



اقتصاد مقاومتی در سایه وحدت ملی

از: سازمان پدافند غیر عامل کشور

به: معاون محترم امنیتی و انتظامی و رئیس کمیته پدافند غیر عامل وزارت کشور

موضوع: ابلاغ دستورالعمل حفاظت الکترومغناطیس انتشاری، جریانی و ارتینگ

مسئله ی پدافند غیر عامل مسئله ی بسیار مهمی است و هر روزی که می گذرد بر اهمیت پدافند غیر عامل افزوده می شود. امام خامنه ای (مدظله العالی)

سلام علیکم؛ با صلوات بر حضرت محمد و آل محمد؛

با احترام، بدینوسیله سند به روز رسانی شده " دستورالعمل حفاظت الکترومغناطیس انتشاری، جریانی (شیلدینگ و فیلترینگ) و ارتینگ" و همچنین فرایند اجرای شیلدینگ و فیلترینگ در تمامی مرکز حیاتی، حساس، مهم و قابل حفاظت جهت ابلاغ به استانداری ها و دستگاه های اجرایی استان ارسال می گردد.

لازم به ذکر است که این دستورالعمل به صورت ۶ ماهه بصورت آزمایشی ابلاغ گردیده و بعد از ۶ ماه با به روز رسانی این دستورالعمل، نسخه نهائی ابلاغ خواهد شد.

رئیس سازمان پدافند غیر عامل کشور

سر تیپ پاسدار دکتر غلامرضا جلالی

جانشین رئیس سازمان پدافند غیر عامل کشور

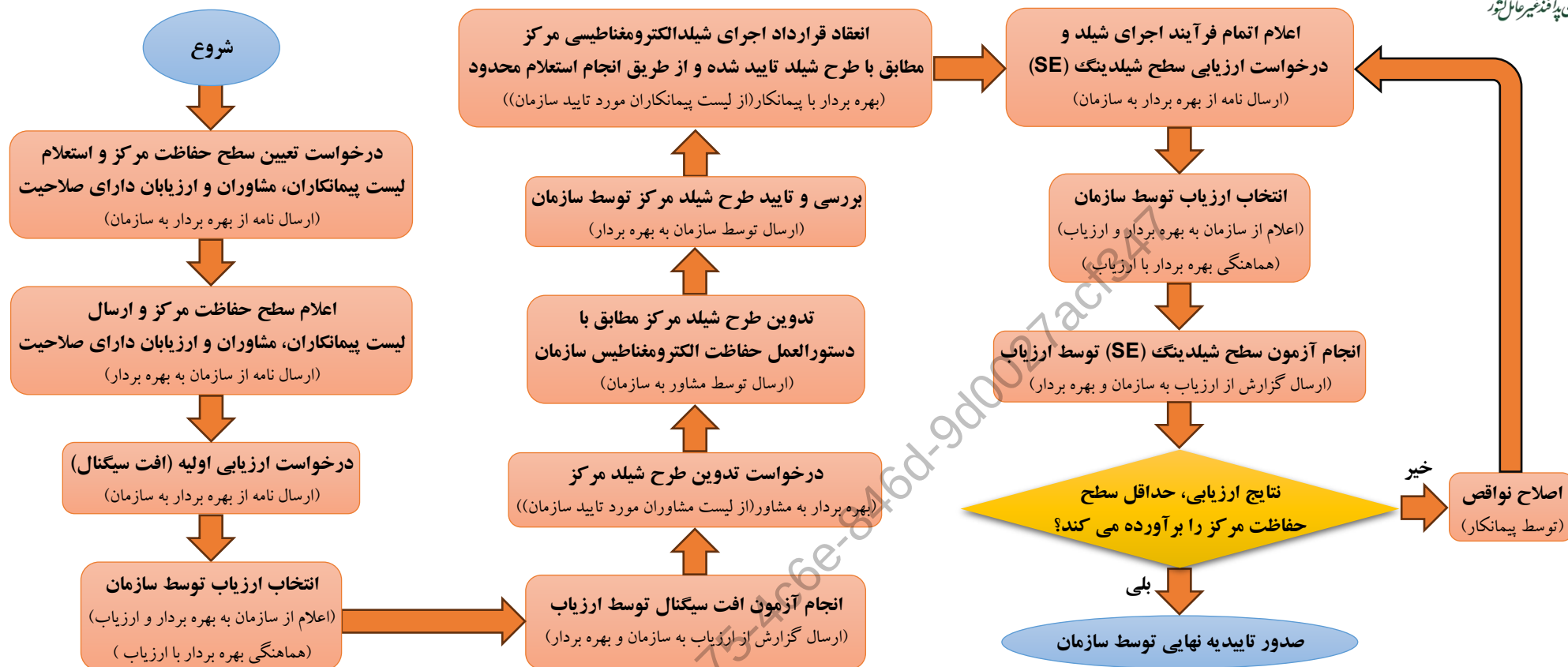
سر تیپ دوم پاسدار عبدالرحمن کشوری

دبیر خانه وزارت کشور

تاریخ: ۱۴۰۵/۰۵/۲۸

شماره ثبت: ۷۳۰۰۷

گردش کار در فرآیند اجرا و ارزیابی حفاظت الکترومغناطیسی انتشاری (شیلد) یک مرکز



- در مراکز فعال / گرم که انجام فرآیند نصب لایه های شیلد از نوع ورق فلزی ممکن نیست، استفاده از پارچه شیلد و فویل فلزی به عنوان لایه محافظ الکترومغناطیسی مجاز است. استفاده از پارچه شیلد در سایر موارد مطلقاً ممنوع می باشد.
- در انتخاب متریکال شیلد، نحوه اجرا و سایر موارد (شیلدینگ، فیلترینگ و ارتینگ)، توجه به ملاحظات بیان شده در دستورالعمل حفاظت الکترومغناطیسی سازمان، الزامی است.
- کلیه فیلترهای EMI/EMP، لازم است قبل از نصب در مرکز مطابق با آزمون های بیان شده در دستورالعمل حفاظت الکترومغناطیسی و توسط آزمایشگاه حفاظت الکترومغناطیسی جریانی مورد تایید سازمان، ارزیابی شده و دارای تاییدیه آزمایشگاه باشند.

سازمان: سازمان پدافند غیرعامل کشور (قرارگاه پدافند الکترونیک)

مرکز: مکان (دیتاستر / اتاق کنترل و مانیتورینگ، اتاق مدیریت بحران و ...) که ملزم به اجرای حفاظت الکترومغناطیسی می باشد.

بهره بردار: سازمان یا نهادی که پس از اتمام فرآیند اجرا و تایید حفاظت الکترومغناطیسی، بهره بردار نهایی مرکز خواهد بود.

پیمانکار: شرکت مورد تایید سازمان پدافند غیرعامل کشور که فرآیند نصب و اجرای شیلد الکترومغناطیسی را در مرکز انجام می دهد.

ارزیاب: فرد حقیقی / حقوقی و یا آزمایشگاه مورد تایید سازمان پدافند غیرعامل کشور که ارزیابی سطح شیلدینگ و افت سیگنال مرکز را انجام می دهد.

مشاور / طراح: فرد حقیقی / حقوقی و یا شرکت مورد تایید سازمان پدافند غیرعامل کشور که نقشه راه و طرح اجرای شیلد مرکز را تدوین می کند.

طرح شیلد مرکز: طرح اجرای شیلدینگ، فیلترینگ و ارتینگ مرکز که شامل مواردی همچون جانمایی و مسیر لایه شیلد در بخش های مختلف مرکز، تعداد و جنس لایه های شیلد، تعداد درها و محل راهروهای تله، نوع و محل نصب فیلترها و غیره می باشد.

باسمه تعالی



دستورالعمل حفاظت الکترومغناطیسی

(سطوح حفاظت الکترومغناطیسی، الزامات و ملاحظات اجرای شیلدینگ، فیلترینگ و ارتینگ)

طبقه بندی: عادی

ویرایش: اول - تیر ۱۴۰۵

شماره سند:

کمیته تدوین:

سرپرست تیم تدوین: دکتر جواد قالیبافان
سایر همکاران: دکتر مهدی جعفری، مهندس محمد حسین زاده

کمیته تصویب:

دکتر ذبیح الله حسن شاهی
دکتر قادر قدیمی
دکتر مرتضی سپهوند
دکتر جواد قالیبافان
دکتر مهدی جعفری

این سند در چارچوب نظام جامع حفاظت الکترومغناطیسی کشور تعیین شده و تابع قوانین، مقررات، الزامات و مصوبات مرتبط با پدافند غیرعامل و صیانت از مراکز، سامانه‌ها و زیرساخت‌هایی با سطح حفاظت مختلف می‌باشد. طبقه بندی این سند عادی می‌باشد. کلیه حقوق مادی و معنوی، منافع فنی، مالکیت محتوایی و حقوق بهره‌برداری از این سند، از جمله داده‌ها، تحلیل‌ها، الزامات، رویه‌ها و مدل‌های حفاظتی مندرج در آن، منحصراً متعلق به سازمان پدافند غیرعامل کشور بوده و هرگونه استفاده یا استناد مغایر با این حقوق، فاقد اعتبار قانونی است.

هرگونه تکثیر، بازتولید، اقتباس، انتشار، توزیع، انتقال یا بهره‌برداری جزئی یا کلی از مفاد این سند، به هر نحو و در هر قالب، بدون اخذ مجوز رسمی و مکتوب از مراجع ذیصلاح، ممنوع بوده و مطابق با قوانین و مقررات جاری کشور، مشمول پیگرد و تبعات قانونی خواهد بود.

تجارب جهانی، مطالعات تخصصی و تحولات فناورانه سال‌های اخیر نشان می‌دهد که تهدیداتی نظیر پالس الکترومغناطیسی هسته‌ای و غیرهسته‌ای (EMP)^۱، مایکروویو توان بالا (HPM)^۲، تداخل الکترومغناطیسی عمدی (IEMI)^۳ و همچنین پدیده‌های طبیعی الکترومغناطیسی از جمله طوفان‌های ژئومغناطیسی، قادرند طیف گسترده‌ای از مراکز داده، سامانه‌های فرماندهی و کنترل، شبکه‌های ارتباطی، تأسیسات انرژی و سایر زیرساخت‌های حیاتی را به‌طور هم‌زمان تحت تأثیر قرار دهند. از این‌رو، حفاظت الکترومغناطیسی به‌عنوان یکی از ارکان اساسی ارتقای تاب‌آوری زیرساخت‌ها، جایگاهی ویژه در نظام جامع پدافند غیرعامل کشور یافته است.

این سند به عنوان "**دستورالعمل حفاظت الکترومغناطیسی**" تلاش دارد با اتکا به استانداردها، دستورالعمل‌ها و تجارب معتبر بین‌المللی و با در نظر گرفتن الزامات بومی و شرایط فنی زیرساخت‌های کشور، چارچوبی منسجم و کاربردی برای طراحی، اجرا و ارزیابی حفاظت الکترومغناطیسی ارائه نماید. ساختار این سند در قالب چند فصل تنظیم شده است که هر کدام به یکی از مؤلفه‌های اصلی معماری حفاظت الکترومغناطیسی اختصاص دارد. در بخش نخست، مفاهیم پایه، ماهیت تهدیدات الکترومغناطیسی و چارچوب سطح‌بندی حفاظت تبیین شده است. در ادامه، الزامات طراحی و اجرای شیلدینگ سازه‌ای به‌عنوان نخستین لایه کاهش نفوذ میدان‌های الکترومغناطیسی مورد بررسی قرار گرفته و پس از آن، ملاحظات فنی مرتبط با کنترل مسیرهای هدایتی از طریق سامانه‌های فیلترینگ ارائه شده است. در بخش‌های بعدی، اصول طراحی و اجرای اتصال زمین و هم‌بندی تشریح شده و پس از آن، الزامات ارزیابی و آزمون کارایی سامانه‌های حفاظت الکترومغناطیسی، به‌ویژه اندازه‌گیری کارایی شیلدینگ (SE)^۴ بر اساس استانداردهای معتبر بین‌المللی، مورد توجه قرار گرفته است. در نهایت به منظور شفافیت در روند انجام فعالیت‌ها، گردش کار^۵ در فرآیند اجرا و ارزیابی شیلد الکترومغناطیسی یک مرکز، ارائه شده است.

1 Electromagnetic Pulse

2 High Power Microwave

3 Intentional Electromagnetic Interference

4 Shielding Effectiveness

5 Work Flow

فهرست مطالب

فصل اول: معرفی تهدیدات، مفاهیم و سطوح حفاظت الکترومغناطیسی	۱
۱-۱ انواع تهدیدات الکترومغناطیسی	۱
۲-۱ آسیب پذیری الکترومغناطیسی	۲
۳-۱ پیامدهای فنی، عملیاتی و امنیتی تهدیدات الکترومغناطیسی	۳
۴-۱ ارکان حفاظت الکترومغناطیسی	۳
۵-۱ اماکن مشمول حفاظت الکترومغناطیسی	۴
۶-۱ سطوح حفاظت الکترومغناطیسی	۵
فصل دوم: معرفی الزامات و ملاحظات شیلدینگ	۷
۱-۲ اصول جانمایی	۷
۲-۲ بخش‌های ملزم به اجرای شیلد در یک مرکز	۷
۳-۲ الزامات مسیر شیلد الکترومغناطیسی در مراکز یک و چند طبقه	۸
۴-۲ الزامات ورودی‌های اصلی به فضای شیلد	۸
۵-۲ انواع لایه‌های شیلد الکترومغناطیسی	۹
۶-۲ ملاحظات شیلدینگ در انتخاب و نصب سیستم تهویه و خنک کننده	۱۲
۷-۲ ملاحظات شیلدینگ در انتخاب و نصب در شیلد	۱۲
۸-۲ ملاحظات شیلدینگ در نصب دستک‌ها و آویزها	۱۳
۹-۲ ملاحظات شیلدینگ در عبور کابل از مرز شیلد	۱۳
فصل سوم: معرفی الزامات و ملاحظات فیلترینگ	۱۵
۱-۳ الزامات فیلترینگ خطوط برق	۱۵
۲-۳ الزامات فیلترینگ خطوط سیگنال (دیتا)	۱۸
فصل چهارم: معرفی الزامات و ملاحظات ارتینگ و هم‌تانسیل‌سازی	۱۹
۱-۴ الزامات شبکه هم‌بندی داخلی (IBN)	۱۹
۲-۴ الزامات چاه ارت	۲۰
۳-۴ آزمون‌های کمی و کیفی سیستم زمین	۲۲
فصل پنجم: ارزیابی افت سطح سیگنال، سطح شیلدینگ و برنامه پایش دوره‌ای	۲۳
۱-۵ ارزیابی افت سطح سیگنال	۲۳
۲-۵ ارزیابی سطح شیلدینگ (SE)	۲۳
۳-۵ برنامه پایش و نگهداری مرکز شیلد شده	۲۴
پیوست: گردش کار در فرآیند اجرا و ارزیابی حفاظت الکترومغناطیسی	۲۵

فصل اول:

معرفی تهدیدات، مفاهیم و سطوح حفاظت الکترومغناطیسی

تهدید الکترومغناطیسی به مجموعه‌ای از پدیده‌ها، رویدادها و اقدامات اطلاق می‌شود که در اثر تولید، انتشار یا القای انرژی الکترومغناطیسی با ویژگی‌های زمانی، فرکانسی و دامنه‌ای خاص، موجب اختلال، ناپایداری یا تخریب سامانه‌های الکتریکی، الکترونیکی و دیجیتالی می‌گردند. این تهدیدات می‌توانند منشأ طبیعی یا انسانی داشته و به صورت عمدی یا غیرعمدی بروز نمایند. ماهیت تهدید الکترومغناطیسی مبتنی بر برهم‌کنش میدان‌ها و امواج الکترومغناطیسی با هادی‌ها، مسیرهای انتقال، مدارهای الکترونیکی و اجزای نیمه‌رسانا است. در اثر این برهم‌کنش، ولتاژها و جریان‌های القایی ناخواسته در سامانه هدف ایجاد می‌شود که در صورت فراتر رفتن از حدود تحمل تجهیزات، منجر به بروز اثراتی نظیر اختلال عملکرد، خطای منطقی، از دست رفتن داده، توقف سامانه، یا آسیب فیزیکی دائمی قطعات می‌گردد.

۱-۱ انواع تهدیدات الکترومغناطیسی

تهدیدهای الکترومغناطیسی با توجه به منشأ تولید، ماهیت فیزیکی، شیوه انتشار انرژی و نحوه اثرگذاری بر سامانه‌های هدف، به چند دسته اصلی تقسیم می‌گردند. این طبقه‌بندی امکان تحلیل تهدید، ارزیابی آسیب‌پذیری و تعیین الزامات حفاظت الکترومغناطیسی متناسب با هر نوع تهدید را فراهم می‌نماید. از منظر کلان، تهدیدهای الکترومغناطیسی را می‌توان به سه گروه عمده تقسیم نمود: تهدیدات الکترومغناطیسی ناشی از انفجارهای هسته‌ای (NEMP)^۱، تهدیدات الکترومغناطیسی غیرهسته‌ای (NNEMP)^۲، و تهدیدات طبیعی الکترومغناطیسی. هر یک از این گروه‌ها دارای ویژگی‌های زمانی، فرکانسی و عملیاتی متمایز بوده و مسیرهای نفوذ و الگوی آسیب‌پذیری متفاوتی را برای زیرساخت‌ها و تجهیزات ایجاد می‌کنند. در این چارچوب، پالس الکترومغناطیسی (EMP) به‌عنوان یک پدیده فیزیکی کلی در نظر گرفته می‌شود که می‌تواند منشأ هسته‌ای یا غیرهسته‌ای داشته باشد و مشخصه اصلی آن، آزادسازی ناگهانی انرژی الکترومغناطیسی با توان گذرا و نرخ تغییر بسیار بالا است. در مقابل، برخی تهدیدات الکترومغناطیسی غیرهسته‌ای نظیر سامانه‌های میکروویو توان بالا (HPM)، اگرچه از نظر اثرگذاری ممکن است با EMP هم‌پوشانی داشته باشند، اما به دلیل شیوه تولید، نحوه به‌کارگیری و الگوی عملیاتی، به‌صورت یک رده مستقل مورد بررسی قرار می‌گیرند. همچنین تهدیدات طبیعی الکترومغناطیسی، با وجود غیرعمدی بودن، به دلیل گستره اثر و پیامدهای بالقوه بر زیرساخت‌های انرژی و سامانه‌های حساس، بخشی از منظومه تهدیدات الکترومغناطیسی محسوب می‌شوند. در چارچوب پدافند غیرعامل، EMP به‌عنوان یکی از تهدیدات مبنای الکترومغناطیسی در نظر گرفته می‌شود. این تهدید به دلیل قابلیت ناتوان‌سازی هم‌زمان طیف وسیعی از سامانه‌ها و زیرساخت‌ها، نقش کلیدی در تحلیل آسیب‌پذیری، تعیین سطوح حفاظت و تدوین الزامات شیلدینگ، فیلترینگ و ارتینگ برای مراکز مهم، حساس و حیاتی کشور ایفا می‌کند.

1 Nuclear EMP

2 Non-Nuclear EMP

جدول ۱-۱: مقایسه انواع تهدیدات الکترومغناطیسی از نظر مکانیزم نفوذ و شرایط به کارگیری

ردیف	نوع تهدید	منبع مولد	شرایط وقوع	وسعت پراکندگی	توان انتشاری	محدوده فرکانسی	مکانیزم نفوذ
۱	پالس الکترومغناطیسی هسته‌ای (HEMP)	انفجار هسته‌ای	انفجار در ارتفاع بالا یا سطح زمین	از چند ده کیلومتر تا مقیاس ملی	دامنه میدان تا حدود ۵۰ kV/m (معادل چند گیگاوات در لحظه)	از چند کیلوهرتز تا حدود ۱۰۰ مگاهرتز	از طریق بدنه، ساختار، خطوط هادی طولانی و آنتن‌ها
۲	بمب الکترومغناطیسی (E-bomb) (NNEMP)	منابع تولید توان پالسی	استفاده از پرتابه‌های هدایت‌شونده، راکت یا سامانه‌های زمینی سیار	محدود تا چندین کیلومتر (وابسته به محیط انتشار)	دامنه میدان در حدود ۱۰۰ kV/m در فواصل نزدیک	از حدود ۱ مگاهرتز تا ۱۵۰ مگاهرتز	از طریق بدنه، خطوط طولانی، شکاف‌ها و فواصل فلزی
۳	مایکروویو توان بالا (HPM)	لامپ‌های مایکروویو پرتوان	استفاده از پرتابه‌های هدایت‌شونده، راکت یا سامانه‌های زمینی	هدف‌گیری شده و موضعی	تا حد چند گیگاوات	باند باریک تا باند پهن (تا حدود چند گیگاهرتز)	از طریق درزها، شکاف‌ها، منافذ و آنتن‌های ارتباطی

۱-۲ آسیب‌پذیری الکترومغناطیسی

آسیب‌پذیری الکترومغناطیسی (EMV)^۱ به میزان حساسیت یک تجهیز، سامانه یا مجموعه عملکردی در برابر یک محیط یا رویداد الکترومغناطیسی عملیاتی (EME)^۲ اطلاق می‌شود، به گونه‌ای که قرارگیری در آن محیط موجب کاهش سطح عملکرد، اختلال در انجام وظیفه، از کارافتادگی موقت یا آسیب دائمی گردد.

در این دستورالعمل، یک تجهیز یا سامانه زمانی آسیب‌پذیر تلقی می‌شود که در اثر قرار گرفتن در معرض یک EME مؤثر، توانایی انجام وظیفه مشخص شده خود را در سطح عملکرد مورد انتظار از دست بدهد یا به سطحی پایین‌تر از حد پذیرش عملکردی تنزل یابد. آسیب‌پذیری الکترومغناطیسی یک ویژگی مطلق و ذاتی مستقل از شرایط نیست، بلکه تابعی از محیط تهدید، شدت و ویژگی‌های میدان، مسیرهای ورود انرژی، معماری تجهیز یا سامانه، نحوه اتصال به سایر زیرساخت‌ها و سطح حفاظت الکترومغناطیسی موجود است. در چارچوب پدافند غیرعامل، شناخت و تبیین مفهوم آسیب‌پذیری الکترومغناطیسی، مبنای تعیین ضرورت حفاظت، سطح‌بندی اقدامات حفاظتی و اولویت‌بندی مراکز، سامانه‌ها و دارایی‌های حساس کشور محسوب می‌شود.

سطح اثر تهدید الکترومغناطیسی بر یک تجهیز یا سامانه می‌تواند در قالب یک طیف تدریجی بروز یابد. در این دستورالعمل، این طیف به صورت زیر تعریف می‌شود:

1 Electromagnetic Vulnerability

2 Electromagnetic Environment

- تداخل (Interference): بروز اختلالات گذرا در عملکرد، بدون از دست رفتن کامل وظیفه و با بازگشت خودکار یا سریع سامانه به حالت عادی.
 - اختلال پایدار یا از کارافتادگی موقت (Failure / Upset): توقف عملکرد صحیح، نیاز به ریست، راهاندازی مجدد یا مداخله اپراتور برای بازگرداندن سامانه به حالت عملیاتی.
 - آسیب (Damage): خرابی دائمی اجزاء، از دست رفتن قابلیت عملکردی تجهیز یا نیاز به تعمیر و تعویض سخت‌افزاری.
- این سطوح، بیانگر افزایش شدت اثر بوده و مبنای تعیین سطح حفاظت مورد نیاز برای تجهیزات و سامانه‌ها قرار می‌گیرند.

۳-۱ پیامدهای فنی، عملیاتی و امنیتی تهدیدات الکترومغناطیسی

پیامدهای ناشی از تهدیدات الکترومغناطیسی صرفاً به خرابی تجهیزات محدود نمی‌شود، بلکه می‌تواند به صورت زنجیره‌ای بر عملکرد، مأموریت و امنیت زیرساخت‌ها اثرگذار باشد. در این دستورالعمل، پیامدها در سه دسته اصلی تبیین می‌شوند.

پیامدهای فنی: پیامدهای فنی شامل اختلال یا خرابی در عملکرد تجهیزات و سامانه‌های الکتریکی و الکترونیکی است. این پیامدها می‌تواند به صورت کاهش کیفیت عملکرد، تولید داده نادرست، رفتار ناپایدار، از کارافتادگی موقت یا آسیب دائمی اجزاء بروز نماید. خرابی‌های پنهان و تجمعی که در کوتاه‌مدت آشکار نمی‌شوند، اما در بلندمدت منجر به از کارافتادگی می‌گردند، نیز در این دسته قرار می‌گیرند.

پیامدهای عملیاتی: در سطح عملیاتی، تهدیدات الکترومغناطیسی می‌توانند موجب توقف یا اختلال در انجام مأموریت‌های محوله، کاهش دسترس‌پذیری سامانه‌ها، افزایش زمان بازیابی و وابستگی بیشتر به مداخلات انسانی شوند. اختلال در سامانه‌های کنترلی، ارتباطی یا اطلاعاتی، حتی در صورت عدم آسیب فیزیکی، می‌تواند منجر به تصمیم‌گیری نادرست یا از دست رفتن کنترل عملیاتی گردد.

پیامدهای امنیتی: پیامدهای امنیتی تهدیدات الکترومغناطیسی شامل کاهش تاب‌آوری زیرساخت‌های حیاتی، افزایش ریسک اختلال هم‌زمان در چند بخش، دشواری تشخیص منشأ رخداد و امکان بهره‌برداری از اختلالات ایجادشده در سناریوهای ترکیبی می‌باشد. ماهیت این تهدیدات سبب می‌شود که بدون تخریب سازه‌ای محسوس، آثار امنیتی و راهبردی قابل توجهی ایجاد گردد.

۴-۱ ارکان حفاظت الکترومغناطیسی

حفاظت الکترومغناطیسی در برابر تهدیدات EMP، HEMP و HPM مبتنی بر مجموعه‌ای از اقدامات مکمل است که با هدف کنترل مسیرهای کوپلینگ انرژی، کاهش شدت میدان و جلوگیری از انتقال تنش الکترومغناطیسی به اجزای حساس طراحی و اجرا می‌گردد. تجربیات عملی، گزارش‌های آزمون و استانداردهای مرجع نشان می‌دهد که حفاظت

مؤثر تنها زمانی محقق می‌شود که شیلدینگ، فیلترینگ و ارتینگ/هم‌پتانسیل‌سازی به‌صورت یکپارچه و هماهنگ در نظر گرفته شوند.

شیلدینگ الکترومغناطیسی به ایجاد یک مرز فیزیکی و الکترومغناطیسی کنترل‌شده اطلاق می‌شود که در آن، میدان‌ها و امواج الکترومغناطیسی ناخواسته خارجی به‌صورت معنی‌دار تضعیف شده و از کاپلینگ آن‌ها به تجهیزات و سامانه‌های داخلی جلوگیری می‌گردد. معیار شیلدینگ (SE)¹، شاخص کمی بیانگر توانایی یک شیلد یا حجم حفاظت‌شده در تضعیف میدان یا توان الکترومغناطیسی نفوذکننده است. SE معمولاً بر حسب دسی‌بل (dB) بیان می‌شود و به‌طور خلاصه نشان می‌دهد که چه میزان از انرژی تهدید، پیش از رسیدن به تجهیزات داخلی، کاهش می‌یابد. در تهدیدات سریع مانند مؤلفه‌های EMP، ناپیوستگی‌های کوچک (از قبیل درزها، شکاف‌ها، درب‌ها، پنجره‌ها، منافذ کابل و تهویه) می‌توانند موجب افت شدید SE شوند.

فیلترینگ الکترومغناطیسی به مجموعه اقداماتی اطلاق می‌شود که با هدف محدودسازی انتقال انرژی تهدید از مسیرهای هدایتی به تجهیزات و سامانه‌ها اجرا می‌گردد. در سناریوهای EMP و HPM، حتی در حضور شیلدینگ مؤثر، بخش قابل‌توجهی از انرژی تهدید می‌تواند از طریق کابل‌های تغذیه، خطوط کنترل، مسیرهای داده و منافذ وارد حجم حفاظت‌شده شود؛ از این‌رو فیلترینگ، رکن مکمل و ضروری شیلدینگ محسوب می‌گردد. کارایی فیلترینگ به انتخاب فیلتر محدود نمی‌شود و به‌شدت به نحوه نصب، کوتاه بودن مسیرها، اتصال مستقیم و پیوسته به شیلد، و هم‌راستایی با سیستم ارتینگ وابسته است.

ارتینگ و هم‌پتانسیل‌سازی زیربنای عملکرد صحیح شیلدینگ و فیلترینگ در حفاظت الکترومغناطیسی محسوب می‌شود و نقش آن کنترل مسیر جریان‌های گذرا، هدایت انرژی ناخواسته و جلوگیری از ایجاد اختلاف پتانسیل‌های مخرب در زمان وقوع تهدیدات EMP و HPM است. شیلدینگ بدون ارتینگ مؤثر کارایی ندارد.

۱-۵ اماکن مشمول حفاظت الکترومغناطیسی

با توجه به ماهیت تهدیدات الکترومغناطیسی، گستره اثر آن‌ها و وابستگی شدید عملکرد زیرساخت‌های حیاتی به سامانه‌های الکتریکی و الکترونیکی، برخی فضاها و اماکن به دلیل نقش کلیدی در تداوم خدمت، تصمیم‌سازی، فرماندهی، کنترل و ارتباطات، مشمول الزامات حفاظت الکترومغناطیسی بوده و در بسیاری از موارد، اجرای شیلدینگ و مقاوم‌سازی الکترومغناطیسی در آن‌ها الزامی است. انتخاب سطح دقیق حفاظت برای هر یک از این فضاها باید بر اساس تحلیل تهدید، اهمیت مأموریتی و مطابق جداول سطح‌بندی حفاظت انجام شود.

اتاق داده و دیتاسنتر (Data Center): این فضاها محل استقرار سرورها، تجهیزات ذخیره‌سازی، سوئیچ‌ها و سامانه‌های پردازش داده بوده و ستون فقرات خدمات دیجیتال، بانکی، حاکمیتی و زیرساختی محسوب می‌شوند. حساسیت بالای تجهیزات IT، چگالی بالای کابل‌ها و مسیرهای نفوذ هدایتی، ایجاب می‌کند که دیتاسنترها معمولاً در سطوح بالای حفاظت الکترومغناطیسی قرار گیرند و شیلدینگ سازه‌ای، کنترل منافذ و فیلترینگ خطوط به‌صورت یکپارچه اجرا شود.

¹ Shielding Effectiveness

اتاق مدیریت بحران و مراکز فرماندهی/تصمیم‌گیری (Crisis Management & Command Centers) : این فضاها محل تمرکز فرماندهان و تصمیم‌گیرندگان در شرایط بحران، جنگ یا اختلالات گسترده هستند. تداوم عملکرد تجهیزات ارتباطی، پردازشی و نمایش اطلاعات در این مراکز حیاتی است. علاوه بر تهدیدات EMP و HPM، در بسیاری از این فضاها ملاحظات امنیت اطلاعات و کنترل نشر ناخواسته (TEMPEST)¹ نیز مطرح بوده و سطح حفاظت باید متناسب با این الزامات تعیین گردد.

اتاق‌های مانیتورینگ و مراکز نظارت (Monitoring Rooms) : این مراکز میزبان سامانه‌های نظارتی، پردازش تصویر، نمایشگرها و شبکه‌های مرتبط هستند. از کارافتادگی یا اختلال در این فضاها منجر به کاهش آگاهی محیطی، تأخیر در واکنش و افزایش ریسک عملیاتی می‌شود. حفاظت الکترومغناطیسی این فضاها باید به گونه‌ای باشد که پایداری عملکرد تجهیزات در برابر اختلالات EMI، EMP و تهدیدات جهت‌دار حفظ گردد.

اتاق‌های کنترل صنعتی (Control Rooms – SCADA/PLC) : اتاق‌های کنترل صنعتی در نیروگاه‌ها، پالایشگاه‌ها، تصفیه‌خانه‌ها، صنایع فرایندی و سایر زیرساخت‌های حیاتی، نقش مستقیم در کنترل فرآیندهای فیزیکی دارند. نفوذ انرژی الکترومغناطیسی به این فضاها می‌تواند منجر به از دست رفتن کنترل، بروز خطاهای عملیاتی، حوادث ایمنی و پیامدهای ثانویه گسترده شود. از این رو، حفاظت این اتاق‌ها در برابر تهدیدات EMP/HPM یک الزام پدافند غیرعامل محسوب می‌گردد.

مراکز مخابراتی، سوئیچینگ و هاب‌های ارتباطی (Telecom & Switching Rooms) : این فضاها به عنوان گره‌های توزیع ارتباطات و داده، به شدت به مسیرهای کابلی و ورودی/خروجی‌های متعدد وابسته‌اند. در این مراکز، شیلدینگ تنها بدون کنترل مسیرهای هدایتی کافی نبوده و حفاظت الکترومغناطیسی باید هم‌زمان شامل فیلترینگ خطوط، مدیریت منافذ و هم‌پتانسیل‌سازی مناسب باشد تا مسیرهای کابلی به نقطه ضعف حفاظت تبدیل نشوند.

سایت‌های راداری و پدافندی (Radar & Defense Sites) : سامانه‌های راداری، حسگری و الکترواپتیکی، به ویژه در برابر تهدیدات جهت‌دار HPM و IEMI که با هدف کورسازی یا اختلال انتخابی طراحی شده‌اند، آسیب‌پذیر هستند. در این سایت‌ها، حفاظت تابشی مؤثر، کنترل دقیق ورودی‌های و مدیریت منافذ نقش تعیین‌کننده‌ای در حفظ کارایی سامانه‌ها دارد.

ساختمان‌ها و فضاهای اداری حساس (Sensitive Administrative Areas) : در سازمان‌ها و نهادهای راهبردی، محل استقرار افراد کلیدی یا تجهیزات حساس، لزوماً نیازمند حفاظت کامل کل ساختمان نیست. در این موارد، راهبرد زون‌بندی و حفاظت موضعی از طریق ایجاد فضاهای حفاظت‌شده برای تجهیزات یا عملکردهای حساس، رویکردی کارآمدتر و اقتصادی‌تر محسوب می‌شود.

۱-۶ سطوح حفاظت الکترومغناطیسی

سطح‌بندی حفاظت الکترومغناطیسی، چارچوبی نظام‌مند برای تعیین میزان و نوع اقدامات حفاظتی در برابر تهدیدات الکترومغناطیسی است. هدف از این سطح‌بندی، ایجاد تناسب منطقی میان سطح تهدید، اهمیت مأموریتی، حساسیت اطلاعات و میزان مقاوم‌سازی الکترومغناطیسی بوده و از اعمال حفاظت یکنواخت، غیرهدفمند و پرهزینه جلوگیری

می‌کند. سطح‌بندی حفاظت الکترومغناطیسی در این سند بر سه محور اصلی سطح تهدید، نوع کاربری/اهمیت مرکز و سطح حفاظت استوار است.

سطح حفاظت الکترومغناطیسی به‌صورت میزان کاهش انرژی الکترومغناطیسی به یک فضا یا سامانه تعریف می‌شود. شاخص اصلی کمی برای بیان این سطح، معیار شیلدینگ (SE) است که به‌صورت حداقل مقدار مجاز (SE_min) و در بازه‌های فرکانسی مشخص تعیین می‌گردد و باید تحت شرایط آزمون احراز شوند.

سطح‌بندی حفاظت الکترومغناطیسی این امکان را فراهم می‌کند که الزامات شیلدینگ، فیلترینگ و ارتینگ به‌صورت هدفمند، قابل آزمون و قابل ارتقاء تعریف شوند. بر همین مبنا، در این سند شش سطح حفاظت الکترومغناطیسی (L1 تا L6) در نظر گرفته شده است که خلاصه آن‌ها در جدول ۱-۲ ارائه شده است.

تخصیص سطح حفاظت به هر مراکز صرفاً بر اساس کاربری کلی مرکز انجام شده و در صورت اهمیت مأموریت، و شرایط بهره‌برداری خاص؛ ارتقای سطح حفاظت آن مرکز به سطوح بالاتر الزامی خواهد بود.

جدول ۱-۲: جدول سطح‌بندی حفاظت الکترومغناطیسی

سطح	نمونه مراکز	سطح زیرساخت	هدف حفاظتی	حداقل SE در فرکانس‌های کمتر از ۱۰۰ KHz	حداقل SE در ۱۰۰ KHz تا ۱ GHz	حداقل SE در ۱-۱۰ GHz
L1	فضاهای اداری عمومی، اتاق‌های کار عادی با تجهیزات عمومی	قابل حفاظت	کنترل تداخل الکترومغناطیسی محیطی	—	۲۰ dB	۱۰ dB
L2	مراکز عملیاتی عادی، اتاق‌های شبکه غیرمهم، فضاهای پشتیبانی غیر مهم	حفاظت	حفظ عملکرد سامانه‌ها در برابر تداخلات محیطی	—	۳۰ dB	۲۰ dB
L3	مراکز مهم زیرساختی و ارتباطی، اتاق‌های کنترل و مراکز زیرساخت محلی/منطقه‌ای	مهم	مقابله سطح پایین با تهدیدات	—	۴۰ dB	۳۰ dB
L4	مراکز عملیاتی، دیتاسنتر بانکی غیرملی، اتاق کنترل و مانیتورینگ مرکزی غیرملی، مراکز مدیریت بحران منطقه ای	حساس	مقابله با تهدیدات و بقای فیزیکی تجهیزات	۴۰ dB	۶۰ dB	۵۰ dB
L5	مراکز راهبردی، دیتاسنترهای ملی/سراسری، مراکز فرماندهی و مدیریت بحران ملی	حیاتی	مقابله با تهدیدات و پایداری عملکرد	۶۰ dB	۸۰ dB	۷۰ dB
L6	فضاهای دارای اطلاعات طبقه‌بندی‌شده، مراکز امنیتی/اطلاعاتی، پردازش داده محرمانه	حیاتی	مقابله با تهدیدات، پایداری عملکرد و جلوگیری از نشت اطلاعات	۸۰ dB	۱۰۰ dB	۹۰ dB

فصل دوم:

معرفی الزامات و ملاحظات شیلدینگ

شیلد الکترومغناطیسی شامل مجموعه اقداماتی می باشد که از طریق ایجاد یک قفسه فلزی یکپارچه، کوپلینگ میدان‌ها و امواج ناخواسته را به فضای حفاظت‌شده کاهش می‌دهد. عملکرد صحیح شیلد الکترومغناطیسی تابع هم‌زمان، ماهیت میدان تابشی، بازه فرکانسی تهدید، ویژگی‌های جنس لایه شیلد (رسانایی، نفوذپذیری و ضخامت لایه) و کیفیت پیاده‌سازی (پیوستگی و کنترل منافذ) می‌باشد. این فصل به معرفی الزامات و ملاحظات اجرای لایه شیلد الکترومغناطیسی به منظور تحقق سطوح حفاظتی L1 تا L6 می‌پردازد.

۲-۱ اصول جانمایی

اصل اساسی در جانمایی فضای حفاظت‌شده جهت اجرای لایه شیلد، بهره‌گیری از تضعیف طبیعی محیط و ساختمان می‌باشد.

الزامات جانمایی فضای حفاظت‌شده:

- اولویت استقرار فضای شیلد در طبقات منفی یا نیمه‌مدفون ساختمان
- پرهیز از مجاورت فضای شیلد با پوسته خارجی ساختمان و سایر فضاهای عمومی و اداری
- تعریف مرز شیلد به صورت یک حجم مستقل با قابلیت توسعه آتی بدون تخریب پوسته شیلد
- جداسازی مسیر دسترسی به فضای شیلد از فضاهای پر تردد
- هم‌راستاسازی فضای شیلد با مسیرهای اصلی تأسیسات جهت حداقل‌سازی نقاط ورود به فضای شیلد

۲-۲ بخش‌های ملزم به اجرای شیلد در یک مرکز

اجرای شیلد الکترومغناطیسی باید بر اساس نقش عملکردی فضاها و میزان وابستگی مأموریت مرکز به تداوم عملکرد آن‌ها تعیین شود. به طور کلی، هر فضایی که توقف عملکرد آن موجب اختلال مأموریتی شود باید در محدوده شیلد قرار گیرد. علاوه بر این فضاهای پشتیبان مستقیم فضاهای اصلی، در صورت وابستگی عملکردی، نیز در محدوده شیلد قرار می‌گیرند.

الف) دیتاسنتر: دیتاسنتر به عنوان هسته پردازش و نگهداری داده، الزام قطعی برای شیلدینگ دارد. محدوده شیلد باید شامل اتاق رک‌ها و تجهیزات پردازشی، اتاق برق اصلی، اتاق UPS¹ اصلی، اتاق باتری، اتاق NOC² یا مانیتورینگ مستقیم، انبار تجهیزات حیاتی (در صورت وابستگی عملکردی مستقیم) باشد. اجرای شیلد صرفاً در اتاق رک‌ها و حذف فضاهای پشتیبان، منجر به ایجاد مسیرهای نفوذ عملکردی خواهد شد.

¹ Uninterruptible Power Supply

² Network Operations Center

ب) اتاق‌های کنترل صنعتی و مانیتورینگ: فضاهای کنترل صنعتی، مراکز عملیات و پایش شبکه که مدیریت فرآیندهای مهم را بر عهده دارند، مشمول شیلدینگ هستند. محدوده شیلد باید شامل فضای اپراتوری و تجهیزات حیاتی وابسته باشد. در صورت وابستگی مستقیم، منابع تغذیه اضطراری و UPS نیز در محدوده شیلد تعریف می‌شوند.

پ) اتاق فرماندهی و مدیریت بحران: فضاهای فرماندهی که در شرایط اضطراری نقش تصمیم‌گیری دارند، نیازمند سطح اطمینان بالا هستند. شیلدینگ در این اماکن باید یکپارچه اجرا شده و شامل فضای اصلی و سالن جلسه، تجهیزات ارتباطی حیاتی و منابع تغذیه پشتیبان باشد.

ت) فضاهای زیرساختی پشتیبان: در صورت استقرار تجهیزات مخابراتی اصلی، سوئیچینگ، سرورهای حیاتی یا کنترل مرکزی، این فضاها نیز مشمول اجرای شیلدینگ خواهند بود.

۲-۳ الزامات مسیر شیلد الکترومغناطیسی در مراکز یک و چند طبقه

در مراکز یک طبقه، به دلیل استقرار کلیه فضاها در یک تراز افقی، امکان تعریف مرز شیلد به صورت ساده و پیوسته وجود دارد. در مراکز چند طبقه، به دلیل توسعه عمودی فضاها و وجود رایزرهای مشترک، طراحی مسیر شیلد پیچیده‌تر از مراکز یک طبقه است. مرز شیلد باید با رویکرد حداقل سازی گسترش عمودی و کنترل کامل عبورهای بین طبقات تعریف شود.

الزامات اجرایی مسیر شیلد در مراکز چند طبقه:

- حتی المقدور تمرکز فضاهای شیلد شده در یک یا چند طبقه مجاور
- تعریف مرز مستقل برای هر طبقه
- ممنوعیت عبور رایزرهای عمومی از داخل فضای شیلد
- استفاده از رایزر اختصاصی شیلد شده در صورت ضرورت
- حداقل سازی عبورهای بین طبقات

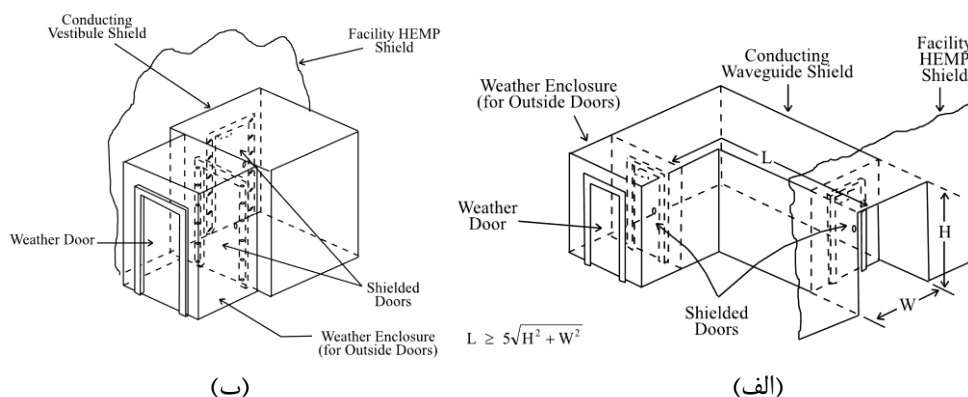
الزامات اجرایی مرز شیلد در فضاهای داخلی:

- تعریف مرز شیلد پیش از اجرای تقسیمات فضای داخلی
- پیوستگی لایه شیلد به صورت یکپارچه در کف، دیوار و سقف
- نصب دیوارهای داخلی، سقف کاذب و عناصر دکوراتیو پس از تکمیل لایه شیلد

۲-۴ الزامات ورودی‌های اصلی به فضای شیلد

ورودی‌ها بحرانی‌ترین نقاط مرز شیلد هستند، زیرا در این نواحی پوسته به صورت اجتناب‌ناپذیر گسسته می‌شود. تعداد، محل و نحوه اجرای آن‌ها باید در مرحله جانمایی تثبیت گردد. اصل طراحی، حداقل سازی تعداد ورودی‌ها و ممنوعیت هرگونه ورود مستقیم از فضای غیرشیلد به فضای شیلد است. تمامی ورودی‌های اصلی باید از طریق راهرو تله تعریف شوند. راهرو تله بخشی از مجموعه شیلد بوده و باید شامل حداقل دو مرز متوالی شیلد (دو در شیلد با فضای واسط بین آن‌ها ترجیحاً با دید غیر مستقیم) باشد. راهرو تله باید از نظر الکتریکی و سازه‌ای پیوسته با پوسته

اصلی اجرا گردد؛ کف، دیوار و سقف آن بخشی از مسیر شیلد محسوب می‌شود. جانمایی راهرو تله نباید در امتداد مستقیم مسیرهای پرتردد عمومی، آسانسورها یا پله‌های اصلی باشد. توصیه می‌شود ملاحظات امنیتی، حرارتی و کنترل دسترسی (نظیر سامانه‌های اکسس کنترل) قبل از راهرو تله و بر روی درهای بیرونی^۱ غیر شیلد اعمال شود.



شکل ۲-۱: راهرو تله با دو در (الف) بدون دید مستقیم برای سطوح حفاظتی بالا (ب) برای سطوح حفاظتی پایین و متوسط

۲-۵ انواع لایه های شیلد الکترومغناطیسی

یکی از چالشی ترین ملاحظات در اجرای شیلد یک مرکز، تعیین تعداد و نوع لایه‌های شیلد بر روی دیوارها، سقف و کف می‌باشد. انتخاب نوع، تعداد و آرایش لایه شیلد باید بر پایه تحلیل هم‌زمان موارد زیر انجام شود:

- سطح حفاظت هدف (L۴-L۶)
- بازه فرکانسی تهدید
- نوع میدان غالب (Plane Wave یا H-field ، E-field)
- قيود سازه‌ای/معماری و مسیرهای تأسیسات
- قابلیت تضمین پیوستگی الکتریکی و کنترل کیفیت اجرا
- زمان و هزینه اجرا
- نوع مرکز (فعال/غیرفعال)

در سطوح L۴ تا L۶، طراحی باید به‌گونه‌ای باشد که پوشش طیفی تهدید با رویکرد چندلایه یا ترکیبی امکان‌پذیر شود؛ اتکای صرف به یک نوع متریال منفرد (تک لایه) نباید به‌عنوان راهکار کامل شیلد برای سطوح حفاظتی بالاتر از L۳ تلقی گردد.

در سطوح L۵ و L۶، وجود حداقل یک لایه فلزی سازه‌ای (ورق فلزی با ضخامت مناسب) پیوسته به‌عنوان هسته اصلی به همراه حداقل یک لایه مکمل شیلد الزامی است. استفاده از لایه‌های سبک (رنگ/پارچه/فویل) به‌عنوان هسته اصلی در این سطوح غیرمجاز است.

لایه‌های شیلد عموماً از بین ورق‌های فلزی، انواع فویل‌های رسانا و پارچه، رنگ و پوشش‌های بتنی مسلح انتخاب می‌شوند که در ادامه به اختصار معرفی می‌شوند:

^۱ Weather Door

پوشش‌های پلیمری رسانا (مانند انواع رنگ‌ها)، حاوی پرکننده‌های کربنی یا فلزی که سطحی با مقاومت کنترل شده ایجاد می‌کنند. از جمله محدودیت‌های این پوشش‌ها می‌توان به حساسیت بالا به یکنواختی ضخامت و کیفیت زیرسازی، افت عملکرد در ترک‌خوردگی و آسیب‌های سطحی، حساسیت به رطوبت، عدم تحقق سطح شیلدینگ در سطوح حفاظتی بالا و کارایی محدود در فرکانس‌های پایین اشاره کرد. با این وجود، این پوشش‌ها دارای مزایایی همچون وزن بسیار کم و سرعت اجرای بالا می‌باشند که می‌تواند به عنوان یک گزینه مناسب برای اجرای لایه شیلد در مراکز فعال (در حال بهره‌برداری) مورد استفاده قرار گیرد.

پارچه/مش فلزی، منسوجات رسانا با روکش Ni/Cu یا Ag، یا شبکه توری الیاف فولادی؛ که به‌صورت رول یا پانل سبک قابل استفاده هستند. از جمله محدودیت‌های این پوشش‌ها می‌توان به آسیب‌پذیری مکانیکی در برابر کشش/پارگی و سایش، حساسیت شدید به هم‌پوشانی و اتصال، دوام محدود در محیط‌های صنعتی و قابلیت اشتعال اشاره کرد. اگر پارچه دارای پوشش پلیمری یا چسب‌های همراه باشد، باید از منظر الزامات حریق و دود/سمیت بررسی و تأیید شود. در کنار تمامی این معایب، این پوشش‌ها دارای مزایایی همچون انعطاف‌پذیری بالا، وزن کم و کاربرد مؤثر در تقویت درزها می‌باشند که می‌تواند به عنوان یک گزینه مناسب برای اجرای لایه شیلد در مراکز فعال (در حال بهره‌برداری) مورد استفاده قرار گیرد.

ورق‌های فلزی، عموماً از جنس گالوانیزه گرم که نقش هسته اصلی شیلد در سطوح متوسط تا بالا را بر عهده دارند. از جمله محدودیت‌های این پوشش‌ها می‌توان به وزن بالا، فرآیند نصب زمانبر و پرهزینه اشاره کرد. از جمله مزیت‌های ورق‌های فلزی می‌توان به پایدارترین رفتار بلندمدت و دوام مکانیکی بالا اشاره کرد.

فویل‌های فلزی، از جنس آلومینیوم و یا مس که عموماً نقش لایه مکمل در فرآیند اجرای شیلد جهت بهبود سطح شیلد فرکانس بالا را بر عهده دارند. از جمله محدودیت‌های این پوشش‌ها می‌توان به شکنندگی و حساسیت به پارگی، عملکرد ضعیف در فرکانس پایین و حساسیت شدید به کیفیت درزبندی اشاره کرد. با این وجود مزایایی همچون وزن کم، اجرای سریع و افزایش مؤثر عملکرد شیلد در فرکانس بالا، سبب کاربرد فراوان این نوع پوشش در فرآیند اجرای شیلدینگ شده است.

بتن و مصالح رسانا حاوی الیاف رسانا و یا کربنی با هدایت حجمی مشخص که نقش اصلی پیش‌تضعیف و کاهش بار میدان ورودی به پوسته فلزی را بر عهده دارد و بهتر است به عنوان لایه اصلی شیلد در نظر گرفته نشود.

لایه مغناطیسی با نفوذپذیری (μ) بالا که معمولاً از آلیاژهایی نظیر Mu-metal (نیکل-آهن)، Permalloy یا فولادهای سیلیس‌دار ویژه ساخته می‌شود و به‌طور اختصاصی برای هدایت و کاهش میدان‌های مغناطیسی کم‌فرکانس استفاده می‌شود.

جدول ۱-۲ جایگاه انواع لایه‌های شیلد را در سطوح حفاظتی مختلف بیان می‌کند. علاوه بر این، در جدول ۲-۲ یک پیشنهاد کلی برای نوع و تعداد لایه‌های شیلد در هر سطح حفاظتی ارائه شده است. لازم به ذکر است، جدول ۲-۲ صرفاً به عنوان یک پیشنهاد اولیه قابل بررسی می‌باشد و در هر مرکز به‌منظور اجرای شیلد صحیح و بهینه لازم است پس از بررسی ملاحظات اجرا، زمان و هزینه تمام شده، و در نظر گرفتن محدودیت‌ها نسبت به انتخاب نوع و تعداد لایه‌های مورد نیاز اقدام کرد.

جدول ۲-۱: مقایسه انواع لایه‌های مورد استفاده جهت اجرای شیلد از نظر نقش هر لایه

نوع لایه	کاربری مناسب لایه در سطوح حفاظت	بازه SE (dB)	هزینه اجرا	زمان اجرا	دوام مکانیکی
پوشش (رنگ) رسانا	لایه مستقل در آرایش تک لایه (L۱-L۲) لایه مکمل در آرایش چند لایه (L۳-L۶)	۲۰-۴۵	پایین	بسیار سریع	پایین
پارچه/مش فلزی*	لایه مستقل در آرایش تک لایه (L۲-L۳) لایه اصلی در آرایش چند لایه (L۴)	۳۰-۷۰	متوسط	سریع	متوسط
ورق فلزی پیوسته (فولاد/گالوانیزه)	لایه مستقل در آرایش تک لایه (L۳) لایه اصلی در آرایش چند لایه (L۴-L۶)	۴۰-۱۲۰	بالا	بسیار کند	بسیار بالا
فویل فلزی (مس/آلومینیوم)	لایه مستقل در آرایش تک لایه (L۲-L۳) لایه مکمل در آرایش چند لایه (L۴-L۶)	۵۰-۹۰ (صرفاً در فرکانس های بالا)	مس (بالا) آلومینیوم (متوسط)	سریع	متوسط
بتن و مصالح رسانا	لایه پیش تضعیف (L۱-L۶)	۲۰-۵۰	بالا	کند	بسیار بالا
لایه μ بالا	لایه مکمل در آرایش چند لایه (L۴-L۶) (صرفاً در شیلد مغناطیسی فرکانس پایین)	۲۰-۶۰ (H-field)	بسیار بالا	بسیار کند	بالا

* در استفاده از پارچه‌های شیلد، ارزیابی و مستندسازی رفتار در برابر حریق (قابلیت اشتعال و گسترش شعله) الزامی است. در فضاهایی با الزامات حریق یا طبقه‌بندی مقاومتی مشخص، به‌کارگیری متریال فاقد گواهی معتبر مقاومت در برابر آتش مجاز نیست.

جدول ۲-۲: جدول لایه‌های شیلد پیشنهادی در سطوح حفاظت L۱-L۶

سطح حفاظت	سطح زیرساخت	لایه اصلی پیشنهادی	لایه های مکمل پیشنهادی	حداقل ضخامت لایه ها
L۱	قابل حفاظت	پوشش (رنگ) رسانا (حداقل دو مرتبه)	-	رنگ با ضخامت بیشتر از ۲۰۰ میکرومتر
L۲	مهم	پارچه/مش فلزی یا فویل فلزی (مس/آلومینیوم)	-	پارچه متراکم نیکل/مس یا فویل با ضخامت بیشتر از ۱۰۰ میکرومتر
L۳	حساس	ورق فلزی پیوسته (فولاد/گالوانیزه)	پوشش (رنگ) رسانا	ورق فولادی با ضخامت بیشتر از ۰/۸ میلیمتر رنگ با ضخامت بیشتر از ۲۰۰ میکرومتر
L۴	حیاتی	ورق فلزی پیوسته (فولاد/گالوانیزه)	فویل فلزی (مس/آلومینیوم)	ورق فولادی با ضخامت بیشتر از ۱ میلیمتر فویل با ضخامت بیشتر از ۱۰۰ میکرومتر
L۵*	حیاتی	ورق فلزی پیوسته (فولاد/گالوانیزه)	فویل فلزی (مس/آلومینیوم)	ورق فولادی با ضخامت بیشتر از ۱ میلیمتر فویل با ضخامت بیشتر از ۱۵۰ میکرومتر
L۶*		ورق فلزی پیوسته (فولاد/گالوانیزه)	فویل فلزی (مس/آلومینیوم) و لایه μ بالا	ورق فولادی با ضخامت بیشتر از ۱/۵ میلیمتر فویل با ضخامت بیشتر از ۱۵۰ میکرومتر

* در سطوح حفاظتی بالا (سطوح حفاظتی L۵-L۶)، مشروط به استفاده از لایه فویل رسانا جهت پوشش درز بین ورق‌های فلزی لایه زیرین، می‌توان به جای فرآیند جوشکاری از پیچ کردن ورق‌ها (با فاصله‌گذاری کمتر از ۵ سانتیمتر) استفاده کرد، در غیر این صورت لازم است ورق‌های فلزی صرفاً با جوش پیوسته به هم متصل شوند.

۲-۶ ملاحظات شیلدینگ در انتخاب و نصب سیستم تهویه و خنک کننده

هر مسیر عبور هوا از فضای غیر شیلد به فضای شیلد شده، یک منفذ محسوب می‌شود و باید شامل تمهیدات الکترومغناطیسی مجاز باشد. به منظور خنک‌سازی فضای داخلی شیلد، دو روش کلی زیر وجود دارد. انتخاب روش مناسب جهت خنک‌سازی باید بر اساس سطح حفاظت، بازه فرکانسی تهدید، حساسیت عملکرد مرکز، بار حرارتی واقعی و امکان تضمین کیفیت اجرا، انجام شود.

الف) دمنده داخل فضای شیلد و کندانسور بیرون فضای شیلد (Split بدون انتقال هوا): در این روش صرفاً بخش دمنده هوا، داخل فضای شیلد قرار دارد و از طریق لوله‌های انتقال سیال مبرد^۱ و کابل‌ها به کندانسور بیرون فضای شیلد مرتبط می‌شود. این پیکربندی در پروژه‌هایی با سطوح حفاظتی L۳ تا L۶ راهکار مرجع محسوب می‌شود. در این روش لازم است:

- مسیرهای عبور از مرز شیلد حداقل‌سازی شوند.
- از لوله مجبوری مناسب برای هر مسیر عبور از مرز شیلد استفاده شود.
- آب‌بندی و باندینگ محیطی ۳۶۰ درجه برقرار باشد.
- عایق حرارتی لوله‌های مبرد مانع تماس الکتریکی در محل عبور از مرز شیلد نشود.

در این روش لازم است تمامی لوله‌های مبرد و کابل‌های کنترلی بین دمنده و کندانسور، در مرز فضای شیلد از داخل لوله مجبوری با ابعاد دهانه حداکثر ۲۵ درصد بزرگتر از قطر لوله/کابل عبور داده شود. لوله مجبوری باید به‌طور پیوسته با لایه شیلد دیوار یکپارچه شود. در این روش عموماً به دریچه‌های کامب برای انتقال هوا نیاز نیست، هر چند در مواردی به جهت تهویه مطبوع و تأمین سطح اکسیژن لازم در محیط‌هایی با کاربری انسانی از یک یا چند دریچه تهویه مجهز به هانی کامب نیز می‌توان استفاده کرد.

ب) دمنده و کندانسور بیرون فضای شیلد و انتقال مستقیم هوا از مرز شیلد توسط هانی کامب: در این

حالت کل سیستم خنک‌کننده شامل دمنده و کندانسور به‌همراه کلیه مسیر لوله‌های سیال مبرد و کابل‌ها، کاملاً بیرون فضای شیلد قرار دارد و صرفاً هوای سرد از مسیر هانی کامب وارد فضای شیلد می‌شود. در این روش الزاماً به مسیر بازشو جهت ورود و خروج هوا (مجهز به هانی کامب) نیاز است. باید توجه داشت انتخاب هانی کامب در این روش از اهمیت بالایی برخوردار است و باید علاوه بر سطح SE به دبی هوای انتقالی نیز توجه داشت. در صورت استفاده از این روش برای سطوح حفاظتی L۵-L۶، لازم است ملاحظات هانی کامب با سخت‌گیری بیشتر رعایت شده و از آرایش دو یا چندلایه هانی کامب با چرخش متقاطع ۹۰ درجه در هر مسیر ورود و یا خروج هوا، استفاده شود.

۲-۷ ملاحظات شیلدینگ در انتخاب و نصب در شیلد

ورودی اصلی از فضای عمومی به فضای شیلد از طریق راهرو تله صورت می‌گیرد. هر راهرو تله حداقل شامل دو در شیلد می‌باشد. علاوه بر این در فضاهای داخلی شیلد متناسب با طراحی اولیه و جانمایی انجام‌شده، ممکن است از درهای شیلد مستقلی به منظور تفکیک فضاها استفاده شود. در شیلد به دلیل متحرک بودن، معمولاً ضعیف‌ترین مؤلفه

^۱ لوله‌هایی که سیال سردکننده (گاز یا مایع مبرد) را بین یونیت داخلی و کندانسور خارجی در سیستم‌های اسپلیت منتقل می‌کنند.

محسوب می‌شود. انتخاب نوع در شیلد برای هر محل متناسب با سطح حفاظتی مورد نظر (L۱-L۶)، ابعاد فضای چارچوب و مکانیزم حرکتی تعیین می‌شود.

الزامات اجرایی در انتخاب، نصب و به کار گیری در شیلد:

- سطح حفاظت (SE) در شیلد انتخابی باید هم سطح با پوسته شیلد باشد.
- مکانیزم باز و بسته شدن در شیلد (لولایی، فشاری و کشویی) متناسب با ابعاد در و نوع چارچوب انتخاب شود.
- اولویت با به کارگیری از مکانیزم های مکانیکی باز و بسته شدن، نسبت به مکانیزم های الکترونیکی و پنوماتیکی است.
- لازم است از گسکت های فنری، الاستومری یا تیغه چاقویی در فضای بین درشیلد و چارچوب استفاده شود. اثر پیرشدگی و سایش گسکت ها در برنامه پایش سالانه در نظر گرفته شود.
- اتصال چارچوب به لایه شیلد اصلی دیوار باید با جوش محیطی پیوسته در تمام پیرامون یا با پیچ کاری با فاصله پیچ های کوتاه و یکنواخت باشد.
- در پوسته شیلد چندلایه، تمامی لایه های شیلد باید بر روی چارچوب به صورت پیوسته خاتمه یابند.
- کلیه ملاحظات امنیتی، حرارتی و کنترل دسترسی (نظیر سامانه های اکسس کنترل) به قبل از راهرو تله و بر روی درهای بیرونی^۱ غیر شیلد انتقال یابد.
- لولا، قفل، زبانه، دستگیره و اجزای انتقال نیرو نباید موجب ایجاد شکاف موضعی یا کاهش فشار تماس در مجاورت خود شوند.
- بازبینی و تست سطح حفاظت درها در بازه حداکثر دو ساله الزامی است تا در صورت افت سطح حفاظت، نسبت به تعویض گسکت ها و یا رگلاژ مجدد در اقدام شود.

۸-۲ ملاحظات شیلدینگ در نصب دستک ها و آویزها

پس از اتمام فرآیند نصب لایه های شیلد در یک اتاق، برای نصب تجهیزات سقفی شامل لدرها، تجهیزات اعلان و اطفاء، اتصالات سقف کاذب و سیستم روشنایی؛ باید از دستک های مخصوص بدون ایجاد درز در پوسته شیلد استفاده شود. این دستک ها بر روی آخرین لایه شیلد نصب شده و با استفاده از پیچ کاری به پروفیل شاسی (در صورت وجود) و یا به سازه اصلی ساختمان در پشت لایه شیلد وصل می شود (مطابق با شکل ۲-۲). بارهای استاتیکی و دینامیکی تجهیزات باید به سازه اصلی ساختمان منتقل شوند و پوسته شیلد نباید عضو باربر اصلی باشد.

۹-۲ ملاحظات شیلدینگ در عبور کابل از مرز شیلد

نقطه متمرکز ورود تمامی کابل ها از محیط غیرشیلد به فضای شیلد شده، مکانی با نام "اتاق فیلتر" است. ورود پراکنده کابل ها از سایر نقاط مختلف پوسته شیلد ممنوع است.

^۱ Weather Door

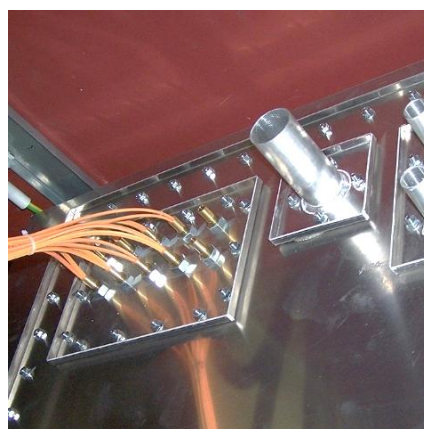
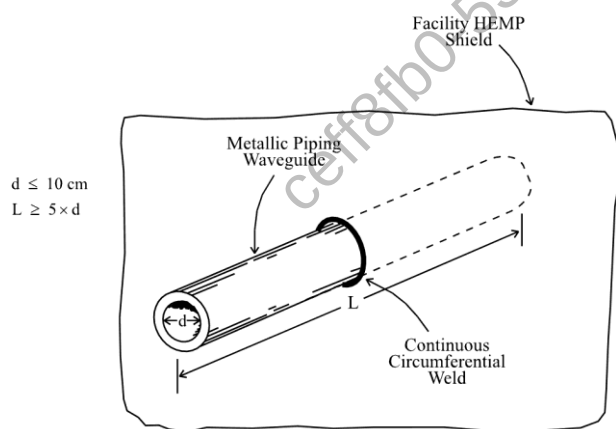


شکل ۲-۲: نمونه دستک های U شکل جهت اتصال تجهیزات به سقف

الزامات جانمایی اتاق فیلتر و مسیر عبور کابل به داخل فضای شیلد:

- قرارگیری اتاق فیلتر در مجاورت فضای شیلد (ترجیحا جنب اتاق برق)
- اجرای پیوسته لایه شیلد در دیوار، سقف و کف اتاق فیلتر و هم پتانسیل با پوسته شیلد اصلی
- تمرکز تمامی کابل های ورودی از فضای غیر شیلد به اتاق فیلتر و سپس به فضای شیلد شده
- ممنوعیت ورود مستقیم کابل به فضای شیلد از مسیری خارج از فضای اتاق فیلتر
- استفاده از لوله موجبری برای ورود کابل های برق، کابل های دیتا و فیبر نوری به اتاق فیلتر

جنس لوله موجبری جهت عبور کابل ها باید از جنس فلز (عموما گالوانیزه) و طول مؤثر لوله موجبری باید حداقل پنج برابر قطر داخلی آن باشد. قطر داخلی لوله باید حداقل ممکن و متناسب با قطر کابل عبوری از آن انتخاب شود. موجبر باید پیوسته و با اتصال محیطی فلز به فلز به پوسته اصلی شیلد متصل شود. بعد از عبور کابل از داخل لوله موجبری، فضای خالی داخل لوله باید با استفاده از مواد آب بندی شیلدی مناسب (Conductive Sealing Compound / EMC Putty) که برای کابل های قدرت طراحی شده اند، به طور کامل مسدود شود. در صورتیکه لوله موجبری مربوط به عبور کابل دیتا و یا فیبر نوری می باشد، می توان از پوشاندن دهانه های ورودی و خروجی لوله با چند لایه برچسب رسانا، یا پر کردن فضای خالی داخل لوله با پودر رسانا نیز استفاده کرد.



شکل ۲-۳: نمونه اجرای لوله موجبری فلزی جهت عبور کابل به داخل فضای شیلد

فصل سوم:

معرفی الزامات و ملاحظات فیلترینگ

در حفاظت الکترومغناطیسی، دو مسیر اصلی برای انتشار یا انتقال انرژی الکترومغناطیسی وجود دارد، مسیر تشعشعی^۱ و مسیر هدایتی^۲. کنترل مسیرهای تشعشعی عمدتاً از طریق اجرای صحیح شیلدینگ و استفاده از لوله های موجبری در مسیر عبور کابل ها به داخل فضای شیلد، انجام می شود که الزامات آن به طور کامل در فصل دوم بیان شد. در مقابل، کنترل هدایتی با استفاده از فیلترهای الکترومغناطیسی در مسیر خطوط عبوری از مرز شیلد انجام می شود.

کلیه کابل های دارای هادی داخلی (مانند کابل برق، کابل شبکه، کابل کواکسیال) می توانند نویز، جریان های گذرا، اضافه ولتاژهای ضربه ای و پالس های ناشی از EMP را به داخل فضا منتقل کنند. مسیر انتقال هدایتی مستقل از کیفیت پوسته شیلد بوده و صرفاً با کنترل مستقیم روی هادی داخلی کابل با استفاده از "فیلتر" مهار می شود. استفاده از لوله موجبری برای عبور کابل به داخل فضای شیلد، جایگزین فیلتر عبوری از مرز شیلد نمی شود و به تنهایی قادر به کنترل انتقال هدایتی نیست.

کلیه فیلترهای برق و سیگنال باید در داخل اتاق فیلتر و مستقیماً روی مرز شیلد نصب شوند و بدنه فلزی آنها اتصال محیطی و مستقیم با پوسته شیلد برقرار کند.

۳-۱ الزامات فیلترینگ خطوط برق

جهت ورود کابل برق از فضای عمومی به فضای شیلد، از سطح L₃ به بالا، نصب فیلتر عبوری الزامی است. هر چند در سطوح L₁ و L₂ نیز توصیه می شود از فیلتر هم سطح با سطح حفاظتی مورد نظر استفاده شود. انتخاب و طراحی فیلترهای خطوط برق باید متناسب با سطح حفاظت الکترومغناطیسی مورد نیاز مرکز مورد نظر (L₁ تا L₆) انجام شود. با افزایش سطح حفاظت و ورود تهدیداتی مانند EMP، HEMP و HPM، لازم است از فیلترهای چندمرحله ای با تضعیف بسیار بالا استفاده شود تا از انتقال انرژی پالس های الکترومغناطیسی از طریق خطوط تغذیه جلوگیری شود. طراحی و به کارگیری فیلترهای برق با جریان نامی بیش از ۴۰۰ آمپر در مدارهای سه فاز و بیش از ۲۰۰ آمپر در مدارهای تک فاز ممنوع است. در صورتی که ظرفیت جریان مورد نیاز از این مقادیر فراتر باشد، تأمین جریان باید صرفاً از طریق استفاده از چند فیلتر هم نوع به صورت موازی انجام شود.

عملکرد تمامی فیلترهای برق باید پیش از نصب، در قالب آزمون های استاندارد توسط آزمایشگاه های مورد تأیید سازمان پدافند غیرعامل کشور ارزیابی شده و دارای گواهی نامه معتبر و هولوگرام آزمایشگاهی باشند. نصب فیلترهایی که فاقد این تأییدیه ها هستند مجاز نیست. جدول ۲-۳ آزمون های فنی مورد نیاز برای ارزیابی عملکرد فیلترهای EMI/EMP را نشان می دهد. مبنای اصلی این آزمون ها، استاندارد MIL-STD-188-125 بوده و در کنار آن از برخی استانداردهای مکمل EMC و ایمنی الکتریکی نیز استفاده شده است.

1 Radiated Coupling
2 Conducted Coupling

جدول ۳-۱: ملاحظات انتخاب فیلتر خطوط برق در سطوح حفاظتی مختلف

سطح حفاظت	سطح زیرساخت	هدف حفاظتی	نیاز به فیلتر برق	حداقل سطح تضعیف مورد انتظار فیلتر	ملاحظات انتخاب فیلتر
L ₁	قابل حفاظت	کنترل تداخل الکترومغناطیسی محیطی	ضروری نیست	-	استفاده از فیلترهای استاندارد EMI در صورت وجود تجهیزات حساس
L ₂		حفظ عملکرد سامانه‌ها در برابر تداخلات محیطی	توصیه می‌شود	۳۰ dB	استفاده از فیلترهای EMI تجاری با تضعیف مناسب در باند RF
L ₃	مهم	مقابله سطح پایین با تهدیدات	ضروری	۴۰ dB	استفاده از فیلترهای EMP
L ₄	حساس	مقابله با تهدیدات و بقای فیزیکی تجهیزات	ضروری	۶۰ dB	استفاده از فیلترهای EMP
L ₅	حیاتی	مقابله با تهدیدات و پایداری عملکرد	بسیار ضروری	۸۰ dB	فیلترهای EMP با تضعیف بالا
L ₆		مقابله با تهدیدات، پایداری عملکرد و جلوگیری از نشت اطلاعات	بسیار ضروری	۱۰۰ dB	استفاده از فیلترهای EMP با تضعیف بسیار بالا و کنترل دقیق نشتی الکترومغناطیسی

جدول ۳-۲: آزمون‌های استاندارد برای ارزیابی عملکرد فنی فیلترهای EMI/EMP

ردیف	عنوان آزمون	هدف آزمون	استاندارد مرجع	ملاحظات	الزام آزمون
۱	اندازه‌گیری تضعیف عبوری فیلتر (Insertion Loss)	ارزیابی میزان تضعیف نویز و امواج هدایتی در باند فرکانسی مورد نظر	MIL-STD-220	به‌تنهایی نشان‌دهنده عملکرد فیلتر در برابر پالس‌های HEMP پراثری نیست و باید همراه آزمون‌های تزریق پالس ارزیابی شود.	الزامی
۲	آزمون تزریق پالس حالت مشترک (Common Mode Pulse Injection)	ارزیابی عملکرد حفاظتی فیلتر در برابر پالس‌های HEMP حالت مشترک	MIL-STD-188-125-1 Annex B	یکی از آزمون‌های کلیدی EMP Hardening	الزامی
۳	آزمون تزریق پالس حالت دیفرانسیلی (Differential Mode Pulse Injection)	ارزیابی عملکرد فیلتر در برابر پالس‌های HEMP بین هادی‌ها	MIL-STD-188-125-1 Annex B	جهت ارزیابی عبور پالس بین خطوط تغذیه	الزامی
۴	اندازه‌گیری پالس باقیمانده (Residual Pulse Measurement)	اندازه‌گیری ولتاژ/جریان باقی‌مانده در خروجی فیلتر پس از اعمال پالس EMP	MIL-STD-188-125-1 Annex B	معیار اصلی ارزیابی سطح حفاظت واقعی فیلتر	الزامی
۵	آزمون تحمل Surge	ارزیابی تحمل اضافه‌ولتاژ و جریان گذرا	IEC 61000-4-5	مرتبط با EMC/EMI	الزامی

ردیف	عنوان آزمون	هدف آزمون	استاندارد مرجع	ملاحظات	الزام آزمون
۶	اندازه‌گیری جریان نشتی فیلتر	ارزیابی ایمنی و جریان نشتی	IEC 60939-3	الزامات ایمنی بهره برداری	الزامی
۷	اندازه‌گیری مقاومت عایقی	ارزیابی کیفیت عایق الکتریکی بین ترمینال‌ها و بدنه	MIL-PRF-15733	الزامات ایمنی الکتریکی	الزامی
۸	آزمون تحمل جریان نامی و افزایش دما	ارزیابی عملکرد حرارتی فیلتر	IEC 60939-3	الزامات بهره برداری	الزامی
۹	بررسی چشمی، بازرسی مکانیکی، کیفیت مونتاژ و پیوستگی پوسته شیلد	بررسی کیفیت قطعات به کار رفته، ارزیابی نحوه استقرار قطعات، کیفیت ساخت و Bonding	MIL-STD-202 MIL-STD-188-125		الزامی
۱۰	اندازه‌گیری ضریب موثر شیلدینگ جعبه فیلتر	بررسی میزان جلوگیری از نفوذ میدان الکترومغناطیسی از طریق محفظه فیلتر	MIL-STD-285 IEEE-STD-299.1		الزامی
۱۱	اندازه‌گیری ولتاژ دراپ فیلتر	ارزیابی افت ولتاژ ناشی از امپدانس سری فیلتر در شرایط بار نامی	IEC 60939-3		الزامی
۱۲	آزمون تزریق پالس گذرای سریع	بررسی مقاومت فیلتر در برابر پالس‌های ایمپالسی	MIL-STD-461G (CS115)	مکمل آزمون‌های EMP	توصیه شده
۱۳	آزمون تزریق گذرای سینوسی میراشونده	بررسی مقاومت فیلتر در برابر تزریق موج سینوسی میراشونده	MIL-STD-461G (CS116)	مکمل آزمون‌های EMP	توصیه شده
۱۴	اندازه‌گیری زمان تخلیه فیلتر	بررسی ایمنی زمان تخلیه خازن پس از قطع تغذیه	IEC 60939-3	الزامات ایمنی الکتریکی	توصیه شده
۱۵	آزمون ایمنی در برابر سیگنال‌های هدایتی RF	بررسی رفتار فیلتر در برابر تزریق سیگنال RF	MIL-STD-461G (CS114)	مرتبط با EMC/EMI	اختیاری
۱۶	آزمون تخلیه الکترواستاتیکی	بررسی مقاومت فیلتر در برابر تخلیه الکترواستاتیکی	IEC 61000-4-2	مرتبط با EMC/EMI	اختیاری
۱۷	آزمون EFT/Burst	ارزیابی مقاومت در برابر گذراهای سریع	IEC 61000-4-4	مرتبط با EMC/EMI	اختیاری
۱۸	ارزیابی کاهش نویز هدایتی	بررسی میزان کاهش تشعشعات هدایتی در خطوط تغذیه	MIL-STD-461G (CE102) EN 55011	مرتبط با EMC/EMI	اختیاری
۱۹	اندازه‌گیری چگالی شار مغناطیسی میدان نشتی	ارزیابی میدان مغناطیسی در اطراف فیلتر جهت بررسی ایمنی بر روی بدن	ICNIRP-2010	الزامات ایمنی	اختیاری
۲۰	آزمون اختلالات فرکانس پایین	بررسی پایداری فیلتر در برابر تزریق سیگنال‌های فرکانس پایین	MIL-STD-461G (CS101) IEC 61000-4-16	مرتبط با EMC/EMI	اختیاری

۳-۲ الزامات فیلترینگ خطوط سیگنال (دیتا)

در سطوح بالاتر از L۳ استفاده از کابل دیتا دارای هادی فلزی، صرفاً در صورت استفاده از فیلتر مناسب مجاز است. توجه داشته باشید فیبر نوری به دلیل عدم دارا بودن هادی داخلی، نیازی به فیلتر ندارد. لذا برای کلیه سطوح حفاظتی خصوصاً سطوح بالاتر از L۳ استفاده از فیبر نوری اولویت دارد. جدول ۳-۳ الزامات کلی حفاظت خطوط سیگنال/دیتا را بیان می کند. لازم است هر فیلتر سیگنال/دیتا متناسب با نوع کاربری مطابق با استانداردهای EMC/EMP مربوطه توسط آزمایشگاه مورد تأیید سازمان پدافند غیرعامل کشور ارزیابی شده و دارای گواهینامه معتبر و هولوگرام آزمایشگاهی باشد. در گواهینامه باید میزان سطح تضعیف فیلتر، حداکثر سرعت ارسال داده، نوع کاربری، نوع کابل ورودی و خروجی و استانداردهای آزمون اعمال شده به طور دقیق درج گردد.

جدول ۳-۳: ملاحظات کلی حفاظت خطوط سیگنال در سطوح حفاظتی مختلف

سطح حفاظت	سطح زیرساخت	ملاحظات فنی خطوط سیگنال
L۱	قابل حفاظت	استفاده از کابل شیلددار و عبور کابل از داخل لوله موجبری برای ورود به فضای شیلد توصیه می شود. الزامی به استفاده از فیلتر نمی باشد.
L۲		استفاده از کابل شیلددار و عبور کابل از داخل لوله موجبری برای ورود به فضای شیلد الزامی می باشد. استفاده از فیلتر برای خطوط سیگنال کم سرعت و کنترلی توصیه می شود.
L۳	مهم	استفاده از کابل شیلددار و عبور کابل از داخل لوله موجبری برای ورود به فضای شیلد الزامی می باشد. توجه به اتصال مناسب شیلد کابل ها در محل ورود به لوله موجبری الزامی می باشد. انسداد فضای خالی داخل لوله موجبری با مواد رسانا مانند پودر (چیپس) فلزی توصیه می شود. استفاده از فیلتر برای خطوط سیگنال کم سرعت و کنترلی با سطح تضعیف حداقل ۴۰ دسیبل الزامی می باشد.
L۴	حساس	استفاده از کابل شیلددار و عبور کابل از داخل لوله موجبری برای ورود به فضای شیلد الزامی می باشد. توجه به اتصال مناسب شیلد کابل ها در محل ورود به لوله موجبری الزامی می باشد. انسداد فضای خالی داخل لوله موجبری با مواد رسانا مانند پودر (چیپس) فلزی الزامی می باشد. استفاده از فیلتر تخصصی برای خطوط سیگنال کم سرعت و کنترلی با سطح تضعیف حداقل ۶۰ دسیبل الزامی می باشد. استفاده از محفظه های شیلد ثانویه موسوم به Dirty Box توصیه می شود.
L۵	حیاتی	استفاده از کابل شیلددار و عبور کابل از داخل لوله موجبری برای ورود به فضای شیلد الزامی می باشد. توجه به اتصال مناسب شیلد کابل ها در محل ورود به لوله موجبری الزامی می باشد. انسداد فضای خالی داخل لوله موجبری با مواد رسانا مانند پودر (چیپس) فلزی الزامی می باشد. استفاده از فیلتر تخصصی برای خطوط سیگنال کم سرعت و کنترلی با سطح تضعیف حداقل ۸۰ دسیبل الزامی می باشد. استفاده از فیبر نوری به جای سایر روش های انتقال دیتا پر سرعت در اولویت است. استفاده از محفظه های شیلد ثانویه موسوم به Dirty Box الزامی می باشد.
L۶		استفاده از کابل شیلددار و عبور کابل از داخل لوله موجبری برای ورود به فضای شیلد الزامی می باشد. توجه به اتصال مناسب شیلد کابل ها در محل ورود به لوله موجبری الزامی می باشد. انسداد فضای خالی داخل لوله موجبری با مواد رسانا مانند پودر (چیپس) فلزی الزامی می باشد. استفاده از فیلتر تخصصی برای خطوط سیگنال کم سرعت و کنترلی با سطح تضعیف حداقل ۱۰۰ دسیبل الزامی می باشد. استفاده از فیبر نوری به جای سایر روش های انتقال دیتا پر سرعت الزامی می باشد. استفاده از محفظه های شیلد ثانویه موسوم به Dirty Box الزامی می باشد. کاهش تعداد خطوط عبوری از مرز شیلد و جداسازی مسیرهای ورودی و خروجی در اولویت است.

فصل چهارم:

معرفی الزامات و ملاحظات ارتینگ و هم‌پتانسیل‌سازی

هدف از این فصل، ارائه الزامات طراحی و اجرایی مناسب برای ایجاد یک سیستم زمین هم‌پتانسیل با امپدانس بسیار پایین در گستره فرکانسی وسیع (از DC تا چند صد مگاهرتز) است. چنین سیستمی باید قادر باشد جریان‌های مختلف نظیر جریان‌های صاعقه، اغتشاشات ناشی از سوئیچینگ و جریان‌های القایی حاصل از پدیده‌های EMP/EMI را با حداقل اختلاف پتانسیل میان نقاط مختلف، به‌صورت ایمن هدایت کند.

در سیستم‌های الکترونیکی و مخابراتی، سه سیستم زمین (ایمنی، سیگنال، حفاظت الکترومغناطیس) می‌بایست از اصل کلیدی یکپارچگی تبعیت کنند به این معنی که در نقطه‌ای به نام نقطه هم‌پتانسیل اصلی (MEBP)^۱ یا اتصال زمین اصلی (MET)^۲ به یکدیگر و به الکتروود زمین ساختمان متصل شوند. این نقطه، مرجع پتانسیل صفر کل شبکه است. تمامی مسیرهای زمین الکترونیکی در نهایت باید به این نقطه واحد ختم شوند تا از تشکیل حلقه‌های زمین بزرگ جلوگیری شود.

۴-۱ الزامات شبکه هم‌بندی داخلی (IBN)^۳

اصل هم‌پتانسیلی، اصل بنیادی در طراحی شبکه زمین می‌باشد که بر ملاحظات هم‌بندی استوار است. برای دستیابی به هم‌پتانسیلی مؤثر خصوصاً در فرکانس‌های بالا، بررسی مقاومت اهمی به تنهایی کافی نیست و امپدانس کل مسیر (شامل مقاومت R، اندوکتانس L و حتی ظرفیت خازنی C) باید حداقل باشد. شبکه هم‌بندی داخلی IBN می‌تواند به سه شکل اصلی پیاده‌سازی شود:

شبکه توزیع شده مش (Mesh-BN): شبکه‌ای متراکم از تسمه‌های مسی که تمامی اجزای فلزی (شیلد، رک، لوله، سینی کابل) و نقطه اتصال زمین تجهیزات را در یک ساختار شبکه‌ای به هم متصل می‌کند. این معماری برای سطوح حفاظتی متوسط به بالا (L^3 تا L^6) رایج است.

شبکه ستاره‌ای (Star-BN): در این روش، همه اتصالات زمین به یک نقطه مرکزی واحد (صفحه اتصال مرزی^۴ یا یک شینه مسی) ختم می‌شوند. این روش برای جلوگیری از تشکیل حلقه‌های زمین در مدارهای سیگنال حساس آنالوگ یا دیجیتال مفید است، اما در فرکانس‌های بالا به دلیل افزایش طول مسیرها می‌تواند امپدانس بالایی داشته باشد و برای کاربردهای اتاق شیلد در سطوح حفاظتی بالاتر از L^3 توصیه نمی‌شود.

شبکه ترکیبی: در محیط‌های حساس الکترومغناطیسی، استفاده از شبکه ترکیبی مش-ستاره توصیه می‌شود. در این روش یک یا چند شبکه مش گسترده برای سازه، شیلد و بدنه تجهیزات ایجاد می‌شود تا امپدانس پایین در

1 Main Equipotential Bonding Point

2 Main Earth Terminal

3 Internal Bonding Network

4 Bonding Facility Plate

فرکانس بالا تضمین شود. در عین حال، برای اتصال باس‌های سیگنال خاص (مانند زمین آنالوگ یک دستگاه اندازه‌گیری دقیق)، یک اتصال ستاره‌ای ایزوله شده به نقطه مرکزی شبکه مش برقرار می‌شود.

الزامات اجرایی شبکه هم‌بندی:

- اتصال تمامی لایه‌های شیلد دیوارها، کف و سقف به شبکه زمین برای تخلیه جریان‌های القاشده و حفظ یکنواختی پتانسیل ضروری است.
- لایه‌های شیلد در فواصل منظم (معمولاً هر ۱ تا ۲ متر) به شبکه هم‌بندی یا نقطه مرجع زمین متصل گردد.
- در محیط‌هایی با تهدیدات فرکانس بالا، استفاده از شبکه هم‌بندی توزیع شده مش (Mesh-BN) و یا شبکه ترکیبی توصیه می‌شود.
- طول مسیر اتصالات به زمین حداقل ممکن باشد.
- در اتصالات شبکه هم‌بندی استفاده از تسمه مسی با سطح مقطع پهن در اولویت باشد.
- جنس هادی‌ها باید از مس آنیل‌شده با خلوص بالا باشد. برای افزایش پایداری در برابر خوردگی و حفظ رسانایی سطحی در فرکانس‌های بالا، استفاده از هادی‌های قلع‌اندود یا نقره‌کاری‌شده توصیه می‌شود. در اتصالات بین فلزات غیرهمجنس (مانند مس و فولاد گالوانیزه) باید از صفحات بایمتال واسط یا ترکیبات ضدگالوانیک استفاده گردد.
- سطح مقطع هادی‌ها باید بر اساس حداکثر جریان گذرای مورد انتظار، شامل جریان صاعقه، خطای اتصال کوتاه و جریان‌های مد‌مشترک، انتخاب شود. حداقل سطح مقطع توصیه‌شده برای تسمه‌های اصلی هم‌بندی 50 mm^2 (به‌صورت تسمه مسی $5 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$) و برای اتصالات فرعی 25 mm^2 است.
- در صورت استفاده از SPD^۱ ها مسیر اتصال به زمین آنها باید کاملاً مستقیم، کوتاه و با کمترین اندوکتانس ممکن باشد و مستقیماً به الکتروود زمین اصلی یا شینه اصلی هم‌بندی ورودی (MEBP) متصل شود. این مسیر نباید با مسیر زمین تجهیزات حساس به اشتراک گذاشته شود تا از القای اختلاف پتانسیل لحظه‌ای بر روی زمین تجهیزات جلوگیری گردد.

۴-۲ الزامات چاه ارت

برای تأمین مسیر تخلیه پایدار در اتاق‌های شیلد، انتخاب نوع چاه ارت باید متناسب با مقاومت ویژه خاک، سطح حساسیت الکترومغناطیسی و الزامات کاربری انجام شود.

الزامات اجرایی چاه ارت:

- الکتروود و مش مجاز برای چاه ارت، میله مسی با قطر بیشتر از ۱۶ میلی‌متر، صفحه مسی با ضخامت بیشتر از ۳ میلی‌متر، کابل مسی با سطح مقطع بیشتر از ۷۰ میلی‌متر مربع می‌باشد.
- عمق دفن الکتروود کمتر از ۱/۵ متر انتخاب نشود؛ عمق ۲/۴ تا ۳ متر مقدار مطلوب است.
- در اقلیم سرد، نصب زیر خط یخبندان (حداقل ۱/۸ متر) انجام شود تا پایداری فصلی حفظ گردد.

- فاصله اجرای چاه از فونداسیون حداقل ۱/۵ تا ۲ متر انتخاب شود؛ بازه ۳ تا ۵ متر به عنوان فاصله بهینه و دارای عملکرد بهتر توصیه می شود.
 - برای اتاق شیلد، چاه ارت در نزدیک ترین موقعیت به نقطه ورود به فضای شیلد نصب شود؛ فاصله از نقطه ورود نباید بیشتر از ۱۰ متر شود.
 - جانمایی باید دور از لوله های گاز، کابل های فشارقوی و عناصر زیرسطحی آسیب پذیر انجام شود.
 - مکان های دارای رطوبت طبیعی بیشتر (حاشیه نیم سایه، زیر مسیر آب های سطحی) ترجیح داده می شود.
 - پیش از نصب الکترودها، مرطوب سازی موضعی خاک انجام شود و تمامی سطوح اتصال پس از تمیزکاری با پوشش مناسب ضد خوردگی محافظت گردد.
 - برای کاهش مقاومت چاه زمین، از مواد پایدار و استاندارد نظیر بنتونیت، زغال مناسب یا ژل های تخصصی استفاده شود. استفاده از مواد خورنده، نمک ها یا ترکیبات ناپایدار ممنوع است.
 - در شرایط حساس، استفاده از حداقل دو چاه ارت مستقل و همبند شده در نقطه اتصال زمین اصلی برای بهبود پایداری الکتریکی توصیه می شود.
 - در سامانه های حساس، تفکیک چاه ها بر اساس کاربری الزامی است تا سیگنال های گذرا و نویز بین دامنه های صاعقه، قدرت و سیگنال کوپل نشود.
 - چاه ارت صاعقه: مقاومت هدف کمتر از ۱۰ اهم، فاصله ۲ تا ۳ متر از ساختمان، اتصال مستقیم به صاعقه گیر.
 - چاه ارت قدرت: مقاومت کمتر از ۵ اهم، فاصله ۱ تا ۲ متر در امتداد مسیر تغذیه و تابلو اصلی.
 - چاه ارت سیگنال/شیلد: مقاومت ترجیحاً کمتر از ۳ اهم (برای سطوح حفاظتی بالاتر از L۳، کمتر از ۲ اهم)، فاصله ۱ تا ۲ متر، اتصال مستقیم به سازه شیلد.
 - فاصله بین چاه های مجزا کمتر از ۵ متر انتخاب نشود.
 - تمامی چاه ها در نهایت به شینه اصلی زمین متصل و هم پتانسیل شوند.
 - لازم است ساختار زمین به صورت سلسله مراتبی طراحی شود تا هدایت جریان ها کنترل و از ایجاد مسیرهای بازگشتی ناخواسته و حلقه های زمین جلوگیری شود.
 - شینه اصلی زمین (MET) به عنوان نقطه مرجع هم پتانسیل سازی تعیین گردد و تمامی چاه های ارت و مسیرهای اصلی زمین به آن متصل شوند.
 - در هر زون یا طبقه ساختمان، شینه منطقه ای (EB^۱) نصب گردد و تجهیزات و کلیه نقاط زمین محلی در آن طبقه، به EB متصل شوند.
- برای جلوگیری از نفوذ امواج الکترومغناطیسی از مسیر زمین به داخل ساختمان، اجرای شبکه های توری فلزی پیرامونی (Ground Grid یا Mesh) مطابق با شکل ۴-۱ در اطراف محیط بیرونی سازه توصیه می شود. این شبکه ها در محدوده پیرامونی ساختمان نصب شده و از طریق هادی های عمودی به دیوارهای خارجی ساختمان تا ارتفاع حداقل یک متر متصل می گردند. اتصال این شبکه به عناصر رسانای سازه شامل فونداسیون فلزی، اسکلت فلزی ساختمان و در صورت امکان آرماتور پیشنهاد می شود. شعاع پوشش مؤثر این شبکه باید حداقل سه متر از محیط بیرونی ساختمان در نظر گرفته شود.

^۱ Earth Bar



شکل ۴-۱: نصب توری فلزی بر روی زمین در اطراف ساختمان

۳-۴ آزمون‌های کمی و کیفی سیستم زمین

پس از اتمام عملیات احداث چاه ارت و شبکه هم‌بندی داخلی، انجام مجموعه‌ای از آزمون‌های کمی و کیفی برای تأیید مطابقت عملکرد سیستم زمین الزامی است. این آزمون‌ها باید طبق استانداردهای معتبر IEC، IEEE انجام شوند و شامل موارد زیر می‌باشند:

- اندازه‌گیری مقاومت زمین به روش افت پتانسیل سه‌قطبی طبق استاندارد IEEE Std 81
- آزمون پیوستگی الکتریکی، جهت اندازه‌گیری مقاومت بین MET/MEBP و دورترین نقاط سیستم
- اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل، جهت اطمینان از هم‌پتانسیلی مؤثر بین نقاط کلیدی و عملکرد صحیح سیستم هم‌بندی
- اندازه‌گیری پیوستگی و مقاومت اتصال، جهت ارزیابی کیفیت مکانیکی و الکتریکی تمامی اتصالات شبکه هم‌بندی

فصل پنجم:

ارزیابی افت سطح سیگنال، سطح شیلدینگ و برنامه پایش دوره ای

۵-۱ ارزیابی افت سطح سیگنال

قبل از شروع اجرای عملیات شیلدینگ الکترومغناطیسی در یک مرکز، لازم است میزان تضعیف طبیعی سیگنال بین محیط بیرونی (نزدیک ترین نقطه تهدید) و نقاط داخلی مرکز، توسط تیم ارزیاب معتبر دارای گواهینامه صلاحیت از سازمان پدافند غیرعامل کشور، اندازه گیری شود. این ارزیابی که با عنوان اندازه گیری افت سیگنال^۱ شناخته می شود، معیاری از وضعیت پایه مرکز و مسیرهای بالقوه نفوذ تشعشعی است. لازم به ذکر است در مرحله ارزیابی افت سیگنال، مرکز فاقد هرگونه پوشش شیلد اختصاصی بوده و میزان افت ثبت شده صرفاً ناشی از مصالح ساختمانی، موقعیت قرارگیری مرکز در طبقات زیرزمین و مدفون، هندسه فضا، فاصله و مسیر انتشار امواج است.

۵-۲ ارزیابی سطح شیلدینگ (SE)

بعد از اتمام اجرای عملیات شیلدینگ الکترومغناطیسی در یک مرکز، لازم است سطح شیلدینگ مرکز (SE) مطابق استاندارد IEEE299 و توسط تیم ارزیاب معتبر دارای گواهینامه صلاحیت از سازمان پدافند غیرعامل کشور، مورد ارزیابی قرار گیرد.

الزامات ارزیابی سطح شیلدینگ:

- استاندارد IEEE Std 299 به عنوان مرجع اصلی ارزیابی سطح شیلدینگ (SE) و ارزیابی افت سطح سیگنال در نظر گرفته می شود.
- نقاط آزمون باید به گونه ای انتخاب شوند که نواحی مستعد نفوذ میدان های الکترومغناطیسی (شامل درب ها، مسیرهای عبور کابل، فیلترهای تهویه و هانی کامب) مورد سنجش قرار گیرند.
- شرایط مرکز در زمان آزمون باید مشابه با وضعیت بهره برداری واقعی باشد. (درب ها باید کاملاً بسته باشند، هانی کامب ها باید در وضعیت عملیاتی قرار داشته باشند، کابل ها و مسیرهای ورودی/خروجی باید مطابق شرایط واقعی بهره برداری نصب شده باشند، اتصال زمین و همبندی سازه باید برقرار باشد).
- پیش از شروع اندازه گیری ها، باید بازرسی چشمی کامل توسط ارزیاب انجام شود. علاوه بر این، وجود منابع نویز الکترومغناطیسی در محیط اطراف محل آزمون توسط ارزیاب مورد بررسی قرار گیرد.
- پس از انجام آزمون، حداقل سطح شیلدینگ در تمامی نقاط آزمون تعیین شود. حداقل مقدار SE در میان تمامی نقاط و تمامی فرکانس ها و تمامی قطبش ها به عنوان سطح شیلدینگ یک مرکز در نظر گرفته می شود. به عبارت دیگر، کارایی واقعی شیلدینگ یک مرکز توسط ضعیف ترین نقطه تعیین می شود.
- تجمیع یا میانگین گیری از داده ها و یا بررسی فراوانی داده های اندازه گیری، مجاز نیست و معیار قابل قبول جهت ارزیابی سطح شیلدینگ محسوب نمی شود.

۵-۳ برنامه پایش و نگهداری مرکز شیلد شده

پایش پیوستگی الکتریکی، کنترل آسیب‌های مکانیکی، مدیریت عوامل محیطی و کنترل تغییرات در طول دوره بهره برداری، دارای اهمیت فراوان است. هرگونه تعمیر یا تغییر باید پیش از بهره برداری مجدد، ارزیابی شود. تمامی بازرسی‌ها، تعمیرات و تغییرات باید ثبت شوند. جداول زیر برنامه پایش سطح شیلدینگ و سیستم زمین و هم‌بندی را بیان می‌کنند. تمامی پایش‌های دوره‌ای باید توسط تیم ارزیاب معتبر دارای گواهینامه صلاحیت از سازمان پدافند غیرعامل کشور انجام گیرد.

جدول ۵-۱: برنامه دوره‌ای پایش سطح شیلد پس از اتمام فرآیند نصب (در طول دوره بهره برداری)

سطح حفاظتی	سطح زیرساخت	بازرسی ظاهری دوره‌ای*	ارزیابی دوره‌ای سطح شیلدینگ (SE)	ارزیابی مجدد پس از هر تغییر و یا اصلاح	ثبت و مستندسازی
L۱	قابل حفاظت	۱۲ ماه	در صورت نیاز	در صورت نیاز	توصیه می‌شود
L۲		۱۲ ماه	در صورت نیاز	در صورت نیاز	توصیه می‌شود
L۳	مهم	۶ ماه	۲۴ ماه	الزامی	الزامی
L۴	حساس	۶ ماه	۲۴ ماه	الزامی	الزامی
L۵	حیاتی	۳ ماه	۱۲ ماه	الزامی	الزامی
L۶		۳ ماه	۱۲ ماه	الزامی	الزامی

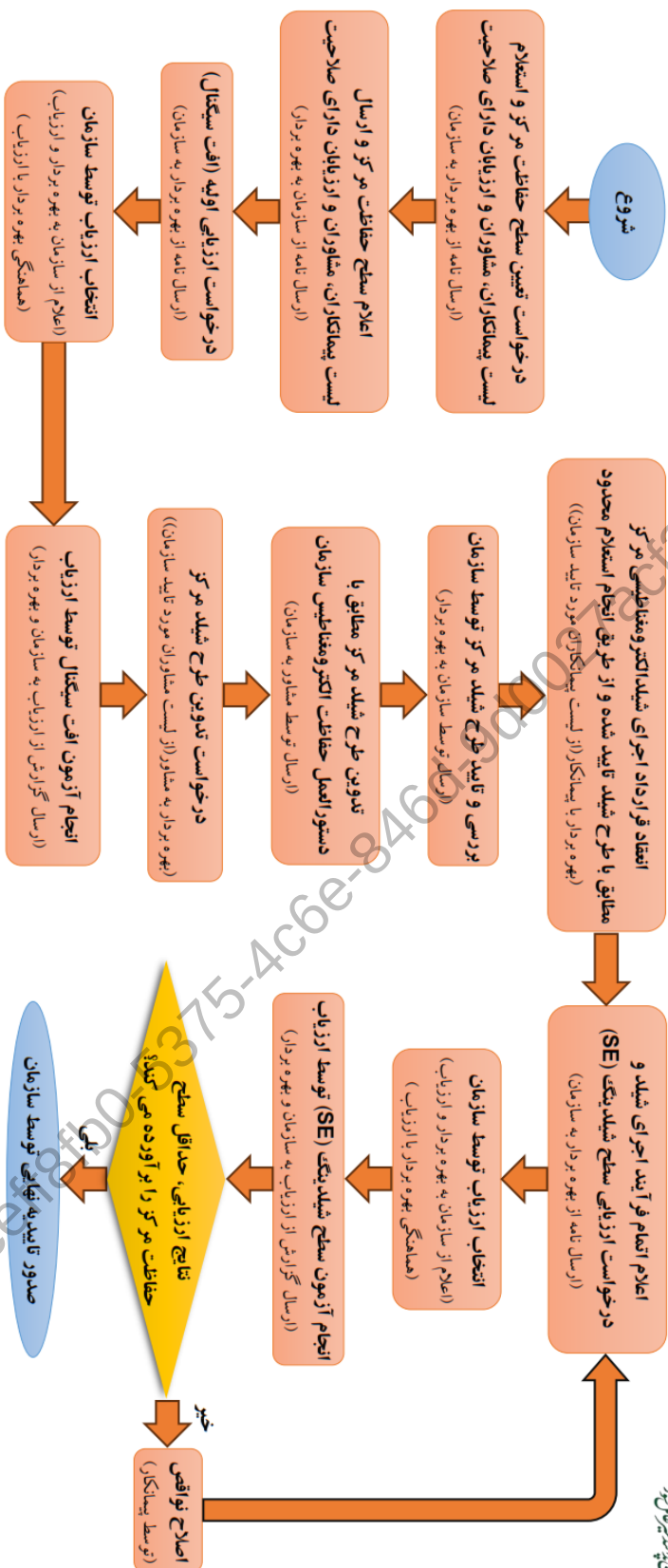
* بازرسی ظاهری شامل: بررسی گسکت‌های درهای شیلد، رگلاژ درها، کنترل تغییر شکل، ضربه یا فرورفتگی در پوسته شیلد، بررسی اتصالات مکانیکی در معرض لرزش و بررسی نقاط سوراخ‌کاری یا اتصال جدید به پوسته شیلد می‌باشد.

جدول ۵-۲: برنامه پایش سیستم زمین (ارتینگ) و هم‌بندی

فعالیت پایش	سطوح L۱ و L۲	سطوح L۳ و L۴	سطوح L۵ و L۶
بازرسی بصری (شل‌شدگی، خوردگی، آسیب فیزیکی، از بین رفتن پوشش)	سالی یک‌بار	هر ۶ ماه	هر ۳ ماه
اندازه‌گیری مقاومت اتصالات بحرانی (با میلی‌اهم‌متر)	سالی یک‌بار	سالی یک‌بار	هر ۶ ماه
اندازه‌گیری مقاومت کل چاه ارت/الکتروود	هر ۲ سال	سالی یک‌بار (پس از فصل خشک)	سالی یک‌بار (پس از فصل خشک)
اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل بین نقاط کلیدی در حین کار عادی	—	سالی یک‌بار	هر ۶ ماه
بررسی کامل و بازآزمون جامع (شامل تمامی آزمون‌های پذیرش اولیه)	پس از هر تغییر عمده یا حداکثر هر ۵ سال	پس از هر تغییر عمده یا حداکثر هر ۳ سال	پس از هر تغییر عمده یا حداکثر هر ۲ سال

پیوست: گردش کار در فرآیند اجرا و ارزیابی حفاظت الکترومغناطیس

گردش کار در فرآیند اجرا و ارزیابی حفاظت الکترومغناطیس انتشاری (شیلد) یک مرکز



- در مراکز فعال / کوم که انجام فرآیند نصب لایه های شیلد از نوع ورق فلزی ممکن نیست، استفاده از پارچه شیلد در سایر موارد مطلقاً ممنوع می باشد.
- در انتخاب تیربال شیلد، نحوه اجرا و سایر موارد (نمیدینگ، فیلترینگ و ارتینگ)، توجه به ملاحظات بیان شده در دستورالعمل حفاظت الکترومغناطیس سازمان الزامی است.
- کلیه فیلترهای EMI/EMP، لازم است قبل از نصب در مرکز مطابق با آزمون های بیان شده در دستورالعمل حفاظت الکترومغناطیس و توسط آزمایشگاه حفاظت الکترومغناطیس جریانی مورد تأیید سازمان، ارزیابی شده و دارای تأییدیه آزمایشگاه باشند.

سازمان: سازمان پدافند غیرعامل کشور (فرارگاه پدافند الکترونیک)
 مرکز: مکان ادیناستر / اتاق کنترل و مانیتورینگ، اتاق مدیریت بحران و ... که ملزم به اجرای حفاظت الکترومغناطیس می باشد.
 بهره بردار: سازمان یا نهادی که پس از اتمام فرآیند اجرا و تأیید حفاظت الکترومغناطیس، بهره بردار بهای مرکز خواهد بود.
 پیمانکار: شرکت مورد تأیید سازمان پدافند غیرعامل کشور که فرآیند نصب و اجرای شیلد الکترومغناطیس را در مرکز انجام می دهد.
 ارزیاب: فرد حقیقی / حقوقی و یا آزمایشگاه مورد تأیید سازمان پدافند غیرعامل کشور که ارزیابی سطح شیلدینگ و افت سیگنال مرکز را انجام می دهد.
 مشاور (اختیاری): فرد حقیقی / حقوقی و یا شرکت مورد تأیید سازمان پدافند غیرعامل کشور که نقشه راه و طرح اجرای شیلد مرکز را تدوین می کند.
 طرح شیلد مرکز: طرح اجرای شیلدینگ، فیلترینگ و ارتینگ مرکز که شامل مواردی همچون جامه های و مسیر لایه شیلد در بخش های مختلف مرکز، تعداد و جنس لایه های شیلد، تعداد درها و محل راهروهای تله نوب و محل نصب فیلترها و غیره می باشد.