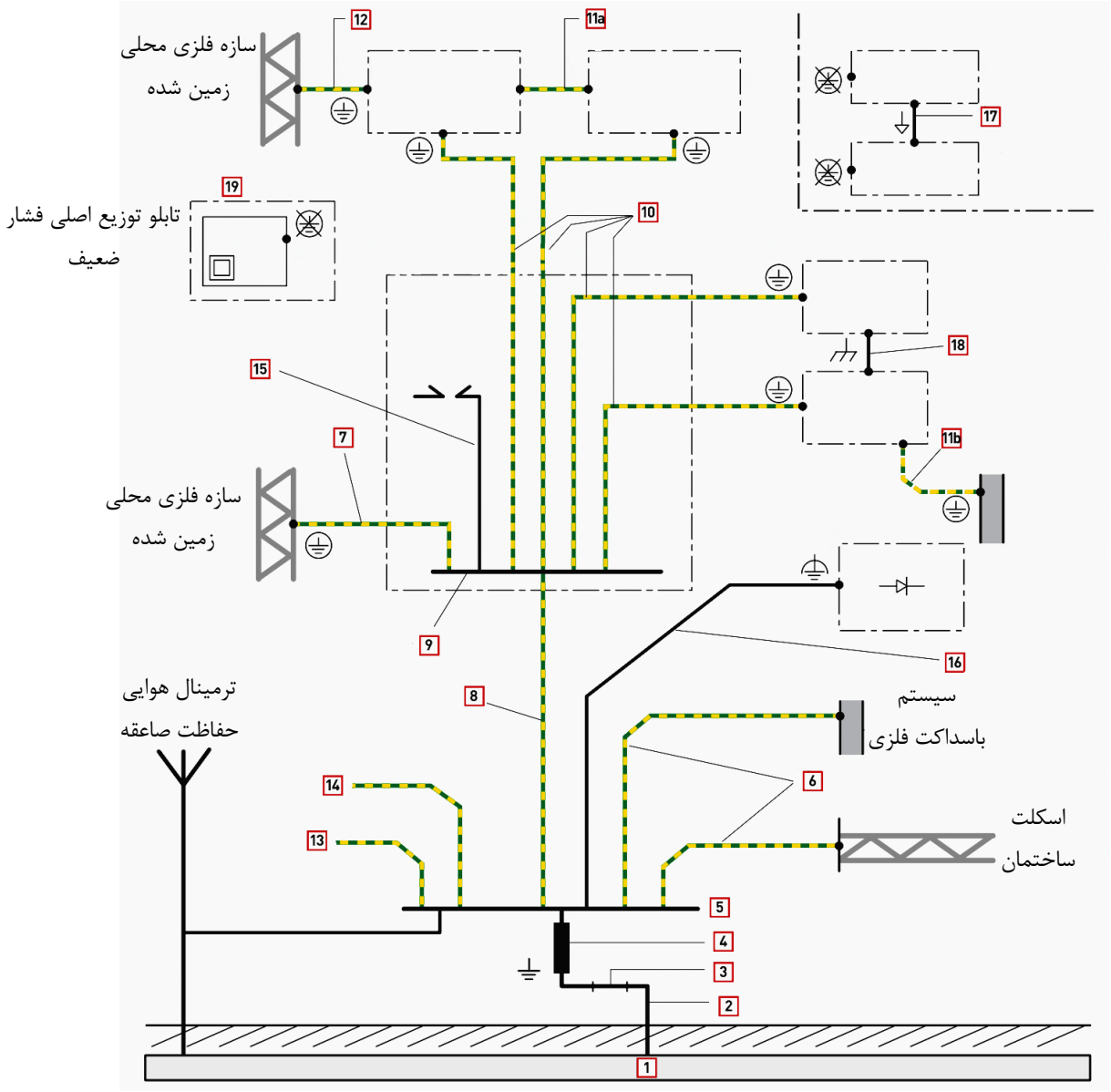
۱۳-۹-۳- شیلد و زره فلزی تمامی انواع کابل‌ها که از خارج ساختمان به آن وارد می‌شوند باید در نزدیک‌ترین فاصله از نقطه ورود، به شکلی مناسب به سیستم اتصال زمین آن ساختمان متصل شوند. در صورتی‌که اتصال مستقیم به دلایل فنی مجاز نباشد، اتصال باید با استفاده از یک ایزوله‌کننده قوسی (ISG) صورت گیرد.

۱۳-۱۰- علائم ترسیمی

جدول ۱۳-۶- علائم ترسیمی مطابق استاندارد IEC 60617

شرح علامت	علامت
زمین، علامت کلی	
اتصال زمین حفاظتی (PE)	
هم‌بندی هم‌پتانسیل‌کننده حفاظتی	
اتصال زمین عملکردی	
هم‌بندی هم‌پتانسیل‌کننده عملکردی	
قسمت-رسانای-قابل‌تماسی که نباید به سیستم اتصال زمین حفاظتی ساختمان متصل شود.	
تجهیزات با عایق‌بندی مضاعف (دوبل)	

[۱] در کابل‌های کنترلی و ابزاردقیق ممکن است برای کاهش تداخلات الکترومغناطیسی نیاز شود شیلد فلزی از یک طرف زمین شده و در طرف دیگر عایق شود. (اطلاعات بیش‌تر در استاندارد IEEE Std 1050 بیان شده است)



۱ الکترود زمین
۲ هادی اتصال زمین
۳ وسیله جداکننده برای اندازه‌گیری
۴ شینه یا ترمینال یا مفصل
۵ شینه یا ترمینال اصلی اتصال زمین
۶ هادی‌های هم‌بندی هم‌پتانسیل‌کننده اصلی
۷ هادی‌های هم‌بندی اصلی
۸ هادی حفاظتی اصلی
۹ شینه یا ترمینال هادی‌های حفاظتی
۱۰ هادی‌های حفاظتی
۱۱ اتصال هم‌بندی هم‌پتانسیل‌کننده تکمیلی
۱۲ اتصال هم‌بندی هم‌پتانسیل‌کننده محلی
۱۳ هادی حفاظتی ترانسفورماتور LV و HV
۱۴ یک هادی اتصال به‌عنوان قسمت-رسانای-قابل‌تماس فشارقوی
۱۵ اتصال زمین وسیله حفاظتی سرج (SPD)
۱۶ هادی زمین عملکردی
۱۷ اتصال هم‌بندی محلی بدون زمین
۱۸ هادی هم‌بندی عملکردی
۱۹ تجهیز کلاس II

شکل ۱۳-۷- مثالی از علائم ترسیمی برای سیستم اتصال زمین در یک ساختمان نوعی

فصل ۱۴

حفاظت در برابر اغتشاشات ولتاژی و اغتشاشات الکترومغناطیسی

۱۴-۱- دامنه پوشش

این فصل از نشریه به موضوعات زیر می‌پردازد:

- الزامات در خصوص محدود کردن ولتاژ جهت دست‌یابی به هماهنگی عایقی مورد نیاز تاسیسات الکتریکی ساختمان‌ها.
- الزامات حفاظت از تاسیسات الکتریکی ساختمان در برابر اضافه‌ولتاژ گذرا[1] و نحوه نصب و انتخاب آن‌ها.
- الزامات مربوط به ایمنی تاسیسات الکتریکی در صورت وقوع اغتشاشات ولتاژی و اغتشاشات الکترومغناطیسی که به علل مشخص مختلفی تولید شده‌اند.

۱۴-۱-۱- ضوابط ارایه شده در این فصل از نشریه قابل تعمیم به شبکه‌های توزیع عمومی برق یا شبکه‌های تولید و انتقال نیرو نیست، اگرچه اغتشاشات از طریق همین سیستم‌های تغذیه ممکن است به سمت تاسیسات الکتریکی هدایت شود.

۱۴-۲- تعاریف و اصطلاحات

۱۴-۲-۱- هم‌بندی هم‌پتانسیل‌کننده

equipotential bonding

ایجاد اتصال الکتریکی بین قسمت‌های رسانا با هدف هم‌پتانسیل‌سازی.

۱۴-۲-۲- شبکه هم‌بندی (BN)

bonding network (BN)

مجموعه‌ای از سازه‌های رسانای به هم متصل که قابلیت "شیلد الکترومغناطیسی" را برای سیستم‌های الکترونیکی در محدوده فرکانسی از جریان مستقیم (d.c.) تا فرکانس‌های پایین رادیویی[2] ایجاد می‌کنند.

۱۴-۲-۳- هادی هم‌بندی رینگ (BRC)

bonding ring conductor (BRC)

هادی/شینه اتصال زمین به شکل حلقه بسته دور تا دور یک اتاق یا طبقه‌ای از ساختمان.

[1] Transient Overvoltage
[2] Low Radio Frequency

۱۴-۲-۴- سیستم هم‌بندی هم‌پتانسیل‌کننده مشترک (یا شبکه هم‌بندی مشترک) (CBN)

common equipotential bonding system
common bonding network (CBN)
سیستم هم‌بندی هم‌پتانسیل‌کننده‌ای که هم‌زمان هم‌بندی-هم‌پتانسیل‌کننده-حفاظتی و هم‌بندی-هم‌پتانسیل‌کننده-عملکردی را تامین می‌کند.

۱۴-۲-۵- شبکه هم‌بندی مش شده (MESH-BN)

meshed bonding network (MESH-BN)
شبکه هم‌بندی عموماً به شکل مش که در آن تمام چارچوب‌ها، رک‌ها، کابینت‌ها و معمولا هادی برگشت تغذیه (d.c.) تجهیزات مرتبط با هم به یکدیگر هم‌بند شده و علاوه بر این در نقاط متعدد به CBN نیز متصل می‌شوند.
یادآوری- شبکه هم‌بندی مش شده (MESH-BN)، شبکه هم‌بندی مشترک (CBN) را تقویت می‌کند.

۱۴-۲-۶- هادی هم‌بندی هم‌پتانسیل‌کننده بای‌پس (یا هادی اتصال زمین موازی) (PEC)

by-pass equipotential bonding conductor
parallel earthing conductor (PEC)
هادی اتصال زمین که با هدف محدود کردن جریان عبوری از شیلد کابل‌های سیگنال و/یا داده به‌صورت موازی به آن‌ها متصل می‌شوند.

۱۴-۲-۷- سرج[1]

surge
پدیده گذرای ایجاد شده به‌وسیله ضربه الکترومغناطیسی صاعقه که به‌صورت اضافه ولتاژ و/یا اضافه جریان ظاهر می‌شود.

۱۴-۲-۸- وسیله حفاظتی سرج[2] (SPD)

surge arrester
surge protective device (SPD)
تجهیزی است که اضافه ولتاژهای گذرا را محدود و سرج‌های جریان را به زمین منحرف می‌کند و حداقل شامل یک المان غیرخطی است.

۱۴-۲-۹- سیستم SPD هماهنگ‌شده

coordinated SPD system

---

[1] در برخی منابع از واژه "فراتاخت" استفاده شده است.
[2] در برخی منابع به‌صورت "برق‌گیر حفاظتی" نام‌گذاری شده است.

ادوات SPD که به درستی انتخاب، هماهنگ و نصب شده‌اند تا سیستمی را جهت کاهش خرابی سیستم‌های الکتریکی و الکترونیکی تشکیل دهند.

۱۴-۲-۱۰- حداکثر ولتاژ کار دایم (U_C)

maximum continuous operating voltage

حداکثر ولتاژ (a.c.) مؤثر یا (d.c.) که به طور دایم در حالت‌های حفاظتی به SPD اعمال می‌شود. این مقدار معادل با ولتاژ اسمی است.

۱۴-۲-۱۱- تراز حفاظت ولتاژ (U_P)

voltage protection level

عددی است که کارکرد SPD را در محدود کردن ولتاژ دو سر ترمینال‌های خود مشخص می‌کند. این مقدار از بالاترین سطح ولتاژ محدود شده اندازه‌گیری شده، بزرگ‌تر است. تراز حفاظت ولتاژ بر اساس لیستی از مقادیر ترجیحی انتخاب می‌شود.

۱۴-۲-۱۲- جریان تخلیه نامی (I_n)

nominal discharge current

مقدار پیک جریان با شکل موج ۸/۲۰ است که از SPD عبور می‌کند و برای دسته‌بندی SPDها در آزمون کلاس II و همچنین به‌عنوان یک پیش‌شرط برای آزمون‌های کلاس I و II استفاده می‌شود.

۱۴-۲-۱۳- جریان ضربه (I_{imp})

impulse current

این جریان با سه پارامتر، مقدار پیک جریان ضربه‌ای I_{peak}، بار الکترونی Q و انرژی مخصوص W/R، تعریف می‌شود. از این پارامتر برای آزمون کلاس I در دسته‌بندی SPDها استفاده می‌شود.

۱۴-۲-۱۴- ولتاژ قابل تحمل ضربه‌ای اسمی (U_w)

rated impulse withstand voltage

ولتاژی است که توسط سازنده برای کل و یا قسمتی از یک دستگاه در سیستم معرفی می‌شود و مشخص کننده توانایی تحمل عایقی آن در برابر اضافه ولتاژها است. در این نشریه تنها ولتاژ تحمل عایقی بین قسمت‌های برق‌دار و زمین مورد نظر است.

۱۴-۲-۱۵- مجموعه (یا شاکله) SPD

SPD assembly

به یک یا چند SPD، به همراه تمامی قطع‌کننده‌هایی که توسط سازنده در کنار SPD الزام شده‌اند گفته می‌شود، که حفاظت اضافه ولتاژ مورد نیاز بر اساس نوع سیستم زمین را فراهم می‌کند.

۱۴-۲-۱۶- جریان دنباله (I_f)

follow current (I_f)

جریانی است که توسط سیستم قدرت الکتریکی تامین می‌شود و پس از تخلیه جریان ضربه از SPD عبور می‌کند. جریان دنباله به طور قابل توجهی از جریان کار دایم[1] (I_C) متفاوت است.

۱۴-۲-۱۷- قدرت قطع جریان دنباله (I_{fi})

follow current interrupt rating

جریان اتصال کوتاه قابل انتظاری[2] است که SPD قادر است بدون عمل‌کردن جداکننده[3]، آن را قطع کند.

۱۴-۲-۱۸- جریان باقی‌مانده

residual current (I_Δ)

مقدار RMS[4] بردار مجموع مقادیر لحظه‌ای تمامی جریان‌هایی که از مدار اصلی وسیله جریان باقی‌مانده عبور می‌کند.

۱۴-۲-۱۹- وسیله (حفاظتی) جریان باقی‌مانده (RCD)

residual current (protective) device (RCD)

کلید مکانیکی یا مجموعه‌ای از قطعاتی است که تحت شرایط خاص در زمان رسیدن جریان باقی‌مانده‌ای بیش از یک مقدار تعیین شده، قطع می‌کند.

۱۴-۲-۲۰- اضافه ولتاژ موقتی

temporary overvoltage

اضافه ولتاژ نسبتاً طولانی مدت (کسری از ثانیه تا چند ثانیه) در فرکانس اصلی قدرت

۱۴-۲-۲۱- اضافه ولتاژ گذرا

transient overvoltage

اضافه ولتاژی با مدت زمان در حدود چند میلی‌ثانیه یا کم‌تر، به‌صورت نوسانی یا غیر نوسانی، معمولا شدیداً میرا شده

---

[1] Continuous Operating Current
[2] Prospective Short-Circuit Current
[3] Disconnector
[4] Root Mean Square

۱۴-۳- استانداردها

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی هستند که در متن این فصل به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب آن مقررات، جزئی از این نشریه محسوب می‌شود. در صورتی‌که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن مورد نظر این فصل نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدید نظر و اصلاحیه‌های بعدی آن‌ها مورد نظر است.

استفاده از مراجع زیر برای این فصل الزامی است:

- استاندارد ملی ایران به شماره ۴۳-۴-۱۹۳۷، تاسیسات الکتریکی فشار ضعیف – قسمت ۴-۴۳: حفاظت برای ایمنی – حفاظت در برابر اضافه جریان.
- استاندارد ملی ایران به شماره ۴۱۲۳، زمین حفاظتی تاسیسات الکتریکی – آیین کار.
- IEC 60364-4-44:2007+AMD1:2015+AMD2:2018, Low-voltage electrical installations-Part 4-44: Protection for safety - Protection against voltage disturbances and electromagnetic disturbances.
- IEC 60364-5-53:2019, Low-voltage electrical installations - Part 5-53: Selection and erection of electrical equipment - Devices for protection for safety, isolation, switching, control and monitoring.
- IEC 61643-11:2011, Low-voltage surge protective devices - Part 11: Surge protective devices connected to low-voltage power systems - Requirements and test methods.
- IEC 61643-12:2020, Low-voltage surge protective devices - Part 12: Surge protective devices connected to low-voltage power systems - Selection and application principles.
- IEC 61643-21:2000+AMD1:2008+AMD2:2012, Low voltage surge protective devices - Part 21: Surge protective devices connected to telecommunications and signalling networks - Performance requirements and testing methods.
- IEC 61643-22:2015, Low-voltage surge protective devices - Part 22: Surge protective devices connected to telecommunications and signalling networks - Selection and application principles.
- IEC 60664-1:2020, Insulation coordination for equipment within low-voltage supply systems - Part 1: Principles, requirements and tests.
- IEC 61000-4-5:2014+AMD1:2017, Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-5: Testing and measurement techniques - Surge immunity test.
- IEC 61009-1:2010+AMD1:2012+AMD2:2013, Residual current operated circuit-breakers with integral overcurrent protection for household and similar uses (RCBOs) - Part 1: General rules.
- IEC 61008-1:2010+AMD1:2012+AMD2:2013, Residual current operated circuit-breakers without. integral overcurrent protection for household and similar uses (RCCBs) - Part1: General rules.
- IEC 60038:2009, IEC standard voltages.
- ISO/IEC 30129:2015+AMD1:2019, Information Technology-Telecommunications bonding networks for buildings and other structures.

۱۴-۳-۱- استاندارد ساخت و آزمون

تمام قطعات، وسایل و تجهیزات مورد استفاده در حفاظت در برابر اغتشاشات ولتاژی و اغتشاشات الکترومغناطیسی ساختمان‌ها باید مطابق ضوابط بیان شده در این فصل از نشریه باشد و بر اساس استاندارد ملی ایران و/یا شیوه‌نامه مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی ساخته، آزموده شده و موفق به دریافت نشان ملی استاندارد ایران یا اخذ گواهی انطباق از آزمایشگاه‌های مرجع مورد تایید سازمان ملی استاندارد ایران و/یا اخذ گواهینامه فنی از مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی شده باشد.

در صورتی‌که در خصوص بخشی یا کل آزمون‌های مورد نیاز برای یک قطعه، وسیله یا تجهیز، استاندارد ملی ایران و شیوه‌نامه مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، هر دو موجود نباشند، انجام آزمون مطابق استانداردهای بین‌المللی نظیر IEC و ISO در یک آزمایشگاه معتبر و صاحب صلاحیت[۱] و اخذ گواهی آزمون ضروری است.

فهرستی از قطعات، وسایل و تجهیزات مورد استفاده در حفاظت در برابر اغتشاشات ولتاژی و اغتشاشات الکترومغناطیسی و استانداردهای ساخت و آزمون مربوطه در جدول (۱۴-۱) آمده است.

طراحی، اجرا، نظارت و آزمون و تحویل حفاظت در برابر اغتشاشات ولتاژی و اغتشاشات الکترومغناطیسی مطابق الزامات بیان شده در این فصل باید به ترتیب توسط طراحان، مجریان، ناظران و بازرسان متخصص و کارآزموده که دارای مجوز مرتبط و معتبر از مراجع ذیصلاح ملی و/یا گواهینامه فنی از مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی باشند، انجام شود.

جدول۱۴-۱- استاندارد ساخت و آزمون

ردیف	شرح تجهیز	استاندارد ساخت و آزمون
۱	وسیله حفاظتی سرج (SPD) فشار ضعیف	IEC 61643-11
۲	وسیله حفاظتی سرج (SPD) جریان ضعیف	IEC 61643-21
۳	سازگاری الکترومغناطیسی (EMC)	IEC 61000

۱۴-۴- حفاظت از تاسیسات فشار ضعیف در برابر اضافه‌ولتاژهای موقتی ناشی از وقوع خطا

۱۴-۴-۱- علل اصلی ایجاد اضافه‌ولتاژهای موقتی شدید در تاسیسات الکتریکی به قرار زیر هستند:

- وقوع اتصالی بین سمت فشار قوی و زمین در پست ترانسفورماتوری که تاسیسات فشار ضعیف را تغذیه می‌کند (ر.ک[۲]. بخش 442.2 استاندارد IEC 60364-4-44).
- قطع هادی خنثی در سیستم TN و TT (ر.ک. بخش 442.3 استاندارد IEC 60364-4-44).

---

[۱] صلاحیت آزمایشگاه توسط یکی از مراجع ذیصلاح ملی (شامل سازمان ملی استاندارد ایران یا مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی) تعیین می‌شود.

[۲] رجوع کنید.

- اتصال زمین اتفاقی[1] در سیستم IT با هادی خنثای توزیع شده (ر.ک. بخش 442.4 استاندارد IEC 60364-4-44).
- وقوع اتصال کوتاه بین هادی‌های فاز و خنثی در تاسیسات فشار ضعیف (ر.ک. بخش 442.5 استاندارد IEC 60364-4-44).

یادآوری- الزامات آرایش اتصال زمین در پست‌های ترانسفورماتوری در بخش ۱۳-۸ فصل ۱۳ عنوان شده است.

۱۴-۴-۲- وقوع اضافه ولتاژ موقتی باعث اعمال تنش ولتاژی به سیستم عایقی تجهیزات و تاسیسات الکتریکی می‌شود. مقدار این اضافه ولتاژها باید توسط تدابیر مناسب نظیر کاهش مقدار مقاومت آرایش اتصال زمین، کاهش جریان اتصال کوتاه زمین، جدا کردن آرایش اتصال زمین HV[2] و LV[3] از هم و کاهش مدت زمان برقراری خطای اتصال کوتاه، تا حد ممکن کاهش یابد. در هر صورت سطح عایقی تجهیزات و تاسیسات الکتریکی باید به گونه‌ای انتخاب شود که تحمل بزرگ‌ترین تنش‌های ولتاژی ناشی از اضافه ولتاژ موقتی را داشته باشد.

۱۴-۵- حفاظت در برابر اضافه‌ولتاژهای گذرا با منشاء جوی یا ناشی از کلیدزنی (قطع و وصل)

۱۴-۵-۱- کلیات

در حالت کلی اضافه‌ولتاژهای کلیدزنی[4] اندازه کوچک‌تری در مقایسه با اضافه ولتاژهای گذرای دارای منشاء جوی[5] دارد. در نتیجه، الزامات حفاظت در برابر اضافه ولتاژهای گذرا با منشاء جوی به طور معمول الزامات حفاظت در برابر اضافه ولتاژهای کلیدزنی را نیز پوشش می‌دهد. در صورتی‌که هیچ‌گونه حفاظت اضافه ولتاژ گذرایی در برابر اغتشاشات با منشاء جوی نصب نشده باشد، ممکن است حفاظت در برابر اضافه ولتاژ کلیدزنی نیز ضرورت یابد.

یادآوری- اضافه‌ولتاژهای ناشی از کلیدزنی می‌تواند بازه زمانی طولانی‌تری داشته و حامل انرژی بیش‌تری نسبت به اضافه ولتاژهای گذرا با منشاء جوی باشد.

حفاظت در برابر اضافه ولتاژهای گذرا به‌وسیله نصب وسایل حفاظت سرج[6] موسوم به SPD فراهم می‌شود. در صورتی‌که استفاده از SPD برای خطوط تغذیه برق نیاز شود، پیشنهاد می‌شود برای سایر خطوط از قبیل خطوط مخابرات نیز SPD پیش‌بینی شود.

[1] Accidental Earthing
[2] HV: High Voltage
[3] LV: Low Voltage
[4] Switching Overvoltage
[5] Atmospheric Origin
[6] SPDs: Surge Protective Devices

در این نشریه، در مورد الزامات حفاظت در برابر اضافه ولتاژهای گذرا که از طریق سیستم‌های انتقال داده[1] منتقل می‌شود بحث نشده و باید برای اینگونه موارد به استاندارد IEC 61643-22 مراجعه شود.

۱۴-۵-۲- ضرورت تعبیه وسیله حفاظتی سرج در تاسیسات الکتریکی

ضرورت نصب وسیله حفاظتی سرج (SPD) برای تاسیسات الکتریکی به طرق زیر قابل تعیین است:

الف) از طریق انجام مطالعه مدیریت ریسک صاعقه مبتنی بر بخش ۱۵-۵ فصل ۱۵ که ممکن است منجر به الزامی شدن یک یا هر دو تدبیر حفاظتی زیر شود:

۱) تعبیه SPDهای هم‌بندی به‌عنوان بخشی از LPS[2] داخلی با هدف جلوگیری از وقوع قوس‌های خطرناک در داخل سازه تحت حفاظت ناشی از جاری شدن جریان صاعقه در LPS خارجی یا سایر اجزای رسانای سازه (پارامترها و نحوه چیدمان چنین وسایل حفاظتی سرجی باید بر اساس بند ۱۵-۶-۲-۲ فصل ۱۵ و بند ۱۴-۵-۴ تعیین شوند).

۲) تعبیه سیستم SPDهای هماهنگ شده به‌عنوان قسمتی از SPM[3] برای جلوگیری از خرابی سیستم‌های داخلی (تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی) زمانی‌که تحت تاثیر ضربه الکترومغناطیسی صاعقه (LEMP[4]) قرار می‌گیرند (پارامترها و نحوه چیدمان چنین وسایل حفاظتی سرجی باید بر اساس بند ۱۵-۷-۴ فصل ۱۵ و بند ۱۴-۵-۴ تعیین شوند).

ب) در موارد زیر که اضافه ولتاژ گذرا با منشاء جوی (منتقل شده از طریق شبکه توزیع نیروی برق، مثلاً در اثر برخورد مستقیم صاعقه به خط هوایی) و اضافه ولتاژ گذرای ناشی از کلیدزنی، وجود حفاظت اضافه ولتاژ را ضروری کند، باید مطابق بند ۱۴-۵-۴ عمل شود:

۱) در مواقعی که اضافه ولتاژ گذرا منجر به اثرات نامطلوب برروی موارد زیر شود، باید حفاظت مناسب در برابر اضافه ولتاژ گذرا پیش‌بینی شود:

- جان انسان به‌عنوان مثال سیستم‌های تامین ایمنی، امکانات مراقبت بهداشتی.
- خدمات عمومی و میراث فرهنگی. به‌عنوان مثال قطع خدمات عمومی (آب، برق و گاز)، مراکز IT، یا آسیب به موزه‌ها.
- فعالیت‌های تجاری یا صنعتی به‌عنوان مثال هتل‌ها، بانک‌ها، صنایع، بازارهای تجاری، مزارع کشاورزی.

---

[1] Data Transmission Systems
[2] LPS: Lightning Protection System
[3] SPM: LEMP Protection Measures
[4] LEMP: Lightning Electromagnetic Impulse

۲) پیش‌بینی حفاظت در برابر اضافه ولتاژ گذرا در مواردی‌که اضافه ولتاژ بتواند بر روی یک انسان اثر نامطلوب بگذارد ضروری است به‌عنوان مثال در ساختمان‌های مسکونی یا دفاتر کوچکی که تجهیزاتی با رده اضافه ولتاژ I یا II در آن‌ها نصب شده باشد.

۳) توصیه می‌شود حفاظت در برابر اضافه ولتاژ گذرا برای ساختمان‌های دارای ریسک آتش‌سوزی لحاظ شود.

۴) توصیه می‌شود در مواقعی که در ساختمان تجهیزاتی هست که احتمال تولید اضافه ولتاژ یا اغتشاشات ناشی از کلیدزنی در آن‌ها وجود دارد و اندازه این اضافه ولتاژ می‌تواند از مقادیر اسمی برای تاسیسات موردنظر تجاوز کند، حفاظت در برابر اضافه ولتاژهای کلیدزنی در نظر گرفته شود. به‌عنوان مثال جایی که از ژنراتور LV برای تغذیه تاسیسات استفاده شده، یا بارهای سلفی و خازنی (به‌عنوان مثال الکتروموتورها، ترانسفورماتورها، بانک‌های خازنی و غیره)، یا واحدهای ذخیره‌ساز انرژی نصب شده باشند.

۱۴-۵-۳- دسته‌بندی ولتاژهای ضربه اسمی

در هر تاسیسات الکتریکی با هدف تضمین هماهنگی عایقی[1] برای تجهیزات مختلف یک ولتاژ ضربه اسمی[2] (یا بطور متناظر، یک رده اضافه ولتاژ) تعیین شده و از آن برای دسته‌بندی کردن تجهیزاتی که مستقیماً از تاسیسات الکتریکی فشار ضعیف تغذیه می‌شوند، استفاده می‌شود.

برای اکثر تجهیزات حساسی که باید تحت حفاظت قرار گیرند، در نظر گرفتن ولتاژ ضربه اسمی U_W (ر.ک. استاندارد IEC 60664-1) ضرورت دارد اما در مواردی‌که حتی توقف موقتی کارکرد تجهیزات نیز باعث ایجاد شرایط بحرانی می‌شود، باید به جای آن، پارامتر سطح ایمنی تجهیزات[3] (ر.ک. استاندارد IEC 61000-4-5) را در نظر گرفت.

نکات زیر باید همواره مورد توجه قرار گیرند:

الف) تجهیزات با ولتاژ ضربه اسمی متناظر با رده اضافه ولتاژ IV، برای استفاده در مبدا تاسیسات یا در نزدیکی آن (مثلاً در بالادستِ تابلو توزیع اصلی) مناسب هستند. تجهیزات در رده اضافه ولتاژ IV قابلیت تحمل ضربه بسیار بالایی داشته و درجه بالایی از قابلیت اطمینان را فراهم می‌کنند. ولتاژ ضربه اسمی آن‌ها نباید کوچک‌تر از مقادیر مشخص شده در جدول (۱۴-۲) باشد.

یادآوری ۱- نمونه‌هایی از این تجهیزات عبارتند از:کنتورها[4]، رله‌های اضافه جریان اولیه (پرایمری)[5] و دستگاه‌های کنترل ریپل[6].

---

[1] Insulation Coordination
[2] Rated Impulse Voltage
[3] Equipment Level Immunity
[4] Electricity Meters
[5] Primary Overcurrent Protective Devices
[6] Ripple Control Units

ب) تجهیزات دارای ولتاژ ضربه اسمی متناظر با رده اضافه ولتاژ III، برای استفاده در تابلوهای توزیع اصلی یا پایین دست آن مناسب هستند. این تجهیزات درجه بالایی از دسترس‌پذیری[1] را دارند و نباید ولتاژ ضربه اسمی آن‌ها کوچک‌تر از مقادیر مشخص شده در جدول (۱۴-۲) باشد.

یادآوری ۲- نمونه‌هایی از این تجهیزات عبارتند از: تابلوهای توزیع، قطع‌کننده مدار[2]، سیم‌کشی ساختمان‌ها[3] (شامل کابل‌ها، شینه‌ها، جعبه تقسیم‌ها[4]، کلیدها، پریزها[5])، تجهیزات صنعتی، موتورهای ساکن[6] با اتصال دایمی به تاسیسات الکتریکی و غیره.

پ) تجهیزات با ولتاژ ضربه اسمی متناظر با رده اضافه ولتاژ II، برای اتصال به تاسیسات نصب ثابت مناسب هستند، درجه‌ای از دسترس‌پذیری را فراهم می‌کنند که به طور معمول برای مصرف‌کننده‌ها[7] کافی است. ولتاژ ضربه اسمی آن‌ها نباید کوچک‌تر از مقادیر مشخص شده در جدول (۱۴-۲) باشد.

یادآوری ۳- لوازم خانگی[8] و بارهای مشابه نمونه‌هایی از این تجهیزات هستند.

ت) تجهیزات با ولتاژ ضربه اسمی متناظر با رده اضافه ولتاژ I، فقط برای استفاده در تاسیسات نصب ثابتی که SPDهایی در بیرون تجهیزات نصب شده و اضافه ولتاژهای گذرا را به سطح معینی محدود نمایند، مناسب هستند. ولتاژ ضربه اسمی آن‌ها نباید کوچک‌تر از مقادیر مشخص شده در جدول (۱۴-۲) باشد. بنابراین توصیه می‌شود تجهیزات با ولتاژ ضربه اسمی متناظر با رده اضافه ولتاژ I ترجیحاً در مبدا تاسیسات یا در نزدیکی آن نصب نشوند.

یادآوری ۴- تجهیزاتی که دارای مدارهای الکترونیکی هستند (نظیر کامپیوترها، تجهیزات الکترونیکی خانگی و غیره) نمونه‌هایی از این تجهیزات هستند.

---

[1] Availability
[2] Circuit Breakers
[3] Wiring Systems
[4] Junction Boxes
[5] Socket Outlets
[6] Stationary Motors
[7] Current-Using Equipment
[8] Household Appliances

جدول۱۴-۲- ولتاژ ضربه اسمی ضروری تجهیزات، U_W

ولتاژ نامی تاسیسات[الف] ولت	ولتاژ خط به خنثای نامی (a.c.) یا (d.c.) (تا این مقادیر و شامل آن‌ها) ولت	حداقل ولتاژ ضربه اسمی مورد نیاز تجهیزات[ج] کیلو ولت			
		برای مثال، لوازم اندازه‌گیری انرژی (کنتور برق)، سیستم‌های کنترل از راه دور[1]	برای مثال، تابلوهای توزیع، کلید و پریزها	برای مثال، وسایل برقی خانگی و ابزارآلات	برای مثال، تجهیزات الکترونیکی حساس
--	--	--	رده اضافه ولتاژ III (تجهیزات با ولتاژ ضربه اسمی بالا)	رده اضافه ولتاژ II (تجهیزات با ولتاژ ضربه اسمی عادی)	رده اضافه ولتاژ I (تجهیزات با ولتاژ ضربه اسمی کم)
--	--	رده اضافه ولتاژ IV (تجهیزات با ولتاژ ضربه اسمی بسیار بالا)			
۱۲۰/۲۰۸	۱۵۰	۴	۲٫۵	۱٫۵	۰٫۸
۲۳۰/۴۰۰[ب]	۳۰۰	۶	۴	۲٫۵	۱٫۵

الف- مطابق با استاندارد IEC 60038.

ب- برای سیستم‌های IT با ولتاژ بهره‌برداری ۲۴۰-۲۲۰ ولت، به خاطر افزایش ولتاژ نسبت به زمین در هنگام وقوع خطای زمین بر روی یکی از خطوط باید مقادیر ردیف ۲۳۰/۴۰۰ استفاده شود.

ج- این ولتاژ ضربه اسمی بین هادی‌های برق‌دار و PE[2] اعمال می‌شود.

۱۴-۵-۴- انتخاب و نصب SPD ها

۱۴-۵-۴-۱- محل نصب SPD و کلاس آزمون SPD

برای حفاظت در برابر اثرات صاعقه و در برابر اضافه‌ولتاژهای کلیدزنی، باید SPD با کلاس آزمون II استفاده شود. وسایل حفاظتی سرج باید در نزدیک‌ترین نقطه ممکن به مبدا تاسیسات نصب شوند. در سازه‌هایی که مجهز به سیستم حفاظت صاعقه خارجی هستند یا به گونه‌ای حفاظت در برابر اثرات مستقیم صاعقه برای آن‌ها در نظر گرفته شده است، باید از SPD با کلاس آزمون I استفاده شود.

در سازه‌هایی که به سیستم حفاظت صاعقه خارجی مجهز نشده‌اند، ولی در عین حال امکان اصابت مستقیم صاعقه به خطوط هوایی در فاصله بین آخرین پایه شبکه توزیع برق و نقطه ورودی تاسیسات وجود داشته باشد، باید SPD با کلاس آزمون I مطابق جدول (۱۴-۳) در مبدا تاسیسات الکتریکی یا نزدیک آن تعبیه شود.

[1] Telecontrol Systems
[2] PE: Protective Earthing

جدول۱۴-۳- انتخاب جریان تخلیه ضربه (I_{imp})

نوع اتصال	I_{imp} با واحد کیلو آمپر			
	سیستم تغذیه			
	تک‌فاز		سه‌فاز	
	CT1[1]	CT2	CT1	CT2
L - N	--	۵	--	۵
L - PE	۵	--	۵	--
N - PE	۵	۱۰	۵	۲۰
یادآوری- این جدول بر اساس تراز حفاظت صاعقه III و IV است.				

یادآوری ۱- مبدا تاسیسات می‌تواند جایی باشد که مدار تغذیه به ساختمان یا تابلو توزیع اصلی وارد می‌شود.

ممکن است برای این که تاسیسات به اندازه کافی حفاظت شود (کاهش تراز حفاظت ولتاژ U_P با توجه به ولتاژ ضربه اسمی U_W تجهیزات مورد حفاظت) استفاده از SPDهایی با کلاس آزمون II یا کلاس آزمون III نیاز باشد. در این صورت SPDهای مذکور باید در پایین دست تاسیسات الکتریکی نصب ثابت قرار گیرند (مثلاً در تابلوهای فرعی یا در پریزها). این SPDها نباید بدون آنکه SPD در مبدا تاسیسات نصب شده باشد استفاده گردند و باید با SPDهای بالادست خود هماهنگ گردند.

اگر SPD با کلاس آزمون I قادر به فراهم نمودن حفاظت مورد نظر در بخش 534.4.4.2 استاندارد IEC 60364-5-53 نباشد، باید SPDهایی با کلاس آزمون II یا کلاس آزمون III به آن افزوده شود تا از تامین تراز حفاظت ولتاژ مورد نیاز اطمینان حاصل شود.

ممکن است نیاز شود تعدادی SPD اضافی با کلاس آزمون II یا کلاس آزمون III نیز در نزدیکی تجهیزات حساس نصب شوند تا تجهیزات مطابق جدول (۱۴-۲) به اندازه کافی حفاظت شوند. در این صورت هماهنگی لازم با SPDهای بالادست باید انجام شود.

یادآوری ۲- این قبیل SPDهای اضافی ممکن است جزئی از تاسیسات الکتریکی نصب ثابت بوده یا از نوع سیار باشند.

ممکن است نصب SPDهای اضافی جهت حفاظت اضافه ولتاژ گذرا در برابر تهدیداتی که از سوی سایر منابع اضافه ولتاژ محتمل است نیز ضروری باشد. منابعی از قبیل:

- اضافه ولتاژهای کلیدزنی که توسط مصرف‌کننده‌هایی که در داخل تاسیسات قرار دارند تولید می‌شود.
- اضافه ولتاژهای روی سایر تاسیسات خدماتی شهری ورودی نظیر خطوط تلفن، شبکه‌های کابلی اینترنت.
- اضافه ولتاژهای روی خطوطی که سازه‌های دیگر را تغذیه می‌کنند، نظیر ساختمان‌های فرعی، تاسیسات روشنایی خارجی، خطوط تغذیه حسگرهای خارجی.

[1] CT: Connection Type

در موارد فوق توصیه می‌شود نصب SPD در نزدیک‌ترین نقطه ممکن به مبدا چنین تهدیداتی در نظر گرفته شود. اطلاعات بیش‌تر را می‌توان در استانداردهای IEC 61643-12 و IEC 61643-22 یافت. در صورت نصب SPD در پایین دست یک تابلوی فرعی (به طور مثال در یک پریز)، باید به شکل دایمی در این تابلو توزیع علامت‌گذاری شود (به طور مثال به‌وسیله یک برچسب).

۱۴-۵-۴-۲- الزامات حفاظت اضافه ولتاژ گذرا

حفاظت در برابر اضافه ولتاژهای گذار ممکن است از طرق زیر فراهم شود:

- مابین هادی‌های برق‌دار و اتصال زمین حفاظتی PE (حفاظت مود مشترک)
- مابین هادی‌های برق‌دار (حفاظت مود تفاضلی)

یادآوری ۱- اتصال نوع CT1[۱] در وهله اول حفاظت مود مشترک را فراهم می‌کند. اگر حفاظت مود تفاضلی نیز ضرورت داشته باشد، اغلب به تعبیه SPDهای اضافه مابین هادی‌های برق‌دار نیاز است.

یادآوری۲- اتصال نوع CT2[۲] ترکیبی از حفاظت مود مشترک و حفاظت مود تفاضلی را فراهم می‌کند.

حفاظت بین هادی‌های برق‌دار و اتصال زمین حفاظتی PE (چنانچه هادی خنثی وجود داشته باشد شامل خنثی به PE نیز می‌شود) اجباری است.

حفاظت بین هادی‌های فاز و خنثی (چنانچه هادی خنثی وجود داشته باشد) به منظور حصول اطمینان از حفاظت تجهیزات پیشنهاد می‌شود.

حفاظت بین هادی‌های فاز (در شرایط وجود چندفاز) اختیاری است.

برخی تجهیزات ممکن است به هر دو حفاظت مود مشترک (برای تحمل عایقی در برابر ضربه) و مود تفاضلی (برای ایمنی در برابر ضربه) احتیاج داشته باشند.

یادآوری ۳- برای مثال، تجهیزات الکترونیکی کلاس I یا کلاس II دارای اتصال زمین عملکردی FE[۳] به حفاظت مود مشترک و در عین حال حفاظت مود تفاضلی برای حصول اطمینان از یک حفاظت جامع در برابر اضافه ولتاژهای گذرای ناشی از کلیدزنی یا پدیده‌های جوی احتیاج دارند.

۱۴-۵-۴-۳- انواع اتصال

در سیستم‌های TN-S یا TN-C-S، در صورتی‌که فاصله بین نقطه جدایی PE و N و محل نصب SPDها کم‌تر از ۰٫۵ متر باشد، یا نقطه جدایی و SPDها در داخل یک تابلو فرعی واقع شده باشد، می‌توان SPD بین خنثی و PE را حذف نمود.

---

[۱] در اتصال نوع CT1 پل‌های SPD بین هادی‌های برق‌دار از یک طرف و هادی یا شینه PE از طرف دیگر متصل می‌شوند.

[۲] در اتصال نوع CT2 پل‌های SPD بین هادی‌های فاز از یک طرف و هادی یا شینه خنثی از طرف دیگر متصل می‌شوند. در این نوع اتصال ممکن است یک SPD مخصوص نیز بین هادی یا شینه خنثی و هادی یا شینه PE قرار گیرد.

[3] FE: Functional Earthing

۱۴-۵-۴-۴- انتخاب SPD ها

انتخاب SPDها باید بر پایه پارامترهای زیر باشد (ر.ک. بخش 534.4.4 استاندارد IEC 60364-5-53):

- تراز حفاظت ولتاژ (U_p) و ولتاژ ضربه اسمی (U_W) تجهیزات تحت حفاظت
- ولتاژ کار دایمی (U_c)
- نوع سیستم نیرو (TT، TN، IT)
- جریان تخلیه نامی (I_n) و جریان تخلیه ضربه (I_{imp})
- هماهنگی بین وسایل حفاظتی سرج
- جریان اتصال کوتاه مورد انتظار[1]
- قدرت قطع جریان دنباله

یادآوری۱- وسایل حفاظتی سرج (SPD) باید مطابق الزامات استاندارد IEC 61643-11 ساخته و آزموده شده باشند.

یادآوری۲- اطلاعات بیش‌تر راجع به انتخاب و کاربرد SPDها در استاندارد IEC 61643-12 آورده شده است.

۱۴-۵-۴-۵- حفاظت SPD در برابر اضافه جریان

وسیله حفاظتی سرج باید با توجه به اندازه جریان اتصال کوتاه، در برابر اضافه جریان حفاظت شود. این حفاظت بر اساس دستورالعمل سازنده ممکن است داخل و/یا خارج از SPD باشد.

مقادیر اسمی و مشخصات فنی وسایل حفاظتی اضافه جریان خارجی (OCPD[2])، مورد نیاز برای حفاظت SPD باید با عنایت به موارد زیر انتخاب شوند:

- مطابق یا مفاد بخش ۴۳۴ استاندارد ملی ایران به شماره ۴۳-۴-۱۹۳۷.
- تا حد ممکن بزرگ به منظور حصول اطمینان از بالا بودن قابلیت جریان سرج برای کل مجموعه SPD.
- ولی از مقادیر اسمی و مشخصات فنی الزام شده مندرج در دستورالعمل نصب سازنده SPD در خصوص حداکثر مقدار حفاظت اضافه‌جریان تجاوز نکند.

۱۴-۵-۴-۶- حفاظت در برابر اتصال کوتاه[3]

رعایت الزامات بخش 534.4.6 استاندارد IEC 60364-5-53 در مورد این نشریه الزامی است.

۱۴-۵-۴-۷- نصب SPD در مدار مجهز به RCD

اگر SPDها مطابق بند ۱۴-۵-۴-۱ نصب شده و در سمت بار وسیله حفاظتی جریان باقی‌مانده قرارگرفته باشند، RCD(ها) ممکن است با/یا بدون تاخیر زمانی باشد ولی باید بتواند جریان سرج ۸/۲۰ با دامنه ۳ کیلو آمپر را تحمل کند.

[1] Expected Short-Circuit Current
[2] OCPD: Over Current Protection Device
[3] Fault Protection

یادآوری ۱- RCDهای نوع S مطابق با استانداردهای IEC 61008-1 و IEC 61009-1 الزام فوق را برآورده می‌کنند.

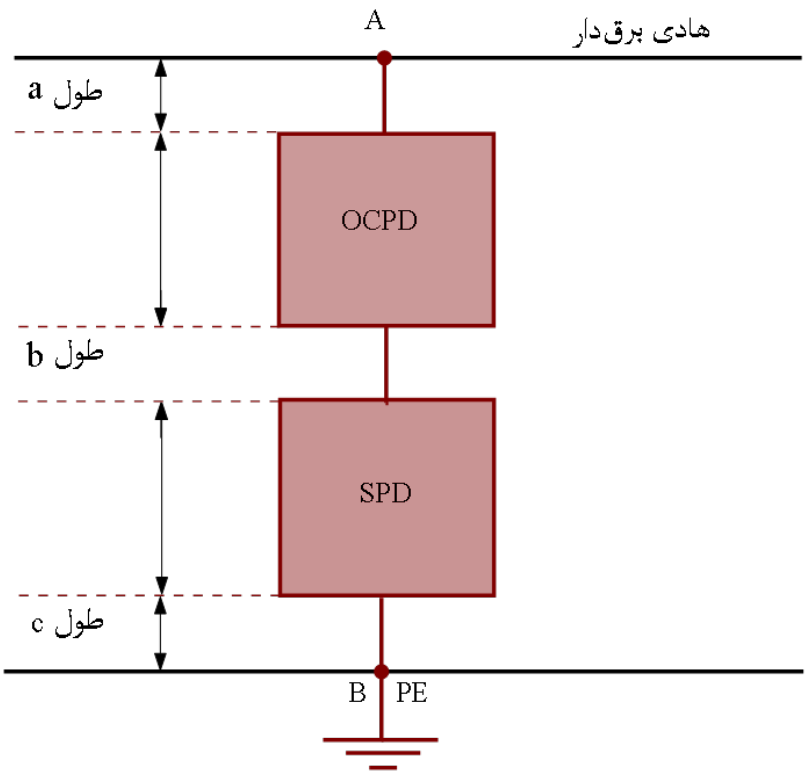
یادآوری ۲- در صورتی‌که جریان سرج ۸/۲۰ بزرگ‌تر از ۳ کیلو آمپر باشد، RCD ممکن است موجب قطع کاذب مدار تغذیه شود.

یادآوری ۳- رعایت موارد فوق ممکن است برای RCDهایی که در بالادست SPDهای اضافی (پیش‌بینی شده برای حفاظت تجهیزات حساس)، قرار گرفته‌اند، ممکن نباشد.

یادآوری ۴- نصب SPDهای با کلاس آزمون I در پایین‌دست RCDها توصیه نمی‌شود.

۱۴-۵-۴-۸- هادی‌های متصل به SPD

طول هادی‌های متصل به SPD، شامل مجموع طول مسیر بین هادی‌های برق‌دار و PE (بین A و B در شکل (۱۴-۱)) باید کم‌تر از ۰٫۵ متر باشد.



OCPD: وسیله حفاظت اضافه جریان — PE: هادی اتصال زمین حفاظتی

SPD: وسیله حفاظتی سرج — A و B: نقاط اتصال در مجموعه SPD

یادآوری- جائی که OCPD وجود نداشته باشد، طول b برابر صفر می‌شود.

شکل ۱۴-۱- نحوه اتصالات در یک SPD

۱۴-۵-۴-۹- فاصله حفاظتی موثر SPD

در مواردی‌که فاصله SPD تا تجهیزات تحت حفاظت، بزرگ‌تر از ۱۰ متر باشد، توصیه می‌شود تدابیر حفاظتی اضافی زیر انجام شود:

- یک SPD اضافی، در مکانی تا حد ممکن نزدیک به تجهیزات تحت حفاظت نصب شود. تراز حفاظت ولتاژ U_P این SPD نباید از مقدار ولتاژ ضربه اسمی U_W مورد نیاز تجهیزات تجاوز کند.
- از SPDهای تک-پورت[1] در مبدا تاسیسات یا نزدیکی آن استفاده شود. به طوری که تراز حفاظت ولتاژی U_P آن‌ها از ۵۰ درصد ولتاژ ضربه اسمی U_W مورد نیاز تجهیزات تحت حفاظت تجاوز نکند.
- از SPDهای دو-پورت[2] در مبدا تاسیسات یا در نزدیکی آن استفاده شود و تراز حفاظت ولتاژی U_P از ولتاژ ضربه اسمی U_W مورد نیاز تجهیزات تحت حفاظت تجاوز نکند. توصیه می‌شود این کار همراه با سایر تدابیر از قبیل استفاده از کابل‌های شیلددار در سراسر مدارهای حفاظت شده، همراه شود.

۱۴-۵-۴-۱۰- هادی اتصال‌دهنده SPD ها

سطح مقطع هادی‌های بین SPD و شینه اصلی اتصال زمین یا هادی حفاظتی نباید کم‌تر از موارد زیر باشد:

- برای SPDهای با کلاس آزمون II که در مبدا تاسیسات یا نزدیکی آن نصب شده‌اند ۶ میلی‌مترمربع مسی یا معادل آن از آلومینیوم.
- برای هادی مسی یا معادل آن برای SPDهای با کلاس آزمون I که در مبدا تاسیسات یا نزدیکی آن نصب شده‌اند ۱۶ میلی‌مترمربع مسی یا معادل آن از آلومینیوم.

هادی‌هایی که SPDها و وسایل حفاظتی اضافه جریان را به هادی‌های برق‌دار متصل می‌کنند باید بر اساس تحمل جریان اتصال کوتاه مورد انتظار تعیین شده و سطح مقطع‌شان کوچک‌تر از حدود زیر نباشد:

- برای SPDهای با کلاس آزمون II که در مبدا تاسیسات یا نزدیکی آن نصب شده‌اند ۲٫۵ میلی‌مترمربع مسی یا معادل آن از آلومینیوم.
- برای SPDهای با کلاس آزمون I که در مبدا تاسیسات یا نزدیکی آن نصب شده‌اند ۶ میلی‌مترمربع مسی یا معادل آن از آلومینیوم.

[1] One-Port SPDs
[2] Two-Port SPDs

۱۴-۶- تدابیر در برابر تاثیرات الکترومغناطیسی

۱۴-۶-۱- کلیات

این بخش از نشریه پیشنهادات اساسی برای کاهش اغتشاشات الکترومغناطیسی ارایه می‌دهد. تداخل الکترومغناطیسی (EMI[1]) ممکن است باعث مختل شدن یا خرابی سیستم‌های فن‌آوری اطلاعات یا تجهیزات فن‌آوری اطلاعات و همچنین تجهیزات دارای مدارها یا قطعات الکترونیکی شود. جریان‌های ناشی از صاعقه، قطع و وصل کردن، اتصال‌کوتاه‌ها و سایر پدیده‌های الکترومغناطیسی ممکن است باعث وقوع اضافه‌ولتاژ و تداخلات الکترومغناطیسی شوند.

شدیدترین این تاثیرات در موارد زیر هستند:

- جایی‌که حلقه‌های فلزی گسترده وجود دارد،
- جایی‌که سیستم‌های سیم‌کشی الکتریکی متفاوت در مسیرهای مشترک اجرا شده است، به طور مثال برای تغذیه برق و برای سیگنال‌دهی[2] تجهیزات فن‌آوری اطلاعات در داخل ساختمان.

۱۴-۶-۲- کاهش تداخل الکترومغناطیسی (EMI)

طراحان و مجریان تاسیسات الکتریکی ساختمان‌ها باید تدابیر مناسب جهت کاهش اثرات الکتریکی و مغناطیسی بر روی تجهیزات الکتریکی به کار بگیرند. علاوه بر مطالب مندرج در این بخش از نشریه لازم است الزامات بخش 444.4 استاندارد IEC 60364-4-44 نیز در نظر گرفته شوند.

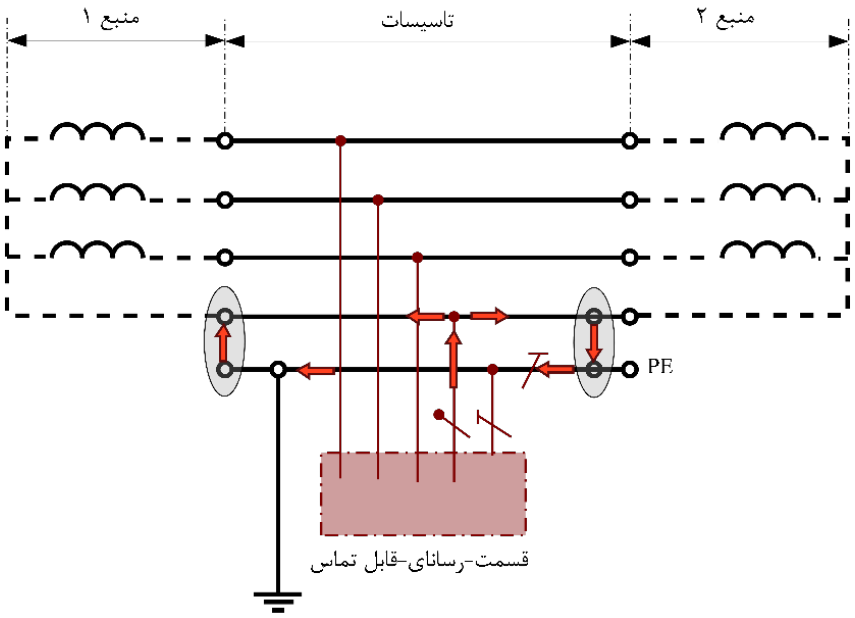
فقط استفاده از تجهیزات الکتریکی مجاز است که الزامات استانداردهای مناسب در مورد EMC[3] یا الزامات EMC مندرج در استاندارد محصولات مربوطه را برآورده کرده باشند.

۱۴-۶-۲-۱- سیستم نیروی TN با منابع تغذیه چندگانه

در صورتی‌که تاسیسات الکتریکی از نوع سیستم نیروی TN با منابع تغذیه چندگانه به‌صورت مناسبی طراحی نشوند، قسمتی از جریان بهره‌برداری ممکن است در مسیرهای ناخواسته جریان یابد. این جریان‌ها ممکن است باعث مشکلاتی نظیر موارد زیر شوند:

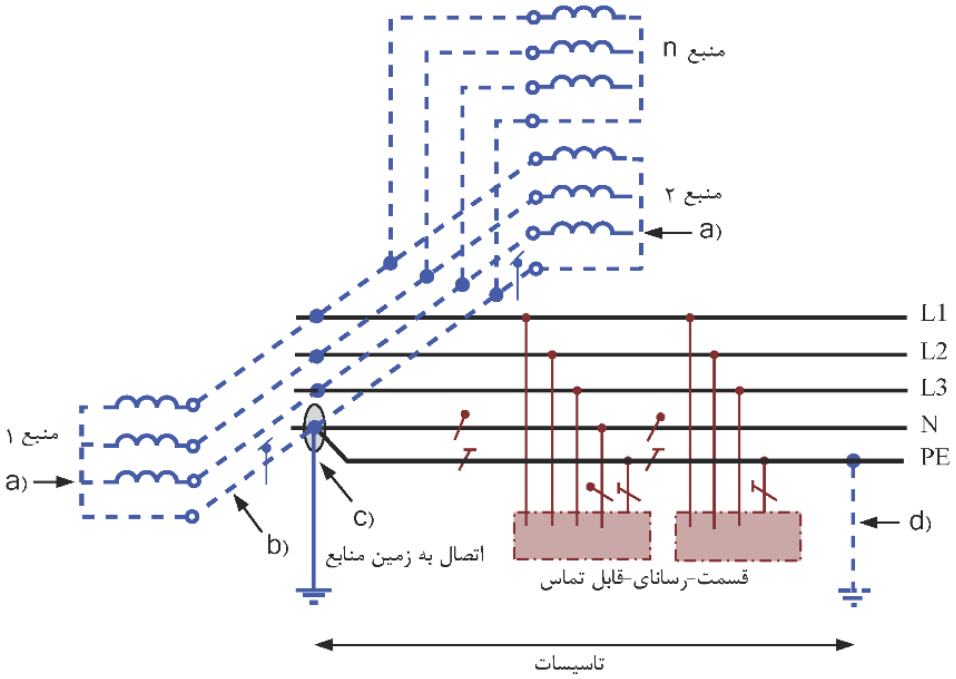
- آتش‌سوزی
- خوردگی
- تداخل الکترومغناطیسی

[1] EMI: Electromagnetic Interference
[2] Signalling
[3] EMC: Electromagnetic Compatibility



شکل۱۴-۲- سیستم TN با منابع تغذیه چندگانه با چندین اتصال نامناسب مابین PEN و زمین

در صورتی‌که یک سیستم نیروی برق از نوع TN توسط چندین منبع تغذیه تاسیسات الکتریکی تغذیه شود، نقاط خنثی منابع تغذیه مختلف باید توسط یک هادی روکش‌دار و عایق‌شده به یکدیگر متصل شده و سپس این هادی روکش‌دار و عایق‌شده به‌صورت متمرکز و تنها از یک نقطه منفرد و مشابه زمین شود (ر.ک. شکل‌های (۱۴-۲) و (۱۴-۳)).



شکل۱۴-۳- سیستم TN با چندین منبع تغذیه در حال نیرو رسانی به تاسیسات است در حالی‌که نقطه خنثی منابع تغذیه تنها در یک نقطه مشابه و منفرد زمین شده‌اند.

در شکل (۱۴-۳):

a: هیچ‌گونه اتصالی بین نقطه خنثای ترانسفورماتور یا نقطه خنثی ژنراتور به زمین مجاز نیست.

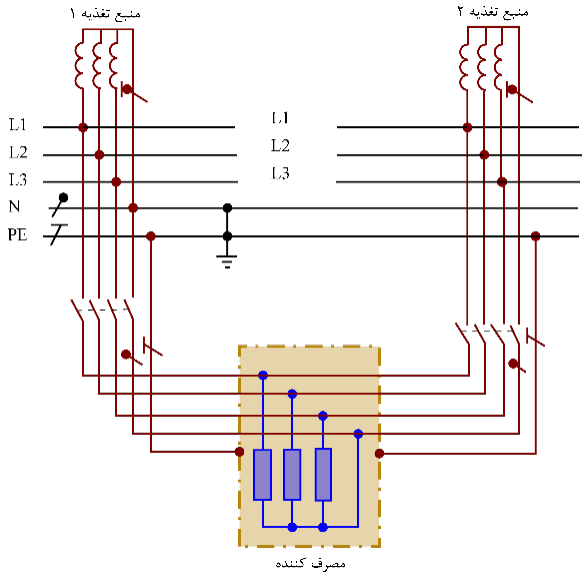
b: هادی اتصال‌دهنده نقاط خنثی ترانسفورماتور و نقاط خنثی ژنراتورها به یکدیگر باید از نوع روکش‌دار باشد. این هادی به‌عنوان PEN عمل کرده و ممکن است به همین نام نیز علامت‌گذاری شود. با این حال نباید از این هادی برای اتصال به مصرف‌کننده‌ها[1] استفاده شود و برای جلوگیری از آن باید علائم هشدار دهنده بر روی آن چسبانده یا در نزدیکی آن قرار داده شود.

c: فقط یک اتصال مابین نقاط خنثای متصل به هم منابع تغذیه چندگانه و هادی PE باید ایجاد شود. این اتصال باید در داخل تابلو توزیع اصلی ساختمان باشد.

d: زمین کردن اضافی هادی PE در تاسیسات مجاز است.

۱۴-۶-۲-۲- آرایش اتصال زمین برای منابع تغذیه پشتیبان[2]

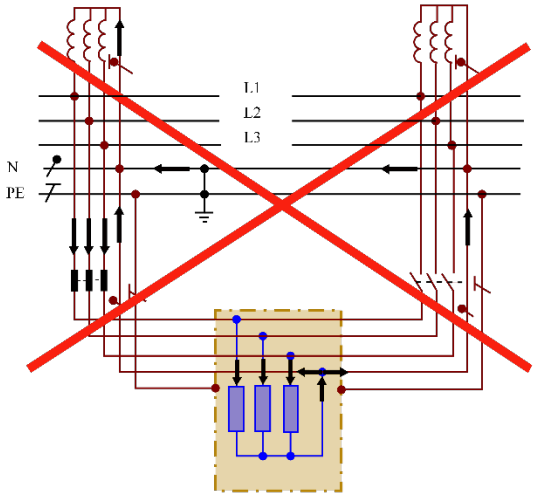
در سیستم‌های TN برای انتقال[3] تغذیه از منبع اصلی به منبع پشتیبان باید از یک تجهیز قطع و وصل استفاده شود که هم هادی‌های فاز و هم در صورت وجود، هادی خنثی را از منبع تغذیه اول قطع و به منبع تغذیه پشتیبان وصل کند (ر.ک. بخش 444.4.7 استاندارد IEC 60364-4-44)[4].



شکل۱۴-۴- منبع تغذیه پشتیبان سه‌فاز با کلید چهارپل

[1] Current-Using-Equipment
[2] Alternative Supply
[3] Transfer
[4] برای کسب اطلاعات بیش‌تر در خصوص نحوه اتصال زمین منابع تغذیه پشتیبان نظیر مولدهای برق و سیستم‌های برق بدون وقفه (UPS) به استانداردهای زیر مراجعه شود: بخش ۷ استاندارد ملی ایران به شماره ۴۱۲۳، بخش ۷ استاندارد IEEE Std 446:1995، بخش 8.3.4.2 و بخش8.5.2 استاندارد IEEE Std 1100:2005 و بخش 1.9 استاندارد IEEE Std 142:2007.

یادآوری- این روش از ایجاد میدان‌های الکترومغناطیسی ناشی از جریان‌های پراکنده در سیستم تغذیه اصلی تاسیسات جلوگیری می‌کند. جمع برداری جریان‌های داخل یک کابل باید برابر صفر باشد. این به ما اطمینان می‌دهد که وقتی کلید وصل است جریان خنثی فقط در هادی خنثای مدار جاری می‌شود. باید دقت داشت که مجموع جریان‌های هارمونیک سوم (۱۵۰هرتز) هادی‌های فاز به هادی خنثی سرازیر می‌شوند.



یادآوری- منبع تغذیه پشتیبان سه‌فاز با کلید سه‌پل نامناسب منجربه جریان‌های گردشی ناخواسته و متعاقباً تولید میدان‌های الکترومغناطیسی می‌شوند.

شکل۱۴-۵- جاری شدن جریان خنثی در منبع تغذیه پشتیبان سه‌فاز با کلید سه‌پل نامناسب

۱۴-۶-۳- اتصال زمین و هم‌بندی هم‌پتانسیل‌کننده (EB[1])

علاوه بر مطالب مندرج در این بخش باید الزامات و توصیه‌های مندرج در بخش 444.5 استاندارد IEC 60364-4-44 نیز رعایت شود. همچنین برای شبکه‌های هم‌بندی مخابراتی در ساختمان‌ها باید الزامات استانداردهای ISO/IEC 30129 رعایت شوند[۲].

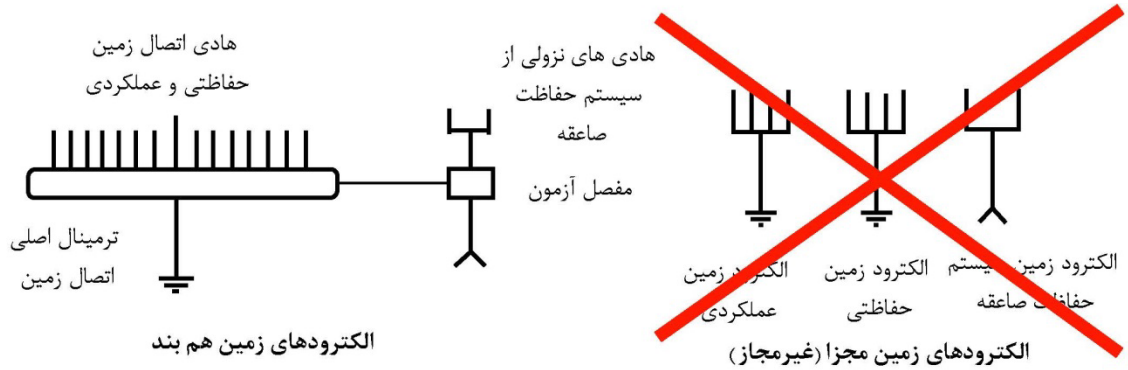
۱۴-۶-۳-۱- اتصال الکترودهای زمین به هم

۱۴-۶-۳-۱-۱- در صورتی‌که از تجهیزات الکترونیکی برای مخابره و تبادل داده بین چند ساختمان مختلف استفاده می‌شود توصیه می‌شود تمامی هادی‌های اتصال زمین عملکردی و حفاظتی این ساختمان‌ها به یک ترمینال اصلی اتصال زمینِ واحد متصل شوند.

[1] EB: Equipotential Bonding

[۲] برای اطلاعات بیش‌تر به بخش 8.5.4 استاندارد IEEE Std 1100:2005 مراجعه شود.

۱۴-۶-۳-۱-۲- تمامی الکترودهای زمین موجود در یک ساختمان (شامل حفاظتی، عملکردی و حفاظت صاعقه)، باید مستقیما و به شکل موثری به یکدیگر متصل شوند (شکل (۱۴-۶)).



شکل ۱۴-۶- هم‌بندی الکترودهای زمین

۱۴-۶-۳-۱-۳- هادی‌های هم‌بندی عملکردی و حفاظتی باید به‌صورت جداگانه به شینه اصلی اتصال زمین متصل شوند به گونه‌ای که در صورت قطع یکی، اتصال سایر هادی‌ها متصل باقی بماند.

۱۴-۶-۳-۲- ساختارهای مجاز برای شبکه هادی‌های هم‌پتانسیل‌کننده و هادی‌های اتصال زمین

۱۴-۶-۳-۲-۱- چهار ساختار اساسی که ممکن است با توجه به اهمیت و آسیب‌پذیری تجهیزات، استفاده شوند به شرح زیرند:

۱) هادی‌های حفاظتی متصل به یک هادی هم‌بندی رینگ[1]

۲) هادی‌های حفاظتی در یک شبکه ستاره‌ای

۳) شبکه ستاره‌ای هم‌بند با مش چندگانه[2]

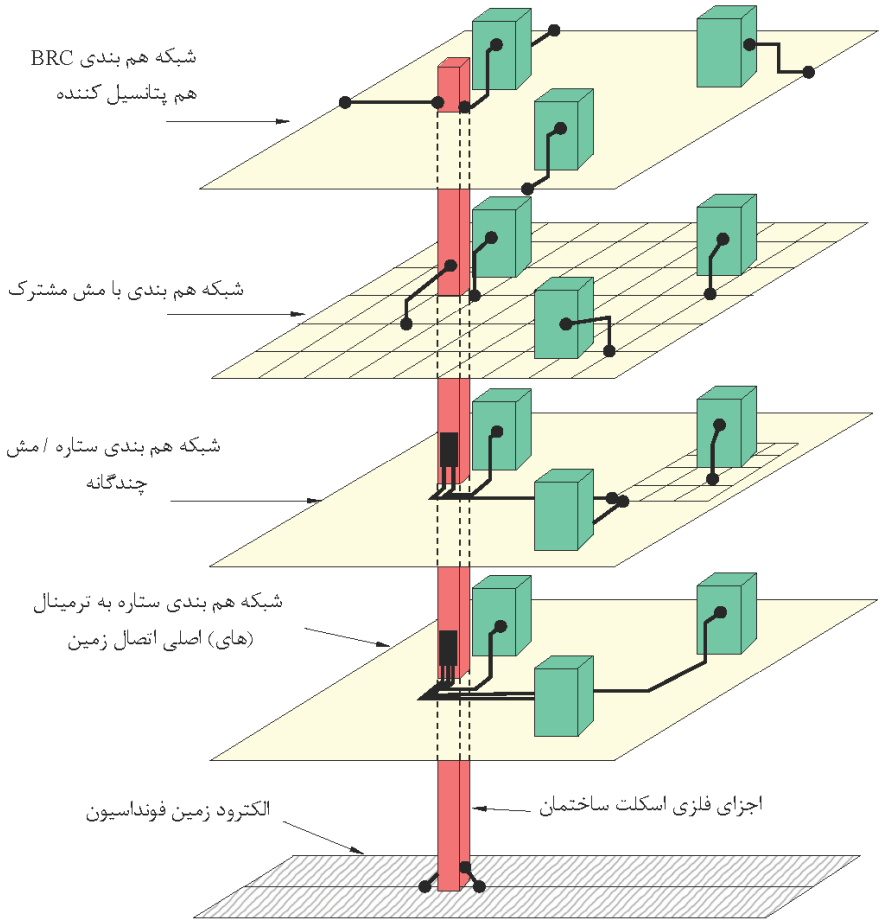
۴) شبکه ستاره‌ای هم‌بند با مش مشترک[3]

۱۴-۶-۳-۲-۲- قسمت‌های -رسانای- قابل‌تماس تجهیزات الکترونیکی و فن‌آوری اطلاعات در داخل ساختمان از طریق هادی‌های حفاظتی به هم متصل می‌شوند. در ساختمان‌های مسکونی که عموماً تعداد محدودی تجهیزات الکترونیکی استفاده می‌کنند، ممکن است یک شبکه هادی حفاظتی ستاره‌ای قابل قبول باشد. ولی در ساختمان‌هایی با تجهیزات الکترونیکی متعدد و شبکه ارتباطی گسترده، ممکن است اجرای سایر شبکه‌های هم‌بندی لازم باشد.

---
[1] Bonding-Ring Conductor
[2] Multiple Meshed Bonding Star Network
[3] Common Meshed Bonding Star Network

۱۴-۶-۳-۳- شبکه‌های هم‌بندی (BN) هم‌پتانسیل‌کننده در ساختمان‌هایی با چندین طبقه

برای ساختمان‌های چند طبقه، پیشنهاد می‌شود در هر طبقه یک سیستم هم‌بندی هم‌پتانسیل‌کننده نصب شود، شکل (۱۴-۷) مثال‌هایی از استفاده مشترک از شبکه‌های هم‌بندی در طبقات مختلف را نشان می‌دهد. توصیه می‌شود سیستم‌های هم‌بندی طبقات مختلف حداقل با دو رشته هادی به یکدیگر متصل شوند (ر.ک. بخش ۱۳-۷-۴ فصل ۱۳).



شکل۱۴-۷- مثالی از شبکه‌های هم‌بندی هم‌پتانسیل‌کننده در سازه فاقد سیستم حفاظت صاعقه

۱۴-۶-۳-۴- هادی اتصال زمین عملکردی (FE)

۱۴-۶-۳-۴-۱- برخی تجهیزات الکترونیکی برای داشتن عملکرد صحیح به ولتاژ مرجعی برابر با پتانسیل جرم زمین احتیاج دارند. این ولتاژ مرجع به‌وسیله هادی اتصال زمین عملکردی فراهم می‌شود.

۱۴-۶-۳-۴-۲- هادی‌های مورد استفاده برای اتصال زمین عملکردی به توجه به فرکانس کار تجهیزات مورد نظر، ممکن است به‌صورت تسمه‌های فلزی، سیم‌های بافته‌ای تخت یا کابل‌هایی با سطح مقطع مدور (هادی مدور) باشند.

۱۴-۶-۳-۴-۳- برای هادی‌های اتصال زمین عملکردی هیچ رنگی مشخص نشده است. با این حال رنگ سبز-و-زرد که برای هادی‌های اتصال زمین حفاظتی (PE) تعیین شده است نباید استفاده شود. پیشنهاد می‌شود از یک رنگ مشابه در سرتاسر تاسیسات برای مشخص بودن هادی‌های اتصال زمین عملکردی در هر دو سمت هادی به کار برده شود.

۱۴-۶-۴- تفکیک مدارها[1]

کابل‌ها (یا هادی‌های) تغذیه برق و کابل‌های فن‌آوری ارتباطات و اطلاعات که سیستم هدایت کابل[2] مشابهی یا مسیر مشابهی[3] را به اشتراک می‌گذارند، باید مطابق الزامات داده شده در بخش 444.6 استاندارد IEC 60364-4-44 نصب شوند.

یادآوری- برای اهداف مورد نظر این بخش، سیستم‌های باسداکت[4] و سیستم‌های پاورتراک[5] جزو سیستم‌های هدایت کابل در نظر گرفته می‌شوند.

ایمنی الکتریکی و سازگاری الکترومغناطیسی ممکن است به رعایت الزامات متفاوتی برای برای تفکیک الکتریکی[6] و جدایی الکتریکی[7] منجر شوند. همواره ایمنی الکتریکی اولویت بالاتری دارد.

۱۴-۶-۵- سیستم‌های هدایت کابل

سیستم‌های هدایت کابل به هر دو شکل فلزی و غیر فلزی وجود دارند که باید الزامات داده شده در بخش 444.7 استاندارد IEC 60364-4-44 در مورد آن‌ها رعایت شوند. سیستم‌های هدایت کابل فلزی در صورتی‌که مطابق بخش 444.7.3 استاندارد IEC 60364-4-44 نصب شده باشند، درجات مختلفی از حفاظت ارتقاء یافته[8] در برابر EMI را فراهم می‌کنند.

۱۴-۷- حفاظت در برابر کاهش ولتاژ

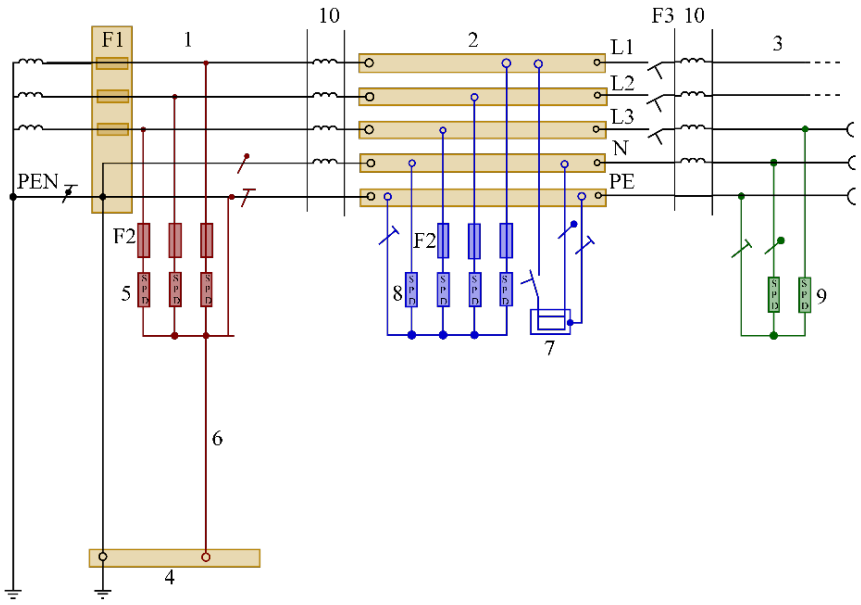
در مواردی‌که افت ولتاژ یا قطع و بازیابی مجدد ولتاژ می‌تواند منجر به وقوع خطر برای افراد یا اموال شود، باید تدابیر حفاظتی مناسبی اتخاذ شود. زمانی‌که قسمتی از تاسیسات یا مصرف‌کننده‌ها[9] ممکن است در اثر افت ولتاژ آسیب ببینند نیز تدابیر مشابهی انجام شود.

---

[1] Segregation of Circuits
[2] Cable Management System
[3] Same Route
[4] Busbar Trunking Systems
[5] Powertrack Systems
[6] Electrical Segregation
[7] Electrical Separation
[8] Enhanced Protection
[9] Current-Using Equipment

در صورتی‌که ریسک آسیب رسیدن به تاسیسات یا تجهیزات مصرف‌کننده قابل تحمل بوده و هیچ خطری افراد را تهدید نکند، پیش‌بینی حفاظت کاهش ولتاژ الزامی نیست. برای اطلاع از سایر تدابیر حفاظتی به بخش 445.1 استاندارد IEC 60364-4-44 مراجعه شود.

۱۴-۸- علائم ترسیمی



۱ مبدا تاسیسات

۲ تابلو توزیع

۳ پریز برق[1]

۴ ترمینال یا شینه اصلی اتصال زمین

۵ وسیله حفاظتی سرج، کلاس آزمون I یا II

۶ هادی اتصال زمین وسیله حفاظتی سرج (SPD)

۷ تجهیزات نصب ثابت

۸ وسیله حفاظتی سرج، کلاس آزمون II (به‌عنوان طرح جایگزین می‌توان از پیکره‌بندی اتصال نوع CT2 به‌صورت ۳+۱ نیز استفاده کرد)

۹ وسیله حفاظتی سرج، کلاس آزمون II یا III (به‌عنوان طرح جایگزین می‌توان از پیکره‌بندی ۱+۱ نیز استفاده کرد)

۱۰ عنصر مجزا کننده[2] یا طول مناسبی از مدار

F۱ و F۲ و F۳ جداکننده‌های حفاظتی اضافه جریان

یادآوری- برای اطلاعات بیش‌تر به استاندارد IEC 61643-12 مراجعه کنید.

شکل۱۴-۸- مثالی از نصب SPD با کلاس آزمون I، II و III در سیستم TN

[1] Distribution Outlet
[2] Decoupling Element

فصل ۱۵

حفاظت در برابر صاعقه

۱۵-۱- دامنه پوشش

این فصل از نشریه به موضوعات زیر می‌پردازد:

- اصول کلی و بنیادین جهت حفاظت صاعقه ساختمان، شامل تاسیسات و محتویات‌شان از جمله افرادی که در داخل ساختمان حضور دارند،
- مدیریت ریسک ناشی از اصابت صاعقه به زمین،
- الزامات برای حفاظت از ساختمان در برابر تخریب فیزیکی با استفاده از به کارگیری یک سیستم حفاظت صاعقه (LPS[1]) و همچنین برای حفاظت در برابر صدمه به موجودات زنده ناشی از ولتاژهای گام و تماس در مجاورت یک LPS،
- اطلاعات مورد نیاز جهت طراحی، نصب و اجرای سیستم حفاظت از تجهیزات و سیستم‌های الکتریکی و الکترونیکی (SPM[2]) به منظور کاهش ریسک خرابی دایمی ناشی از ضربه الکترومغناطیسی صاعقه (LEMP[3]) در داخل یک ساختمان.

۱۵-۱-۱- موارد زیر خارج از دامنه کاربرد این فصل از نشریه بوده و برای آن‌ها باید به کدها و استانداردهای تخصصی مرتبط مراجعه شود:

- سیستم‌های ریلی
- وسایل نقلیه زمینی، دریایی، هوایی، تاسیسات فراساحل
- لوله‌های پرفشار زیرزمینی
- خطوط مخابراتی، نیروی برق، لوله‌ها که خارج از ساختمان قرار دارند.
- ساختمان‌هایی با ریسک انفجار
- ساختمان‌هایی که خسارت به آن‌ها ممکن است اثر نامطلوبی بر روی محیط[4] بگذارد (به‌عنوان مثال نشت مواد شیمیایی یا رادیواکتیو).

۱۵-۱-۲- این فصل از نشریه برای طراحی، نصب و اجرای سیستم حفاظت صاعقه یک ساختمان بدون هیچ‌گونه محدودیتی از ارتفاع آن قابل کاربرد است.

---

[1] LPS: Lightning Protection System
[2] SPM: LEMP Protection Measures
[3] LEMP: Lightning Electromagnetic Impulse
[4] Environment

این فصل از نشریه موضوع حفاظت در برابر تداخلات الکترومغناطیسی ناشی از صاعقه که ممکن است باعث عملکرد نادرست سیستم‌های داخلی بشوند، نمی‌پردازد. برای این موضوع باید به فصل ۱۴ مراجعه شود.

۱۵-۲- تعاریف و اصطلاحات

۱۵-۲-۱- سیستم حفاظت صاعقه

lightning protection system (LPS)

سیستم کاملی که با هدف کاهش خسارت‌های فیزیکی ناشی از اصابت صاعقه به ساختمان استفاده می‌شود.

یادآوری- این سیستم خود از دو قسمت سیستم حفاظت صاعقه داخلی و سیستم حفاظت صاعقه خارجی تشکیل می‌شود.

۱۵-۲-۲- سیستم حفاظت صاعقه خارجی (یا بیرونی)

external lightning protection system

قسمتی از سیستم حفاظت صاعقه (LPS) که شامل سیستم ترمینال هوایی، سیستم هادی نزولی و سیستم ترمینال زمینی می‌شود.

۱۵-۲-۳- سیستم حفاظت صاعقه داخلی (یا درونی)

internal lightning protection system

قسمتی از سیستم حفاظت صاعقه (LPS) که شامل هم‌بندی هم‌پتانسیل‌کننده صاعقه و/یا عایق‌بندی الکتریکی[1] سیستم حفاظت صاعقه خارجی می‌شود.

۱۵-۲-۴- سیستم الکتریکی

electrical system

سیستمی شامل اجزای تغذیه برق فشار ضعیف

۱۵-۲-۵- سیستم الکترونیکی

electronic system

سیستمی که شامل اجزای الکترونیکی حساس از قبیل تجهیزات مخابراتی، کامپیوتر، سیستم‌های ابزاردقیق و کنترلی، سیستم‌های رادیویی و تاسیسات الکترونیک قدرت است.

[1] Electrical Insulation

۱۵-۲-۶- واسط‌های ایزوله‌کننده

isolating interfaces

ادواتی که قادر به کاهش سرج‌های[1] هدایت شده بر روی خطوط ورودی به زون حفاظت صاعقه هستند.

یادآوری ۱- این ادوات شامل ترانسفورماتورهای ایزوله (که به یک صفحه محافظ زمین شده مابین سیم‌پیچ‌ها مجهز هستند) و کابل‌های فیبر نوری عاری از فلز و اپتوکوپلرها (تزویج‌کننده‌های نوری) هستند.

یادآوری ۲- مشخصه تحمل عایقی این تجهیزات یا به‌صورت ذاتی و یا از طریق وسیله حفاظتی سرج برای کاربرد مورد نظر مناسب هستند.

۱۵-۲-۷- ضربه الکترومغناطیسی صاعقه

lightning electromagnetic impulse
LEMP

تمامی اثرات الکترومغناطیسی ناشی از جریان صاعقه از طریق تزویج مقاومتی، القایی و خازنی، که باعث ایجاد سرج‌ها و میدان‌های الکترومغناطیسی می‌شوند.

۱۵-۲-۸- سرج (فراتاخت)

surge

پدیده گذرای ایجاد شده به‌وسیله ضربه الکترومغناطیسی صاعقه که به‌صورت یک اضافه‌ولتاژ و/یا اضافه جریان ظاهر می‌شود.

۱۵-۲-۹- تدابیر حفاظتی LEMP (SPM)

LEMP protection measures
SPM

شامل تدابیر در نظر گرفته شده به منظور حفاظت سیستم‌های داخلی در برابر اثرات ضربه الکترومغناطیسی صاعقه است.

یادآوری- این تدابیر جزئی از سیستم کلی حفاظت صاعقه است.

۱۵-۲-۱۰- الکترود زمین فونداسیون (پی سازه)

foundation earth electrode

جرمی است فلزی، مدفون در خاک زیر فونداسیون ساختمان یا، ترجیحاً، تعبیه شده در بتن فونداسیون ساختمان، عموماً به شکل حلقه بسته، که شرایط کامل یک الکترود زمین را داشته باشد.

[1] Surges

۱۵-۲-۱۱- اجزای طبیعی LPS

natural component of LPS

اجزای فلزی‌ای که مخصوص سیستم حفاظت صاعقه نصب نشده‌اند و می‌توانند به‌صورت مازاد بر سیستم حفاظت صاعقه استفاده شده یا در برخی موارد می‌توانند به‌عنوان یک یا چند جز از سیستم حفاظت صاعقه عمل کنند.

یادآوری- مثال‌هایی از استفاده از این اصطلاح عبارت است از:

- ترمینال هوایی طبیعی
- هادی نزولی طبیعی
- الکترود زمین طبیعی

۱۵-۲-۱۲- اجزای اتصال‌دهنده

connecting component

قسمتی از یک سیستم حفاظت صاعقه که برای اتصال هادی‌ها به هم‌دیگر یا تاسیسات فلزی استفاده می‌شوند.

یادآوری- این اجزا همچنین شامل جمپرها[1] و قطعات انبساط پذیر[2] می‌شوند.

۱۵-۲-۱۳- بست نگهدارنده

fixing component

قسمتی از یک سیستم حفاظت صاعقه که برای ثابت و محکم نگه داشتن عناصر سیستم حفاظت صاعقه به ساختمان تحت حفاظت استفاده می‌شود.

۱۵-۲-۱۴- تاسیسات فلزی

metal installations

اجرام فلزی موجود در ساختمانِ تحت حفاظت که ممکن است مسیری برای عبور جریان صاعقه تشکیل دهند، از قبیل لوله‌ها، راه‌پله‌ها، ریل راهنمای آسانسور، داکت‌های تهویه، گرمایش و تهویه مطبوع، آرماتورهای به هم پیوسته، اجزای فلزی ساختمان.

۱۵-۲-۱۵- قسمت‌های رسانای خارجی

external conductive parts

اجرام فلزی‌ای که از خارج به ساختمانِ تحت حفاظت وارد و یا از آن خارج می‌شوند، از قبیل لوله‌ها، زره فلزی کابل، داکت‌های فلزی و غیره که ممکن است قسمتی از جریان صاعقه را حمل کنند.

---

[1] Bridging Component
[2] Expansion Piece

۱۵-۲-۱۶- هم‌بندی هم‌پتانسیل کننده صاعقه

lightning equipotential bonding (EB)

به هم‌بندی قسمت‌های فلزی مجزا از هم در یک سیستم حفاظت صاعقه به‌وسیله اتصال مستقیم یا از طریق وسایل حفاظتی سرج (SPD[1]) به منظور کاهش اختلاف پتانسیل مابین آن‌ها ناشی از جریان صاعقه گفته می‌شود.

۱۵-۲-۱۷- آرماتورهای به هم پیوسته

interconnected reinforcing steel

قطعات فولادی داخل یک سازه بتنی که از لحاظ الکتریکی پیوسته باشند.

یادآوری- در اسکلت بتنی تنها با تعبیه یک شبکه مش از هادی مناسب و اتصال آن به آرماتورها از طریق کلمپ، پیوستگی الکتریکی موثر و قابل قبولی ایجاد می‌شود (ر.ک[۲]. بند ۱۳-۷-۴ فصل ۱۳).

۱۵-۲-۱۸- فاصله جدایی

separation distance

فاصله بین دو قسمت فلزی به گونه‌ای که نتواند بین آن‌ها قوس خطرناکی رخ دهد.

۱۵-۲-۱۹- کلاس سیستم حفاظت صاعقه

class of LPS

اعدادی که نشان‌دهنده طبقه‌بندی یک سیستم حفاظت صاعقه مطابق با ترازی است که طراحی LPS بر اساس پارامترهای آن انجام شده است.

۱۵-۲-۲۰- طراح حفاظت صاعقه

lightning protection designer

شخصیتی است ذیصلاح، دارای صلاحیت حرفه‌ای و کارآزموده در زمینه طراحی سیستم حفاظت صاعقه.

۱۵-۲-۲۱- مجری حفاظت صاعقه

lightning protection installer

شخصیتی است ذیصلاح، دارای صلاحیت حرفه‌ای و کارآزموده در زمینه نصب و اجرای سیستم حفاظت صاعقه.

---

[1] SPD: Surge Protective Device

[۲] رجوع کنید.

۱۵-۲-۲۲- ایزوله‌کننده قوسی (یا جرقه‌ای) (ISG)

isolating spark gap (ISG)

تجهیزی است مجهز به یک شکاف یا فاصله هوایی، با امکان تخلیه الکتریکی، که هدف از نصب آن ایزوله کردن الکتریکی قسمت‌های رسانای تاسیسات است.

یادآوری- در هنگام اصابت یک صاعقه، قسمت‌های مختلف تاسیسات در نتیجه وقوع پدیده تخلیه الکتریکی در فاصله هوایی ISG به‌صورت موقت به لحاظ الکتریکی به هم متصل می‌شوند.

۱۵-۲-۲۳- تراز حفاظت صاعقه

lightning protection level (LPL)

عددی است جامعِ مجموعه‌ای از پارامترهای جریان صاعقه که متناسب با این احتمال هستند که در شرایط وقوع یک صاعقه طبیعی این پارامترها از مقادیر طراحی شده حداقل و حداکثر تعیین شده آن تراز تجاوز نکنند.

یادآوری- تراز حفاظتی صاعقه برای طراحی تدابیر حفاظتی مطابق با برخی از پارامترهای جریان صاعقه، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۱۵-۲-۲۴- زون حفاظت صاعقه

lightning protection zone (LPZ)

زون یا ناحیه‌ای که محیط الکترومغناطیسی صاعقه برای آن تعریف شده است.

یادآوری- مرز زون‌های مختلف یک سیستم حفاظت صاعقه لزوماً مرزهای فیزیکی (مانند دیوارها، کف و سقف) نیستند.

۱۵-۲-۲۵- سیستم SPD هماهنگ‌شده

coordinated SPD system

ادوات SPD که به درستی انتخاب، هماهنگ و نصب شده‌اند تا سیستمی را جهت کاهش خرابی سیستم‌های الکتریکی و الکترونیکی تشکیل دهند.

۱۵-۲-۲۶- ریسک

risk (R)

میزان اتلاف (از دست رفتن)[1] متوسط سالانه (انسان‌ها یا دارایی‌ها) ناشی از صاعقه، تقسیم بر میزان کل آن‌ها در ساختمان تحت حفاظت.

[1] Loss

۱۵-۲-۲۷- ریسک قابل تحمل

tolerable risk (R_T)

حداکثر ریسکی است که برای ساختمان تحت حفاظت می‌تواند قابل تحمل باشد.

۱۵-۲-۲۸- شیلد مغناطیسی

magnetic shield

پوشش فلزی بسته‌ی شبکه‌ای شکل[1] یا پیوسته که ساختمان تحت حفاظت یا قسمتی از آن را می‌پوشاند و برای کاهش خرابی سیستم‌های الکتریکی و الکترونیکی استفاده می‌شود.

۱۵-۲-۲۹- سیستم‌های داخلی

internal systems

به سیستم‌های الکتریکی و الکترونیکی در داخل ساختمان گفته می‌شود.

۱۵-۲-۳۰- خط

line

به خط برق یا خط مخابراتی متصل به ساختمان تحت حفاظت گفته می‌شود.

۱۵-۲-۳۱- میله منتهی به زمین

earth lead-in rod

میله نصب شده مابین هادی نزولی/مفصل آزمون و الکترود زمین است.

یادآوری- میله منتهی به زمین برای بهبود پایداری مکانیکی استفاده می‌شود.

۱۵-۲-۳۲- هادی نزولی

down conductor

قسمتی از سیستم حفاظت صاعقه خارجی است که به منظور هدایت جریان صاعقه از سیستم ترمینال هوایی به ترمینال زمینی استفاده می‌شود.

۱۵-۲-۳۳- سیستم ترمینال هوایی

air termination system

قسمتی از سیستم حفاظت صاعقه خارجی که از عناصر فلزی از قبیل میله‌ها، هادی‌های مش‌شده یا سیم‌های گارد[2] به منظور جذب و دریافت صاعقه‌ها استفاده می‌شود.

---

[1] Grid-Like
[2] Catenary Wire

۱۵-۲-۳۴- سیستم ترمینال زمینی

earth termination system

قسمتی از سیستم حفاظت صاعقه خارجی که به منظور هدایت و پراکنده کردن جریان صاعقه به زمین استفاده می‌شود.

۱۵-۲-۳۵- قطعه انبساط پذیر

expansion piece

نوعی قطعه اتصال‌دهنده بین دو قسمت، به منظور فراهم کردن امکان جبران‌سازی تغییرات طول هادی‌ها و/یا تاسیسات فلزی ناشی از تغییرات دما است.

۱۵-۲-۳۶- شینه هم‌بندی

bonding bar

شینه فلزی که از طریق آن تاسیسات فلزی، قسمت‌های رسانای خارجی، خطوط برق و مخابرات و سایر کابل‌ها می‌توانند به سیستم حفاظت خارجی متصل شوند.

۱۵-۲-۳۷- شبکه هم‌بندی

bonding network

شبکه به هم پیوسته از همه قسمت‌های رسانای ساختمان و از سیستم‌های داخلی (غیر از قسمت‌های برق‌دار) به سیستم ترمینال زمینی.

۱۵-۲-۳۸- هادی هم‌بندی

bonding conductor

هادی اتصال دهنده قسمت‌های رسانای جداسازی شده به سیستم حفاظت صاعقه خارجی

۱۵-۲-۳۹- ساختمان تحت حفاظت

structure to be protected

ساختمانی که برای آن حفاظت در برابر اثرات صاعقه مطابق با این نشریه الزامی است.

یادآوری- یک ساختمان تحت حفاظت ممکن است خود قسمتی از یک ساختمان بزرگ‌تر باشد.

۱۵-۲-۴۰- سیستم حفاظت صاعقه خارجی ایزوله شده از ساختمان تحت حفاظت

external LPS isolated from the structure to be protected

نوعی سیستم حفاظت خارجی است که به همراه سیستم ترمینال هوایی و سیستم هادی نزولی، به گونه‌ای جانمایی شده که مسیر جریان صاعقه هیچ‌گونه تماسی با ساختمان تحت حفاظت نداشته باشد.

یادآوری- در یک سیستم حفاظت صاعقه ایزوله شده، از وقوع قوس‌های خطرناک مابین سیستم حفاظت صاعقه و ساختمان جلوگیری می‌شود.

۱۵-۲-۴۱- سیستم حفاظت صاعقه خارجی ایزوله نشده از ساختمان تحت حفاظت

external LPS not isolated from the structure to be protected

نوعی سیستم حفاظت خارجی است که به همراه سیستم ترمینال هوایی و سیستم هادی نزولی، به گونه‌ای جانمایی شده که مسیر جریان صاعقه می‌تواند با ساختمان تحت حفاظت در تماس باشد.

۱۵-۲-۴۲- الکترود زمین رینگ

ring earth electrode

الکترود زمینی است به شکل یک حلقه بسته دور تا دور ساختمان، زیر یا روی سطح زمین

۱۵-۲-۴۳- هادی رینگ

ring conductor

یک هادی به شکل حلقه بسته دور تا دور ساختمان و متصل به هادی‌های نزولی است (برای توزیع جریان صاعقه بین آن‌ها).

۱۵-۲-۴۴- وسیله حفاظتی سرج (SPD) (برق‌گیر حفاظتی)

surge arrester
surge protective device (SPD)

تجهیزی است که اضافه‌ولتاژهای گذرا را محدود و سرج‌های جریان را به زمین منحرف می‌کند و حداقل شامل یک المان غیرخطی است.

۱۵-۲-۴۵- حداکثر ولتاژ کار دایم (U_C)

maximum continuous operating voltage

حداکثر ولتاژ (a.c.) مؤثر یا (d.c.) که به طور دایم در حالت‌های حفاظتی به SPD اعمال می‌شود. این مقدار معادل با ولتاژ اسمی است.

۱۵-۲-۴۶- تراز حفاظت ولتاژ (U_P)

voltage protection level

عددی است که کارکرد SPD را در محدود کردن ولتاژ دو سر ترمینال‌های خود مشخص می‌کند. این مقدار از بالاترین سطح ولتاژ محدود شده اندازه‌گیری شده، بزرگ‌تر است. تراز حفاظت ولتاژ بر اساس لیستی از مقادیر ترجیحی انتخاب می‌شود.

۱۵-۲-۴۷- جریان تخلیه نامی (I_n)

nominal discharge current

مقدار پیک جریان یک شکل موج ۸/۲۰ است که از SPD عبور می‌کند و برای دسته بندی SPDها در آزمون کلاس II و همچنین به‌عنوان یک پیش‌شرط آزمون‌های کلاس I و II برای SPD استفاده می‌شود.

۱۵-۲-۴۸- جریان ضربه (I_{imp})

impulse current

این جریان با سه پارامتر، مقدار پیک جریان ضربه‌ای I_{peak}، بار الکترونی Q و انرژی مخصوص W/R، تعریف می‌شود. از این پارامتر برای آزمون کلاس I در دسته‌بندی SPDها استفاده می‌شود.

۱۵-۲-۴۹- وسیله (حفاظتی) جریان باقی‌مانده (RCD)

residual current (protective) device (RCD)

کلید مکانیکی و یا مجموعه‌ای از قطعاتی است که تحت شرایط خاص در زمان رسیدن جریان باقی‌مانده‌ای بیش از یک مقدار داده شده، قطع می‌کند.

۱۵-۲-۵۰- دسته‌بندی آزمون ضربه

impulse test classification

۱۵-۲-۵۰-۱- آزمون کلاس I

class I test

به مراحل آزمونی گفته می‌شود که با جریان تخلیه نامی (I_n)، ولتاژ ضربه‌ای ۱٫۲/۵۰ و حداکثر جریان ضربه (I_{imp}) به منظور آزمودن وسایل حفاظتی سرج کلاس I صورت می‌گیرد.

۱۵-۲-۵۰-۲- آزمون کلاس II

class II test

به مراحل آزمونی گفته می‌شود که با جریان نامی تخلیه (I_n)، ولتاژ ضربه‌ای۱٫۲/۵۰ و حداکثر جریان تخلیه (I_{max}) به منظور آزمودن وسایل حفاظتی سرج کلاس II صورت می‌گیرد.

۱۵-۲-۵۰-۳- آزمون کلاس III

class III test

به مراحل آزمونی گفته می‌شود که با موج ترکیبی (۸/۲۰، ۱٫۲/۵۰) به منظور آزمودن وسایل حفاظتی سرج کلاس III صورت می‌گیرد.

۱۵-۲-۵۱- ولتاژ قابل تحمل ضربه‌ای اسمی (U_w)

rated impulse withstand voltage

ولتاژی است که توسط سازنده برای کل یا قسمتی از یک دستگاه در سیستم معرفی می‌شود و مشخص کننده توانایی تحمل عایقی آن در برابر اضافه ولتاژها است. در این نشریه تنها ولتاژ تحمل عایقی بین قسمت‌های برق‌دار و زمین مورد نظر است.

۱۵-۲-۵۲- سامانه هشدار توفان تندری

thunderstorm warning system (TWS)

سامانه‌ای متشکل از ردیاب‌های توفان تندری[1] که قادر به پایش صاعقه یا فعالیت‌های آتی صاعقه در منطقه تحت پایش (MA[2]) هستند و ابزارهایی که برای پردازش داده‌های دریافتی برای صدور یک اخطار معتبر (هشدار) مرتبط با رویدادها یا شرایط مرتبط صاعقه (LREs[3] یا LRC[4]) برای بخش مشخصی از محیط اطراف (SA[5]) استفاده می‌شوند.

۱۵-۳- استانداردها

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی هستند که در متن این فصل به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب آن مقررات، جزئی از این نشریه محسوب می‌شود. در صورتی‌که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن مورد نظر این فصل نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدید نظر و اصلاحیه‌های بعدی آن‌ها مورد نظر است.

استفاده از مراجع زیر برای این فصل الزامی است:

- استاندارد ملی ایران به شماره INSO-IEC 62305، حفاظت در برابر آذرخش – تمام قسمت‌ها (شامل ۴ قسمت).
- استاندارد ملی ایران به شماره ۱۸۴۹۹، قطعات سیستم حفاظت در برابر آذرخش (LPSC) (برق‌گیر) – تمام قسمت‌ها (شامل ۸ قسمت).
- استاندارد ملی ایران به شماره ۴۳-۴-۱۹۳۷، تاسیسات الکتریکی فشارضعیف – قسمت ۴-۴۳: حفاظت برای ایمنی – حفاظت در برابر اضافه جریان.

---

[1] توفان تندری یا تندرتوفان (به انگلیسی thunderstorm) نوعی از آب و هوای آشفته است که ویژگی آن حضور صاعقه و اثر صوتی آن در جو زمین به نام تندر است. توفان‌های تندری معمولا با باران شدید، باد شدید و گاهی با دانه‌های ریز برف یا تگرگ همراهی می‌شوند و گاهی نیز بدون بارش رخ می‌دهند. هرچند این توفان‌ها بیش‌تر در بهار و تابستان رخ می‌دهند، ممکن است در هر زمان دیگری در سال نیز اتفاق بیافتند.

[2] Monitoring Area
[3] Lightning Related Events
[4] Lightning Related Conditions
[5] Surrounding Area

- IEC 62305, Protection against lightning – All Parts.
- IEC 62793:2020, Protection against lightning – Thunderstorm warning systems.
- IEC 60364-4-44:2007+AMD1:2015+AMD2:2018, Low-voltage electrical installations - Part 4-44: Protection for safety - Protection against voltage disturbances and electromagnetic disturbances.
- IEC 60364-5-53:2019, Low-voltage electrical installations - Part 5-53: Selection and erection of electrical equipment - Devices for protection for safety, isolation, switching, control and monitoring.
- IEC 61643-11:2011, Low-voltage surge protective devices - Part 11: Surge protective devices connected to low-voltage power systems - Requirements and test methods.
- IEC 61643-12:2020, Low-voltage surge protective devices - Part 12: Surge protective devices connected to low-voltage power systems - Selection and application principles.
- IEC 61643-21:2000+AMD1:2008+AMD2:2012, Low voltage surge protective devices - Part 21: Surge protective devices connected to telecommunications and signalling networks - Performance requirements and testing methods.
- IEC 61643-22:2015, Low-voltage surge protective devices - Part 22: Surge protective devices connected to telecommunications and signalling networks - Selection and application principles.
- IEC 60664-1:2020, Insulation coordination for equipment within low-voltage supply systems - Part 1: Principles, requirements and tests.
- IEC 61000-4-5:2014+AMD1:2017, Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-5: Testing and measurement techniques - Surge immunity test.
- IEC 61009-1:2010+AMD1:2012+AMD2:2013, Residual current operated circuit-breakers with integral overcurrent protection for household and similar uses (RCBOs) - Part 1: General rules.
- IEC 61008-1:2010+AMD1:2012+AMD2:2013, Residual current operated circuit-breakers without integral overcurrent protection for household and similar uses (RCCBs) - Part1: General rules.
- EN 13601:2013, Copper and copper alloys. Copper rod, bar and wire for general electrical purposes.

۱۵-۳-۱- استاندارد ساخت و آزمون

تمام قطعات، وسایل و تجهیزات مورد استفاده در حفاظت صاعقه ساختمان‌ها باید مطابق ضوابط بیان شده در این فصل از نشریه باشد و بر اساس استاندارد ملی ایران و/یا شیوه‌نامه مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی ساخته، آزموده شده و موفق به دریافت نشان ملی استاندارد ایران یا اخذ گواهی انطباق از آزمایشگاه‌های مرجع مورد تایید سازمان ملی استاندارد ایران و/یا اخذ گواهینامه فنی از مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی شده باشد.

در صورتی‌که در خصوص بخشی یا کل آزمون‌های مورد نیاز برای یک قطعه، وسیله یا تجهیز، استاندارد ملی ایران و شیوه‌نامه مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، هر دو موجود نباشند، انجام آزمون مطابق استانداردهای بین‌المللی نظیر IEC و ISO در یک آزمایشگاه معتبر و صاحب صلاحیت[1] و اخذ گواهی آزمون ضروری است.

فهرستی از قطعات، وسایل و تجهیزات مورد استفاده در حفاظت صاعقه و استانداردهای ساخت و آزمون مربوطه در جدول (۱۵-۱) آمده است.

طراحی، اجرا، نظارت و آزمون و تحویل حفاظت صاعقه مطابق الزامات بیان شده در این فصل باید به ترتیب توسط طراحان، مجریان، ناظران و بازرسان متخصص و کارآزموده که دارای مجوز مرتبط و معتبر از مراجع ذیصلاح ملی و/یا گواهینامه فنی از مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی باشند، انجام شود.

جدول۱۵-۱- استاندارد ساخت و آزمون

ردیف	شرح تجهیز	استاندارد ساخت و آزمون مربوطه
۱	- شینه‌های زمین و هم‌بندی - انواع کلمپ‌ها (موازی، ضرب‌دری، قطری، پیچی و غیره) و مفصل آزمون	INSO 18499-1
۲	- انواع الکترودهای زمین، شامل میله، لوله، هادی (مدور، چندمفتولی، تسمه)، صفحه (ساده و مشبک) - انواع ترمینال هوایی حفاظت صاعقه، شامل میله (دیواری، خودایستا)، هادی (مدور و تسمه) - انواع هادی نزولی حفاظت صاعقه (مدور و تسمه)	INSO 18499-2
۳	ایزوله‌کننده قوسی (ISG)	INSO 18499-3
۴	انواع بست نگهدارنده دیواری و کفی برای هادی‌های نزولی (فلزی و غیر فلزی) و برای هادی‌ها و میله‌های ترمینال هوایی حفاظت صاعقه	INSO 18499-4
۵	دریچه بازدید الکترود زمین (بتنی یا پلاستیکی/پلمری)	INSO 18499-5
۶	شمارنده صاعقه	INSO 18499-6
۷	مواده کاهنده زمین و بتن هادی	INSO 18499-7
۸	وسایل حفاظت صاعقه ایزوله (شامل نگه‌دارنده‌های عایقی و کابل‌های ایزوله‌کننده)	INSO 18499-8
۹	وسیله حفاظتی سرج (SPD) فشار ضعیف	IEC 61643-11
۱۰	وسیله حفاظتی سرج (SPD) جریان ضعیف	IEC 61643-21
۱۱	اقلام مسی (میله، سیم و شینه)	EN 13601
۱۲	سامانه هشدار توفان تندری	IEC 62793
۱۳	نرم‌افزار طراحی، شبیه‌سازی و محاسبات مدیریت/ارزیابی ریسک صاعقه	-
۱۴	نرم‌افزار طراحی، شبیه‌سازی و محاسبات جانمایی سیستم ترمینال هوایی	-
۱۵	نرم‌افزار طراحی، شبیه‌سازی و محاسبات فاصله جدایی	-
۱۶	نرم‌افزار طراحی، شبیه‌سازی و محاسبات بخش‌های مختلف حفاظت صاعقه	-

[1] صلاحیت آزمایشگاه توسط یکی از مراجع ذیصلاح ملی (شامل سازمان ملی استاندارد ایران یا مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی) تعیین می‌شود.

۱۵-۴- ضوابط اصولی برای حفاظت ساختمان‌ها

۱۵-۴-۱- تدابیر حفاظتی

۱۵-۴-۱-۱- کلیات

بر اساس نتایج بدست آمده از مطالعات مدیریت ریسک (ر.ک. بخش ۱۵-۵)، تدابیر حفاظتی لازم به منظور کاهش خطرات ناشی از صاعقه، متناسب با نوع خسارت[1] باید پیش‌بینی شود.

۱۵-۴-۱-۲- تدابیر حفاظتی برای کاهش آسیب به موجودات زنده ناشی از برق‌گرفتگی

تدابیر حفاظتی ممکن، شامل موارد ذیل است:

- عایق‌بندی مناسب برای قسمت‌های فلزی در معرض تماس
- هم‌پتانسیل‌سازی به‌وسیله یک سیستم زمین مش‌بندی شده
- قراردادن محدودیت‌ها و موانع فیزیکی و نصب علایم هشدار دهنده
- هم‌بندی هم‌پتانسیل‌کننده صاعقه (EB[2])

یادآوری- هم‌پتانسیل‌سازی و افزایش مقاومت لایه سطحی زمین، در درون و یا بیرون ساختمان می‌تواند به کاهش خطرات جانی کمک کند.

۱۵-۴-۱-۳- تدابیر حفاظتی جهت کاهش آسیب‌های فیزیکی

این تدابیر حفاظتی با بهره‌گیری از یک سیستم حفاظت صاعقه (LPS) شامل موارد زیر می‌شود:

۱) سیستم ترمینال هوایی
۲) سیستم هادی نزولی
۳) سیستم ترمینال زمینی
۴) هم‌بندی هم‌پتانسیل‌کننده صاعقه
۵) عایق‌بندی الکتریکی و رعایت فاصله جدایی از سیستم حفاظت صاعقه خارجی

۱۵-۴-۱-۴- تدابیر حفاظتی جهت کاهش صدمه به سیستم‌های الکتریکی و الکترونیکی

تدابیر حفاظتی (SPM) ممکن در این خصوص عبارتند از:

- هم‌بندی و اتصال زمین
- استفاده از شیلد مغناطیسی

[1] Damage
[2] EB: Equipotential Bonding

- تعیین مسیر مناسب برای خطوط مرتبط با تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی
- واسط‌های ایزوله‌کننده
- سیستم وسایل حفاظتی سرج[1] هماهنگ‌شده

یادآوری ۱- این تدابیر ممکن است به تنهایی یا به‌صورت ترکیبی به کار رود.

یادآوری ۲- استفاده از ردیاب‌های توفان تندری[2] مطابق با استاندارد IEC 62793 و اتخاذ تمهیدات مناسب می‌تواند منجر به کاهش خرابی سیستم‌های الکترونیکی و الکتریکی شود (ر.ک. بخش ۱۵-۸).

۱۵-۴-۱-۵- انتخاب تدابیر حفاظتی

انتخاب تدابیر حفاظتی بهینه توسط مهندس طراح، بسته به موقعیت مکانی و نوع خطر و آسیب احتمالی و لحاظ کردن ملاحظات اقتصادی و با عنایت به نتیجه مطالعه مدیریت ریسک، انجام می شود. معیارهای لازم برای مدیریت ریسک و انتخاب مناسب‌ترین تدابیر حفاظتی در استاندارد IEC 62305-2 تشریح شده است.

۱۵-۴-۲- معیارهای اساسی جهت حفاظت ساختمان‌ها و تاسیسات در برابر صاعقه

۱۵-۴-۲-۱- کلیات

برای دستیابی به یک سیستم حفاظت صاعقه ایده‌آل، باید ساختمان توسط یک شیلد رسانای پیوسته، با ضخامت مناسب احاطه و به طور مطلوب زمین شده باشد. همچنین باید تمامی تاسیسات و تجهیزات فلزی وارده به ساختمان، مانند لوله‌های فلزی آب و گاز، شیلد کابل‌ها و غیره، در بدو ورود به شکلی مطلوب هم‌بند شده باشند.

تدابیر بالا باعث جلوگیری از نفوذ جریان صاعقه و میدان مغناطیسی مرتبط با آن به تجهیزات داخل ساختمان شده و از بروز آسیب‌ها و خطرات حرارتی جریان و نیز قوس[3] و اضافه‌ولتاژ روی تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی خواهد شد.

در عمل رسیدن به حفاظتی کامل و با ریسک صفر، نوعی ایده‌آل‌گرایی بوده و دارای صرفه اقتصادی نیست، زیرا در حالت واقعی ساختمان‌ها و تاسیسات را نمی‌توان به تمامی و کاملاً داخل چنین شیلد پیوسته‌ای به ضخامت مناسب، قرار داد. به عبارت دیگر، کوچک‌ترین نقصی در پیوستگی یا ضخامت شیلد، باعث نفوذ جریان صاعقه به داخل ساختمان شده و منجر به آسیب‌های فیزیکی یا خطرات جانی یا اختلال در عملکرد تجهیزات داخل ساختمان می‌شود.

در نتیجه لازم است متناسب با طبقه‌بندی مشخصات و پارامترهای جریان صاعقه (تراز حفاظت صاعقه)، تدابیر حفاظتی لازم، با هدف به حداقل رساندن آسیب‌ها و تبعات آن‌ها انجام شوند.

---

[1] SPD: Surge Protective Devices
[2] Thunderstorm Detectors
[3] Spark

۱۵-۴-۲-۲- تراز حفاظت صاعقه[1]

برای حفاظت در برابر صاعقه چهار تراز حفاظتی (I تا IV) متناظر با یک مقدار حداقل و یک مقدار حداکثر جریان صاعقه معرفی می‌شوند.

یادآوری- در این نشریه مجموعه تدابیر حفاظتی در برابر صاعقه که پارامترهای حداقل و حداکثر آن از تراز حفاظتی I تجاوز می‌کند بیان نخواهد شد.

مقادیر حداکثر پارامترهای جریان صاعقه برای ترازهای حفاظتی چهارگانه مطابق جدول (۱۵-۲) است. این پارامترها برای طراحی اجزای سیستم حفاظت صاعقه از جمله سطح مقطع و ضخامت هادی ترمینال هوایی و هادی نزولی، قابلیت عبور جریان از وسیله حفاظتی سرج، انتخاب فاصله جدایی مناسب برای جلوگیری از قوس و مطالعات شبیه‌سازی جریان صاعقه استفاده می‌شود.

جدول۱۵-۲- مقادیر حداکثر جریان صاعقه متناظر با تراز حفاظت صاعقه

تراز حفاظت صاعقه LPL	I	II	III	IV
حداکثر جریان صاعقه (کیلو آمپر)	۲۰۰	۱۵۰	۱۰۰	۱۰۰

مقادیر حداقل جریان صاعقه مطابق جدول (۱۵-۳) برای ترازهای حفاظتی چهارگانه، به منظور مشخص کردن شعاع گوی غلتان (ر.ک. بند ۱۵-۶-۱-۲-۲-۲) و نیز به منظور تعریف زون‌های حفاظتی صاعقه نیز استفاده می‌شوند. این مقادیر در جانمایی[2] ترمینال هوایی و تعریف LPZ 0_B هم کاربرد دارند.

جدول۱۵-۳- مقادیر حداقل جریان صاعقه و شعاع گوی غلتان مربوطه، متناظر با تراز حفاظت صاعقه

تراز حفاظت صاعقه LPL	I	II	III	IV
حداقل جریان صاعقه (کیلو آمپر)	۳	۵	۱۰	۱۶
شعاع گوی غلتان (متر)	۲۰	۳۰	۴۵	۶۰

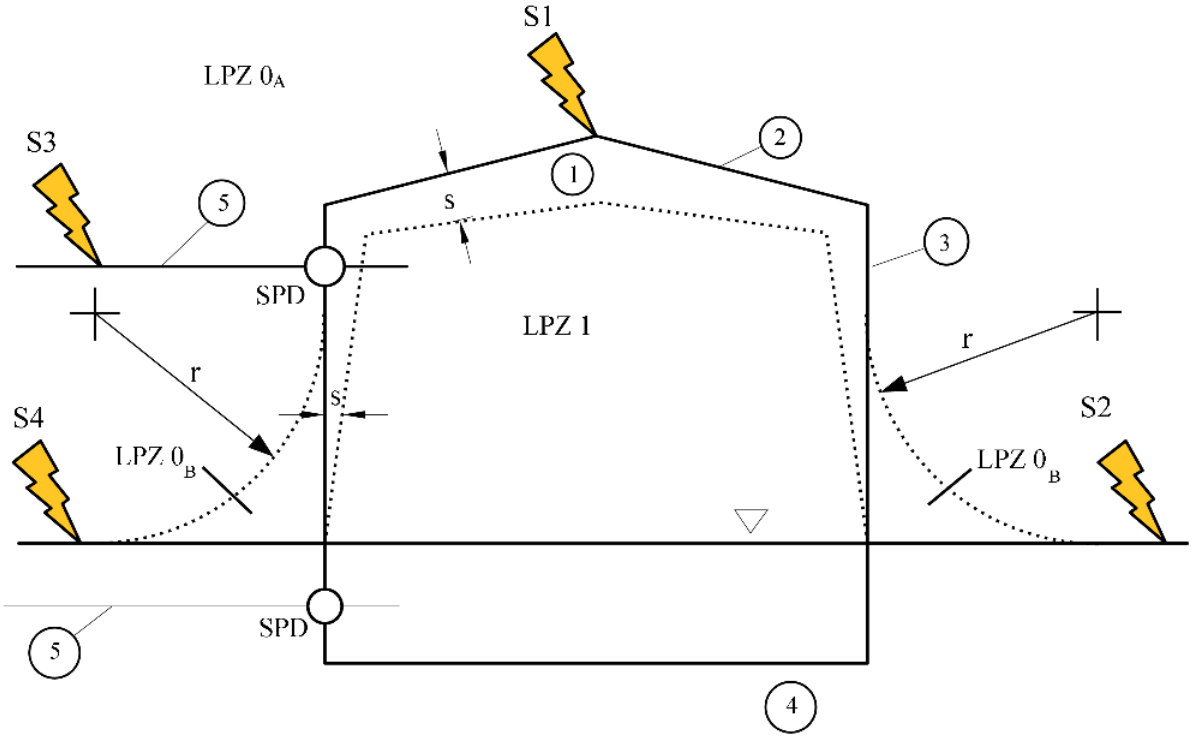
[1] Lightning Protection Levels
[2] Positioning

۱۵-۴-۲-۳- زون‌های حفاظت صاعقه[1]

انجام تدابیر حفاظتی نظیر سیستم حفاظت صاعقه (LPS)، استفاده از کابل‌های دارای شیلد، استفاده از شیلد مغناطیسی و پیش‌بینی وسایل حفاظتی سرج در گرو تعیین صحیح زون‌های حفاظتی صاعقه هستند. زون‌های حفاظتی، متناسب با خطرات ناشی از صاعقه، به شکل زیر تعریف می‌شوند (شکل (۱۵-۱)):

- $LPZ\ 0_A$: زونی که در معرض برخورد مستقیم صاعقه با حداکثر جریان و میدان مغناطیسی است.
- $LPZ\ 0_B$: زونی که در مقابل برخورد مستقیم صاعقه حفاظت شده است ولی قسمتی از جریان صاعقه و تمامی میدان مغناطیسی صاعقه ممکن است به این زون وارد شود.
- LPZ 1: زونی که در آن اضافه جریان صاعقه به کمک تقسیم جریان و استفاده از واسطهای ایزوله‌کننده و/یا استفاده از وسایل حفاظتی سرج در مرز این زون، محدود شده است. ممکن است با استفاده از شیلد فضایی[2] میدان مغناطیسی در داخل زون تضعیف شود.
- LPZ 2, …, n: زون یا زون‌هایی که در آن اضافه جریان صاعقه به کمک تقسیم جریان و استفاده از واسطهای ایزوله‌کننده و/یا استفاده از وسایل حفاظتی سرج در مرز این زون، بیش‌تر از قبل محدود شده باشد. ممکن است با استفاده از شیلد فضایی متعدد میدان مغناطیسی در داخل زون‌های حفاظتی بیش‌تر از قبل تضعیف شوند.

[1] Lightning Protection Zones
[2] Spatial Shielding



۱	ساختمان	S۱	اصابت صاعقه به ساختمان
۲	سیستم ترمینال هوایی	S۲	اصابت صاعقه به مجاورت ساختمان
۳	سیستم هادی نزولی	S۳	اصابت صاعقه به خطوط متصل به ساختمان
۴	سیستم ترمینال زمینی	S۴	اصابت صاعقه به مجاورت خطوط متصل به ساختمان
۵	خطوط ورودی	r	شعاع گوی غلتان
		s	فاصله جدایی در برابر وقوع قوس‌های خطرناک

▽ سطح زمین

○ هم‌بندی هم‌پتانسیل‌کننده صاعقه به‌وسیله SPD

$LPZ\ 0_A$ اصابت مستقیم صاعقه، جریان صاعقه کامل

$LPZ\ 0_B$ عدم اصابت مستقیم صاعقه، جریان صاعقه جزئی یا القایی

LPZ 1 عدم اصابت مستقیم صاعقه، جریان صاعقه محدود یا القایی

شکل۱۵-۱- تعریف زون‌های حفاظت صاعقه (LPZ) به‌وسیله یک سیستم حفاظت صاعقه (LPS)

۱۵-۴-۲-۴- حفاظت ساختمان‌ها

۱۵-۴-۲-۴-۱- حفاظت جهت کاهش خسارت‌های فیزیکی و خطرات جانی

ساختمان تحت حفاظت باید داخل زون حفاظتی LPZ 0_B یا بالاتر قرار گیرد. این کار با طراحی و نصب سیستم حفاظت صاعقه[1] انجام خواهد شد. هر سیستم حفاظت صاعقه (LPS) شامل سیستم حفاظت صاعقه خارجی و سیستم حفاظت صاعقه داخلی است. سیستم حفاظت صاعقه خارجی وظایف زیر را بر عهده دارد:

- جلوگیری از برخورد مستقیم صاعقه به ساختمان و تأسیسات بیرونی (توسط سیستم ترمینال هوایی)
- هدایت ایمن جریان صاعقه به زمین (توسط سیستم هادی نزولی)
- پراکنده کردن جریان صاعقه در زمین (توسط سیستم ترمینال زمینی)

آنچه از سیستم حفاظت صاعقه داخلی[2] انتظار می‌رود جلوگیری از خطرات قوس و اضافه‌ولتاژ خطرناک در داخل ساختمان با استفاده از هم‌بندی هم‌پتانسیل‌کننده[3] یا جدایی[4] تجهیزات حساس الکتریکی و الکترونیکی از اجزای سیستم حفاظت صاعقه است.

۱۵-۴-۲-۴-۲- حفاظت جهت کاهش خرابی سیستم‌های داخلی

به منظور حفاظت در برابر ضربه‌های الکترومغناطیسی صاعقه (LEMP) و کاهش خطر بروز خرابی در سیستم‌های داخلی باید موارد زیر محدود شود:

- سرج‌های ناشی از تزویج‌های القایی و مقاومتی به علت برخورد صاعقه به ساختمان.
- سرج‌های ناشی از تزویج القایی به علت برخورد به نزدیکی ساختمان.
- سرج‌های منتقل شده توسط خطوط برق و مخابرات متصل به سازه به علت برخورد به خطوط یا به نزدیکی خطوط.
- تزویج مستقیم میدان مغناطیسی با تجهیز.

سیستم تحت حفاظت باید در داخل LPZ 1 یا زون‌های بالاتر قرار گیرد. دست‌یابی به این هدف از طریق تدابیر حفاظتی (SPM) برای سیستم الکتریکی و الکترونیکی، مشتمل بر شیلدکردن مغناطیسی که میدان‌های القایی را تضعیف می‌کنند و یا مسیریابی مناسب سیم‌کشی به منظور کاهش حلقه‌های القایی محقق می‌شود. هم‌بندی برای قسمت‌های فلزی و سیستم‌هایی که از مرز زون‌های حفاظت صاعقه مختلف عبور می‌کنند باید در مرز هر زون صورت پذیرد. این هم‌بندی باید از طریق هادی‌های هم‌بندی یا در صورت لزوم توسط وسایل حفاظتی سرج (SPD ها) صورت پذیرد. تدابیر حفاظتی برای تمامی LPZها باید با بخش ۱۵-۷ مطابقت داشته باشند.

---

[1] LPS
[2] Internal LPS
[3] Equipotential Bonding
[4] Separation

حفاظت موثر در برابر اضافه‌ولتاژها، که منجر به بروز خرابی در سیستم‌های داخلی ساختمان می‌شوند، ممکن است از طریق واسطهای ایزوله‌کننده و/یا یک سیستم وسایل حفاظتی سرج هماهنگ شده، که اضافه‌ولتاژها را به مقادیری کم‌تر از ولتاژ ضربه اسمی سیستم مورد حفاظت محدود می‌کند، تامین شود. وسایل حفاظتی سرج باید مطابق با الزامات بند ۱۵-۷-۴ انتخاب و نصب شوند.

۱۵-۴-۳- طراحی سیستم حفاظت صاعقه

از منظر اقتصادی انجام طراحی فنی و بهینه برای سیستم حفاظت صاعقه امکان‌پذیر است. به ویژه اگر مراحل طراحی و اجرای سیستم حفاظت صاعقه با مراحل طراحی و ساخت ساختمان تحت حفاظت هماهنگ شده باشند. به طور خاص، در طراحی خود ساختمان، باید از قسمت‌های فلزی آن، تا حد ممکن به‌عنوان قسمتی از سیستم حفاظت خارجی استفاده شود. در طراحی کلاس و مکان سیستم حفاظت صاعقه برای ساختمان‌های موجود، باید محدودیت‌ها و موقعیت فیزیکی ساختمان را در نظر گرفت.

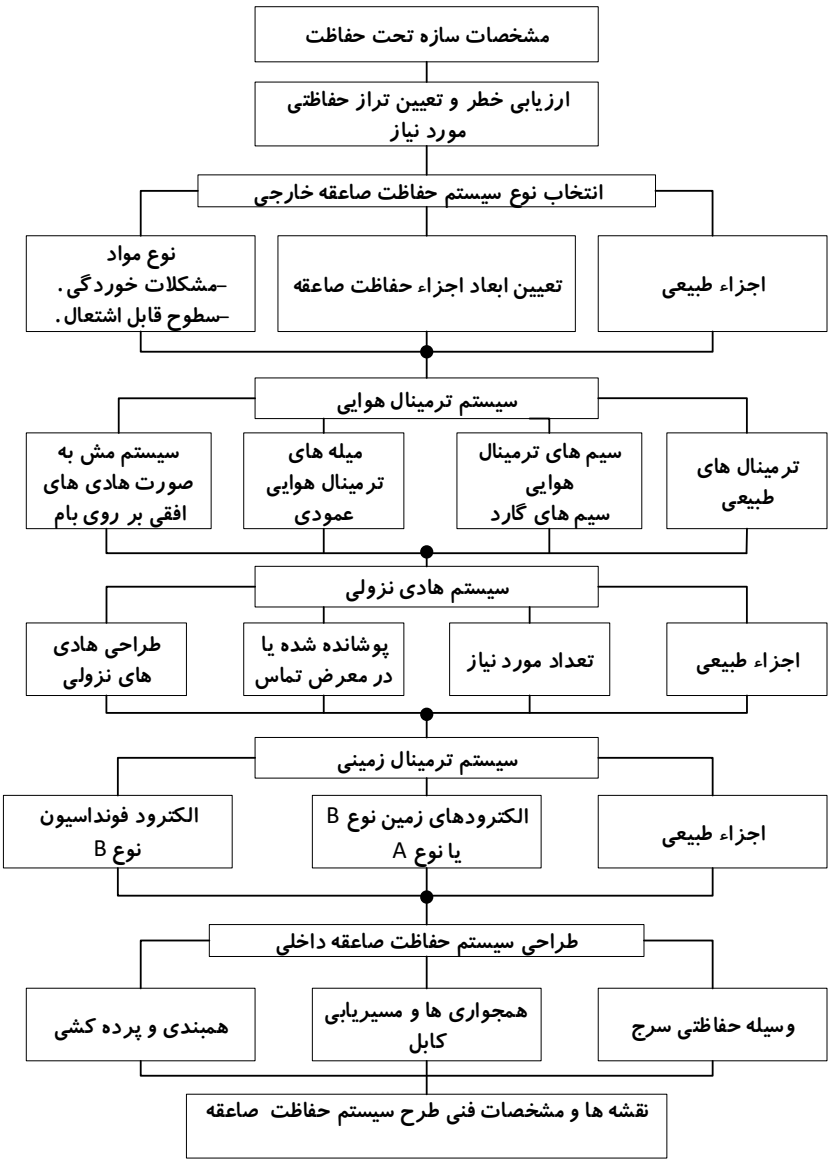
مدارک طراحی سیستم حفاظت صاعقه باید تمامی اطلاعاتی که برای کسب اطمینان از اصلاح و تکمیل تاسیسات نیاز است، در بر داشته باشد (ر.ک. شکل (۱۵-۲)). سیستم حفاظت صاعقه باید به‌وسیله طراحان و مجریان ذیصلاح و کارآزموده طراحی و نصب شوند (ر.ک. بخش E.4.2 استاندارد IEC 62305-3).

۱۵-۴-۴- پیوستگی الکتریکی قسمت‌های فلزی و آرماتورها در ساختمان‌های بتنی

آرماتورهای فولادی به کار رفته در ساختمان‌های بتن مسلح، از نظر الکتریکی در صورتی پیوسته محسوب می‌شوند که توسط یک شبکه از هادی و اتصال الکتریکی مجاز به شکلی ایمن (مثلاً با استفاده از کلمپ) به هم متصل شوند (ر.ک. بند ۱۳-۷-۴ فصل ۱۳).

ارتباط الکتریکی مطلوب آرماتورهای اسکلت بتنی باید به‌وسیله انجام آزمون پیوستگی، بین بالاترین و پایین‌ترین قسمت ساختمان (سطح زمین) بررسی شود. مقاومت الکتریکی کل نباید بزرگ‌تر از ۰٫۲ Ω باشد (اندازه‌گیری باید توسط ابزاری انجام شود که برای این کار مناسب است، به خصوص از لحاظ جریانی که در خلال آزمون برقرار می‌شود). اگر این مقدار به دست نیاید، یا انجام آزمون ممکن نباشد، از آرماتورهای موجود در بتن مسلح نباید به‌عنوان هادی نزولی استفاده شود و طبیعتاً لازم خواهد بود که یک مجموعه هادی نزولی خارجی نصب شود.

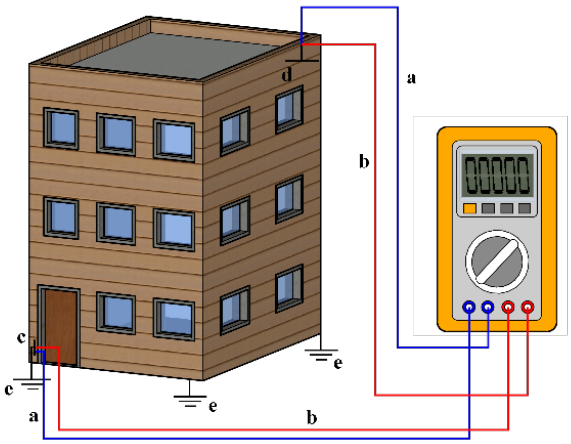
یادآوری- الزام برقراری یک مقاومت الکتریکی حداکثر ۰٫۲ Ω را می‌توان با استفاده از اندازه‌گیری مقاومت بین بالاترین نقطه هادی نزولی یعنی در محل اتصال به ترمینال هوایی و پایین‌ترین نقطه آن یعنی محل اتصال به ترمینال زمینی با استفاده از یک دستگاه اندازه‌گیری با چهار ترمینال (دو ترمینال برای تزریق جریان و دو ترمینال برای اندازه‌گیری ولتاژ) مطابق با شکل (۱۵-۳) بررسی نمود. توصیه می‌شود جریان تزریقی دستگاه آزمون در حدود ۱۰ آمپر تنظیم شود.



یادآوری- نقاط ارتباطی نشان داده شده با علامت ● نیازمند همکاری و تعامل معمار، مهندس و طراح حفاظت صاعقه است.

شکل۱۵-۲- دیاگرام نشان دهنده روند طراحی سیستم حفاظت صاعقه

[1] Screening



a سیم‌های آزمون برای تزریق جریان
b سیم‌های آزمون برای اندازه‌گیری ولتاژ
c شینه هم‌بندی یا اتصال شبکه زمین
d اتصال به آرماتورهای فولادی (به طور مثال از طریق صفحه اتصال تعبیه شده در بام)
e اتصال شبکه زمین

شکل۱۵-۳- اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی کلی آرماتورهای فولادی به هم پیوسته در اسکلت بتن مسلح

یادآوری ۱- از آنجا که اثر حرارتی ناشی از عبور جریان صاعقه ممکن است باعث ترک خوردگی بتن شود، استفاده از آرماتور فولادی (اصلی یا اضافی) به تنهایی به منظور ایجاد پیوستگی الکتریکی در داخل اسکلت بتنی برای اهداف حفاظت در برابر صاعقه مجاز نیست (ر.ک. بند ۱۳-۷-۴ فصل ۱۳).

یادآوری ۲- کلمپ‌هایی که برای ایجاد پیوستگی فولاد داخل ساختمان‌های بتن مسلح به کار می‌روند، باید مطابق استاندارد ملی ایران به شماره ۱-۱۸۴۹۹ و/یا شیوه‌نامه مربوطه در مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی ساخته و آزموده شده باشند.

۱۵-۵- مدیریت ریسک

۱۵-۵-۱- تشخیص ضرورت تعبیه سیستم حفاظت صاعقه و توجیه اقتصادی آن

به منظور تعیین اینکه یک ساختمان نیاز به حفاظت صاعقه دارد یا خیر، باید برای آن ساختمان ضرورتاً مطالعات مدیریت ریسک مطابق با استاندارد IEC 62305-2 انجام پذیرد. ریسک‌های زیر باید در محاسبات در نظر گرفته شوند:

ریسک R_1: ریسک تلف[1] جان انسان (مرگ) یا جراحات دایمی

ریسک R_2: ریسک تلف (یا قطع) خدمات عمومی (از قبیل آب، برق، گاز، تلویزیون و خطوط مخابرات)

ریسک R_3: ریسک تلف (یا آسیب به) میراث فرهنگی

[1] Loss

یادآوری ۱- توصیه می‌شود در تمامی پروژه‌ها بررسی توجیه اقتصادی حفاظت صاعقه مدنظر باشد. لذا ضروری است ریسک R_4 (ریسک تلف (یا زیان) مالی[1]) در مطالعات مدیریت ریسک گنجانده شود.

تعبیه حفاظت در برابر صاعقه برای یک ساختمان تنها در صورتی ضروری است که مقدار ریسک R (R_1 تا R_3) بزرگ‌تر از سطح قابل تحمل[2] R_T باشد.

$$R > R_T$$

در این صورت، باید تدابیر حفاظتی به منظور کاهش ریسک R (R_1 تا R_3) نسبت به سطح قابل تحمل R_T اتخاذ شود.

اگر در یک ساختمان محاسبه ریسک برای بیش از یک نوع از تلفات مد نظر باشد، شرط $R_i > R_T$ باید برای تک‌تک ریسک‌های R_1 تا R_3 برقرار باشد. ریسک قابل تحمل (R_T) باید براساس جدول (۱۵-۳) در نظر گرفته شود:

جدول۱۵-۴- مقدار متناظر ریسک قابل تحمل R_T

نوع تلف		R_T (y^{-1})
L۱	تلف جان انسان (مرگ) یا جراحات دایمی	$۱۰^{-۵}$
L۲	تلف (یا قطع) خدمات عمومی	$۱۰^{-۳}$
L۳	تلف (یا آسیب به) میراث فرهنگی	$۱۰^{-۴}$

اصولا محاسبه تلفات مالی ($L_۴$)، برای انجام مقایسه اقتصادی بین سود/زیان طرح حفاظتی است. چنانچه اطلاعات لازم برای این ارزیابی در دسترس نباشد، مقدار متناظر ریسک قابل تحمل باید برابر $R_T=10^{-3}$ در نظر گرفته شود.

۱۵-۵-۲- چگالی اصابت صاعقه به زمین N_G

چگالی اصابت صاعقه به زمین N_G، برابر با تعداد صاعقه‌هایی است که به هر کیلومترمربع از سطح زمین اصابت می‌کند و از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$N_G \approx 0.1\ T_D \qquad (۱-۱۵)$$

که در آن T_D تعداد روزهای با هوای توفان تندری[3] در هر سال است و از سازمان هواشناسی استعلام می‌شود. توصیه می‌شود بالاترین مقدار در ۳۰ سال گذشته برای این پارامتر در نظر گرفته شود. در صورتی‌که استعلام فوق قابل انجام نبوده یا مقادیر ارایه شده توسط سازمان هواشناسی موثق نباشد، مقدار N_G باید مطابق جدول (۱۵-۵) در نظر گرفته شود.

[1] Loss of Economic Value
[2] Tolerable Risk
[3] Thunderstorm Days

جدول۱۵-۵- مقدار پارامتر N_G برای استان‌های مختلف کشور

ردیف	نام استان	N_G
۱	آذربایجان شرقی	۴
۲	آذربایجان غربی	۴
۳	اردبیل	۴
۴	اصفهان	۱٫۵
۵	البرز	۳
۶	ایلام	۳
۷	بوشهر	۵
۸	تهران	۲٫۵
۹	چهارمحال و بختیاری	۳
۱۰	خراسان جنوبی	۱
۱۱	خراسان رضوی	۱
۱۲	خراسان شمالی	۱
۱۳	خوزستان	۳
۱۴	زنجان	۳
۱۵	سمنان	۱٫۵
۱۶	سیستان و بلوچستان	۱
۱۷	فارس	۲٫۵
۱۸	قزوین	۲٫۵
۱۹	قم	۱٫۵
۲۰	کردستان	۲٫۵
۲۱	کرمان	۱٫۵
۲۲	کرمانشاه	۳
۲۳	کهگیلویه و بویراحمد	۳
۲۴	گلستان	۲٫۵
۲۵	گیلان	۲٫۵
۲۶	لرستان	۳
۲۷	مازندران	۲٫۵
۲۸	مرکزی	۳
۲۹	هرمزگان	۳
۳۰	همدان	۲٫۵
۳۱	یزد	۱٫۵

۱۵-۶- سیستم حفاظت صاعقه (LPS)

۱۵-۶-۱- سیستم حفاظت صاعقه خارجی

۱۵-۶-۱-۱- کلیات

توصیه می‌شود سیستم حفاظت صاعقه ایزوله در مواردی‌که اثرات حرارتی و انفجاری در نقطه اصابت صاعقه یا بر روی هادی حامل جریان صاعقه ممکن است موجب ایجاد خسارات به ساختمان یا محتویات آن شود، در نظر گرفته شود. به‌عنوان نمونه‌هایی از این قبیل سازه‌ها، می‌توان به ساختمان‌هایی با پوشش بدنه قابل اشتعال، ساختمان‌هایی با دیواره‌های قابل اشتعال و مناطق با خطر انفجار و آتش اشاره نمود.

یادآوری- استفاده از یک سیستم حفاظت صاعقه ایزوله ممکن است برای جایی مناسب باشد که پیش‌بینی می‌شود تغییر در ساختمان، محتویات آن یا نحوه کاربری آن باعث شود تا سیستم حفاظت صاعقه نیاز به اصلاح پیدا کند. همچنین زمانی‌که سیستم‌های داخل ساختمان، نسبت به میدان‌های الکترومغناطیسی ناشی از پالس جریان صاعقه جاری شده در هادی نزولی آسیب‌پذیر باشند، می‌توان از سیستم حفاظت صاعقه خارجی ایزوله استفاده نمود.

از اجزای طبیعی ساخته شده از مواد رسانا، که بطور دایمی در داخل یا بر روی ساختمان باقی‌مانده و تغییر نمی‌کنند (به طور مثال آرماتورهای به هم پیوسته، اسکلت فلزی یک ساختمان و غیره) می‌توان به‌عنوان قسمتی از سیستم حفاظت صاعقه استفاده کرد.

سایر اجزای طبیعی، می‌توانند تنها به‌عنوان قسمت‌های اضافی و کمکی در سیستم حفاظت صاعقه در نظر گرفته شوند.

۱۵-۶-۱-۲- سیستم ترمینال هوایی

۱۵-۶-۱-۲-۱- کلیات

اجزای ترمینال‌های هوایی که به منظور جذب صاعقه بر روی ساختمان مورد حفاظت نصب می‌شوند، می‌توانند یک یا ترکیبی از انواع زیر باشند:

الف) میله‌ها[1]

ب) سیم‌های گارد (کتنری)[2]

پ) هادی‌های مش شده[3]

---

[1] Rods

[2] به انگلیسی Catenary Wires ممکن است با نام‌های دیگری همچون ''سیم‌های آویزان'' یا ''سیم‌های معلق'' نیز نام‌گذاری شده باشد.

[3] Meshed Conductors

برای پیروی کردن از این نشریه، همه انواع سیستم‌های ترمینال هوایی[۱] باید مطابق با بندهای ۱۵-۶-۱-۲-۲ و ۱۵-۶-۱-۲-۳ جانمایی شوند. مشخصات فنی همه انواع ترمینال‌های هوایی باید به طور کامل مطابق با مندرجات این نشریه باشند.

در همه انواع ترمینال‌های هوایی، تنها ابعاد فیزیکی واقعی سیستم‌های ترمینال هوایی فلزی در تعیین حجم حفاظت شده، استفاده می‌شوند. توصیه می‌شود به منظور اطمینان از تقسیم مطلوب جریان صاعقه، میله‌های منفرد ترمینال هوایی، در سطح بام به یکدیگر متصل شوند. استفاده از ترمینال‌های هوایی رادیواکتیو[۲] مجاز نیست.

همه انواع ترمینال‌های هوایی از هر نوع که باشند باید مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره۲-۱۸۴۹۹ و/یا شیوه‌نامه مربوطه در مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی ساخته و آزموده شده باشند (ر.ک. بخش ۱۵-۹).

۱۵-۶-۱-۲-۲- جانمایی[۳]

اجزای ترمینال هوایی نصب شده بر روی یک ساختمان، باید در گوشه‌ها، نقاط در معرض اصابت[۴] و لبه‌ها (به ویژه در سطح فوقانی هرگونه نمای خارجی[۵]) مطابق با یک یا تعدادی از روش‌های قابل قبول زیر جانمایی شوند:

- روش زاویه حفاظتی[۶]
- روش گوی غلتان[۷]
- روش مش[۸]

مقادیر شعاع گوی غلتان، اندازه مش و زاویه حفاظتی برای هر یک از کلاس‌های سیستم حفاظت صاعقه در جدول (۱۵-۶) و شکل (۱۵-۴) داده شده است.

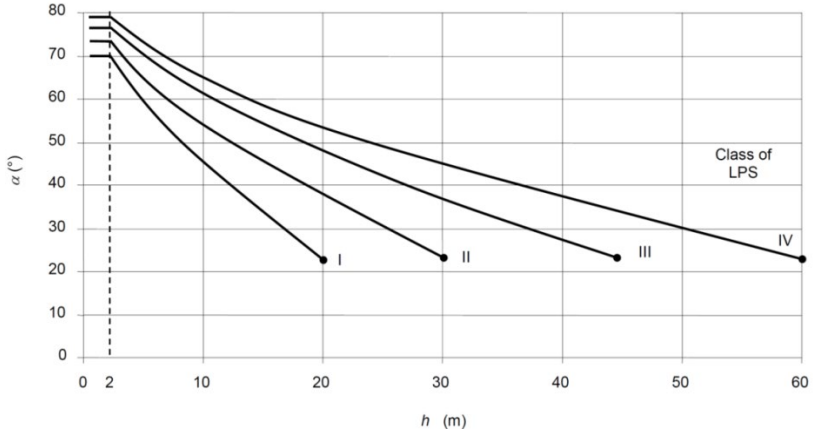
---

[۱] عبارت "همه انواع ترمینال‌های هوایی" در بخش ۱۵-۶-۱-۲-۱ شامل تمامی انواع ترمینال‌های هوایی حفاظت صاعقه پسیو و اکتیو از هر نوعی که باشند و بر اساس هر استانداردی که ساخته و آزموده شده باشند، می‌شود. لازم به ذکر است ترمینال‌های هوایی حفاظت صاعقه به طور کلی به دو نوع پسیو (یا متعارف conventional) و اکتیو (یا نامتعارف non-conventional) تقسیم‌بندی می‌شوند. ترمینال‌های هوایی نوع اکتیو با نام‌های دیگری نظیر صاعقه‌گیر/برق‌گیر الکترونیکی، خازنی، E.S.E.، ضد صاعقه، صاعقه‌نگیر و غیره نیز نام‌گذاری شده و در کشور ما شناخته می‌شوند.

[2] Radioactive Air Terminals
[3] Positioning
[4] Exposed Points
[5] Facades
[6] Protection Angle Method
[7] Rolling Sphere Method
[8] Mesh Method

جدول۱۵-۶- مقادیر حداکثر شعاع گوی غلتان، اندازه مش و زاویه حفاظتی متناظر با کلاس سیستم حفاظت صاعقه

کلاس سیستم حفاظت صاعقه	روش حفاظتی		
	شعاع گوی غلتان r متر	اندازه مش W_m متر	زاویه حفاظتی α^o
I	۲۰	۵ × ۵	شکل (۱۵-۴)
II	۳۰	۱۰ × ۱۰	
III	۴۵	۱۵ × ۱۵	
IV	۶۰	۲۰ × ۲۰	



یادآوری ۱- استفاده از روش زاویه حفاظتی برای مقادیر بزرگ‌تر از نقاط نشان داده شده با ● کاربرد ندارد. در این گونه موارد تنها روش‌های مش و گوی غلتان قابل استفاده هستند.

یادآوری ۲- h ارتفاع ترمینال هوایی از صفحه مرجع ناحیه تحت حفاظت است.

یادآوری ۳- زاویه حفاظتی برای مقادیر زیر ۲ متر تغییر نخواهد کرد.

شکل۱۵-۴- زاویه حفاظتی متناظر با کلاس سیستم حفاظت صاعقه

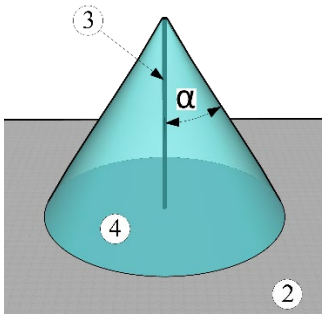
۱۵-۶-۱-۲-۲-۱- روش زاویه حفاظتی

روش زاویه حفاظتی برای ساختمان‌هایی با شکل هندسی ساده یا برای قسمت‌های کوچک‌تر یک ساختمان بزرگ مناسب‌اند. این روش برای ساختمان‌هایی که ارتفاعی بیش از شعاع گوی غلتان متناظر با تراز حفاظت صاعقه انتخاب شده دارند، مناسب نیست.

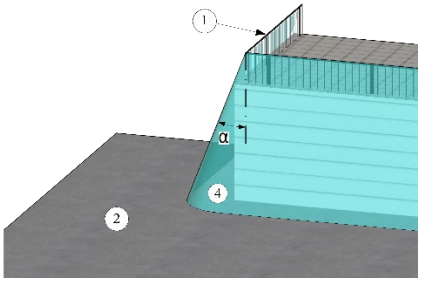
حفاظت در روش زاویه حفاظتی، مبتنی بر تعیین صحیح ارتفاع هادی (میله ساده) از یک صفحه مرجع[1] است. در این حالت یک سطح حفاظتی مخروطی شکل فرضی ایجاد می‌شود که تجهیز تحت حفاظت در ناحیه ایمن زیر آن قرار می‌گیرد. قسمت حفاظت شده باید کاملاً در این مخروط محصور شود (شکل (۱۵-۵)):

[1] Reference Plane

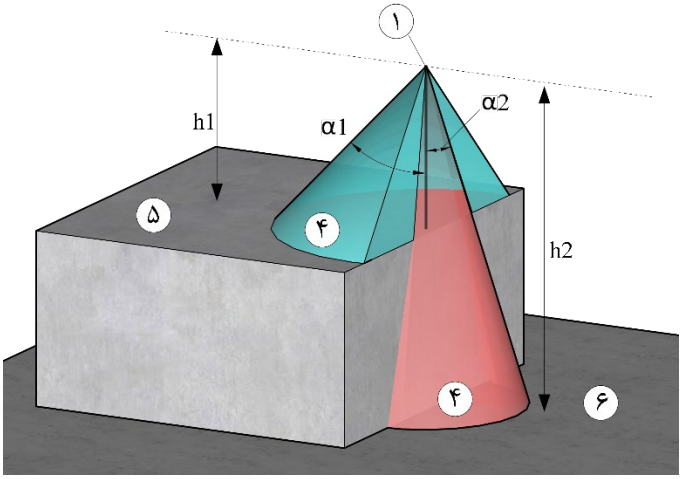
- برای تعیین ابعاد مخروط حفاظتی باید تنها ابعاد فیزیکی قسمت فلزی میله مورد توجه قرار گیرد.
- فضای حفاظت شده توسط یک میله عمودی به‌صورت یک مخروط قائم است که راس آن بر نوک میله منطبق شده است و زاویه آن (α) متناسب با منحنی شکل (۱۵-۴) بسته به ترازهای مختلف حفاظتی، متفاوت خواهد بود.



الف) حجم حفاظت شده توسط میله عمودی



ب) حجم حفاظت شده توسط هادی خط در سمت بیرونی یک گوشه ساختمان



پ) حجم حفاظت شده توسط میله عمودی با استفاده از صفحات مرجع مختلف

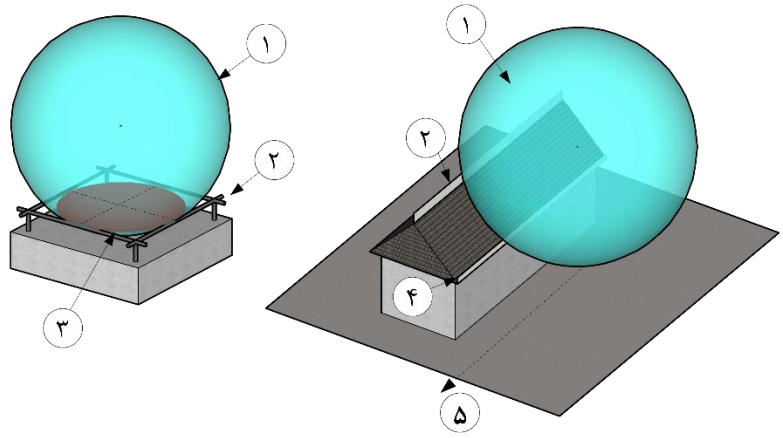
۱	هادی ترمینال هوایی	۴	ناحیه حفاظت شده
۲	صفحه مرجع	۵	صفحه مرجع برای h_1 (α_1)
۳	میله ترمینال هوایی	۶	صفحه مرجع برای h_2 (α_2)

شکل۱۵-۵- کاربرد روش زاویه حفاظتی

۱۵-۶-۱-۲-۲-۲- روش گوی غلتان

روش گوی غلتان در تمامی شرایط به ویژه برای ساختمان‌هایی با اشکال پیچیده مناسب است. در این روش با غلتاندن یک گوی کروی بر روی سطح خارجی ساختمان از تمامی جهات و یافتن نقاط تماس گوی با ساختمان، محل نصب هادی‌های ترمینال هوایی مشخص می‌شوند. در این روش، نقاطی از ساختمان که در تماس با گوی قرار نمی‌گیرند،

حفاظت شده محسوب می‌شوند. لذا نیاز به تعبیه هادی ترمینال هوائی جهت حفاظت از نقاط مذکور نخواهد بود (شکل (۱۵-۶)). شعاع گوی غلتان متناسب با تراز حفاظتی مطابق جدول (۱۵-۶) در نظر گرفته می‌شود.



الف) پیش‌آمدگی لبه بام شیب‌دار حفاظت نمی‌شود ب) ناحیه حفاظت نشده مابین ترمینال‌های هوایی

۱ گوی غلتان
۲ ترمینال هوایی
۳ نقطه تماس (باید خودداری شود)
۴ خط تماس (باید خودداری شود)
۵ جهت غلتیدن

شکل۱۵-۶- برخورد کردن گوی غلتان با سازه تحت حفاظت

۱۵-۶-۱-۲-۲-۳- روش مش

روش مش برای ساختمان‌هایی با بام مسطح مناسب است. برای چنین ساختمان‌هایی، هادی‌های مشی که تمامی سطح بام را بپوشانند، بهترین روش حفاظت برای سطح مورد نظرند. ابعاد این مش‌ها با توجه به تراز حفاظتی مطابق جدول (۱۵-۵) در نظر گرفته می‌شود. یک مش زمانی کل یک سطح صاف را حفاظت می‌کند که شرایط زیر محقق شوند:

۱) هادی‌های ترمینال هوایی در نقاط زیر جانمایی شده باشند:

- کناره‌ها و لبه‌های بام[1]
- برآمدگی‌های بام[2]
- خط‌الراس بام[3]، در صورتی‌که شیب بام بیش از ۱/۱۰ (یک بر روی ده) باشد
- نماهای جانبی ساختمان‌های بلندتر از ۶۰ متر در سطوح بالاتر از ۸۰ درصد ارتفاع ساختمان

[1] Roof Edge Lines
[2] Roof Overhangs
[3] Roof Ridge Lines

۲) ابعاد مش برای ترازهای مختلف حفاظتی از مقادیر داد شده در جدول (۱۵-۶) بیش‌تر نباشند.
۳) شبکه هادی‌های سیستم ترمینال هوایی به گونه‌ای انجام شوند که همواره حداقل دو مسیر فلزی مجزا به زمین داشته باشد و هیچ‌گونه تاسیسات فلزی خارج از فضای محافظت شده توسط سیستم‌های ترمینال هوایی قرار نگیرد.
یادآوری- استفاده از تعداد بیش‌تری از هادی‌های نزولی منجربه کاهش فاصله جدایی و کاهش میدان‌های الکترومغناطیسی داخل ساختمان می‌شود.
۴) هادی‌های ترمینال هوایی تا حد امکان در مسیرهای کوتاه و مستقیم نصب شوند.

۱۵-۶-۱-۲-۳- ترمینال هوایی جهت حفاظت در برابر اصابت صاعقه به دیواره‌های جانبی ساختمان‌های بلند

۱۵-۶-۱-۲-۳-۱- احتمال اصابت صاعقه با مقادیر کوچک به دیواره‌های جانبی عمودی یک ساختمان با ارتفاع کم‌تر از ۶۰ متر به اندازه کافی پایین است به گونه‌ای که نیازی به در نظر گرفتن آن نیست. بام‌ها و پیش‌آمدگی‌های افقی باید مطابق با کلاس سیستم حفاظت صاعقه بدست آمده از محاسبات مدیریت ریسک، حفاظت شوند.

۱۵-۶-۱-۲-۳-۲- در ساختمان‌های بلندتر از ۶۰ متر، اصابت صاعقه به دیواره‌های جانبی، بویژه نقاط نوک تیز، گوشه‌ها و لبه‌های ساختمان، محتمل است. ترمینال هوایی باید جهت حفاظت قسمت‌های فوقانی ساختمان‌های بلند (به‌صورت نوعی ۲۰ درصد بالای ساختمان مشروط بر اینکه ارتفاع آن بیش از ۶۰ متر باشد) و تجهیزات قرار گرفته بر روی آن، نصب شوند. (ر.ک. به بخش‌های 5.2.3.2 و E.5.2.3 از استاندارد IEC 62305-3)

۱۵-۶-۱-۳- سیستم هادی نزولی

۱۵-۶-۱-۳-۱- کلیات

به منظور کاهش احتمال وقوع خسارات ناشی از جریان صاعقه جاری شده در سیستم حفاظت صاعقه، هادی‌های نزولی باید به گونه‌ای جانمایی شوند که از نقطه اصابت صاعقه تا زمین:
۱) چندین مسیر جریان موازی وجود داشته باشد
۲) طول مسیر جریان حداقل باشد
۳) هم‌بندی هم‌پتانسیل‌کننده قسمت‌های رسانای ساختمان مطابق با الزامات بند ۱۵-۶-۲-۲ انجام شود.
یادآوری ۱- اتصال هادی‌های نزولی از طرفین به یکدیگر[1] تدبیری موثر تلقی می‌شود.
هندسه و آرایش هادی‌های نزولی و هادی‌های رینگ بر روی فاصله جدایی اثر می‌گذارد (ر.ک. بند ۱۵-۶-۲-۳)

[1] Lateral Connection of Down-Conductors

یادآوری ۲- نصب هر چه بیش‌تر هادی‌های نزولی، حتی‌المقدور در فواصل یکسان دور تا دور محیط خارجی که توسط هادی‌های رینگ به هم متصل شده‌اند، احتمال وقوع قوس‌های الکتریکی خطرناک را کاهش داده و حفاظت تاسیسات داخلی را تسهیل می‌کند. این شرایط در ساختمان‌های با اسکلت فلزی و در ساختمان‌های بتن مسلح که در آن‌ها آرماتورهای متصل به هم، پیوستگی الکتریکی را دارد قابل دست‌یابی است.

مقادیر نوعی که برای فاصله هادی‌های نزولی از یکدیگر ترجیح داده می‌شوند در جدول (۱۵-۷) داده شده‌اند.

۱۵-۶-۱-۳-۲- جانمایی یک سیستم حفاظت صاعقه ایزوله

جانمایی باید به شرح زیر انجام شود:

الف) اگر ترمینال هوایی شامل میله‌هایی مستقر بر پایه (های) مجزا، از جنسی غیر از فلز یا آرماتورهای به هم پیوسته در بتن مسلح باشد، حداقل یک هادی نزولی برای هر پایه نیاز خواهد بود. برای پایه‌های فلزی یا آرماتورهای به هم پیوسته در بتن مسلح، نیازی به هادی‌های نزولی اضافی نیست.

یادآوری- استفاده از بتن مسلح به‌عنوان قسمتی از سیستم حفاظت صاعقه زمانی مجاز است که اثرات حرارتی ناشی از عبور جریان صاعقه بر روی بتن در محاسبات مهندس طراح لحاظ گردیده باشد (حرارت زیاد ممکن است باعث ترک خوردگی بتن شود).

ب) اگر ترمینال هوایی شامل سیم(های) گارد باشد، حداقل یک هادی نزولی در هر یک از سازه‌ها یا پایه‌های محل اتصال سیم‌ها نیاز است.

پ) اگر ترمینال هوایی تشکیل شبکه‌ای از هادی‌ها را داده باشد، نیاز به حداقل یک هادی نزولی در هر یک از محل‌های اتصال طرفین هادی است.

۱۵-۶-۱-۳-۳- جانمایی یک سیستم حفاظت صاعقه غیر ایزوله

برای هر سیستم حفاظت صاعقه غیر ایزوله تعداد هادی‌های نزولی نباید کم‌تر از ۲ باشد و این هادی‌ها باید با در نظر گرفتن محدودیت‌های معماری و عملی در محیط خارجی ساختمان تحت حفاظت توزیع شوند. توصیه می‌شود فاصله‌گذاری برابری بین هادی‌های نزولی در محیط خارجی ساختمان انجام شود. فاصله بین هادی‌های نزولی نیز نباید از مقادیر داده شده در جدول (۱۵-۷) بزرگ‌تر باشد.

یادآوری- مقدار فاصله بین هادی‌های نزولی با فاصله جدایی[1] که در بند ۱۵-۶-۲-۳ ارایه شده، مرتبط است.

[1] Separation Distance

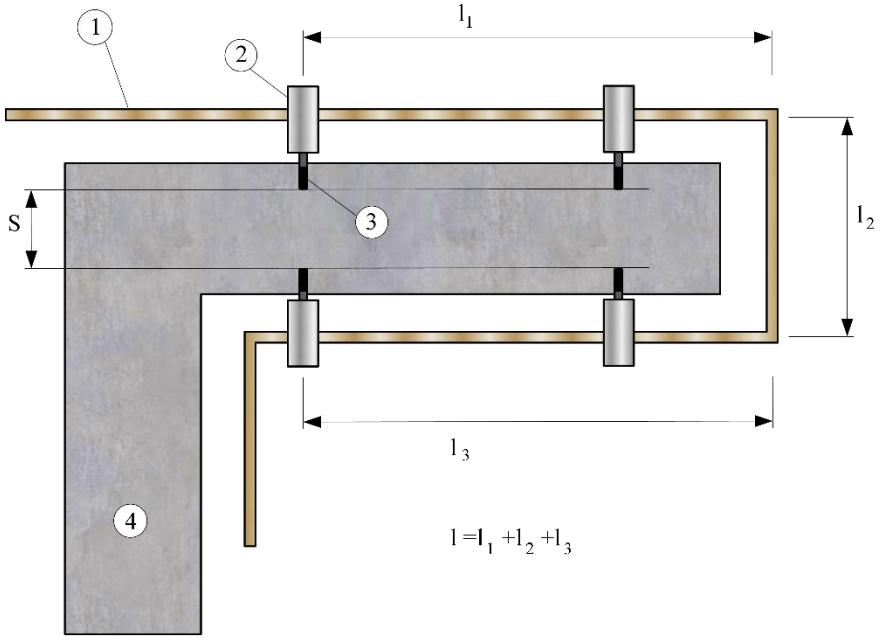
جدول۱۵-۷- مقادیر فاصله حداکثری مابین هادی‌های نزولی متناسب با کلاس سیستم حفاظت صاعقه

کلاس سیستم حفاظت صاعقه	فواصل نوعی متر
I	۱۰
II	۱۰
III	۱۵
IV	۲۰

تا جایی که ممکن است، باید در هر یک از گوشه‌های در معرض اصابت ساختمان یک هادی نزولی نصب شود.

۱۵-۶-۱-۳-۴- نحوه اجرا

هادی‌های نزولی، تا آنجایی که در عمل ممکن است، باید چنان نصب شوند که مسیر مستقیم و ممتدی[1] از هادی‌های ترمینال هوایی را فراهم نمایند. هادی‌های نزولی باید به شکل کاملاً مستقیم و عمودی نصب شوند. به گونه‌ای که کوتاه‌ترین و مستقیم‌ترین مسیر را به زمین فراهم نموده و از تشکیل هرگونه حلقه در مسیر جریان خودداری شود. اما در جایی که ممکن نباشد، فاصله s، که بین دو نقطه از هادی در طرفین فاصله هوایی اندازه‌گیری شده است و طول هادی بین دو نقطه فوق‌الذکر (در شکل (۱۵-۷)) باید از الزامات بند ۱۵-۶-۲-۳ پیروی کند.



۱ هادی نزولی
۲ بست نگهدارنده فلزی
۳ پیچ فلزی برای ثابت کردن بست نگهدارنده فلزی
۴ سازه

شکل۱۵-۷- ایجاد حلقه در مسیر هادی نزولی

[1] Continuation

هادی‌های نزولی، حتی اگر توسط مواد عایقی پوشانیده شود، نباید در آب‌راه‌ها[1] یا ناودانی‌ها[2] نصب شوند.

یادآوری- رطوبت موجود در آب‌راه‌ها منجر به خوردگی شدید هادی نزولی می‌شود.

پیشنهاد می‌شود که هادی‌های نزولی چنان جانمایی شوند که فاصله‌ای، برابر با بند ۱۵-۶-۲-۳، بین آن‌ها و درها و پنجره‌ها فراهم شود. هادی‌های نزولی سیستم حفاظت صاعقه که از ساختمان تحت حفاظت ایزوله نیستند، را می‌توان به‌صورت زیر نصب کرد:

- اگر دیوار از مواد غیر قابل اشتعال ساخته شده باشد، هادی‌های نزولی را می‌توان بر روی سطح یا داخل دیوار اجرا نمود.
- اگر دیوار از مواد قابل اشتعال[3] ساخته شده باشد، هادی‌های نزولی می‌توانند بر روی سطح دیوار نصب شوند مشروط بر اینکه افزایش دمای ناشی از عبور جریان صاعقه خطری برای موادی موجود در دیوار، ایجاد نکند.
- اگر دیوار از مواد قابل اشتعال ساخته شده و افزایش دمای هادی‌های نزولی خطرناک باشد، آن‌ها را باید چنان قرار داد که فاصله بین دیوار با آن‌ها همواره بزرگ‌تر از ۰٫۱ متر باشد. در این شرایط بست‌های نگهدارنده[4] می‌توانند در تماس با دیوار باشند.

زمانی‌که نتوان فاصله کافی بین هادی نزولی تا مواد قابل اشتعال را ایجاد کرد، سطح مقطع هادی نزولی فولادی (یا هر هادی دیگر با ظرفیت حرارتی معادل[5] آن) نباید از ۱۰۰ میلی‌مترمربع کم‌تر باشد.

۱۵-۶-۱-۳-۵- اجزای طبیعی

استفاده از اجزای طبیعی یک ساختمان به‌عنوان هادی‌های نزولی مطابق با شرایط بخش 5.3.5 استاندارد IEC 62305-3 مجاز است.

۱۵-۶-۱-۳-۶- مفصل‌های آزمون[6]

در محل اتصال هر یک از هادی‌های نزولی به ترمینال زمینی، یک مفصل آزمون باید روی هر هادی نزولی قرار داده شود، مگر در مواردی‌که از هادی‌های نزولی طبیعی به‌صورت ترکیب شده با الکترودهای زمین فونداسیون استفاده شده باشد. در شرایط عادی این مفصل بسته است ولی جهت اندازه‌گیری باید امکان باز کردن آن به کمک ابزار خاص وجود داشته باشد.

---

[1] Gutters
[2] Water Spouts
[3] Readily Combustible Material
[4] Mounting Brackets
[5] Thermal Equivalent Conductor
[6] Test Joints

یادآوری- برای اتصال هادی نزولی/مفصل آزمون به الکترود زمین، با هدف بهبود پایداری مکانیکی توصیه می‌شود از قطعه‌ای با نام "میله منتهی به زمین[1]" استفاده شود. تدابیر لازم برای حفاظت از این میله در برابر خوردگی در نقطه خروج از خاک/بتن به طور مثال با استفاده از روکش کردن آن باید اندیشیده شود. سطح مقطع میله‌های منتهی به زمین باید مطابق جدول (۱۵-۹) باشد.

۱۵-۶-۱-۴- سیستم ترمینال زمینی

۱۵-۶-۱-۴-۱- کلیات

به منظور پراکنده کردن[2] جریان فرکانس بالای صاعقه در زمین و در عین حال کاهش اضافه‌ولتاژهای خطرناک حاصله، معیار مهم شکل و ابعاد سیستم ترمینال زمینی است. در حالت کلی، سیستم زمین با مقاومت پایین (با احتساب اندازه‌گیری در فرکانس پایین در صورت امکان کم‌تر از ۱۰ اهم) توصیه می‌شود. از نقطه نظر حفاظت صاعقه، استفاده از ترمینال زمینی مشترک با ساختاری یکپارچه[3] ترجیح داده شده و برای تمامی اهداف (نظیر حفاظت صاعقه، سیستم قدرت و سیستم‌های مخابرات و غیره) مناسب است. همه سیستم‌های زمین باید مطابق الزامات بند ۱۵-۶-۲-۲ هم‌بند شوند.

یادآوری ۱- شرایط جداسازی و هم‌بندی سایر سیستم‌های ترمینال زمینی معمولا به‌وسیله مراجع ذیصلاح مربوطه تعیین می‌شوند.

یادآوری ۲- زمانی‌که سیستم‌های اتصال زمین اجرا شده با فلزات متفاوت، به یکدیگر متصل شوند، می‌تواند مشکلات جدی خوردگی ایجاد شود.

۱۵-۶-۱-۴-۲- آرایش اتصال زمین در حالت کلی

برای سیستم‌های ترمینال زمینی، دو نوع اساسی از آرایش‌های الکترود زمین به کار می‌رود.

۱۵-۶-۱-۴-۲-۱- آرایش نوع A

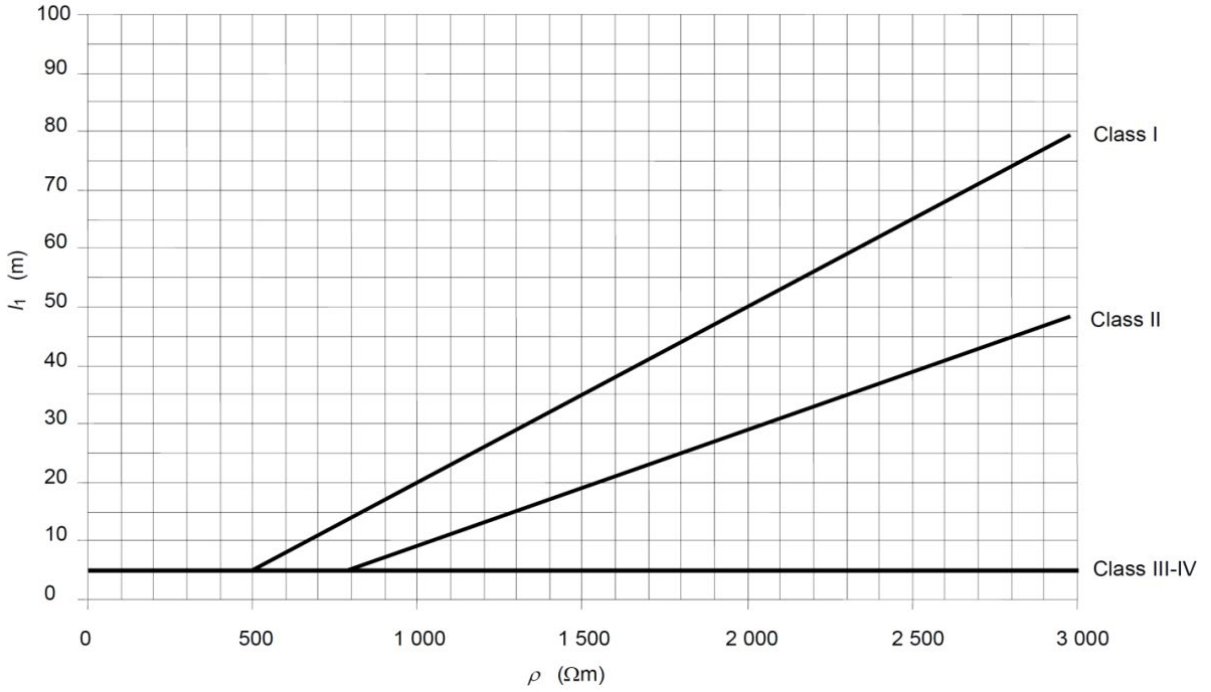
این نوع آرایش، از الکترودهای زمین افقی و عمودی تشکیل می‌شود که بیرون ساختمان نصب شده و بدون اینکه تشکیل یک حلقه بسته بدهند به هر یک از هادی‌های نزولی یا الکترودهای زمین فونداسیون متصل می‌شوند. در آرایش نوع A، تعداد کل الکترودهای زمین نباید کم‌تر از ۲ باشد. حداقل طول هر یک از الکترودهای زمین متصل به هر یک از هادی‌های نزولی برابر است با:

[1] Earth Lead-In Rod
[2] Dispersion
[3] Single Integrated Structure Earth-Termination System

- l_1: برای الکترودهای افقی، یا
- ۰٫۵ l_1: برای الکترودهای عمودی (یا شیب‌دار[1])

که در آن l_1 حداقل طول الکترودهای افقی است و در شکل (۱۵-۸) برای کلاس‌های مختلف سیستم حفاظت صاعقه نشان داده شده است.

برای الکترودهای مرکب (افقی یا عمودی)، مجموع طول‌ها باید در نظر گرفته شود. در صورتی‌که برای سیستم زمین، مقاومت کم‌تر از ۱۰ اهم بدست آید (اندازه‌گیری در فرکانسی متفاوت از فرکانس قدرت و یا مضارب آن انجام شود تا از تداخل پیش‌گیری شود)، ممکن است از رعایت حداقلی که در شکل (۱۵-۸) برای طول الکترودهای زمین داده شده، صرف‌نظر شود.



یادآوری- کلاس‌های III و IV مستقل از مقاومت ویژه خاک هستند.

شکل۱۵-۸- حداقل طول l_1 برای هر یک از الکترودهای زمین مطابق با کلاس سیستم حفاظت صاعقه

یادآوری ۱- در صورتی‌که الزامات فوق قابل دست‌یابی نباشد، باید از آرایش نوع B استفاده شود.

یادآوری ۲- افزایش طول الکترودها با هدف کاهش مقاومت زمین، در عمل تا طول ۶۰ متر منطقی به نظر می‌رسد. لذا در خاک با مقاومت ویژه بزرگ‌تر از ۳۰۰۰ اهم-متر، استفاده از الکترود زمین نوع B با استفاده از مواد کاهنده زمین[2] پیشنهاد می‌شود.

یادآوری ۳- برای کسب اطلاعات بیش‌تر، به پیوست E از استاندارد IEC 62305-3 مراجعه شود.

[1] Inclined
[2] Earthing Enhancing Compounds

۱۵-۶-۱-۴-۲-۲- آرایش نوع B

در این نوع از آرایش، یا از یک هادی رینگ خارج از ساختمان تحت حفاظت، که حداقل در ۸۰ درصد مجموع طول خود با خاک در تماس باشد یا از الکترود زمین فونداسیونی که تشکیل حلقه بسته داده است، استفاده می‌شود. این قبیل الکترودها ممکن است به‌صورت مش هم اجرا شوند.

یادآوری- اگرچه ۲۰ درصد از هادی رینگ ممکن است در تماس با خاک نباشد، با این حال این هادی باید در سرتاسر طول خود همواره متصل و پیوسته باشد.

برای الکترود زمین رینگ (یا الکترود زمین فونداسیون)، شعاع متوسط r_e سطح محصور به‌وسیله الکترود زمین رینگ (یا الکترود زمین فونداسیون) باید از مقدار l_1 کم‌تر نباشد:

$$r_e \geq l_1 \qquad (۲-۱۵)$$

که l_1 در شکل (۱۵-۸) مطابق با کلاس سیستم حفاظت صاعقه I، II، III و IV نشان داده شده است.

زمانی‌که مقدار مطلوب l_1 بزرگ‌تر از مقدار مناسب r_e است، الکترودهای افقی و عمودی (یا شیب‌دار) اضافی باید به طول منفرد l_r (افقی) و l_v (عمودی) به آن اضافه شوند:

$$l_r = l_1 - r_e \qquad (۳-۱۵)$$

$$l_v = (l_1 - r_e)/2 \qquad (۴-۱۵)$$

پیشنهاد می‌شود تعداد الکترودها کم‌تر از تعداد هادی‌های نزولی نبوده و از ۲ نیز کم‌تر نباشد. توصیه می‌شود الکترودهای اضافی درست در نقطه‌ای که هادی‌های نزولی به الکترود زمین رینگ وصل شده و تا حد امکان در فواصل یکسان، به آن متصل گردند.

۱۵-۶-۱-۴-۳- نصب الکترودهای زمین

توصیه می‌شود الکترود زمین رینگ (آرایش نوع B) در عمق حداقل ۰٫۵ متر و در فاصله‌ای حدوداً به اندازه ۱ متر از دیواره خارجی ساختمان دفن شوند.

لبه بالایی الکترودهای زمین (آرایش نوع A) باید در عمق حداقل ۰٫۵ متر و تا حد ممکن یکنواخت نصب شوند تا اثر تزویج‌های الکتریکی[1] در زمین به حداقل برسد.

یادآوری ۱- اگر الکترود نوع A در داخل یک دریچه بازدید[2] قرار گرفته باشد که آن نیز به نوبه خود در محلی با سنگ فرش یا کف بتنی با مقاومت بالا نصب شده باشد، می‌توان از الزام ۰٫۵ متر صرف نظر کرد.

الکترودهای زمین باید به گونه‌ای نصب شوند که امکان بازرسی آن‌ها در خلال ساخت و ساز فراهم باشد. عمق پوشش بتن و نوع الکترودهای زمین باید به گونه‌ای باشد که اثراتی از قبیل خوردگی، خشک شدن و یخ زدگی خاک و امثال آن

[1] Electrical Coupling Effects
[2] Inspection Housing

به حداقل رسیده و مقاومت ویژه آن مقداری حتی الامکان پایدار[۱] داشته باشد. پیشنهاد می‌شود تا قسمت بالایی الکترودهای زمین عمودی که بالاتر از تراز یخ زدگی خاک قرار دارد به دلیل موثر نبودن در شرایط یخبندان، در نظر گرفته نشود.

یادآوری ۲- بنابراین، به ازای هر الکترود عمودی، توصیه می‌شود ۰٫۵ متر به مقدار طول l_1 که در بندهای ۱۵-۶-۱-۴-۲-۱ و ۱۵-۶-۱-۴-۲-۲ محاسبه شد، افزوده شود.

برای مناطق صخره‌ای[۲]، آرایش نوع B پیشنهاد می‌شود.

برای ساختمان‌هایی با سیستم‌های وسیع الکترونیکی یا با خطر بالای آتش‌سوزی، آرایش زمین نوع B ارجح است.

۱۵-۶-۱-۴-۴- الکترودهای زمین طبیعی

توصیه می‌شود از آرماتورهای به هم پیوسته در فونداسیون بتن مسلح مطابق با بخش ۱۳-۵-۲-۳ فصل ۱۳، یا سایر سازه‌های فلزی زیر زمینی مناسب، به‌عنوان الکترود زمین استفاده شود. در این صورت، به منظور جلوگیری از ترک خوردگی مکانیکی[۳] بتن، باید در اتصالات آرماتورها احتیاط ویژه‌ای بشود.

یادآوری ۱- اگر از الکترود زمین فونداسیون استفاده شود، افزایش بلندمدت در مقاومت زمین امکان پذیر خواهد بود.

۱۵-۶-۱-۵- اجزا

۱۵-۶-۱-۵-۱- کلیات

اجزای سیستم حفاظت صاعقه، باید بدون اینکه آسیب ببینند، اثرات الکترومغناطیسی جریان صاعقه و تنش‌های قابل پیش‌بینی را تحمل کنند. این مقصود، با گذراندن آزمون‌های مندرج در استاندارد ملی ایران سری ۱۸۴۹۹ قابل تحقق است. اجزای هر سیستم حفاظت صاعقه باید با استفاده از مواد فهرست شده در جدول (۱۵-۸) یا مواد دیگری با مشخصات مکانیکی، الکتریکی و شیمیایی (خوردگی) مشابه تولید شوند.

یادآوری- اجزای ساخته شده غیر فلزی ممکن است به‌عنوان بست نگهدارنده مورد استفاده قرار گیرند.

---

[۱] منظور از پایداری مقاومت زمین در اینجا، نداشتن تغییرات و نوسانات شدید در مقدار مقاومت زمین است.

[2] Bare Solid Rock

[3] Mechanical Splitting

جدول۱۵-۸- جنس اجزای سیستم حفاظت صاعقه و شرایط استفاده[الف]

جنس	کاربری			خوردگی		
	در هوای آزاد	در زمین	در بتن	مقاومت	تشدید می‌شود به دلیل وجود	امکان تخریب به‌وسیله اتصال گالوانیکی با
مس	استخوانی[1] چندمفتولی	استخوانی چندمفتولی به‌عنوان روکش	استخوانی به‌عنوان روکش	خوب در بسیاری از محیط‌ها	ترکیبات گوگرد مواد آلی[2]	-
فولاد گالوانیزه عمقی داغ پ، ت، ث	استخوانی چندمفتولی[ب]	استخوانی	استخوانی	قابل قبول در هوا، بتن و خاک خوب[3]	کلرید با غلظت زیاد	مس
فولاد با آبکاری الکتریکی مس	استخوانی	استخوانی	استخوانی	مناسب در اکثر محیط‌ها	ترکیبات گوگرد	-
فولاد ضدزنگ	استخوانی چندمفتولی	استخوانی	استخوانی	مناسب در اکثر محیط‌ها	کلرید با غلظت زیاد	-
آلومینیوم	استخوانی چندمفتولی	نامناسب	نامناسب	مناسب جوهایی با غلظت کم گوگرد و کلرید	حلال‌های قلیایی	مس

الف- این جدول تنها راهنمایی‌های کلی را ارایه می‌دهد. در شرایط ویژه، ملاحظات محتاطانه‌تری در مقابل خوردگی نیاز است.
ب- هادی‌های چندمفتولی نسبت به هادی‌های استخوانی آسیب‌پذیری بیش‌تری در مقابل خوردگی دارند. همچنین هادی‌های چندمفتولی در جایی که از موقعیت زمین/بتن خارج یا وارد می‌شوند، آسیب‌پذیر خواهند بود. به همین دلیل فولاد گالوانیزه چندمفتولی در زمین و بتن پیشنهاد نمی‌شود.
پ- فولاد گالوانیزه ممکن است در خاک رسی[4] یا خاک مرطوب[5] خورده شود.
ت- قرار گرفتن هادی فولادی در دو بستر خاک و بتن توصیه نمی‌شود. به دلیل اینکه قسمتی از فولاد درست در نقطه‌ای که از بتن خارج می‌شود ممکن است خوردگی پیدا کند.
ث- در مناطق ساحلی به دلیل احتمال وجود نمک در آب‌های زیر زمینی، نباید از فولاد گالوانیزه در تماس با آرماتورهای بتن مسلح استفاده شود.

۱۵-۶-۱-۵-۲- بست نگهدارنده[6]

ترمینال‌های هوایی و هادی‌های نزولی باید چنان محکم ثابت نگه داشته شوند که نیروهای الکترودینامیکی یا مکانیکی احتمالی (برای مثال ارتعاشات، سقوط برف جمع شده روی بام، انبساط حرارتی و غیره) منجر به قطع شدن یا شل شدن هادی‌ها نشود (ر.ک. پیوست D استاندارد IEC 62305-1). فواصل پیشنهادی بین بست‌های نگهدارنده در جدول (۱۵-۹) داده شده‌اند.

[1] Solid
[2] Organic Materials
[3] Benign Soil
[4] Clay Soil
[5] Moist Soil
[6] Fixing

جدول۱۵-۹- فاصله پیشنهادی بین بست‌های نگهدارنده

آرایش	فاصله برای هادی‌های تسمه‌ای، مدور نرم[1] و چندمفتولی میلی‌متر	فاصله برای هادی‌های استخوانی مدور[2] میلی‌متر
هادی‌های افقی روی سطوح افقی	۱۰۰۰	۱۰۰۰
هادی‌های افقی روی سطوح عمودی	۵۰۰	۱۰۰۰
هادی‌های عمودی از زمین تا ۲۰ متر	۱۰۰۰	۱۰۰۰
هادی‌های عمودی از ۲۰ متر به بالا	۵۰۰	۱۰۰۰
یادآوری ۱- این جدول برای بست‌های نگهدارنده نوع توکار[3] که ممکن است نیاز به منظور کردن ملاحظاتی ویژه داشته باشند، قابل اعمال نیست. یادآوری ۲- توصیه می‌شود نتایج حاصل از بررسی شرایط محیطی (مثل بارگذاری ناشی از وزش باد) در نظر گرفته شود و ممکن است تخطی از فواصل پیشنهادی برای مراکز بست‌های نگهدارنده ضروری باشد.		

۱۵-۶-۱-۵-۳- اتصالات[4]

همواره باید کم‌ترین اتصالات ممکن در طول هادی‌ها به کار گرفته شود. اتصالات باید به‌وسیله روش‌هایی نظیر لحیم‌کاری سخت[5]، جوشکاری[6]، کلمپ[7]، پرس‌کاری[8]، درزگیری[9]، پیچ کردن[10] یا با پیچ و مهره بستن[11] کاملاً محکم شوند.

یادآوری ۱- برای اتصالات زیر خاک الزامات بند ۱۳-۵-۲-۷ فصل ۱۳ باید رعایت شود.

یادآوری ۲- تمام اتصالات باید مطابق استاندارد ملی ایران به شماره ۱-۱۸۴۹۹ و/یا شیوه‌نامه مربوطه در مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی ساخته و آزموده شوند.

۱۵-۶-۱-۶- جنس و ابعاد

۱۵-۶-۱-۶-۱- در انتخاب جنس و ابعاد همواره باید احتمال خوردگی را هم در ساختمان تحت حفاظت و هم در سیستم حفاظت خارجی در نظر داشت.

---

[1] Soft Drawn Round Conductor
[2] Round Solid Conductors
[3] Built-In Type
[4] Connections
[5] Brazing
[6] Welding
[7] Clamping
[8] Crimping
[9] Seaming
[10] Screwing
[11] Bolting

۱۵-۶-۱-۶-۲- جنس، شکل و حداقل سطح مقطع هادی‌های ترمینال هوایی، میله‌های ترمینال هوایی، میله‌های منتهی به زمین و هادی‌های نزولی مجاز در جدول (۱۵-۱۰) و جدول ۶ استاندارد IEC 62305-3 ارایه شده و در عین حال این قسمت‌ها همواره باید الزامات و آزمون‌های استاندارد ملی ایران سری ۱۸۴۹۹ را برآورده سازند (ر.ک. بخش ۱۵-۹).

۱۵-۶-۱-۶-۳- جنس، شکل و حداقل ابعاد الکترودهای زمین مجاز در جدول‌های (۱۳-۲) و (۱۳-۳) فصل ۱۳ حسب مورد ارایه شده و همواره باید الزامات و آزمون‌های استاندارد ملی ایران سری ۱۸۴۹۹ و/یا شیوه‌نامه مربوطه در مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی را برآورده سازند (ر.ک. بخش ۱۵-۹).

یادآوری- در صورتی‌که قرار باشد از شبکه هم‌بندی اسکلت به‌عنوان هادی نزولی صاعقه استفاده شود، جنس، شکل و سطح مقطع هادی هم‌بندی در مسیرهای بالا رو (ستون‌ها) باید مطابق جدول (۱۳-۲) فصل ۱۳ انتخاب شود.

جدول۱۵-۱۰- جنس، شکل و حداقل سطح مقطع هادی‌های ترمینال هوایی، میله‌های ترمینال هوایی، میله‌های منتهی به زمین و هادی‌های نزولی

جنس	شکل	سطح مقطع mm^2
مس، مس قلع اندود[1]	تسمه	۵۰
	هادی مدور	۵۰
	چند مفتولی	۵۰
	میله مدور	۱۷۶
فولاد ضد زنگ[2]	تسمه	۵۰
	هادی مدور	۵۰
	چند مفتولی	۷۰
	میله مدور	۱۷۶
آلیاژ آلومینیوم با روکش مسی[3]	هادی مدور	۵۰

۱- قلع‌اندود کردن با روش غوطه‌وری داغ یا الکتروپلیت ممکن خواهد بود. حداقل ضخامت روکش باید ۱ میکرومتر باشد. از آنجا که قلع‌اندود کردن مس تنها با هدف زیبایی[1] انجام می‌شود، اندازه‌گیری ضخامت روکش الزامی نیست.
۲- ۱۶٪ ≤ کروم، ۸٪ ≤ نیکل، ۰٫۰۸٪ ≤ کربن.
۳- روکش مسی باید ضخامت شعاعی حداقل ۷۰ میکرومتر و خلوص ۹۹٫۹٪ داشته باشد.

۱۵-۶-۲- سیستم حفاظت صاعقه داخلی

۱۵-۶-۲-۱- کلیات

سیستم حفاظت صاعقه داخلی، باید از بروز قوس‌های الکتریکی خطرناک در داخل ساختمان، متعاقب جاری شدن جریان صاعقه در سیستم حفاظت صاعقه خارجی یا در سایر قسمت‌های رسانای ساختمان، جلوگیری کند. بروز قوس، بین سیستم حفاظت صاعقه خارجی و یکی از اجزاء زیر می‌تواند محتمل باشد:

[1] Aesthetic

- تاسیسات فلزی
- سیستم‌های داخلی
- قسمت‌های رسانای خارجی و خطوط (برق، مخابرات و ...) متصل به ساختمان

یادآوری ۱- قوس‌های رخ داده در داخل ساختمان‌های با خطر انفجار همیشه خطرناک هستند. در این شرایط تدابیر حفاظتی خاصی باید به کار برود که در پیوست D استاندارد IEC 62305-3 به آن‌ها اشاره شده است.

یادآوری ۲- برای حفاظت سیستم‌های داخلی در برابر اضافه‌ولتاژ، به بخش ۱۵-۷ مراجعه شود.

به منظور جلوگیری از بروز قوس‌های خطرناک بین اجزاء مختلف می‌توان از روش‌های زیر استفاده نمود:

- هم‌بندی هم‌پتانسیل‌کننده مطابق با بند ۱۵-۶-۲-۲، یا
- عایق‌بندی الکتریکی بین اجزای مختلف مطابق با بند ۱۵-۶-۲-۳

۱۵-۶-۲-۲- هم‌بندی هم‌پتانسیل‌کننده صاعقه

۱۵-۶-۲-۲-۱- کلیات

هم‌پتانسیل‌سازی در یک ساختمان به‌وسیله اتصال اجزاء سیستم حفاظت صاعقه با قسمت‌های زیر حاصل می‌شود:

- تاسیسات فلزی
- سیستم‌های داخلی
- قسمت‌های رسانای خارجی و خطوط (برق، مخابرات و ...) متصل به ساختمان

هنگامی که هم‌بندی هم‌پتانسیل‌کننده، بین سیستم حفاظت صاعقه و سیستم‌های داخلی ساختمان ایجاد می‌شود، احتمال جاری شدن قسمتی از جریان صاعقه به این قبیل تجهیزات وجود دارد. برای ایجاد ارتباطات لازم با سیستم هم‌بندی می‌توان از روش‌های زیر استفاده نمود:

- استفاده از هادی‌های هم‌بندی، در جاهایی که پیوستگی الکتریکی به‌صورت طبیعی وجود نداشته باشد.
- استفاده از وسیله حفاظتی سرج (SPD) در جاهایی که اتصال مستقیم با استفاده از هادی‌های هم‌بندی ممکن نباشد[۱]
- استفاده از ایزوله‌کننده قوسی (ISG) در جاهایی که اتصال مستقیم با استفاده از هادی‌های هم‌بندی مجاز نباشد[۲].

---

[۱] مانند هم‌بندی با هادی‌های فاز و یا حاوی سیگنال مخابراتی خطوط ورودی به سازه تحت حفاظت

[۲] مانند هم‌بندی به سیستم زمین یا بدنه هادی تاسیسات که بدلیل برخی محدویت‌های مهندسی در شرایط کار عادی از ترمینال زمینی LPS ایزوله هستند.

۱۵-۶-۲-۲-۲- هم‌بندی هم‌پتانسیل‌کننده صاعقه با تاسیسات فلزی

در صورت استفاده از سیستم حفاظت صاعقه ایزوله، هم‌بندی هم‌پتانسیل‌کننده با این سیستم باید فقط در سطح زمین صورت پذیرد. در صورت استفاده از سیستم حفاظت صاعقه غیرایزوله، هم‌بندی هم‌پتانسیل‌کننده باید در مکان‌های زیر صورت پذیرد:

۱) در زیرزمین[1] یا در نزدیکی سطح زمین. هادی‌های هم‌بندی باید به شینه هم‌بندی موجود به گونه‌ای متصل شوند که امکان دسترسی آسان و بازرسی دوره‌ای آن وجود داشته باشد. شینه‌های هم‌بندی باید به ترمینال زمینی متصل شوند. در ساختمان‌های بزرگ (به طور معمول با طول بیش‌تر از ۲۰ متر در یکی از اضلاع ساختمان)، شینه هم‌بندی می‌تواند به‌صورت یک رینگ پیرامون ساختمان یا چندین شینه هم‌بندی در نقاط مختلف ساختمان که به یکدیگر متصل شده‌اند، اجرا شود.

۲) در جایی که الزامات عایقی رعایت نشده باشد (مطابق با بند ۱۵-۶-۲-۳)

یادآوری ۱- اتصالات هم‌بندی هم‌پتانسیل‌کننده حفاظتی باید تا حد امکان به‌صورت مستقیم (بدون پیچ و تاب) اجرا شوند.

یادآوری ۲- زمانی‌که هم‌بندی هم‌پتانسیل‌کننده صاعقه با اجزا داخلی ایجاد می‌شود، قسمتی از جریان صاعقه ممکن است وارد این اجزا شود. بنابراین آثار و نتایج آن را نیز باید در نظر گرفت.

حداقل سطح مقطع هادی هم‌بندی برای اتصال شینه‌های هم‌بندی مختلف به یکدیگر و یا اتصال به ترمینال زمینی باید مطابق جدول (۱۵-۱۱) باشد. حداقل سطح مقطع هادی هم‌بندی متصل‌کننده تاسیسات فلزی داخلی به شینه‌های هم‌بندی در جدول (۱۵-۱۲) آمده است:

جدول۱۵-۱۱- حداقل سطح مقطع هادی هم‌بندی برای اتصال شینه‌های هم‌بندی مختلف به یکدیگر و یا اتصال به ترمینال زمینی

کلاس حفاظت سیستم حفاظت صاعقه	جنس	سطح مقطع بر حسب میلی‌مترمربع
I تا IV	مس	۱۶
	آلومینیوم	۲۵
	فولاد	۵۰

جدول۱۵-۱۲- حداقل سطح مقطع هادی هم‌بندی که تاسیسات فلزی داخلی را به شینه‌های هم‌بندی متصل می‌کند

کلاس حفاظت سیستم حفاظت صاعقه	جنس	سطح مقطع بر حسب میلی‌مترمربع
I تا IV	مس	۶
	آلومینیوم	۱۰
	فولاد	۱۶

[1] Basement

اگر یک قطعه عایق‌کننده (همانند فلنج عایقی) بین لوله‌های فلزی گاز و آب داخل ساختمان و خطوط شهری قرار گرفته باشد، به منظور حفاظت در داخل ساختمان، با کسب مجوز از اداره گاز و اداره آب[1]، باید دو طرف آن قطعه عایق، توسط ایزوله‌کننده قوسی که بدین منظور طراحی شده مرتبط گردند.

ایزوله‌کننده‌های قوسی (ISG) باید براساس استاندارد ملی ایران به شماره ۳-۱۸۴۹۹ آزمون شده و دارای مشخصات فنی زیر باشند:

- $I_{imp} \geq K_c I$ که در آن $K_c I$ جریان صاعقه‌ای است که در امتداد قسمت مربوطه از سیستم حفاظت صاعقه خارجی جاری می‌شود (ر.ک. پیوست C استاندارد IEC 62305-3).
- ولتاژ ضربه اسمی بروز قوس U_{RIMP} از قدرت تحمل ضربه[2] قطعه عایق قرار گرفته بین قسمت‌ها، کوچک‌تر باشد.

۱۵-۶-۲-۲-۳- هم‌بندی هم‌پتانسیل‌کننده صاعقه برای قسمت‌های رسانای خارجی

به منظور ایجاد هم‌بندی هم‌پتانسیل‌کننده برای قسمت‌های رسانای خارجی، این امر باید تا حد امکان نزدیک به نقطه ورود تاسیسات به ساختمان مورد حفاظت صورت پذیرد. هادی‌های هم‌بندی باید توانایی تحمل عبور بخشی از جریان صاعقه (I_F)، که مطابق با پیوست E از استاندارد IEC 62305-1 تخمین زده می‌شود را داشته باشند.

اگر هم‌بندی مستقیم قابل قبول نباشد، باید از ISGها با مشخصات فنی استاندارد استفاده شود. ایزوله‌کننده قوسی (ISG) بر اساس استاندارد ملی ایران به شماره ۳-۱۸۴۹۹ آزمون می‌شوند و باید دارای مشخصات فنی زیر باشند:

- $I_{imp} \geq I_F$ که در آن I_F جریان صاعقه‌ای است که در امتداد قسمت رسانای خارجی مورد نظر جاری می‌شود (ر.ک. پیوست E استاندارد IEC 62305-1).
- ولتاژ ضربه اسمی بروز قوس U_{RIMP} از قدرت تحمل ضربه قطعه عایق قرار گرفته بین قسمت‌ها، کوچک‌تر باشد.

یادآوری- زمانی‌که هم‌بندی هم‌پتانسیل‌کننده ضروری بوده اما نصب سیستم حفاظت صاعقه الزامی نباشد، می‌توان از ترمینال زمینی تاسیسات الکتریکی فشار ضعیف بدین منظور استفاده نمود. به منظور بررسی نیاز به نصب سیستم حفاظت صاعقه (بر اساس مطالعات مدیریت ریسک) به بخش ۱۵-۵ مراجعه نمایید.

۱۵-۶-۲-۲-۴- هم‌بندی هم‌پتانسیل‌کننده صاعقه برای سیستم‌های داخلی

اجرای هم‌بندی هم‌پتانسیل‌کننده صاعقه باید براساس موارد ۱ و ۲ بند ۱۵-۶-۲-۲-۲ صورت پذیرد. اگر کابل‌های سیستم‌های داخلی شیلددار بوده و یا از داخل لوله‌های فلزی عبور کرده باشند، کافی‌است شیلد این کابل‌ها و یا لوله‌های فلزی هم‌بند شوند (ر.ک. پیوست B در استاندارد IEC 62305-3).

---

[1] Gas & Water Supplier
[2] Impulse Withstand Level

یادآوری- این امکان وجود دارد که هم‌بندی شیلد کابل‌ها و لوله‌ها، مانع از بروز ایراد در تجهیزات متصل به این کابل‌ها، در اثر اضافه‌ولتاژها نشود. برای حفاظت این قبیل تجهیزات به ۱۵-۷ مراجعه نمایید.

اگر کابل‌های سیستم‌های داخلی فاقد شیلد بوده و از داخل لوله فلزی نیز عبور نکرده باشند، باید هم‌بندی آن‌ها از طریق SPDها صورت پذیرد. در سیستم TN هادی‌های حفاظتی (PE[1]) و حفاظتی/خنثی (PEN) باید به‌صورت مستقیم یا از طریق وسیله حفاظتی سرج (SPD) به سیستم حفاظت صاعقه متصل گردند.

هادی‌های هم‌بندی باید دارای تحمل جریانی یکسان با ISGها باشند (بند ۱۵-۶-۲-۲-۲).

وسایل حفاظتی سرج (SPDs) باید مطابق با استانداردهای IEC 61643-11 و IEC 61643-21 بوده و دارای مشخصات فنی زیر باشند:

- با $I_{imp} \geq K_c I$ آزمون شده باشند که در آن $K_c I$ جریان صاعقه‌ای است که در امتداد قسمت مربوطه از سیستم حفاظت صاعقه خارجی جاری می‌شود (ر.ک. پیوست C استاندارد IEC 62305-3).
- سطح حفاظتی (U_P) آن‌ها از قدرت تحمل ضربه قطعه عایق قرار گرفته بین قسمت‌ها، کوچک‌تر باشد.

در صورت نیاز به حفاظت سیستم‌های داخلی در برابر سرج، هماهنگی حفاظتی بین وسایل حفاظتی سرج مطابق الزامات بند ۱۵-۷-۴ ضروری است.

۱۵-۶-۲-۲-۵- هم‌بندی هم‌پتانسیل‌کننده صاعقه برای خطوط متصل به ساختمان تحت حفاظت

هم‌بندی هم‌پتانسیل‌کننده صاعقه برای خطوط الکتریکی و مخابراتی باید مطابق با بند ۱۵-۶-۲-۲-۳ انجام شود. تمام هادی‌ها در هر یک از خطوط باید از طریق وسیله حفاظتی سرج به شینه هم‌بندی متصل شوند. در سیستم TN هادی‌های حفاظتی (PE) و حفاظتی/خنثی (PEN) باید به‌صورت مستقیم یا از طریق وسیله حفاظتی سرج به شینه هم‌بندی متصل شوند.

اگر خطوط شیلددار بوده یا مسیر عبور آن‌ها از درون لوله‌های فلزی باشد، شیلد یا لوله‌ها باید هم‌بند شوند. هم‌بندی هم‌پتانسیل‌کننده صاعقه برای هادی‌ها در صورتی‌که سطح مقطع S_C این شیلدها یا لوله‌های فلزی، از حداقل سطح مقطع S_{CMIN} تعیین شده در پیوست B استاندارد IEC 62305-3 کم‌تر نباشد، ضروری نیست. هم‌بندی شیلد کابل‌ها یا لوله‌های فلزی، به منظور هم‌پتانسیل‌سازی، باید در نزدیک‌ترین نقطه ورود آن‌ها به ساختمان اجرا شود. هادی‌های هم‌بندی باید دارای تحمل جریانی یکسان با ISGها مطابق مطالب بیان شده در بند ۱۵-۶-۲-۲-۳ باشند.

وسایل حفاظتی سرج باید مطابق استانداردهای IEC 61643-11 و IEC 61643-21 بوده و دارای مشخصات فنی زیر باشند:

- با $I_{imp} \geq I_F$ آزمون شده باشند که در آن I_F جریان صاعقه‌ای است که در امتداد خطوط جاری می‌شود (ر.ک. پیوست E استاندارد IEC 62305-1).

[1] PE: Protective Earthing

• سطح حفاظتی (U_P) آن‌ها از قدرت تحمل ضربه قطعه عایق قرار گرفته بین قسمت‌ها، کوچک‌تر باشد.

اگر سیستم‌های الکتریکی و الکترونیکی متصل به خطوط ورودی به ساختمان، نیاز به حفاظت در برابر سرج داشته باشند، هماهنگی حفاظتی مابین وسایل حفاظتی سرج مطابق الزامات ۱۵-۷-۴ ضروری است.

یادآوری- زمانی‌که هم‌بندی هم‌پتانسیل‌کننده ضروری بوده اما نصب سیستم حفاظت صاعقه الزامی نباشد، می‌توان از ترمینال زمینی تاسیسات الکتریکی فشار ضعیف بدین منظور استفاده نمود. به منظور بررسی نیاز به نصب سیستم حفاظت صاعقه (بر اساس مطالعات مدیریت ریسک) به ۱۵-۵ مراجعه نمایید.

۱۵-۶-۲-۳- عایق‌بندی الکتریکی سیستم حفاظت صاعقه خارجی

۱۵-۶-۲-۳-۱- کلیات

عایق‌بندی الکتریکی بین ترمینال هوایی یا هادی نزولی و قسمت‌های فلزی ساختمان، تاسیسات فلزی و سیستم‌های داخلی، از طریق رعایت فاصله جدایی، s، بین این قسمت‌ها فراهم می‌شود. فرمول کلی برای محاسبه s به‌صورت زیر است:

$$S = \frac{k_i}{k_m} \times k_c \times l \quad (m) \qquad (۱۵-۵)$$

که در آن:

k_i: بستگی به کلاس سیستم حفاظت صاعقه منتخب دارد (جدول (۱۵-۱۳)).

k_m: بستگی به جنس عایق الکتریکی دارد (جدول (۱۵-۱۴)).

k_c: بستگی به (بخشی[1] از) جریانی دارد که از ترمینال هوایی و هادی نزولی عبور می‌کند (ر.ک. جدول (۱۵-۱۵) و پیوست C استاندارد IEC 62305-3).

l: طول بر حسب متر، در امتداد ترمینال هوایی و هادی نزولی از نقطه‌ای که فاصله جدایی باید مورد محاسبه قرار گیرد تا نزدیک‌ترین نقطه هم‌بندی یا ترمینال زمینی است (ر.ک. پیوست E بخش E.6.3 استاندارد IEC 62305-3).

جدول۱۵-۱۳- عایق‌بندی قسمت خارجی سیستم حفاظت صاعقه – مقادیر مختلف ضرایب k_i

کلاس سیستم حفاظت صاعقه	k_i
I	۰٫۰۸
II	۰٫۰۶
III و IV	۰٫۰۴

[1] Partial

جدول۱۵-۱۴- عایق‌بندی قسمت خارجی سیستم حفاظت صاعقه – مقادیر مختلف ضرایب k_m

جنس ماده	m
هوا	۱
آجر، بتن	۰/۵
یادآوری ۱- در صورتی‌که چندین ماده عایقی به‌صورت سری قرار داشته باشند، بهترین کار استفاده از کم‌ترین مقدار k_m است. یادآوری ۲- در صورتی‌که از مواد خاصی جهت عایق‌بندی استفاده شده باشد، مقدار ضریب k_m باید توسط سازنده ارایه شود.	

در صورتی‌که خطوط یا رساناهای خارجی به ساختمان وارد می‌شوند، همواره باید از هم‌بندی هم‌پتانسیل‌کننده صاعقه در نقطه ورود به ساختمان مطمئن بود (با اتصال مستقیم یا با اتصال از طریق وسیله حفاظتی سرج (SPD)).

در ساختمان‌های دارای اسکلت فلزی یا بتن مسلح با آرماتورهای به لحاظ الکتریکی به هم پیوسته، رعایت فاصله جدایی الزامی نیست.

ضریب k_c مربوط به جریان صاعقه گذرنده از ترمینال هوایی و هادی‌های نزولی به کلاس سیستم حفاظت صاعقه، به تعداد کل هادی‌های نزولی n، به موقعیت هادی‌های نزولی، هادی‌های ارتباطی رینگ‌ها و نوع ترمینال زمینی وابسته است. فاصله جدایی مورد نیاز، به افت ولتاژ در کوتاه‌ترین مسیر از نقطه‌ای که فاصله جدایی باید در آن مد نظر قرار گیرد تا الکترود زمین یا نزدیک‌ترین نقطه هم‌بندی هم‌پتانسیل‌کننده بستگی دارد.

۱۵-۶-۲-۳-۲- روش ساده‌سازی شده[1]

در ساختمان‌های نوعی[2] برای استفاده از فرمول (۱۵-۵)، شرایط زیر باید مد نظر قرار گیرد:

k_c: بستگی به (بخشی از) جریانی دارد که از آرایش هادی‌های نزولی عبور می‌کند (ر.ک. جدول ۱۲ از پیوست C استاندارد IEC 62305-3).

l: طول عمودی بر حسب متر در امتداد هادی نزولی از نقطه‌ای که باید فاصله جدایی محاسبه شود تا نزدیک‌ترین نقطه هم‌بندی یا ترمینال زمینی.

جدول۱۵-۱۵- ایزوله کردن سیستم حفاظت صاعقه خارجی – مقادیر تقریبی برای ضریب k_c

تعداد هادی‌های نزولی n	k_c
۱ (فقط در مورد سیستم حفاظت صاعقه ایزوله)	۱
۲	۰/۶۶
۳ و بیش‌تر	۰/۴۴
یادآوری- مقادیر این جدول برای تمامی آرایش‌های اتصال زمین نوع B و برای تمامی آرایش‌های اتصال زمین نوع A، به شرطی کاربرد دارد که مقاومت زمین الکترودهای زمین مجاور با ضریب بیش‌تر از ۲ تغییر نکند. اگر مقاومت زمین یک الکترودهای زمین منفرد با ضریبی بیش‌تر از ۲ تغییر کند، در این حالت باید ضریب k_c برابر ۱ در نظر گرفته شود.	

[1] Simplified Approach
[2] Typical

اطلاعات بیش‌تر در خصوص تقسیم جریان بین هادی‌های نزولی در پیوست C استاندارد IEC 62305-3 ارایه شده است.

یادآوری- روش ساده‌سازی شده معمولا منجر به نتایجی در محدوده ایمن می‌شود.

۱۵-۶-۲-۳-۳- روش تفصیلی (مفصل‌تر)[1]

در یک سیستم حفاظت صاعقه با سیستم ترمینال هوایی مش یا هادی‌های رینگ متصل به هم، به علت تقسیم جریان، ترمینال‌های هوایی و یا هادی‌های نزولی دارای مقادیر متفاوت جریانی، در امتداد طول خود خواهند بود. در این موارد ارزیابی دقیق فاصله جدایی s باید با استفاده از فرمول زیر انجام شود:

$$s = \frac{k_i}{k_m} \times (k_{c1} \times l_1 + k_{c2} \times l_2 + \ldots + k_{cn} \times l_n) \qquad (۶-۱۵)$$

هنگامی که ترمینال هوایی و هادی‌های نزولی، به علت اتصال هادی‌های رینگ، دارای مقادیر مختلف جریانی در امتداد طول خود باشند (ر.ک. شکل‌های C.4 و C.5 استاندارد IEC 62305-3).

یادآوری ۱- این روش برای ارزیابی فاصله جدایی در ساختمان‌های خیلی بزرگ یا ساختمان‌ها با اشکال پیچیده مناسب است.

یادآوری ۲- برای محاسبه ضرایب k_c برای هر کدام از هادی‌ها، می‌توان از نرم‌افزارهای کامپیوتری استفاده نمود.

۱۵-۶-۳- حفاظت موجودات زنده در برابر آسیب‌های ناشی از ولتاژهای گام و تماس صاعقه

۱۵-۶-۳-۱- نزدیک بودن موجودات زنده به هادی‌های نزولی در یک سیستم حفاظت صاعقه؛ امکان بروز خطرات جانی را در پی دارد؛ حتی اگر طراحی سیستم حفاظت صاعقه به درستی و با دقت انجام شده باشد.

با اتخاذ یکی از روش‌های زیر می‌توان میزان خطر ولتاژ گام و تماس را به میزان قابل قبولی کاهش داد:

۱) در شرایط بهره‌برداری عادی هیچ فردی در فاصله ۳ متری از هادی‌های نزولی حضور نداشته باشد.

۲) به کارگیری حداقل ۱۰ هادی نزولی مطابق با بند ۱۵-۶-۱-۳-۵

۳) ایجاد یک لایه سطحی با حداقل مقاومت ۱۰۰ کیلو اهم در محدوده ۳ متری از هادی‌های نزولی

یادآوری- به کارگیری لایه‌ای از ماده عایق کننده، به طور مثال آسفالت به ضخامت ۵ سانتی‌متر (یا لایه‌ای از گراول[2] به ضخامت ۱۵ سانتی‌متر) خطر را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد.

۱۵-۶-۳-۲- در صورت عدم تحقق هیچ یک از موارد سه‌گانه بند ۱۵-۶-۳-۱، به منظور کاهش خطرات ناشی از ولتاژ تماس، باید تدابیر حفاظتی زیر صورت پذیرد:

[1] Detailed Approach
[2] Gravel

- عایق نمودن هادی‌های نزولی قابل تماس به گونه‌ای که قابلیت تحمل ولتاژ ضربه با شکل موج ۱٫۲/۵۰ و دامنه ۱۰۰ کیلوولت را داشته باشد، به طور نمونه پلی‌اتیلن‌کراس لینک[1] با ضخامت حداقل ۳ میلی‌متر[2]
- استفاده از محدودیت‌های فیزیکی و/یا علائم هشدار دهنده به منظور کاهش احتمال تماس افراد با هادی‌های نزولی

۱۵-۶-۳-۳- درصورت عدم تحقق هیچ یک از موارد سه‌گانه بند ۱۵-۶-۳-۱، به منظور کاهش خطرات ناشی از ولتاژ گام، باید تدابیر حفاظتی زیر صورت پذیرد:

- انجام هم‌پتانسیل‌سازی به‌وسیله احداث ترمینال زمینی مش‌بندی شده
- استفاده از محدودیت‌های فیزیکی و/یا علائم هشدار دهنده به منظور کاهش احتمال دسترسی به منطقه خطر در محدوده ۳ متری هادی‌های نزولی.

۱۵-۶-۳-۴- چنانچه افراد زیادی در منطقه‌ای که با ریسک ناشی از قرارگیری در نزدیکی سازه یا ساختمانی مجهز به حفاظت صاعقه مواجه است، اغلب مواقع حضور داشته باشند، توصیه می‌شود برای حفاظت از این افراد تدبیری جهت کنترل پتانسیل به کار گرفته شود. برای انجام این کنترل پتانسیل کفایت می‌کند شیب مقاومت[3] بر روی سطح زمین منطقه مورد نظر از ۱ اهم بر متر تجاوز نکند.

برای دستیابی به این هدف، باید یک الکترود زمین رینگ در فاصله ۱ متری و عمق ۰٫۵ متری به الکترود زمین فونداسیون موجود افزوده شود. چنانچه ساختمان مورد نظر در حال حاضر مجهز به سیستم ترمینال زمینی از نوع الکترود زمین رینگ است، این رینگ باید به‌عنوان اولین لایه از رینگ کنترل پتانسیل در نظر گرفته شود. در هر صورت توصیه می‌شود الکترودهای زمین رینگ اضافی در فاصله ۳ متری از الکترود زمین رینگ قبلی اجرا شوند. عمق دفن الکترودهای زمین رینگ اضافی هر چه که از ساختمان دور می‌شود باید در پله‌های ۰٫۵ متری افزایش یابد. هادی‌های نزولی باید به تمامی رینگ‌های کنترل پتانسیل متصل شده، به گونه‌ای که هر یک از رینگ‌ها حداقل ۲ مرتبه متصل شده باشند.

---

[1] Cross-Linked Polyethylene

[2] این بند به معنای مجاز بودن استفاده از کابل قدرت معمولی (فشار ضعیف یا فشار قوی) صرفا با دارا بودن ضخامت عایق حداقل ۳ میلی متر به عنوان هادی نزولی ایزوله نیست. تمامی اجزای سیستم حفاظت صاعقه ایزوله باید مطابق استاندارد ملی ایران معادل با استاندارد IEC 62561-8 ساخته و آزموده شده باشند.

[3] Resistance Gradient

۱۵-۷- سیستم حفاظت LEMP (SPM)

۱۵-۷-۱- کلیات

با توجه به احتمال بروز خسارات ناشی از ضربات الکترومغناطیسی صاعقه (LEMP[1]) بر روی سیستم‌های الکتریکی و الکترونیکی، برای جلوگیری از آسیب‌های وارده به سیستم‌های داخلی نیاز به در نظر گرفتن تدابیر حفاظت در برابر LEMP (موسوم به SPM[2]) است.

طراحی SPM باید توسط متخصصین حفاظت صاعقه و سرج که اطلاعات وسیعی درخصوص سازگاری الکترومغناطیسی (EMC[3]) و روش‌های اجرا و نصب دارند، صورت گیرد.

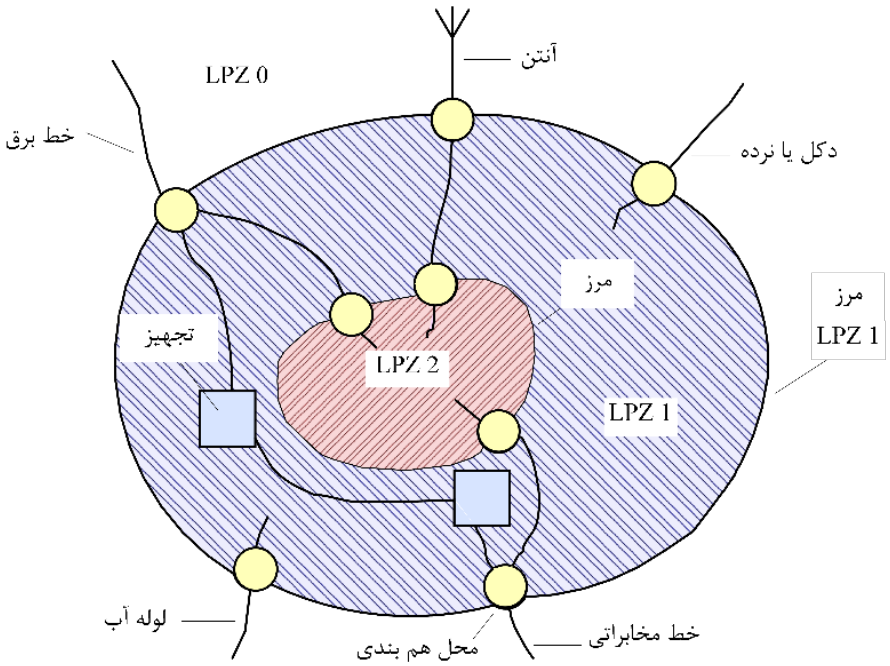
حفاظت در برابر LEMP بر اساس مفهوم زون‌های حفاظت صاعقه (LPZ) صورت می‌گیرد که در آن ناحیه‌ای که شامل سیستم‌هایی است که مد نظر است تا حفاظت شوند باید به زون‌های مختلف تقسیم‌بندی شود (شکل (۱۵-۹)).

۱۵-۷-۲- اتصال زمین و هم‌بندی

اتصال زمین و هم‌بندی مناسب، بر اساس یک سیستم اتصال زمین کامل (شکل (۱۵-۱۰)) بوده و از موارد زیر تشکیل می‌شود:

- سیستم ترمینال زمینی (که جریان صاعقه را در خاک پراکنده می‌کند)؛
- شبکه هم‌بندی (که اختلاف پتانسیل بین نقاط مختلف ساختمان را به حداقل رسانده و میدان مغناطیسی را کاهش می‌دهد).

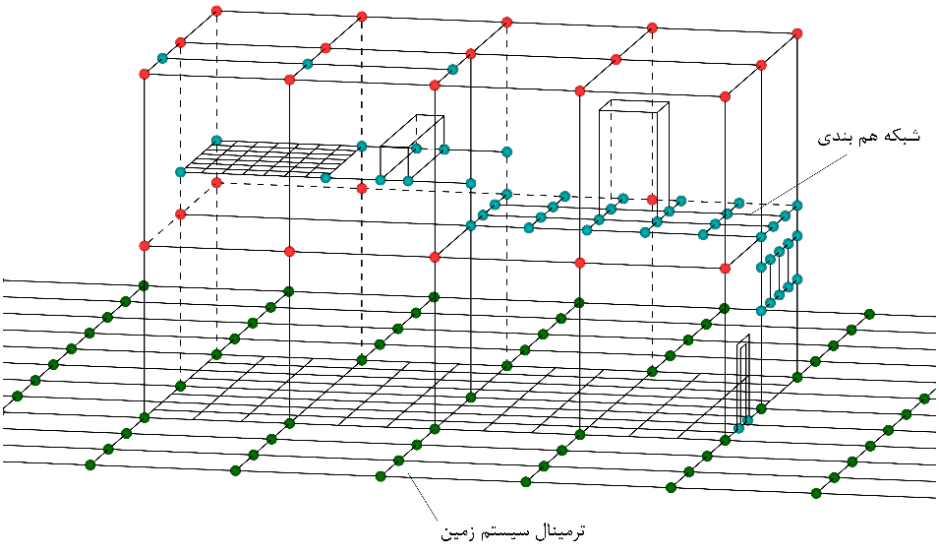
[1] LEMP: Lightning Electromagnetic Impulse
[2] SPM: LEMP Protection Measures
[3] EMC: Electromagnetic Compatibility



علامت دایره در شکل فوق(○) هم‌بندی خدمات[1] ورودی به طور مستقیم و یا از طریق یک SPD مناسب را نمایش می‌دهد.

یادآوری- این شکل نمایش‌دهنده تقسیم‌بندی ساختمان به زون‌های داخلی است. تمام قسمت‌های فلزی ورودی به ساختمان در LPZ 1 توسط شینه‌های هم‌بندی به یکدیگر متصل شده‌اند. خدمات ورودی به LPZ 2 (برای مثال اتاق کامپیوتر) توسط شینه‌های هم‌بندی در LPZ 2 به هم متصل شده‌اند.

شکل۱۵-۹- اصول کلی تقسیم‌بندی زون‌های مختلف



یادآوری- تمام هادی‌های نزولی باید به قسمت‌های فلزی ساختمان و یا به هادی هم‌بندی، متصل شده باشند. برخی از آن‌ها می‌توانند نقش هدایت و پراکنده‌سازی جریان صاعقه به زمین را ایفا نمایند.

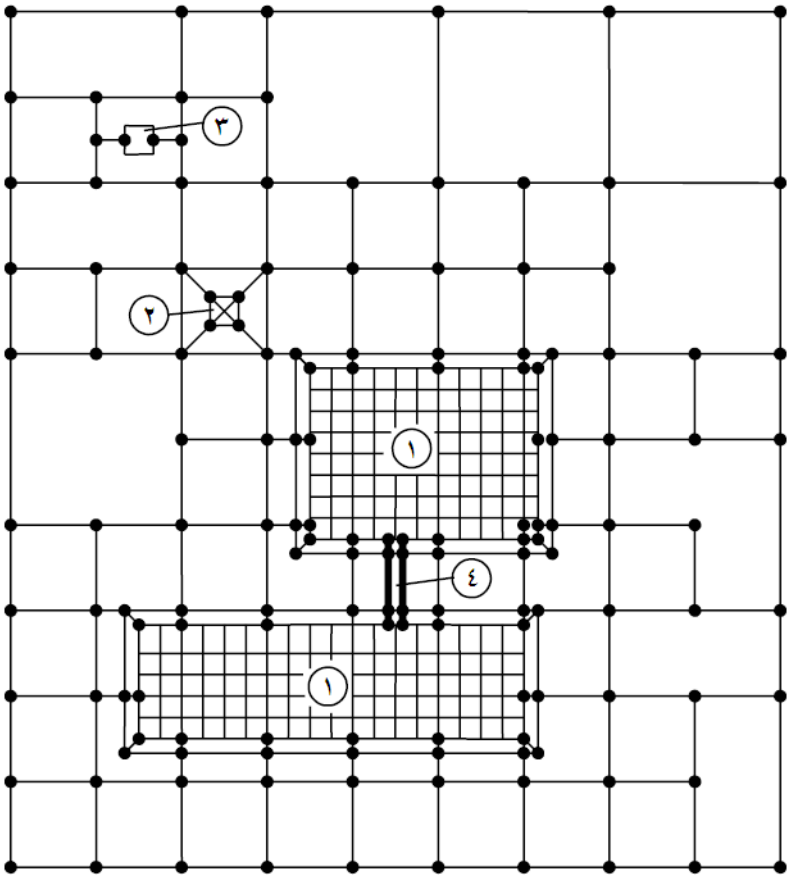
شکل۱۵-۱۰- نمونه‌ای از یک سیستم زمین سه بعدی که شامل شبکه هم‌بندی متصل به ترمینال زمینی است.

[1] Services

۱۵-۷-۲-۱- سیستم ترمینال زمینی

ترمینال زمینی ساختمان‌ها باید براساس الزامات بند ۱۵-۶-۱-۴ و همچنین استاندارد IEC 62305-3 باشد. در ساختمان‌هایی که تنها شامل سیستم‌های الکتریکی هستند، آرایش زمین نوع A ممکن است مورد استفاده قرارگیرد، ولی ارجحیت با استفاده از آرایش زمین نوع B است. ولی در ساختمان‌هایی که شامل سیستم‌های الکترونیکی هستند، آرایش زمین از نوع B توصیه می‌شود.

الکترود زمین رینگ دور ساختمان یا الکترود زمین رینگ در داخل بتن پیرامون فونداسیون باید با شبکه مش (معمولا با عرض مش ۵ متر) در زیر و اطراف ساختمان یکپارچه شود. این کار باعث بهبود عملکرد ترمینال زمینی می‌شود. چنانچه بتن مسلح فونداسیون نیز، یک شبکه مش به هم پیوسته را تشکیل داده و هر ۵ متر به ترمینال زمینی متصل شود، می‌تواند روش مناسبی محسوب شود. در شکل (۱۵-۱۱) مثالی از سیستم زمین مش‌بندی شده در یک کارخانه نشان داده شده است.



۱ ساختمانی با شبکه مش‌بندی آرماتورهای فونداسیون
۲ دکل در داخل کارخانه
۳ یک تجهیز مستقل[1]
۴ سینی کابل

شکل۱۵-۱۱- سیستم ترمینال زمینی مش‌بندی شده یک کارخانه

[1] Stand-Alone

برای کاهش اختلاف پتانسیل دو نقطه از سیستم‌های داخلی، که ممکن است در برخی موارد خاص به سیستم‌های زمین مجزایی متصل شده باشند، روش‌های زیر را می‌توان بکار برد:

- قرار دادن چندین هادی هم‌بندی به‌صورت موازی در مسیرهای مشترک با کابل‌های الکتریکی و یا عبور دادن کابل‌ها از داخل داکت‌های بتن مسلح شبکه‌ای شکل[1] (یا لوله‌های فلزی با پیوستگی الکتریکی) و متصل نمودن آن‌ها به هر دو سیستم ترمینال زمینی؛
- استفاده از کابل‌های شیلددار با سطح مقطع مناسب و اتصال شیلدها از دو سر کابل به سیستم‌های اتصال زمین مجزا.

۱۵-۷-۲-۲- شبکه هم‌بندی

به جرات می‌توان گفت که اجرای یک سیستم هم‌بندی صحیح، می‌تواند نقش بسزایی در کاهش خطرات ناشی از صاعقه در یک ساختمان داشته باشد و به هیچ عنوان قابل حذف و چشم پوشی نیست. به این منظور برای جلوگیری از ایجاد اختلاف پتانسیل‌های خطرناک مابین تجهیزات موجود در زون‌های حفاظتی داخل ساختمان، به یک شبکه هم‌بندی با امپدانس پائین نیاز است. علاوه بر این، شبکه هم‌بندی ایجاد شده از شدت میدان‌های مغناطیسی خواهد کاست.

این مهم می‌تواند از طریق ایجاد یک شبکه هم‌بندی مش که قسمت‌های فلزی ساختمان یا اجزای سیستم‌های الکتریکی و الکترونیکی داخل ساختمان را یکپارچه نموده و از طریق هم‌بندی قسمت‌های فلزی یا تاسیسات فلزی (مانند لوله‌های برق، مخابرات، گاز، آب و ...) در مرز هر یک از زون‌های حفاظتی به‌صورت مستقیم و یا با استفاده از SPD، محقق شود.

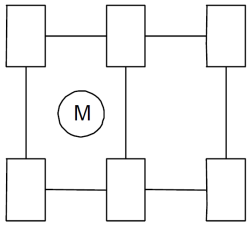
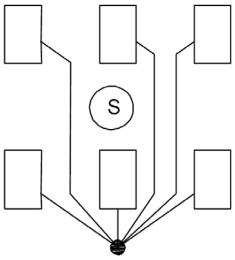
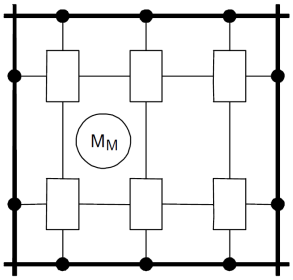
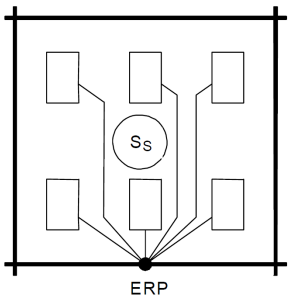
شبکه هم‌بندی را می‌توان به‌صورت یک ساختمان مش‌بندی شده سه بعدی، که مش‌ها به طور معمول دارای عرض ۵ متر است، در نظر گرفت (شکل (۱۵-۱۰)). این امر مستلزم ایجاد اتصالات متعدد بین اجزا فلزی موجود در ساختمان (همانند آرماتورهای مدفون در بتن، ریل‌های آسانسورها، جرثقیل‌ها، بام‌ها و نماهای فلزی، چهارچوب‌ها، درها و پنجره‌های فلزی، لوله‌ها و سینی‌های مربوط به کابل) است. انواع شینه‌های هم‌بندی (همانند شینه‌های هم‌بندی رینگ، شینه هم‌بندی مختلف در طبقات ساختمان) و شیلدهای مغناطیسی زون‌های حفاظتی (LPZ) نیز باید به همین روش، به یکدیگر متصل شوند. مثال‌هایی از شبکه هم‌بندی در شکل‌های (۱۳-۵) و (۱۳-۶) فصل ۱۳ آمده‌اند.

قسمت‌های رسانا (مانند تابلوها، محفظه‌ها و رک‌ها) و هادی‌های حفاظتی (PE) سیستم‌های داخلی باید مطابق شکل (۱۵-۱۲) به شبکه هم‌بندی متصل گردند.

در صورت استفاده از چیدمان S، تمام قسمت‌های فلزی (همانند تابلوها، محفظه‌ها و رک‌ها) سیستم‌های داخلی باید از سیستم زمین، ایزوله باشند. اتصال چیدمان S به سیستم زمین باید تنها از طریق یک شینه هم‌بندی صورت پذیرد؛ که به‌عنوان نقطه مرجع زمین (ERP[2]) عمل می‌کند و نتیجه این امر، چیدمان S_S خواهد بود. در هنگام استفاده از چیدمان S، تمام خطوط بین تجهیزات باید به موازات و در نزدیکی هادی‌های هم‌بندی چیدمان ستاره قرار گیرند تا از ایجاد

[1] Grid-Like Reinforced Concrete Ducts
[2] ERP: Earth Reference Point

حلقه‌های القایی خودداری شود. می‌توان از چیدمان S در جایی که سیستم‌های داخلی در زون‌های نسبتاً کوچک قرار گرفته و در آن تمامی خطوط تنها از یک نقطه وارد زون می‌شوند، استفاده نمود.

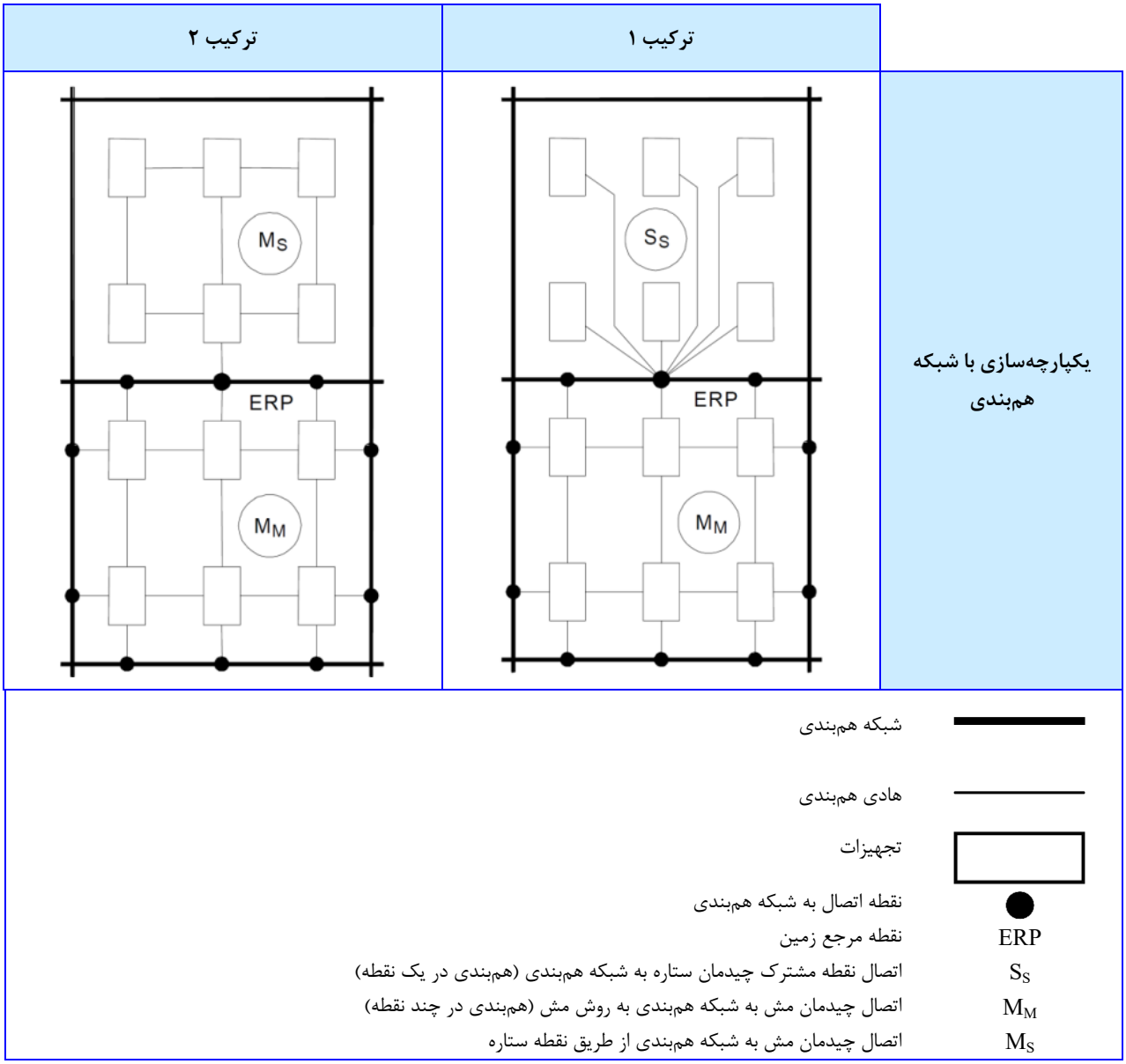
	چیدمان مش M	چیدمان ستاره S
چیدمان پایه		
یکپارچه‌سازی با شبکه هم‌بندی		
شبکه هم‌بندی		
هادی هم‌بندی		
تجهیزات		
نقطه اتصال به شبکه هم‌بندی		
ERP نقطه مرجع زمین		
S_S اتصال نقطه مشترک چیدمان ستاره به شبکه هم‌بندی (هم‌بندی در یک نقطه)		
M_M اتصال چیدمان مش به شبکه هم‌بندی به روش مش (هم‌بندی در چند نقطه)		

شکل۱۵-۱۲- نحوه اتصال قسمت‌های رسانای سیستم‌های داخلی به شبکه هم‌بندی

در صورت استفاده از چیدمان M، قسمت‌های فلزی (همانند تابلوها، محفظه‌ها، رک‌ها) سیستم‌های داخلی، لازم نیست از سیستم زمین ایزوله گردند، بلکه باید در نقاط مختلف با آن هم‌بند شده باشد که نتیجه آن، چیدمان M_M است. چیدمان نوع M در موارد زیر ترجیح داده می‌شود:

- اگر سیستم‌های داخلی در زون‌هایی با گستردگی زیاد یا در کل ساختمان پراکنده باشند.
- جایی که خطوط متعددی (برق، مخابرات و ...) مابین تجهیزات وجود داشته باشند
- اگر خطوط (برق، مخابرات، ...) از نقاط مختلف وارد ساختمان شوند.

در سیستم‌های با ساختار پیچیده، می‌توان از ترکیب این دو نوع چیدمان (چیدمان M و S) که به‌عنوان ترکیب ۱ (S_S در ترکیب با M_M) و یا ترکیب ۲ (M_S در ترکیب با M_M) مطابق شکل (۱۵-۱۳) استفاده نمود.



شکل۱۵-۱۳- ترکیبی از روش‌های اتصال قسمت‌های رسانای سیستم‌های داخلی به شبکه هم‌بندی

۱۵-۷-۲-۳- شینه هم‌بندی

شینه‌های هم‌بندی برای مرتبط کردن قسمت‌های زیر باید مورد استفاده قرار گیرند:

- تمام خدمات رسانا (همانند لوله‌های فلزی آب، گاز و ...) که به زون‌های حفاظت صاعقه وارد می‌شوند (به صورت مستقیم یا با استفاده از وسایل حفاظتی سرج مناسب)
- هادی حفاظتی (PE)
- قسمت‌های فلزی سیستم‌های داخلی (همانند تابلوها، محفظه‌ها و رک‌ها)
- شیلدهای مغناطیسی زون حفاظت صاعقه (LPZ) در پیرامون و داخل ساختمان.

برای انجام هم‌بندی موثر، رعایت نکات زیر در هنگام نصب حائز اهمیت است:

- اساس تمامی تدابیر هم‌بندی، ایجاد یک شبکه هم‌بندی با امپدانس ناچیز است؛
- شینه‌های هم‌بندی باید از طریق کوتاه‌ترین مسیر ممکن به سیستم اتصال زمین متصل گردند؛
- جنس و ابعاد شینه‌ها و هادی‌های هم‌بندی باید مطابق با بند ۱۵-۷-۲-۵ باشد؛
- وسایل حفاظتی سرج باید از طریق کوتاه‌ترین مسیر ممکن به شینه‌های هم‌بندی و همچنین هادی‌های فاز متصل گردند تا ولتاژ القایی در آن‌ها به حداقل ممکن برسد.
- در سمت حفاظت شده مدار، (پایین دست وسایل حفاظتی سرج)، اثرات القای متقابل باید از طریق حداقل کردن سطح حلقه و یا به کارگیری کابل‌های شیلددار و یا داکت کابل کاهش یابد.

۱۵-۷-۲-۴- هم‌بندی در مرز زون‌های حفاظت صاعقه

در جایی‌که زون حفاظت صاعقه تعریف می‌شود، هم‌بندی باید برای همه قسمت‌های فلزی و خدمات (مانند لوله‌های فلزی، خطوط برق یا خطوط سیگنال) در مرز ورودی به زون حفاظت صاعقه در نظر گرفته شود.

یادآوری- هم‌بندی خدمات که به LPZ 1 وارد می‌شوند (مانند خطوط برق یا خطوط مخابراتی) باید توسط کارشناسان شرکت ارایه دهنده خدمت مربوطه، مورد بحث و تبادل نظر قرار گیرند، زیرا ممکن است با قوانین این شرکت‌ها در تضاد باشند.

هم‌بندی باید از طریق شینه‌های هم‌بندی، که در نزدیک‌ترین محل ممکن به نقطه ورودی در مرز زون مورد نظر نصب شده است، انجام شود. در صورت امکان خدمات ورودی به LPZ باید از یک نقطه وارد شده و به یک شینه هم‌بندی مشترک متصل گردند. اگر خدمات مختلف از نقاط متفاوت وارد LPZ شوند، هر خدمت باید به یک شینه هم‌بندی مجزا وصل شده و تمام این شینه‌ها نیز به هم متصل گردند. برای برآورده شدن این هدف، توصیه می‌شود این شینه‌ها به شینه هم‌بندی رینگ (هادی رینگ) متصل گردند.

هم‌بندی برای هم‌پتانسیل‌سازی وسایل حفاظتی سرج همواره در نقطه ورودی به زون حفاظت صاعقه الزامی است تا خطوط ورودی متصل به سیستم‌های واقع در درون زون حفاظت صاعقه داخل ساختمان را هم‌بند کند. به منظور کاهش تعداد وسایل حفاظتی سرج مورد نیاز می‌توان از نواحی حفاظت صاعقه بزرگ یا متصل به هم استفاده نمود.

کابل‌های شیلددار یا داکت‌های فلزی متصل به هم که در مرز LPZ به یکدیگر هم‌بند شده‌اند، می‌توانند چندین LPZ با مرتبه مشابه را به هم متصل کنند تا یک زون حفاظت صاعقه مشترک تشکیل شود یا یک LPZ را تا مرز LPZ بعدی گسترش دهند.

۱۵-۷-۲-۵- جنس و ابعاد عناصر هم‌بندی

جنس، اندازه و شرایط استفاده باید مطابق استاندارد IEC 62305-3 باشد. حداقل سطح مقطع برای اجزاء هم‌بندی باید مطابق با جدول (۱۵-۱۶) باشد. ابعاد کلمپ‌ها باید متناسب با مقدار جریان تراز حفاظت صاعقه (LPL) (ر.ک. ۱۵-۴) و نتایج برآورد تقسیم جریان (ر.ک. ۱۵-۶) باشند. پارامترهای SPD باید مطابق با بند ۱۵-۷-۴ باشد.

جدول۱۵-۱۶- حداقل سطح مقطع اجزاء هم‌بندی

اجزای هم‌بندی		جنس مواد[الف]	سطح مقطع mm^2
شینه‌های هم‌بندی (مس، فولاد با روکش مس یا فولاد گالوانیزه)		مس، آهن	۵۰
هادی‌های ارتباطی از شینه‌های هم‌بندی به سیستم اتصال زمین یا به شینه‌های هم‌بندی دیگر (حامل تمام یا قسمت بزرگی از جریان صاعقه)		مس	۱۶
		آلومینیوم	۲۵
		آهن	۵۰
هادی‌های ارتباطی از تاسیسات فلزی داخلی به شینه‌های هم‌بندی (حامل قسمتی از جریان صاعقه)		مس	۶
		آلومینیوم	۱۰
		آهن	۱۶
هادی‌های اتصال زمین متصل به‌وسیله حفاظتی سرج (SPD) (حامل تمام یا قسمت بزرگی از جریان صاعقه[ب]	کلاس I	مس	۱۶
	کلاس II		۶
	کلاس III		۱
	SPDهای دیگر[ج]		۱

الف- سایر مواد باید سطح مقطعی با مقاومت معادل داشته باشند.
ب- برای SPDهای استفاده شده در کاربردهای قدرت، اطلاعات اضافی در رابطه با هادی‌های ارتباطی در فصل ۱۴ و استاندارد IEC 61643-12 داده شده است.
ج- سایر SPDها شامل SPDهای استفاده شده در سیستم‌های مخابراتی و سیگنالینگ است.

۱۵-۷-۳- شیلد کردن مغناطیسی و مسیریابی خطوط

۱۵-۷-۳-۱- کلیات

شیلد کردن مغاطیسی می‌تواند از شدت میدان الکترومغناطیسی و همین‌طور دامنه سرج‌های القاء شده در داخل ساختمان بکاهد. همچنین انتخاب مسیر مناسب برای کابل‌های داخل ساختمان، می‌تواند نقش بسزایی در کاهش میزان سرج‌های القایی داشته باشد. هر دو تدبیر، در کاهش خرابی‌های دایمی سیستم‌های داخلی موثر است.

۱۵-۷-۳-۲- شیلد کردن فضایی[1]

روش شیلد کردن فضایی، زون‌های حفاظتی مختلفی را تعیین می‌کند، که می‌توانند شامل کل ساختمان، قسمتی از آن، یک اتاق و یا تنها محفظه یک تجهیز باشند. چنین شیلدی ممکن است شبکه‌ای شکل[2]، یا به‌صورت شیلدهای فلزی پیوسته و یا متشکل از اجزاء طبیعی خود ساختمان باشد (ر.ک. ۱۵-۶).

استفاده از شیلدهای فضایی در جایی که حفاظت از یک زون مشخص از ساختمان عملی و سودمند باشد؛ در قیاس با حفاظت از تجهیزات به‌صورت تک‌تک و مجزا توصیه می‌شود. به منظور استفاده از شیلدهای فضایی، باید در مراحل نخست طراحی هر ساختمان جدید یا هر سیستم داخلی جدید در یک ساختمان موجود، ملاحظات لازم را در این مورد مد نظر قرار داد. گاهی افزودن شیلدهای فضایی به تاسیسات موجود و در حال بهره‌برداری می‌تواند هزینه و مشکلات فنی زیادی به همراه داشته باشد.

۱۵-۷-۳-۳- شیلد کردن خطوط داخلی

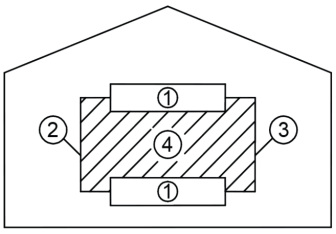
شیلد کردن ممکن است محدود به کابل‌کشی و تجهیزات سیستم تحت حفاظت، شیلد فلزی کابل‌ها، داکت‌های فلزی بسته برای عبور کابل‌ها و محفظه‌های فلزی تجهیزات باشد.

۱۵-۷-۳-۴- مسیریابی خطوط داخل ساختمان

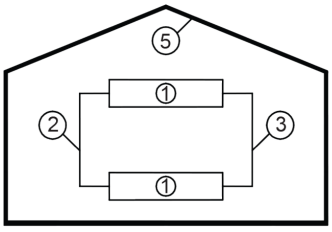
انتخاب مسیر مناسب خطوط داخل ساختمان، حلقه‌های القایی را به حداقل ممکن می‌رساند و از ایجاد ولتاژهای سرج در داخل ساختمان جلوگیری می‌کند. می‌توان با مسیریابی کابل‌ها در مجاورت اجزاء خنثی ساختمان که به زمین متصل شده‌اند و/یا با یافتن مسیرهایی که خطوط برق و سیگنال در کنار هم حرکت کرده‌اند، مساحت حلقه‌ها را به حداقل رسانید (شکل (۱۵-۱۴)).

یادآوری- در هر حال برای جلوگیری از بروز اختلال، فاصله بین خطوط برق و خطوط سیگنال شیلد نشده باید رعایت شود.

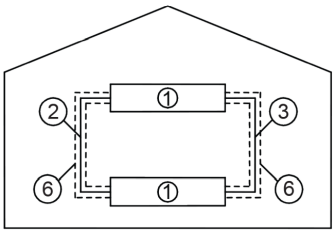
[1] Spatial Shielding
[2] Grid-Like



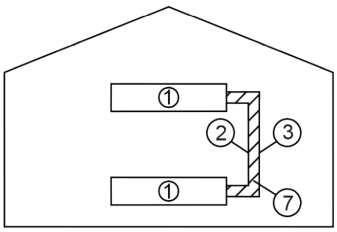
الف) سیستم حفاظت نشده



ب) کاهش دادن میدان مغناطیسی درون LPZ داخلی به‌وسیله شیلد فضایی



پ) کاهش دادن تاثیر میدان بر روی خطوط به‌وسیله شیلد کردن خط



ت) کاهش دادن سطح حلقه القایی به‌وسیله مسیریابی مناسب خط

۱ تجهیزات
۲ سیم‌کشی سیگنال
۳ سیم‌کشی برق
۴ حلقه القایی
۵ شیلد کردن فضایی
۶ شیلد کردن خط
۷ سطح حلقه کاهش یافته

شکل۱۵-۱۴- کاهش دادن اثرات القایی به‌وسیله مسیریابی خط و تدابیر شیلد کردن

۱۵-۷-۳-۵- شیلد کردن خطوط خارج از ساختمان

شیلد کردن خطوط خارجی که به ساختمان وارد می‌شوند مشتمل بر شیلد کابل‌ها، داکت‌های فلزی درپوش‌دارِ کابل‌ها و نیز داکت‌های بتنی مسلح با آرماتورهای به هم پیوسته است. شیلد کردن خطوط خارج از ساختمان مفید است، ولی اغلب در حیطه کاری طراح SPM[1] قرار نمی‌گیرد (چون معمولا مالک خطوط خارج از ساختمان، شرکت‌های تاسیساتی شهری هستند).

۱۵-۷-۳-۶- جنس و ابعاد شیلدهای مغناطیسی

در مرز $LPZ\ 0_A$ و LPZ 1 جنس و ابعاد شیلدهای مغناطیسی (مانند شیلد فضایی شبکه‌ای شکل، شیلد کابل‌ها و محفظه تجهیزات) باید مطابق الزامات بخش ۱۵-۶ برای هادی‌های ترمینال هوایی و/یا هادی‌های نزولی باشد. به طور خاص:

[1] LEMP Protection Measures

- حداقل ضخامت ورقه‌های فلزی، داکت‌های فلزی، لوله‌ها و شیلد کابل‌ها باید مطابق جدول ۳ از استاندارد IEC 62305-3 تعیین گردند.
- چیدمان شیلدهای فضایی شبکه‌ای شکل و همچنین حداقل سطح مقطع هادی به کار رفته در آن‌ها، باید منطبق بر جدول ۶ از استاندارد IEC 62305-3 باشد.

شیلدهای مغناطیسی که عبور جریان صاعقه از آن‌ها مد نظر نباشد، لزومی به تطبیق ابعادشان با جداول ۳ و ۶ از استاندارد IEC 62305-3 نیست:

- در مرز زون‌های LPZ 1/2 یا بالاتر، به شرط آن که فاصله جدایی (s) بین شیلدهای مغناطیسی و LPSها رعایت شده باشد (ر.ک. بند ۱۵-۶-۲-۳)
- در مرز هر یک LPZ ها، هرگاه تعداد رویدادهای خطرناک N_D ناشی از اصابت صاعقه به ساختمان قابل صرف نظر باشد یا به عبارتی $N_D < 0.01$ در سال باشد. (نحوه محاسبه پارامتر N_D در پیوست A استاندارد IEC 62305-2 شرح داده شده است)

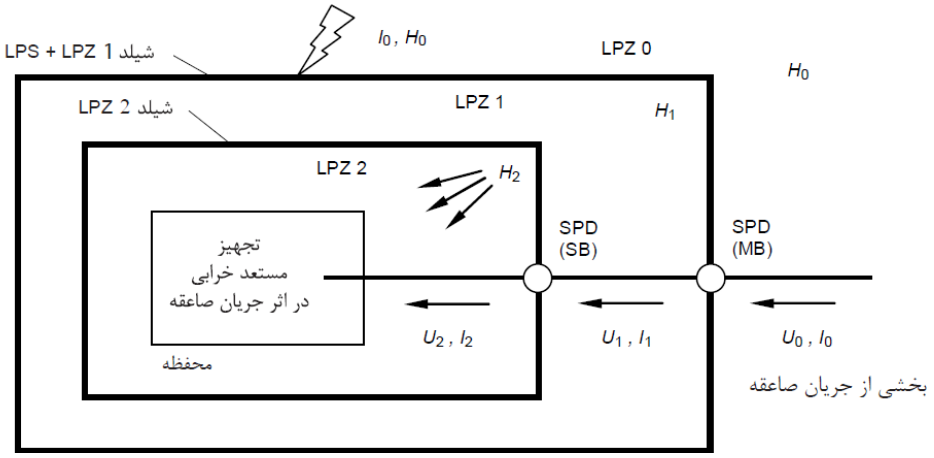
۱۵-۷-۴- سیستم SPD هماهنگ شده

حفاظت از سیستم‌های داخلی در برابر سرج، در گرو وجود شیوه‌ای سیستماتیک مبتنی بر بکارگیری SPDهای هماهنگ شده برای حفاظت از خطوط برق و مخابرات است. ضوابط انتخاب و نصب SPDهای هماهنگ شده در هر دو مورد (خطوط برق و مخابرات) یکسان است (ر.ک. پیوست C استاندارد IEC 62305-4).

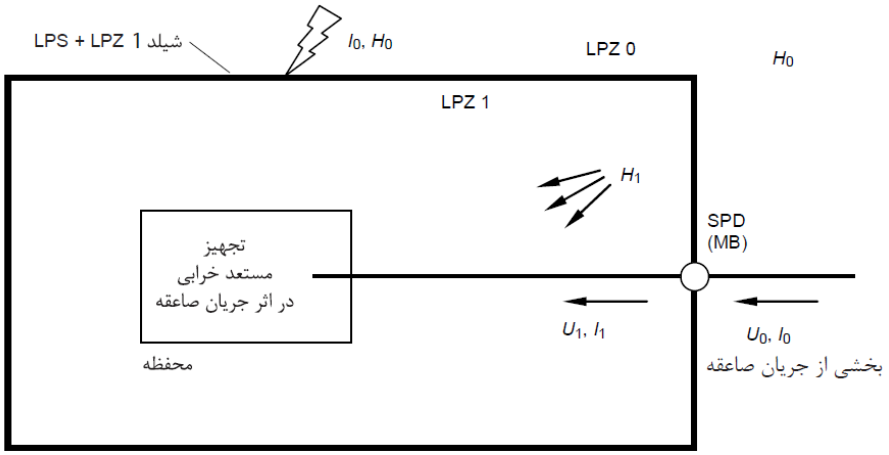
در یک SPM که از تکنیک زون‌های حفاظت صاعقه استفاده می‌کند و از بیش از یک زون داخلی (LPZ1، LPZ 2 یا بالاتر) تشکیل شده است، SPDهای مناسبی باید در محل ورود خطوط به داخل هر یک از زون‌های حفاظت صاعقه، پیش‌بینی شوند (شکل (۱۵-۱۵)).

در SPMهایی که تنها شامل LPZ 1 هستند باید حداقل یک SPD در ورودی LPZ 1 نصب شود.

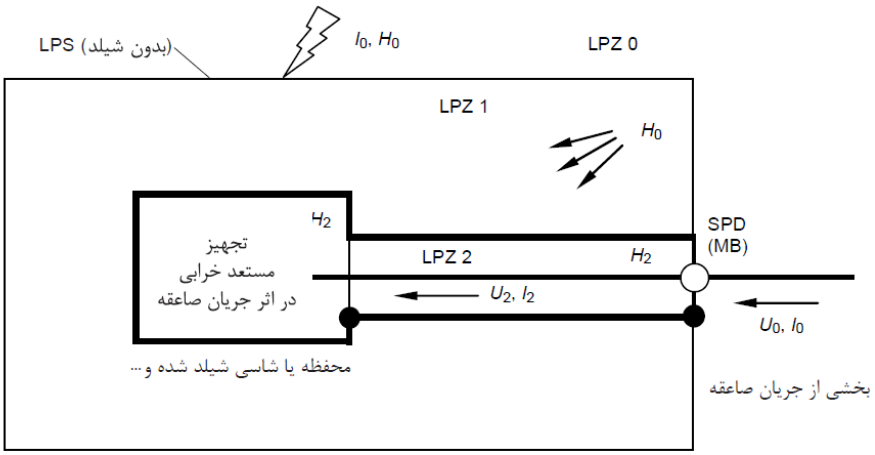
در هر دو حالت فوق، اگر فاصله بین مکان نصب SPD و تجهیزاتی که باید حفاظت شوند زیاد باشد، این امکان وجود دارد که تعداد SPDهای مورد نیاز اضافه شود (ر.ک. پیوست C استاندارد IEC 62305-4).



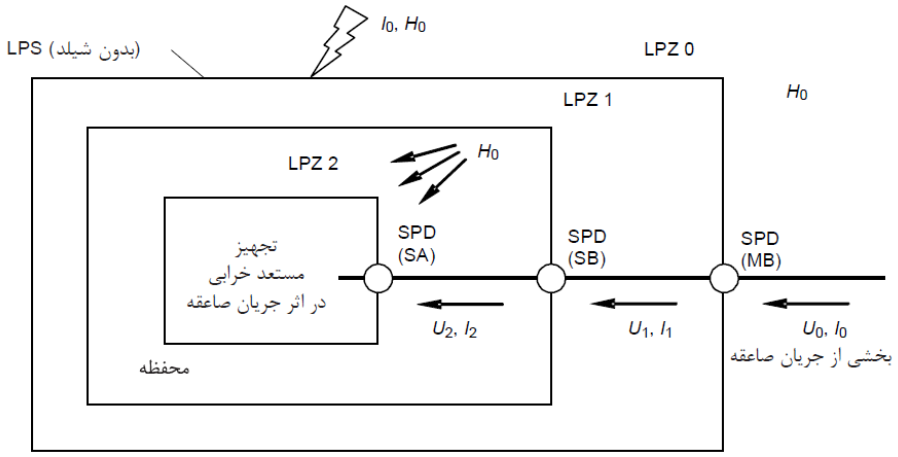
الف) SPM با استفاده از شیلد فضایی و یک سیستم SPD هماهنگ شده – تجهیز به خوبی در برابر سرج‌های هدایتی ($I_2 << I_0$ و $U_2 << U_0$) و در برابر میدان‌های مغناطیسی تشعشعی ($H_2 << H_0$) حفاظت شده است.



ب) SPM با استفاده از شیلد فضایی LPZ 1 و SPD در ورودی LPZ 1 – تجهیز در برابر سرج‌های هدایتی ($I_1 < I_0$ و $U_1 < U_0$) و در برابر میدان‌های مغناطیسی تشعشعی ($H_1 < H_0$) حفاظت شده است.



پ) SPM با استفاده از شیلد کردن خط داخلی و SPD در ورودی LPZ 1 – تجهیز در برابر سرج‌های هدایتی ($I_2 < I_0$ و $U_2 < U_0$) و در برابر میدان‌های مغناطیسی تشعشعی ($H_2 < H_0$) حفاظت شده است.



ت) SPM با استفاده از یک سیستم SPD هماهنگ شده - تجهیز در برابر سرج‌های هدایتی ($U_2 << U_0$ و $I_2<<I_0$) حفاظت شده، ولی در برابر میدان‌های مغناطیسی تشعشعی (H_0) حفاظت نشده است.

مرز شیلد شده

مرز شیلد نشده

یادآوری ۱- SPDها می‌توانند در نقاط زیر قرار گیرند:

در مرز LPZ 1 (به طور مثال در تابلوی توزیع اصلی MB)،

در مرز LPZ 2 (در تابلوهای توزیع ثانویه SB)،

در داخل یا نزدیکی تجهیزات (به طور مثال پریز برق SA).

یادآوری ۲- برای کسب ضوابط اجرایی جزئی‌تر به فصل ۱۴ مراجعه نمایید.

شکل۱۵-۱۵- نمونه‌هایی از طرح‌های SPM ممکن (تدابیر حفاظت در برابر LEMP)

آزمون SPDها باید مطابق استانداردهای زیر صورت گیرد:

- برای سیستم‌های قدرت: IEC 61643-11
- برای سیستم‌های مخابراتی و سیگنالینگ: IEC 61643-21

اطلاعات لازم برای انتخاب و نصب سیستم SPD هماهنگ شده در پیوست C استاندارد IEC 62305-4 ارایه شده است.

همچنین انتخاب و نصب سیستم SPD هماهنگ شده باید منطبق بر استانداردهای زیر باشد:

- برای حفاظت سیستم‌های قدرت: استانداردهای IEC 61643-12 و IEC 60364-5-53
- برای حفاظت سیستم‌های مخابراتی و سیگنالینگ: استاندارد IEC 61643-22

در پیوست C استاندارد IEC 62305-4 به اطلاعات اولیه‌ای در مورد نصب و انتخاب حفاظت SPDهای هماهنگ، اشاره شده است. اطلاعاتی در خصوص دامنه سرج ناشی از صاعقه، به منظور تعیین و محاسبه پارامترهای SPDها در نقاط مختلف تاسیسات درون ساختمان در پیوست D استاندارد IEC 62305-4 و پیوست E از استاندارد IEC 62305-1 ارایه شده است.

۱۵-۸- سامانه هشدار توفان تندری

پدیده‌های الکتریکی جوی[1] به طور خاص صاعقه‌های ابر به زمین، تهدیدات جدی را برای موجودات زنده و دارایی‌های افراد ایجاد می‌کند. اصابت مستقیم و غیر مستقیم صاعقه هر ساله منجر به بروز صدمات شدید و وقوع مرگ برای تعداد زیادی از انسان‌ها می‌شود.

سامانه‌هایی با قابلیت پایش مستمر و بلادرنگ[2] پدیده‌های الکتریکی جوی و صاعقه، می‌تواند با فراهم کردن اطلاعاتی ارزشمند و با کیفیت به‌صورت بلادرنگ با وقوع توفان تندری، دستیابی به اطلاعاتی فوق‌العاده ارزشمند را امکان‌پذیر سازند. البته در صورتی‌که این اطلاعات با نقشه دقیقی از اقدامات[3] مناسب هماهنگ شوند.

این اطلاعات به بهره‌بردار اجازه می‌دهد تا تدابیر پیشگیرانه موقتی پیش‌بینی شده‌ای را اعمال کند، با این حال باید به این نکته توجه کرد که تمامی تدابیر اتخاذ شده بر پایه اطلاعات تحت پایش با مسئولیت بهره‌بردار سامانه و بر اساس مقررات مربوطه باشد. اثربخشی این سامانه تا حد زیادی به ریسک‌های مرتبط و تصمیمات برنامه‌ریزی‌شده بستگی دارد (ر.ک. پیوست C استاندارد IEC 62793).

تکنیک‌های مختلف آزمودن و ارزیابی قابلیت‌های مختلف سامانه هشدار توفان تندری در پیوست E استاندارد IEC 62793 ارایه شده است. سامانه‌های هشدار توفان تندری باید قبل از نصب در ساختمان‌های تحت شمول این نشریه مطابق استاندارد IEC 62793 یا شیوه‌نامه مربوطه در مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی آزموده شده و گواهینامه فنی یا نشان استاندارد ملی دریافت کرده باشند (ر.ک. بخش ۱۵-۹).

به طور کلی، TWSها برای کنترل، پیشگیری یا کاهش تلفات انسانی، خسارت به کالاها/خدمات یا دارایی‌ها (شامل تلفات اقتصادی مربوطه) و خطرات محیطی مفید هستند. در انجام مطالعه مدیریت ریسک برای به کارگیری TWS باید وضعیت‌های مختلف متعددی در نظر گرفته شود. به طور کلی، هدف از به کارگیری TWSها کاهش ریسک مرتبط با رویدادهای خطرناک از طریق تدابیر پیشگیرانه برنامه‌ریزی‌شده است. باید توجه شود به‌کارگیری TWS در یک ساختمان، جایگزین سیستم حفاظت صاعقه و وسایل حفاظتی سرج برای آن ساختمان نمی‌شود.

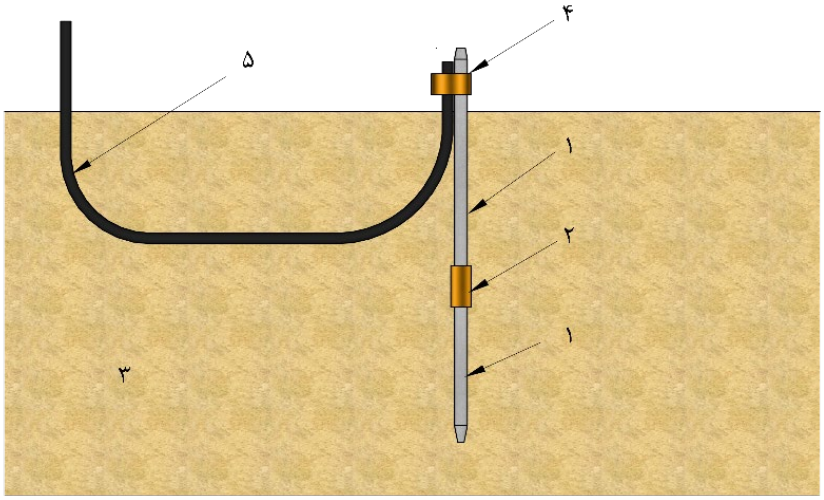
پیاده‌سازی تدابیر حفاظتی صاعقه در یک منطقه معین به کاربری ساختمان، بخش‌های عمومی در معرض توفان تندری، حضور انسان‌ها در این بخش‌ها و احتمال اتخاذ اقدامات پیشگیرانه در نتیجه اطلاعاتی که توسط TWS فراهم شده است، بستگی دارد.

در صورتی‌که امکان به خطر افتادن ایمنی انسان‌ها در اثر صاعقه وجود داشته باشد، استفاده از TWS توصیه می‌شود. جدول F.1 در استاندارد IEC 62793 چک لیستی را برای کمک به بهره‌بردار جهت تصمیم‌گیری استفاده یا عدم استفاده

[1] Natural Atmospheric Electric Activity
[2] Real-Time Monitoring
[3] Action

از TWS با احتساب تدابیر پیش‌گیرانه‌ای که می‌تواند اتخاذ شود، ارایه می‌کند. چنانچه نتیجه ارزیابی ریسک انجام شده مطابق IEC 62305-2 منتج به به‌کارگیری TWS شود، دیگر نیازی به استفاده از چک لیست معرفی شده نیست.

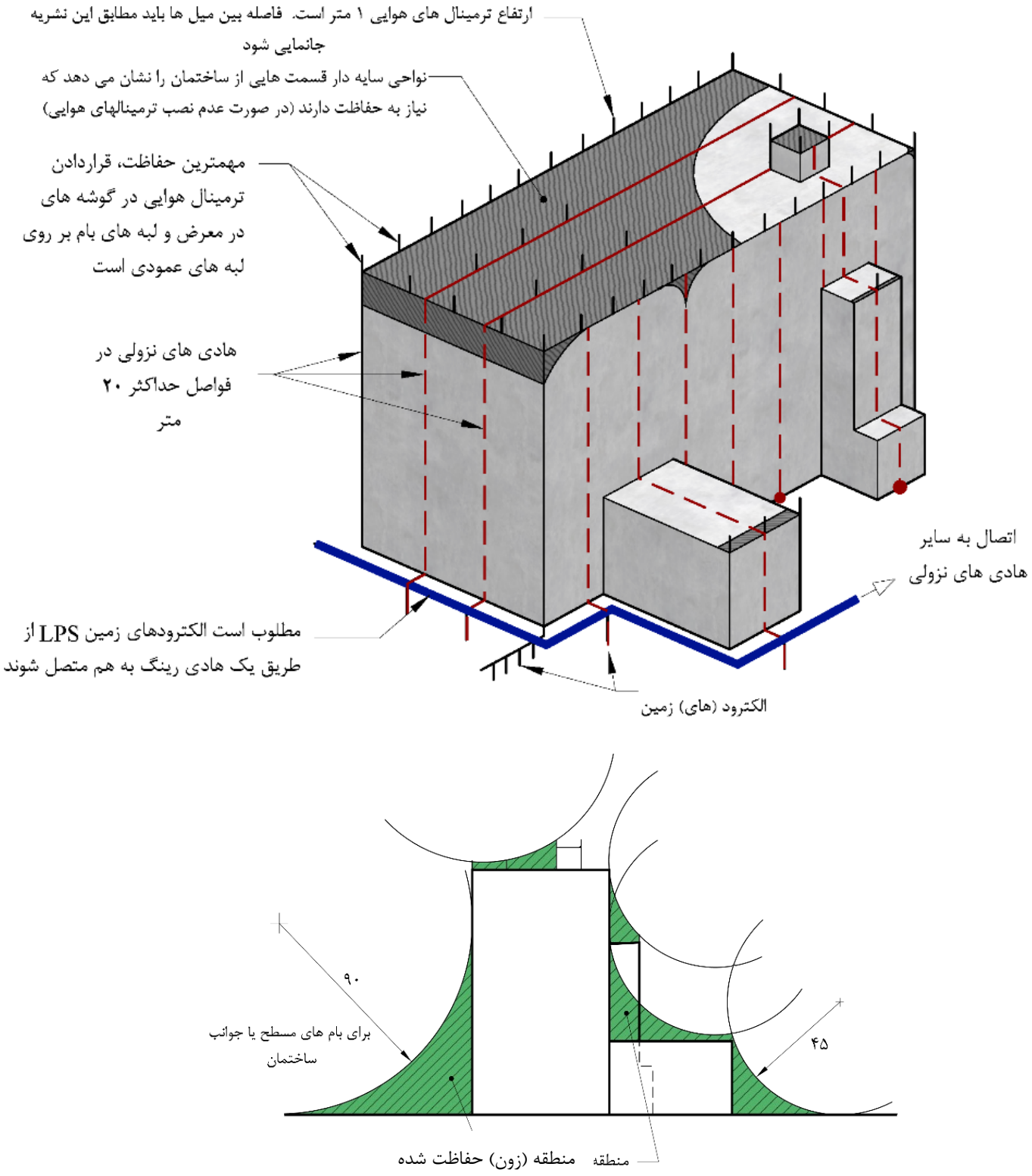
یادآوری- در برخی موارد، مانند فعالیت‌ها و مناسبت‌های موقتی که در فضای آزاد انجام می‌شود، روش ارزیابی ریسک ارایه شده در استاندارد IEC 62305-2 به طور کلی قابل استفاده نیست.



۱ میله زمین قابل توسعه
۲ اتصال دهنده (کوپلینگ) میله
۳ خاک
۴ کلمپ هادی به میله
۵ هادی اتصال زمین

شکل۱۵-۱۶- مثالی از یک آرایش اتصال زمین نوع A به کمک الکترود زمین از نوع میله قائم

۱۵-۹- علائم ترسیمی



شکل۱۵-۱۷- طرحی از یک LPS با به کارگیری ترمینال‌های هوایی عمودی، برای حفاظت در تراز III