

مباحث پدافند غیرعامل (۷)

تهدید با فناوری نوین

(سلاح های ناتوان ساز)



تدوین و گردآوری: حمید اسکندری

(کارشناس ارشد سیستم ها و پدافند غیرعامل)

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مباحث پدافند غیرعامل (۷)

**تهدید با فناوری نوین
(سلاح های ناتوان ساز)**

کردآوری و تدوین:

حمید اسکندری

سرشناسه : اسکندری، حمید، ۱۳۳۸ -
عنوان و نام پدیدآور :
مشخصات نشر : تهران: بوستان حمید، ۱۳۹۰.
مشخصات ظاهری :
فروست :



انتشارات

عنوان : مباحث پدافند غیرعامل (۷) - تهدید با فناوری نوین (سلاح های ناتوان ساز)
گردآوری و تدوین : حمید اسکندری
ویراستار علمی:
ناشر : بوستان حمید
نوبت چاپ: چاپ اول (تابستان ۱۳۹۰)
شمارگان: ۲۵۰۰
قیمت: ۲۰۰۰ تومان

• کلیه حقوق اعم از چاپ و تکثیر، نسخه برداری برای ناشر محفوظ است.

(نقل مطالب با ذکر مأخذ بلامانع است).

صندوق پستی ۳۳۱-۱۷۷۷۵

تلفن ناشر: ۳۳۷۰۰۹۲۷

پیش گفتار

« امروز اهمیت پدافند غیر عامل باید برای مسئولان شناخته شده باشد،

اهتمام شما کار را پیش می برد. (۸۵/۱۲/۶) ».

« مقام معظم رهبری »

دشمنان کشور عزیزمان همواره با استفاده از شیوه‌ها و ابزار های جنگ نرم در صدد ضربه زدن یا تضعیف ارکان نظام جمهوری اسلامی ایران می‌باشند. یکی از بهترین و ارزان‌ترین روش‌های مقابله، دفاع یا پدافند غیر عامل است که با به کارگیری اصول و ملاحظات آن می‌توان به حفاظت زیر ساخت‌ها و کاهش آسیب‌پذیری، مدیریت صحنه بحران و افزایش پایداری کشور در مقابل انواع تهدیدات، مبادرت ورزید.

اندیشه تهیه و تدوین سری کتب در زمینه دفاع غیرعامل یکی از گام‌های مهم، اصولی و زیربنایی در نیل به اهداف راهبردی دفاع غیرعامل می‌باشد.

(پنج)

سعی شده است در طرح سری جدید کتب با عنوان « مباحث پدافند غیرعامل » علاوه بر به بروز شدن و کامل شدن محتوای قبلی ، موضوعات جدیدی نیز تهیه و تدوین شده و مهم تر اینکه موضوعات در مجلد های مستقل چاپ و در اختیار مدیران ، کارشناسان و سایر عزیزان قرار گرفته تا مخاطبین بر اساس نیاز ، سری چند جلدی کتب را انتخاب و تهیه نمایند.

براین اساس تدوین کتاب ها در حجم و قطع کوچکتر به عنوان کتب مرجع آموزش عمومی پدافند غیرعامل ، آموزش و آگاه سازی مدیران ، کارشناسان دستگاه های اجرایی کشور و دانشجویان را تسهیل می نماید.

این مجموعه شامل برداشت مطالب از دیدگاه های کارشناسان و مؤلفین محترم در این حوزه بوده که در انتهای کتاب در کتابنامه لیست شده اند.

امیدواریم مورد استفاده علاقه مندان و مخاطبین عزیز قرارگیرد. انشالله

فهرست مطالب

۱ - کلیات	۱۱
۲ - بمب‌های الکترومغناطیسی EMP	۱۵
۳ - سلاح های صوتی	۳۶
۴ - سلاح های ناتوان ساز با انرژی جنبشی	۴۱
۵ - سلاح های ناتوان ساز لیزری	۴۳
۶ - عوامل شیمیایی	۴۴
۷ - بمب گرافیتی	۴۹
- کتابنامه	۶۴

مقدمه

امروزه سلاح های ناتوان ساز به عنوان یکی از فناوری های نوظهور در عرصه نظامی و انتظامی اهمیت بسیار زیادی پیدا نموده و نمونه های عملیاتی این نوع سلاح ها در برخی کشور های جهان شامل آمریکا، روسیه، کانادا، انگلیس، استرالیا و چین وارد عملیات گوناگون نظامی، اجرای قانون (پلیس و امنیتی) گردیده است.

از زمان پایان جنگ سرد، محیط های عملیاتی رو به تغییر، سلاح های ناتوان ساز را به صورت نیازمندی نظامی جدید و جدی درآورده است، علوم و فناوری مرتبط با سلاح های ناتوان ساز به سرعت در حال تکامل می باشند. جنگ خلیج فارس در اوایل دهه ۹۰ میلادی و مسائلی که در طی این جنگ رخ داد، بسیاری از کارشناسان صنعت دفاعی آمریکا را وادار ساخت تا در زمینه جنگ افزارها، تحولی اساسی ایجاد نمایند و ظرفیت های تازه ای برای مقابله با تهدیدات به وجود آورند. از این رو بار دیگر موضوع این سلاحها در آمریکا و دیگر کشورهای غربی مورد توجه جدی قرار گرفت.

(نه)

معرفی برنامه‌های تحقیقاتی جدید در حوزه این سلاح‌ها مانند سلاح لیزری تاکتیکی با انرژی بالا (THEL)^۱ (با همکاری مشترک آمریکا و رژیم صهیونیستی برای دفاع در برابر حملات موشکی حزب‌الله)، سلاح لیزری هوابد و سایر سلاح‌های ساخته شده، نشان از تثبیت نقش این سلاح‌ها به عنوان ابزارهای توانمند برای استفاده در جنگ‌های آینده دارد. علاوه بر این، استفاده از بمب‌های الکترومغناطیسی^۲ از سوی آمریکا در جنگ‌های اخیر نشان دیگری از کاربردی شدن برخی از این سلاح‌هاست. در مجموع، آنچه اکنون در کشورهای مختلف در جریان است، نشان از حرکتی گسترده جهت دستیابی به فناوری‌های مرتبط با سلاح‌های غیرکشنده دارد.

با تشکر

حمید اسکندری

(ده)

^۱ - THEL: Tactical High Energy Laser

^۲ - Electromagnetic Bomb

۱- کلیات

۱-۱- پیشینه تاریخی

در سال ۱۹۵۸ نیروی دریایی آمریکا دو انفجار بمب هیدروژنی در اقیانوس آرام در فاصله ۱۶۰ کیلومتری از سطح زمین بالای جزیره جانستون^۱ انجام داد. هدف این پروژه بررسی تأثیرات انفجار هسته‌ای در ارتفاعات بالایی جو روی ارتباطات رادیویی و عملکرد رادارها به خاطر پالس الکترومغناطیسی ناشی از بمب بود. در ۹ جولای ۱۹۶۲، آمریکا آزمایشات بیشتری را روی یونوسفر آغاز و یک بمب اتمی ۱/۴ مگاتنی در ارتفاع ۴۰۰ کیلومتری بالای جزیره جانستون در اقیانوس آرام منفجر کرد. یک دریانورد که این انفجار هسته‌ای را از نزدیک مشاهده کرده چنین اظهار کرده که «تمام آسمان یکپارچه آتش بود و چنین تصور می‌شد که آخر زمان است.» این آزمایش یک جریان پالسی شدید در رشته سیم‌های هوایی، درهاوایی^۲ (در فاصله ۱۳۰۰ کیلومتری از انفجار) القاء کرد و حدود ۳۰۰ لامپ را خاموش کرد. این آزمایش بسیاری از دزدگیرهای خانگی را به صدا در آورد و تعداد زیادی رادیو و تلویزیون را از کار انداخت.

وابستگی بسیار زیاد به تجهیزات الکترونیکی در عرصه‌های نظامی اگرچه اجتناب‌ناپذیر می‌نماید، ولی در شرایط یک رویارویی نظامی ممکن است به یک نقطه ضعف بزرگ و اساسی تبدیل شود. با تولید پالس‌های

^۲ Johnston

^۱ Hawaii

الکترومغناطیسی با عرض کوتاه (انرژی کم) و توان گذرای بسیار زیاد و ارسال این پالس ها به سمت تجهیزات الکترونیکی و مخابراتی، خطر تخریب این تجهیزات به صورت موقت و یا دائمی ممکن شده است. البته وقوع این خطر در شرایطی ممکن است که تجهیزات خودی در مقابل این میدان های گذرای پر قدرت محافظت نشده باشند، ولی چنانچه اصول صحیح مراقبت در برابر حملات EMP در تجهیزات رعایت شده باشد، این خطر تا حد زیادی برطرف می شود. بمب های الکترومغناطیسی با انفجار خود، موج الکترومغناطیسی پالسی بسیار بزرگی را در محیط منتشر می کنند که این پالس ها با نفوذ به سیستم های الکترونیکی قادر به تخریب عملکرد آنها می باشند.

در جنگ اول خلیج فارس، ارتش آمریکا از مهمات فیبرکاربونی^۱ توسط موشک های کروز خود برای از کار انداختن نیروگاه های برق و مراکز ارتباطی عراق استفاده نمود. اگرچه کاربرد این سلاح ها توانست نیروگاه های برق و مراکز ارتباطی عراق را از کار بیاندازد ولی تداوم طولانی مدت این خرابی ها، پیامدهای ناگواری را برای بیمارستان ها، مراکز تصفیه آب و فاضلاب گذاشت که سامانه ها و تجهیزات آنها در نتیجه تاثیرات این سلاح ها، از کار افتاده بودند. بعداً نیروگاه های برق به دلیل ابهام در ارزیابی میزان خسارات وارده به آنها در اثر استفاده از سلاح های غیرمرگبار، توسط سلاح های متعارف، منهدم گردید. این موارد، ضرورت ارزیابی دقیق اثرات تخریبی سلاح های ناتوان ساز جهت جلوگیری از پیامدهای ناخواسته آنها را، نشان می دهد. (اسفندیاری : ۴)

ارتش رژیم صهیونیستی نیز در جنگ و درگیری های خود با رزمندگان فلسطینی، از سلاح های ناتوان ساز استفاده نمود. شاید ارتش این رژیم توانسته باشد به اهداف و اثرات موقت تاکتیکی خود دست یافته باشد، ولی هیچ

۱- carbon fiber munitions

مدرکی که نشان دهد با استفاده از سلاح های ناتوان ساز، به اثرات مثبت روانی خود رسیده باشد، وجود ندارد که شاهد آن ادامه بدون نتیجه این درگیری ها تا زمان حاضر است.

۲-۱- تعریف

در مورد سلاح های ناتوان ساز، تعاریف گوناگون توسط کشورهای مختلف ارائه گردیده که معتبرترین آنها تعریفی است که در فرهنگ واژگان و اصطلاحات نظامی وزارت دفاع آمریکا آمده است:

«سلاح هایی با طراحی خاص جهت ناتوان سازی نفرات و تجهیزات که هدف نهایی آنها کاهش تلفات جانی و صدمات دائمی به نفرات و کاهش خسارت ناخواسته به تأسیسات و محیط زیست است» (وزارت دفاع آمریکا، ۲۰۰۷ : ۳۰۲).

معمولاً^۱ به سلاح هایی که توسط ارتش یک کشور بر علیه تجهیزات، تسلیحات، تأسیسات و سامانه های دشمن به کار می رود، سلاح های ناتوان ساز^۲ گفته می شود. در مقابل به سلاح هایی که توسط نیروهای مجری قانون^۳ (پلیس و نیرو های امنیتی) در مهار جمعیت تظاهرکننده، ضد شورش و صلح بانی^۴ به کار می رود، سلاح های کم مرگبار^۵ گفته می شود. (جی بانکر، ۲۰۰۵ : viii).

برخلاف سلاح های کشنده که هدف های خود را از طریق انفجار، نفوذ و ترکش از بین می برند، سلاح های ناتوان ساز، از روشی به غیر از انهدام فیزیکی صرف استفاده می کنند. یکی از ویژگی های سلاح های ناتوان ساز

۱- nonlethal weapons

۲- law enforcement forces

۳- peace keeping

۴- less-than-lethal weapons

این است که اثر آنها بر هدف های مورد تهاجم، برگشت پذیر است. به عبارت ساده تر، هدف هایی که مورد تهاجم این نوع سلاح ها قرار می گیرند، به طور کامل از بین نرفته بلکه کارایی عملیاتی آنها مختل می شود که با تعویض برخی قطعات و لوازم صدمه دیده، قابل برگشت به وضعیت عملیاتی اولیه است. در مورد افرادی که تحت تابش این نوع سلاح ها قرار می گیرند نیز (به عنوان مثال سلاح شوک دهنده) پس از گذشت چند ساعت به حالت اولیه بر می گردند.

۳-۱- اهداف سلاح های ناتوان ساز

- انجام مأموریت های نظامی در شرایط و وضعیت هایی که در آنها کاربرد نیروی مرگبار، اگرچه منع نگردیده، ولی ضروری یا مورد نظر نمی باشد.
- ناتوان سازی یا کاهش کارایی جدی تجهیزات و تاسیسات
- جلوگیری و ایجاد تاخیر در اقدامات خصمانه یا نشان دادن واکنش به آنها
- محدود سازی یا مهار تشدید خصومت و درگیری
- دفع، متفرق سازی یا ناتوان سازی نفرات
- کمک به کاهش هزینه های بازسازی پس از درگیری

۴-۱- تقسیم بندی فناوری سلاح های ناتوان ساز

تقسیم بندی فناوری سلاح های ناتوان ساز بسیار گوناگون و گسترده است. این تقسیم بندی شامل بمب های الکترومغناطیسی، سلاح های الکتریکی (بسامد رادیویی، مادون قرمز، نورمرئی و فرابنفش)، سلاح یا عوامل شیمیایی، سلاح های با انرژی مکانیکی و جنبشی، سلاح های صوتی و بمب گرافیتی

می گردد.

۲- بمب های الکترومغناطیسی EMP^۱ و روش های مقابله

۲-۱- معرفی انواع آن

EMP یک پالس الکترومغناطیسی بسیار باریک با دامنه بسیار بزرگ است و در حوزه فرکانس محدوده زیادی را پوشش می دهد. یک بمب الکترومغناطیسی به خاطر پهنای باند فرکانسی زیاد و انرژی فراوان، قادر است تجهیزات الکترونیکی و مخابراتی زیادی را از کار انداخته و یا بسوزاند. همان طور که ذکر شد یکی از روش های تولید پالس الکترومغناطیسی انفجار هسته ای است. روش هایی غیر از انفجار هسته ای نیز وجود دارد. با توجه به این که این روش ها چون تکنولوژی خیلی بالایی ندارند و اکثر کشورها و حتی گروه های تروریست نیز با مبالغ کمی قادر به تولید و یا خرید آن هستند، برای دولت مردان نگرانی های بسیاری ایجاد کرده است. به عبارت دیگر با مبالغی در حد ۵۰۰ دلار می توان یک بمب الکترومغناطیسی تولید کرد که بتواند به تجهیزات الکترونیکی و مخابراتی صدمات جدی وارد کند. این امر همه گیر شدن این سلاح را نشان می دهد و دفاع در مقابل آن را امری اجتناب ناپذیر می نمایاند.

این پالس ها ممکن است توسط انفجارهای هسته ای در ارتفاعات مختلف نیز بوجود آیند. اما نوع پالس ها و محدوده عمل آنها در حوزه زمان و فرکانس متفاوت از بمب های الکترومغناطیسی می باشد. بمب های الکترومغناطیسی ممکن است پالس های باند پهن و یا باند باریک تولید کنند که البته تولید پالس های باند باریک هدفمند، فناوری پیشرفته تری را طلب می کند.

۱- Electro Magnetic Pulls

لغت EMP بطور معمول برای پالس های تولید شده توسط بمب های هسته ای به کار می رود. سلاح های بسامد رادیویی^۱ شامل سلاح پالس الکترومغناطیسی - غیرهسته ای و سلاح مایکروویوی پر قدرت (HPM)^۲ می گردد که پخش طول موج بلند (بسامد پایین) طیف الکترومغناطیسی، از ویژگی های انرژی آنها می باشد.

پالس های تولید شده توسط ادوات پر قدرت مایکروویو بیشتر با نام، HPM^۳ پالس های تولید شده توسط ادوات با پهنای باند بسیار زیاد^۴ (UWB) و پالس های تولید شده توسط ذرات پر انرژی بیشتر با نام HEP-EMP^۵ شناخته می شوند.

• سلاح های مایکروویوی پر قدرت (HPMW)^۶

این سلاح ها، از نوع سلاح های انرژی هدایت شده هستند و هدف اصلی آنها، تهاجم بر هدف از طریق تابش امواج الکترومغناطیسی پر قدرت در یک منطقه (شعاع تاثیر) خاص می باشند. این سلاح ها از بخش مایکروویو طیف الکترومغناطیسی با گستره بسامدی بین ۳۰۰ مگاهرتز تا ۳۰۰ گیگاهرتز و طول موج ۱ متر تا ۱ میلی متر استفاده می نمایند. اصطلاح «پر قدرت» به این معنی است که منبع مایکروویوی مورد نظر قادر است توان حداکثری را برابر با بیش از ۱۰۰ مگاوات یا توان متوسط بیش از ۵۰ کیلووات را تولید نماید. تاثیر مورد انتظار این نوع سلاح ها بر اهداف مورد نظر، شامل انهدام عملکردی یا از کاراندازی عملکرد هدف های مورد تهاجم می باشد.

۱- radio frequency weapons

۲- HPM : high-power microwave

۳- High Power Microwave

۴- Ultra Wide Band

۵- High Energy Particle-Emp

۶- HPMW : high-power microwave weapons

• پالس الکترومغناطیسی هسته‌ای

پالس الکترومغناطیسی هسته‌ای از لحاظ ارتفاع انفجار و زمان اثرگذاری به انواع مختلف تقسیم می‌شود که مهم‌ترین نوع آن از لحاظ قدرت تخریب دستگاه‌های الکترونیکی و وسعت محدوده تأثیرگذاری، «پالس الکترومغناطیسی حاصل از انفجار هسته‌ای در دامنه بالا» (HEMP) می‌باشد. انواع دیگر EMP حاصل از انفجار هسته‌ای عبارتند از: «پالس الکترومغناطیسی حاصل از انفجار در سطح زمین» و «پالس الکترومغناطیسی حاصل از انفجار در هوا»

۲-۲- روش‌های تولید EMP (غیر هسته‌ای)

گذشته از تولید پالس‌های الکترومغناطیسی طی انفجارهای هسته‌ای، روش‌های دیگری نیز برای تولید پالس‌های الکترومغناطیسی وجود دارد، که می‌توان آن‌ها را هدفمندتر در محدوده‌ای اندک و فرکانس‌هایی خاص به کار برد. فناوری اساسی که تولید پالس‌های الکترومغناطیسی در سلاح‌ها توسط آن‌ها صورت می‌گیرد، غالباً عبارتند از: مولد‌های فشرده سازی شار^۱ (FCG)، ژنراتورهای Magnet-Hydrodynamic و دسته‌ای از وسایل پرقدرت مایکروویو (HPM) که در رأس آن‌ها نوسان ساز با کاتد مجازی یا ویرکتور^۲ قرار دارد، البته روش‌های نوین تولید پالس‌های الکترومغناطیسی قدرتمند و نیز پالس‌های الکترومغناطیسی تولید شده در سیستم، استفاده از شتاب دهنده‌های ذرات باردار پراورژی می‌باشد، که می‌تواند حتی به سیستم‌های پوشش دار و حفاظت شده عادی نیز نفوذ کرده و تخریب لازم روی سیستم

۱-Flux Compression Generator

۲- Vircator

های الکتریکی و الکترونیکی را بر جای گذارد.

• بمب های الکترومغناطیسی فرکانس پایین

رایج ترین روش برای تولید بمب های الکترومغناطیسی استفاده از ژنراتورهای فشرده سازی شار (FCG) می باشد. این سلاح در واقع سیستمی برای تبدیل انرژی شیمیایی به انرژی الکترومغناطیسی را در خود دارد. روش های مختلفی برای این کار از جمله استفاده از مواد پیزو الکتریک یا فرو الکتریک وجود دارد، اما این سلاح از قانون القای فارادی برای این منظور استفاده می کند. FCG وسیله ای است که قادر به تولید انرژی الکتریکی در حد ده ها مگا ژول در زمانی حدود چند ده تا چند صد میکرو ثانیه می باشد که می تواند توان بیشینه ای در محدوده چند تراوات^۱ تا ده ها تراوات داشته باشد. FCG ممکن است، به طور مستقیم استفاده شود و یا به عنوان یک پالس پر قدرت برای تغذیه یک تقویت کننده لامپ مایکروویو به کار رود. جریان هایی که توسط یک FCG ممکن است تولید شود می تواند تا هزاران برابر اثرات انرژی صاعقه های عادی باشد.

• تولید EMP توسط سلاح های انرژی مستقیم^۲

علاوه بر بمب های الکترومغناطیسی ساخته شده با تکنیک های فوق، سلاح های دیگری نیز قادر به تولید EMP های مخرب می باشند. سلاح هایی که در واقع نسل جدید، سلاح های تولید EMP می باشند. چنان چه در قسمتهای قبل گفتیم، یکی از مخرب ترین اثرات انفجار هسته ای، تابش مستقیم پرتوهای گاما و اشعه X حاصل از انفجار هسته ای سیستم ها می باشد که سبب تولید EMP در داخل هر سیستم می شود و تخریب سیستم را در

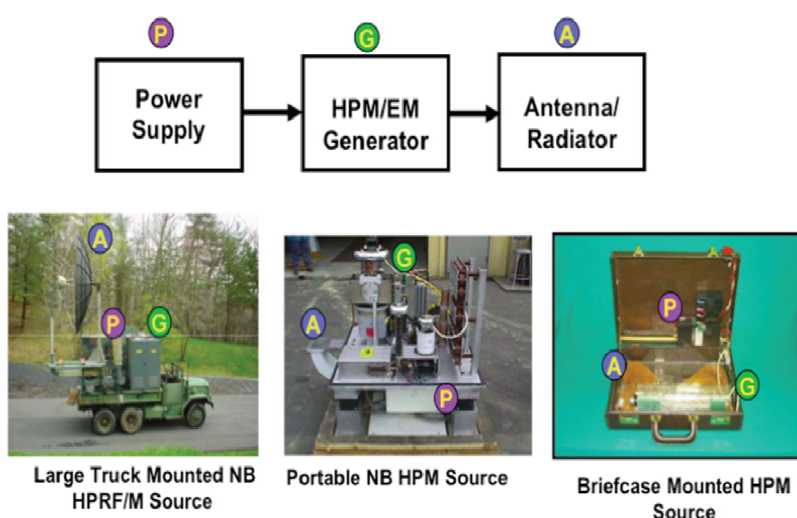
۱- Teravatt

۲-Directed Energy Weapons

صورت عدم حفاظت در برابر این حملات به همراه دارد. اما چون این پرتوها در اتمسفر تضعیف می شوند، بنابراین سیستم های سطح زمین از خطر پرتوهای گاما و X حاصل از یک HEMP در امان هستند.

هم اکنون سلاح هایی ساخته شده اند که پرتوهای مخرب را به طور مستقیم به هدف می تابانند. بمب های الکترومغناطیسی تولید شده توسط این سلاح ها در چند دسته متفاوت قرار می گیرند. مثلاً بمب های الکترومغناطیسی تولید شده توسط الکترون های سیال پرنرژی یا تولید شده توسط بتاترون ها، با نام EMP ذرات پرنرژی HPM-EMP شناخته می شود. عملکرد این ابزارها در واقع بالا بردن سرعت الکترون ها تا حدود سرعت نور، در حضور میدان های مغناطیسی می باشد. این نوع از بمب های الکترومغناطیسی از لحاظ پهنای باند، در واقع هیچ محدودیتی ندارد و بسته به شرایط هدف، می تواند بمب های الکترومغناطیسی گوناگونی را در آن تولید کند. به علاوه سلاح های لیزری پر قدرت نیز با تاباندن لیزر به هدف سبب تولید EMP داخلی در سیستم هدف می شوند. این EMP در واقع در دسته SGEMP قرار می گیرند که این بار توسط تابش پرتوهای لیزری و یا اشعه X به سیستم هدف تولید شده است که پرتوهای پر قدرت آن ها روی بدنه ها و سیستم های فلزی، جریان تولید می کند که سبب ایجاد میدان های الکترومغناطیسی گذرا و با دامنه نه چندان بزرگ می شود، ولی چون این جریان ها فاصله بسیار کمی با هدف دارند، توانایی زیادی خواهند داشت. این دسته از بمب های الکترومغناطیسی بسیار نافذ بوده و برای مقابله با آن ها باید تدابیر ویژه ای را اندیشید. ولی از طرفی برد این سلاح ها نیز بسیار کم می باشد، چراکه این ذرات در اتمسفر زمین به شدت تلف می شوند. فرکانس عملکرد این نوع سلاح ها بین یک مگا هرتز تا پانزده گیگا هرتز و مدت زمان عملکردشان چند بیلونیوم ثانیه می باشد. قدرت تخریبی آن ها متفاوت بوده و

قادرند تا اهدافی مانند یک منطقه محدود جغرافیایی و یا یک وسیله خاص مانند یک هواپیما یا خودرو با از بین بردن سیستم های الکترونیکی مانند مدارات مجتمع، سوییچ های رله که در کنترل و فرماندهی سیستم های نظامی به کار می روند، از کار بیاندازند.



شکل ۱- نمونه هایی از تسلیحات

۳-۲- اثرات EMP

اثر موج الکترومغناطیسی (EMP) برای اولین بار طی آزمایش مقدماتی انفجار سلاح هایی هسته ای در ارتفاع بالا مشاهده شد. از خصوصیات این اثر ایجاد یک ضربان الکترومغناطیسی بسیار کوتاه مدت (صدها نانو ثانیه) و در عین حال فشرده است که به ازای دور شدن از منبع از شدت آن کاسته شده و بر اساس تئوری الکترومغناطیس اداره می شود. ضربان الکترومغناطیسی در عمل یک ضربان شوک الکترومغناطیسی است. این ضربان یک میدان

مغناطیسی قوی به ویژه در نزدیکی محل انفجار ایجاد می کند. این میدان می تواند به اندازه ای قوی باشد که باعث تولید ولتاژهای موقت و کوتاه مدتی به ارزش هزاران ولت (کیلو- ولت) در عناصر هادی الکتریکی (مثل سیمها یا مسیرهای رسانا بر روی بردهای مدار چاپی) شود. همین جنبه اثر EMP است که از نظر نظامی حائز اهمیت است چرا که می تواند منجر به وارد شدن خسارت های جبران ناپذیر به طیف وسیعی از تجهیزات الکترونیکی به ویژه رایانه ها و یا گیرنده های رادیویی یا رادار شود.

تغییرات ناشی از بمب های الکترومغناطیسی را می توان به صورت ذیل عنوان کرد:

(۱) چراغ های فلورسنت و تلویزیون ها با وجود خاموش بودن شروع به نورافشانی در محیط می کنند.

(۲) با ذوب شدن سیم ها و خطوط تلفن نوعی بوی سوختگی به مشام می رسد.

(۳) موتورهای پیستونی درون سوز دچار اختلال می شوند و در آنها دیگر همزمانی و هماهنگی به هم می خورد.

(۴) کامپیوترها و سیستم های الکترونیکی دچار اختلال و صدمه می شوند

و به طبع آن سیستم های پردازش اطلاعات و نگهداری آنها و به دنبال آن سیستم های نظامی و صنعتی و ارتباطی دچار اختلال می شوند.

(۵) حسگرها و آشکارسازهای رادیویی، ماکروویو و نوری دچار اختلال و صدمه دائمی می شوند.

۲-۴- مکانیزم های مختلف تزویج امواج الکترومغناطیسی به سیستم

های الکترونیکی

- تعریف سازگاری الکترومغناطیسی (EMC)^۱
منظور از سازگاری الکترومغناطیسی در یک سیستم یا مدار آن است که دارای سه شرط اساسی ذیل باشد:
الف- باعث ایجاد تداخل در دیگر سیستم ها نشود؛
ب - سیستم های اطراف در آن تداخل ایجاد نکنند؛
ج - در خودش تداخل ایجاد نکند (خود سازگار^۲ باشد)
به عبارتی دیگر، سیستم های الکترونیکی و مخابراتی (شامل تجهیزات و مدارها) توانایی انجام کار صحیح در محیط های الکترومغناطیسی مختلف را داشته باشد.

۱-۴-۲- تداخل الکترومغناطیسی (EMI)

تداخل الکترومغناطیسی، فرایندی است که بوسیله ارسال انرژی الکترومغناطیسی ناخواسته و درهم گسیخته (نویز) از یک قطعه، مدار یا سیستم، به قطعه، مدار یا سیستم دیگر، توسط مسیرهای تشعشعی^۳ (مانند فضا)، هدایتی^۴ (مانند سیم ها و مسیرهای روی برد مدار چاپی) و یا هر دو ایجاد می شود؛ به عبارتی دیگر، اثر نامطلوب ((نویز)) تداخل نام دارد. هنگامی که تداخل در فرکانس های رادیویی رخ می دهد، آن را تداخل فرکانس رادیویی (RFI)^۵ می نامند.

- عناصر مربوط به تداخل الکترومغناطیسی
یک مدل تداخل الکترومغناطیسی شامل سه عنصر است:

^۱- Electromagnetic Compatibility

^۲-Self-Compatible

^۳-Radiated

^۴-Conducted

^۵-Radio Frequency Interference (۱۰۰ GHz-۱۰ KHz)

الف- بایستی یک منبع انرژی موجود باشد؛

ب- بایستی گیرنده ای موجود باشد که با این انرژی دچار تداخل گردد. دامنه موج دریافتی توسط گیرنده به حدی برسد که عملکرد آن را نامطلوب نماید، در این حالت می گوییم که تداخل رخ داده است؛ به عبارتی دیگر وقتی که شدت تداخل الکترومغناطیسی بیشتر از محدوده قابل تحمل گیرنده باشد، در این صورت کارکرد گیرنده نامطلوب خواهد شد؛

ج- بایستی یک مسیر برای انتقال انرژی الکترومغناطیسی ناخواسته، در بین منبع و گیرنده موجود باشد. همان طوری که می دانیم، ممکن است نتوان نویز را به طور کامل حذف کرد، ولی بایستی آن را به اندازه ای کاهش داد که تداخل رخ ندهد؛ لذا بایستی به سه مورد توجه کرد:

- شدت منبع انرژی ناخواسته را کاهش داد؛

- گیرنده را نسبت به نویز غیر حساس کرد؛

- مسیر انتقال را کم بازده و یا حذف کرد.

برای آگاهی از منابع، مسیرهای انتقال و گیرنده های مختلف نویز، فهرستی کامل از آنها در بخشهای مختلف به صورت ذیل ارائه شده است:

منابع نویز

الف- ذاتی: مانند صاعقه یا رعد و برق

ب- شبکه: گسترده محدود در یک شهر: مانند ارتباطات، شبکه ارسال داده ها، رادار، بی سیم ها و ... ؛

ج- صنایع: مانند جوشکاری قوس الکتریکی، موتورهای الکتریکی، لامپ های فلورسنت؛

د- پزشکی: مانند دستگاههای مقطع نما^۱، اشعه های مادون قرمز و ...؛

^۱- دستگاهی که تصویری از بافت های نرم بدن و مغز را نشان می دهد (CAT Scanner)

ه- منزل: مانند وسیله های کامپیوتری، اجاق میکروویو، ریش تراش برقی و دیگر وسیله های دارای موتور الکتریکی.

موارد بیان شده، به منظور آشنایی بیشتر با منابع نویز در محیط های مختلف ارائه شده است. منابع نویز در بخش های دیگر، شامل نویز مربوط به مدارها یا سیستم های الکتریکی و مخابراتی (بویژه دیجیتال فرکانس بالا) می باشد که شامل مواردی از قبیل مدارهای مولد پالس، قطعات دیجیتال، منابع تغذیه، مسیرهای طراحی شده نادرست (خطوط انتقال روی برد مدار چاپی)، قسمت بندی^۱ نادرست، زمین کردن^۲ غیر صحیح، جریانهای مد مشترک^۳، پایان دهی مسیر^۴ به طور غیر صحیح و ... است.

مسیرهای انتقال نویز

الف- فضای آزاد: در فضای آزاد، نویز می تواند به طریق ((تشعشعی)) منتقل گردد؛

ب- اتصالات (مسیر ها یا سیم ها) : در اتصالات، نویز می تواند به طریق ((هدایتی)) منتقل شود.

گیرنده های نویز

الف- زیستی: مانند انسان ها، حیوانات، گیاهان؛

ب- شبکه گسترده محدود در شهر: مانند ارتباطات، گیرنده های رادیویی و تلویزیونی، رادار، بی سیم و ...؛

ج- صنایع: مانند کنترل کننده ها و تقویت کننده ها؛

^۱ -Partitioning

^۲ -Grounding

^۳ -Common Mode Current

^۴ - Trace Termination

د- پزشکی: مانند حسگرهای^۱ پزشکی و دستگاه های مختلف دیگر؛
ه- منزل: مانند وسیله های کامپیوتری، تقویت کننده های ویدیویی، کابل ها و ...؛

در گیرنده های نویز نیز هدف اصلی، مدارها و سیستم های الکترونیکی و مخابراتی می باشند که می بایستی در برابر نویز و تداخل، ایمن بوده و حساسیت پذیری کمتری نسبت به آنها داشته باشند. با طراحی صحیح و استفاده از فنون مختلف EMC از قبیل حفاظ گذاری^۲، کنار گذاری^۳، فیلتر گذاری، پیوند زدایی^۴ و ... رسیدن به این هدف مقدور می باشد که مواردی از آن بررسی خواهد شد. شایان ذکر است که گیرنده های نویز در مدارها می توانند قطعات مختلف، منابع تغذیه، خطوط انتقال یا مسیر های روی برد مدار چاپی و ... باشند.

۲-۲-۲- ماهیت تداخل الکترومغناطیسی

تداخل الکترومغناطیسی را می توان به دو گروه طبقه بندی کرد.

الف) تداخل داخلی

منظور از تداخل داخلی، همان عدم خود. سازگاری در داخل که سیستم یا مدار است؛ به عبارتی دیگر، اجزاء یا عوامل مختلف موجود در داخل یک سیستم یا مدار، سبب ایجاد تداخل الکترومغناطیسی در قسمت های مختلف دیگر می شوند. گروه تداخل داخلی می تواند به خاطر وجود بازتاب^۵ یا افت

^۱ -Sensor

^۲ -Shielding

^۳ -Bypassing

^۴ - Decoupling

^۵ -Reflection

سیگنال در طول یک مسیر انتقال، تداخل سیگنالی^۱ در خطوط سیگنال و همچنین پیوند در میان قسمتهای مختلف موجود در روی یک برد مدار چاپی و ... ایجاد گردد (لازم به ذکر که بعضی از موارد موجود در گروه تداخل داخلی می توانند باعث ایجاد تداخل خارجی نیز گردند).

ب) تداخل خارجی

تداخل خارجی به دو گروه گسیلش^۲ و حساسیت پذیری^۳، تقسیم می شود. تداخل ناشی از گسیلش، همان تداخلی است که یک سیستم مورد نظر در دیگر سیستم ها به وجود می آورد. تداخل ناشی از حساسیت پذیری (یا عدم ایمنی) نیز همان تداخلی است که دیگر سیستم ها روی همان سیستم مورد نظر ایجاد می کنند.

تداخل ناشی از گسیلش، به وسیله عواملی از قبیل هارمونیک سیگنالهای متناوب (مانند سیگنال کلاک)، خطوط انتقال، پیوند های مزاحم^۴، قطعات مختلف و ... ایجاد شده و توسط مسیرهای مختلف (تشعشعی یا هدایتی) به دنیای خارج از سیستم یا مدار راه پیدا می کنند و در نهایت با توجه به اندازه آن می توانند باعث ایجاد تداخل در سیستم ها یا مدار های مختلف گردند.

تداخل ناشی از حساسیت پذیری، از طریق گسیلش ها یا نفوذهای خارجی ایجاد می شوند. این تداخل، اصولاً مربوط به انرژی است که روی خطوط ورودی/خروجی، پیونیده^۵ و سپس به درون سیستم یا مقدار انتقال یافته؛ یا اینکه از طریق تشعشع مستقیم به قسمت های مختلف یک سیستم یا مدار، ایجاد شده است. برای حساسیت پذیری همواره بایستی اندازه گسیلش

^۱ - Crosstalk

^۲ - Emission

^۳ - Susceptibility

^۴ - Parasitic

^۵ - Coupled

بیشتر از اندازه حاشیه نویز سیستم یا مدار باشد. برای تحلیل این که یک میدان مغناطیسی گذرای پرقدرت چگونه روی سیستم ها اثرگذار می باشد، باید پاسخ سیستم ها و مدارات سیستم را نسبت به تابش امواج خارجی بدانیم. به طور کلی می توان گفت که تابش میدان خارجی با سه روش مختلف به تجهیزات الکترونیکی وارد می شود:

- انتشار از روی پوشش
- نشت از روزنه ها
- ورود از طریق آنتن های ارادی و غیر ارادی

(۱) انتشار از روی پوشش

میدان های حاصل از EMP از دیواره های هادی غیر ایده آل قفسه های پوشش به دلیل اثر پوستی عبور می کنند، دلیل این مسأله دامنه بسیار بالای این میدان ها و قدرت نفوذ آن ها خصوصاً در فرکانس های پایین می باشد که معمولاً حین ساخت قفسه ها وقوع چنین دامنه هایی پیش بینی نشده اند. عبور سیگنال از دیواره های قفسه پوشش معمولاً یک پدیده پایین گذر به حساب می آید، چرا که با افزایش فرکانس عمق پوستی کم می شود و عبور سیگنال های مختلف از پوشش کاهش می یابد. بنابراین انتشار از روی پوشش بیشتر شامل میدان های مغناطیسی فرکانس پایین می باشد. علاوه بر آن نفوذ به داخل دیواره های پوشش عادی برای ذرات پرانرژی چندان مشکل نمی باشد و برای حفاظت در برابر این ذرات باید از پوشش هایی چند لایه که لایه های دی الکتریک نیز دارند، استفاده شود.

(۲) نشت از روزنه ها

هر پوششی ناچار دارای درها، پنجره ها، حفره ها، درزها و ... می باشد که

می تواند منشأ ورود میدان های EMP به داخل پوشش گردد. روزنه ها هم به میدان های الکتریکی و هم به میدان های مغناطیسی اجازه نفوذ می دهند. نشت میدان از یک روزنه به اندازه، نوع ساختار و مکان روزنه روی پوشش بستگی دارد. با توجه به این که معمولاً قفسه های پوشش، برای محدوده فرکانسی خاصی طراحی می شوند، نشت از روزنه در فرکانس های خارج از آن محدوده فرکانسی طراحی شده بسیار زیاد می باشد و ضریب پوشش^۱ (SE) را به شدت تحت تأثیر قرار می دهد. از طرفی چون حملات EMP باند پهن محدوده وسیعی از فرکانس را آلوده می کند، لذا باید در مورد روزنه ها برای حفاظت در برابر حملات EMP تجدید نظر کرد.

تغییر شکل روزنه ها، استفاده مناسب از درزگیر^۲، طراحی مناسب صفحات نمایش و ... راهکارهایی هستند که باید برای سازگاری روزنه های قفسه های پوشش در برابر حملات EMP مورد توجه قرار گیرند.

(۳) آنتن های ارادی و غیر ارادی

آنتن ها اصولاً برای جمع کردن انرژی الکترومغناطیسی در محدوده فرکانسی خاص طراحی می شوند. لیکن چون EMP می تواند دارای پهنای باند زیاد و دامنه بسیار بزرگ باشد، لذا احتمال آن که در فرکانس های خارج از محدوده طراحی شده و در جهات خارج از جهت اصلی نیز انرژی قابل توجهی از یک حمله EMP دریافت کنند، وجود دارد. چون اساساً آنتن ها محل ورود انرژی الکترومغناطیسی به سیستم هستند، نمی توانیم آن ها را با قفسه ها پوشش دهیم و برعکس علاقمندیم که آن ها کاملاً در معرض دریافت امواج قرار بگیرند، اما از طرفی انتظار نداریم که دامنه موج ورودی از مقدار تقریبی خاصی بالاتر باشد که اگر این طور باشد، بسته به دامنه سیگنال

۱-Shielding Effectiveness

۲-Gasket

ورودی سیستم های دریافت و پردازش سیگنال بعد از آنتن سطوح مختلف آسیب دیدگی را تجربه خواهند کرد و در مورد امواج EMP این تخریب بسیار شدید و حتمی خواهد بود. برای حفاظت آنتن های ارادی در برابر امواج با دامنه بسیار بزرگ، از محدود کننده های ولتاژ^۱ و متوقف کننده ها^۲ استفاده می شود. این ابزارها در واقع مقاومت های متغیر با ولتاژی هستند که در حالت عادی امپدانس بسیار بالا دارند و در صورت بالا رفتن دامنه سیگنال ورودی، اتصال کوتاه می شوند و هنگامی که به صورت موازی با تجهیزات بعد از آنتن قرار بگیرند، در صورت مواجهه با حمله EMP، به سرعت انرژی های وارد شده به آنتن را به زمین منتقل می کنند و از ورود آن ها به تجهیزات جلوگیری می کنند. از این ادوات می توان دیودهای پین، لامپ های تخلیه گازی^۳ و محدود کننده های پلاسما و ... را نام برد که اولی سرعت بسیار بالایی دارد ولی توان پایینی دارد و دومی توان های بسیار بالا را متحمل می کند اما کند است و برای زمان های صعود کوتاه چندان مؤثر عمل نمی کند. نسل جدید این ابزارها که مصالحه ای بین سرعت و توان برقرار کرده است، محدود کننده های پلاسما^۴ می باشند. به هر حال برای هر سیستم یکی از این ابزارها یا ترکیبی از آن ها با مداراتی خاص، جهت حفاظت به کار می رود. اما آنتن های غیرارادی گستره وسیعی دارند و برخلاف آنتن های ارادی ناشناس می باشند و مقابله با آن ها انرژی ودقت بیشتری را طلب می کند. آنتن های غیرارادی شامل: لوله ها، خطوط توزیع توان، کابل های اطلاعات و تمام هدایت کننده های الکتریکی می باشند که اگر به داخل قفسه پوشش وارد شوند، می توانند انرژی الکترومغناطیسی قابل توجهی را با خود همراه کرده و

۱-Voltage Limiter

۲-Voltage Arrester

۳-Gas Discharge Tube

۴-Plasma Limiter

به داخل قفسه پوشش ببرند. بنابراین تمام خطوط وارد شونده به قفسه پوشش از جمله خطوط تلفن، خطوط توزیع برق و خطوط دیتا حتماً باید دارای فیلترهای مقابله با EMP باشند و جریان تزویج شده مد مشترک و مد تفاضلی مزاحم را هم زمان دفع کنند و از ورود آن ها به داخل قفسه پوشش جلوگیری به عمل آورند. به علاوه تمام کابل ها زمانی که در داخل قفسه پوشش به تجهیزات گوناگون وارد می شوند ، حتماً باید در آنتن ها از کانکتورهای مخصوص مقابله با حملات EMP استفاده کنند. علاوه بر این پوشش کابل ها در هر دو انتها باید به طور مناسبی زمین شوند و حتی الامکان از سیستم توزیع برق سراسری استفاده نشود.

۲-۳- سازگاری با حملات EMP (مقابله و حفاظت)

با توجه به انواع مختلف EMP که به طور مختصر شرح داده شد، برای حفاظت یک سیستم بزرگ که پر از المان های حساس به EMP می باشد، ابتدا باید تمام المان هایی که ممکن است به EMP حساس باشند، شناسایی شوند. این المان ها شامل : سیستم های تولید و توزیع توان، سیستم های پردازش و انتقال داده، سیستم های فرستنده ها و گیرنده ها و حتی سیستم های نظیر تأسیسات ساختمانی که جهت بهینه سازی فعالیت نیروهای انسانی برقرار شده اند، می باشد.

به دلیل حجم بالای این المان ها، برای اطمینان از رعایت همه نکات ، ابتدا باید یک استاندارد مدون در این زمینه را انتخاب کنیم و سیستم های خود را بر اساس آن استاندارد بسنجیم. این استانداردها شامل تست های تشعشی و هدایتی می باشد و در چند مرحله و طی یک فرآیند خاص که آن هم توسط استاندارد معین شده است، انجام می پذیرد.

پس از انجام تست احتمالاً المان یا المان هایی خواهند بود که قابلیت

مقابله با حملات EMP را نداشته، مورد تأیید استاندارد منتخب قرار نمی گیرند. در این مرحله باید با ارائه راه کارهای مختلف که در مورد هر سیستمی متفاوت می باشد، المانها را با استانداردها تطبیق داد.

۱-۳-۲- حفاظت در برابر EMP

الف- اصل جداسازی زیر سامانه ها:

اصل جداسازی^۱ زیرسامانه هایکی از اصول اولیه در سازگاری الکترومغناطیسی می باشد که برای کاهش هزینه ها در حفاظت در برابر EMP نیز کاربرد دارد. چون این اصل از اصول اولیه و شناخته شده در EMC می باشد لذا در اینجا تنها به توضیح مختصری در این مورد بسنده می کنیم. چنان چه رعایت این نکته در طراحی سامانه از ابتدای مرحله طراحی مورد توجه قرار گیرد، بدون صرف هزینه می توان تا حدود زیادی به خودسازگاری در سامانه رسید. هدف اولیه از جداسازی زیر سامانه ها رسیدن به خودسازگاری الکترومغناطیسی در سامانه بر مبنای جداسازی بخش های حساس از بخش های نویزی سامانه می باشد.

هدف استفاده از اصل جداسازی برای مقابله با EMP این است که گاهی و در بسیاری از موارد نمی توان و لازم نیست که همه سامانه را به یک باره در پوشش قرار داد و بنابراین با اولویت بندی سامانه های حساس در پوشش ها و بسته بندی های مناسب قرار گرفته و پوشش بخش های مختلف به دقت زمین می شوند. این امر از سوی دیگر می تواند منجر به کاهش قابل توجه در هزینه حفاظت از سامانه گردد، به علاوه از آن جایی که پوشش معمولاً با استفاده از آلیاژهای فلزی سنگین وزن ممکن می شود، وزن سامانه حفاظت شده را نیز به این شیوه تا حد ممکن کاهش می دهیم. این عمل گاهی به لایه بندی برای

۱- Segregation

حفاظت از سامانه نیز تعبیر می گردد.

در هنگام استفاده از این تکنیک، اغلب کابل ها مهم ترین عامل انتشار امواج مزاحم به داخل بسته بندی های حفاظتی می باشند، بنابراین اتخاذ تدابیر لازم برای انتقال توان یا اطلاعات بین بخش های گوناگون بسیار مهم می باشد.

بهترین راه برای اجتناب از انتشار هدایتی توسط کابل ها، استفاده از تکنیک هایی زیر می باشد:

- مبدل های ایزولاسیون
- ایزولاتورهای نوری
- فیبرهای نوری
- ارتباطات بی سیم
- ارتباطات مادون قرمز

هر اتصال مستقیم دیگری توسط کابل ها را نیز باید در ورودی زیرسامانه ها با استفاده از کانکتورها و فیلترهای مناسب، حفاظت کرد.
ب- زمین کردن:

زمین کردن سامانه ها یکی از اصول اولیه در EMC می باشد که رعایت این مسأله می تواند تأثیرپذیری سامانه را پایین آورد. هدف اولیه در زمین کردن سامانه ها، تضمین امنیت پرسنل و حفاظت دستگاه ها می باشد. عوامل اصلی برای لزوم استفاده از زمین امنیتی، نقص های سامانه توان و صاعقه می باشد که جریان های تا دهها کیلوآمپر در محدوده فرکانسی تا چند مگاهرتز دارد و ممکن است حتی امنیت جانی پرسنل را به خطر بیندازد.

اتصال زمین امن، گاهی منجر به EMC خوب نمی شود، اما قوانین امنیتی را هیچ گاه نباید فدای عملکرد EMC کرد، البته ملاحظات زمین امنیتی بیشتر برای سامانه های قدرت و سامانه های در معرض صاعقه های احتمالی مورد نیاز است و در بقیه موارد زمین EMC برای سامانه کافی می باشد.

اصل اولیه و همیشگی در زمین کردن این است که یک مسیر امپدانس

پایین برای انتشار جریان های مزاحم به سمت زمین برقرار کنیم، صورت مسأله ساده به نظر می رسد، لیکن باید در نظر داشت که جریان های انتشاری مزاحم در روی پوشش کابل ها یا بدنه فلزی سامانه ها ممکن است محدوده فرکانسی بسیار وسیعی را در بر بگیرند، به عنوان مثال برای جریان های القا شده توسط یک EMP این مورد کاملاً صادق است و ممکن است تهدید EMP برای یک سامانه از فرکانس DC تا فرکانس چند ده گیگاهرتز وجود داشته باشد، لذا سامانه زمین باید در تمام این محدوده به خوبی عمل کند و جریان های اضافی را به سمت زمین جاری کند. به علاوه باید این نکته را بدانیم که هر قطعه سیم در EMC حداقل به صورت یک سلف دیده می شود که بسته به فرکانس جریان عبوری در برابر آن از خود مقاومت نشان می دهد.

ج- فیلترهای EMI:

فیلترها برای تضعیف و تلف کردن سیگنال های موجود روی سیم های هدایت کننده جریان ناخواسته به کار می رود، حال آن که اثری در کاهش توان سیگنال در فرکانس های اصلی ندارد. یک فیلتر، یک ناپیوستگی در امپدانس مشخصه مسیر جریان ایجاد می کند که سیگنال های موجود در فرکانس های غیر از فرکانس اصلی را جذب یا بازتاب می کند. ناپیوستگی بزرگ تر، تضعیف بیشتر را به همراه دارد. بنابراین چنان چه امپدانس یک سیگنال یک سیگنال ناخواسته 100Ω باشد و ما توسط فیلتر یک امپدانس $1k\Omega$ در مسیر آن اضافه کنیم، حدود ۱۰٪ از سیگنال از مسیر امپدانس بالا عبور می کند و این یعنی ۲۰dB اتلاف در فرکانس های ناخواسته که توسط فیلتر بدست می آید.

در طراحی کانکتور های امروزی، در مقابله سیستم با خطراتی نظیر EMP و صاعقه توجه شده است. توسط این کانکتورها انرژی حاصل از این انفجارها پیش از اینکه به سیستم آسیب برساند به زمین منتقل می شود. با ظهور سرعت های انتقال بالای سیگنال همراه با سطوح پایین ولتاژ در

سیستم ها، نیاز برای مدارهای حفاظتی در برابر این تغییرات بسیار مهم می گردد. ساختار کانکتورهای با بسته بندی بسیار فشرده، که شامل مدارات حفاظت موازی متعدد در داخل کانکتور می شود توسط کمپانی های مختلف از جمله کمپانی Sabritec ساخته شده است، یکی از این کانکتورها و در کنار آن یک ساختار مداری دایودی که در این کانکتور کار گرفته شده است، در شکل ۲۷- دیده می شود.



شکل - یک کانکتور حفاظت در برابر EMP

د- استفاده از پوشش (قفس فاردای):

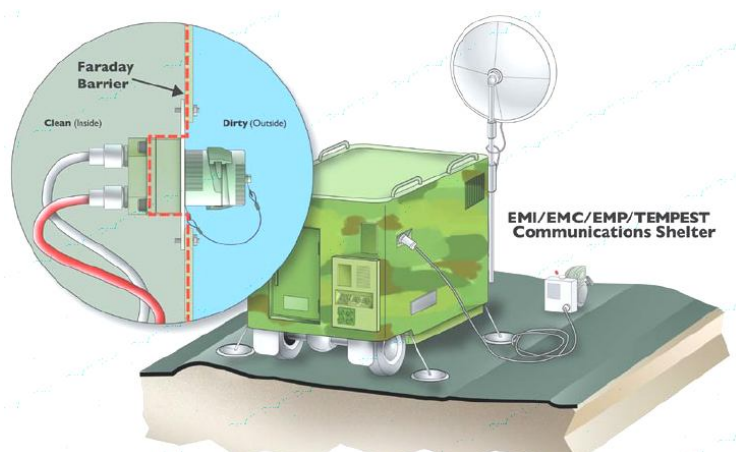
یکی از روش های مؤثر، برای حفاظت سیستم ها و تجهیزات در برابر EMP، قراردادن کل تجهیزات در داخل یک پوشش است که به قفس فارادی معروف می باشد، اگر این پوشش به درستی طراحی شده باشد می تواند تا مقدار زیادی از ورود امواج مخرب به تجهیزات جلوگیری نماید. اکثر تجهیزات و دستگاه هایی که در داخل پوشش (قفس فاردای) قرار می گیرند به ارتباط با محیط خارج و سایر دستگاه ها نیاز دارند، (تغذیه و تبادل اطلاعات) از همین رو راه های ورودی و خروجی به قفس، منفذهایی هستند که از این طریق جریان ها و ولتاژهای لحظه ای القایی می توانند به پوشش نفوذ کرده و

اثرات تخریبی را ایجاد کنند. در تکنولوژی مدرن برای انتقال اطلاعات به داخل و خارج پوشش، از فیبرهای نوری استفاده می شود ولی راه های تأمین تغذیه دستگاه، همچنان آسیب پذیر باقی می ماند، که در این خصوص بایستی از فیلترهای مناسب استفاده گردد. از طرفی در فرکانس های پایین تر جریانهای القایی در سطح قفس، می تواند باعث القای ولتاژ و جریان بالا در داخل قفس شود. اگر در پوشش روزنه ای وجود داشته باشد، بایستی موانع الکترومغناطیسی نصب شود. وسایل زیادی وجود دارد اما باید در تعیین پارامترهای آنها دقت شود تا با زمان اوج شدت ولتاژها و جریانهای لحظه ای تولید شده بوسیله دستگاه های الکترومغناطیسی، متناسب باشد.

ح- استفاده توأم از فیلترینگ و پوشش:

پوشش و فیلترینگ دو عمل مکمل یکدیگر هستند و یکی بدون دیگری اثر چندانی ندارد. بنابراین پوشش و فیلترینگ برای هر سامانه باید در سطح هم انجام پذیرد تا هزینه ها از بین نرود، مثلاً یک فیلترینگ عالی با قیمت بالا در صورت استفاده از یک پوشش متوسط، یک حفاظت متوسط را بدست می دهد و تشعشع و تأثیرپذیری سامانه همانند وقتی است که از پوشش متوسط و فیلترینگ متوسط استفاده می کنیم. دلیل این مسأله این است که کابل های مختلفی وجود دارند که به قفسه پوشش نفوذ می کنند، این کابل ها در معرض تشعشعات مختلف الکترومغناطیسی از جمله EMP در بیرون پوشش قرار دارند، و انرژی الکترومغناطیسی روی آن ها تزویج می شود، این انرژی در ابتدا به صورت جریان حالت مشترک می باشد، اما با انتشار در طول خطوط حداقل بخشی از آن به صورت جریان مد تفاضلی تبدیل می شود، و از طریق سیم ها به داخل پوشش نفوذ می کنند. بنابراین استفاده از فیلترینگ حالت مشترک، فیلترینگ مد تفاضلی و فیلترینگ خطوط توان (که آن ها نیز می توانند حامل امواج مزاحم گردند)، برای انتقال کابل ها به داخل پوشش نیاز

دارند. در (Error! Reference source not found.) یک اتاق پوشش سیار را به همراه یکی از فیلترهایی که روی آن به کار رفته را می توان مشاهده کرد.



شکل ۲- یک اتاق پوشش سیار به همراه یکی از فیلترهای به کار رفته روی آن.

۳- سلاح های صوتی

یکی از تکنولوژی هایی که در حال شکل گیری و کامل شدن می باشد، سلاح های صوتی به عنوان سلاح های ناتوان ساز است که در آنها از صداهای قابل شنیدن، فراصوت و زیرصوت استفاده می شود.

سلاح های صوتی، وسایلی هستند که برای ارسال انرژی مکانیکی به هدف مورد نظر با استفاده از امواج صوتی و فشار هوا به عنوان حامل، مورد استفاده قرار می گیرند. در حالیکه استفاده از صوت به عنوان سلاح جنگ روانی در جنگ های گذشته، همواره مورد بحث بوده و کتاب های زیادی در

این زمینه نوشته شده است، ولی تأیید عملکرد آنها، بسیار مشکل است (استوکر، ۲۰۰۴: ۶). اخیراً، از صوت در برد شنوایی انسان در عملیات جنگ‌های روانی استفاده شده که باعث ایجاد تأثیرات گوناگونی گردیده که این تأثیرات بستگی به بسامد، طول موج و شدت صوت دارد. این تأثیرات عبارتند از اختلال در شنوایی، کاهش کارایی انسان، درد، از دست دادن موقتی قدرت شنوایی و صدمه دیدن بافت‌های بدن.

در عملیات مهار جمعیت تظاهرکننده، از سلاح‌های صوتی، تاکنون برای به عقب راندن مردم استفاده گردیده و در حال حاضر این نوع سلاح‌ها به آسانی در اختیار نیروهای نظامی و پلیس اکثر کشورها قرار دارند.

یک شرکت آمریکایی، ابزارهای صوتی جهت دار شدت بالا در محدوده شنوایی انسان را توسعه داده است. مانند ابزارهای صوتی دور برد (LRAD)^۱ که برای ارسال پیام‌های خطر قابل شنیدن در مسافت‌های دور (تا ۱ کیلومتر) طراحی شده است. اگرچه در مسافت‌های نزدیک‌تر به‌طور قابل ملاحظه‌ای ناتوان‌کننده است و می‌تواند صدایی با ۱۲۰ دسی‌بل در ۶۰ متر و پیک ۱۳۰dB در ۴ متر تولید نماید.

در صورتی که اشخاص به مدت طولانی در معرض اصوات با سطوح فشار پایین در حدود ۸۰ dB قرار گیرند، دچار صدمات شنوایی می‌شوند.

در صورتی که این سطح فشار به ۱۲۰ dB و بالاتر برسد، در معرض اصوات قرار گرفتن به مدت کوتاهی باعث از دست رفتن شنوایی می‌شود. برخی از گزارشات حاکی از این است که بعضی از ابزارهای اصوات جهت دار شدت بالا، علاوه بر احساس درد در گوش باعث تأثیرات جانبی از قبیل

^۱ Long Rang Acoustic Device

از دست رفتن تعادل، دل بهم خوردگی و میگرن می شوند. یک طرح اولیه که شامل سیستمی قابل حمل است. این دستگاه گلوله های صوتی شدت بالا یا پالس های صوتی بین ۱۲۵ تا ۱۵۰ دسی بل را برای یک یا دو ثانیه شلیک می نماید. چنین سلاح هایی وقتی کامل شوند، قابلیت از پا انداختن مردم را دارا می باشد. بحث هایی پیرامون سلاح هایی که از فرکانس های زیرصوتی استفاده می کنند وجود دارد مبنی بر اینکه این سلاح ها می توانند باعث حالت تهوع، و اسپاسم روده شوند.

اخیراً یک سلاح تولیدکننده پالس های زیرصوتی قابل حمل درحال توسعه یافتن است که می تواند امواج شوک آور با فرکانس پایین تولید نماید. این ابزار باعث رزونانس در ارگان های بدن و همچنین آسیب های فیزیکی می گردد. نیروی دریایی ایالات متحده به ابزارهای (LRAD) برای استفاده در در جنگ عراق مجهز شده است و گزارش هایی مبنی بر استفاده ابزارهای صوتی توسط ارتش ایالات متحده در افغانستان نیز وجود دارد. بعضی از تحلیل گران در این باره ابراز نگرانی کرده و بیان داشته اند که: ساخت و توسعه این سلاح های دردآور جدید بدون درنظر گرفتن قانون، سیاست و حقوق بشر توسط ایالات متحده اشتباه بزرگی است.

۱-۳- نمونه سلاح های صوتی

۱) ابزار صوتی دور برد (LRAD)^۱

خلاصه ای در مورد دستگاه :

^۱ - Long Rang Acoustic Device

فرماندهان ارتش ایالات متحده برای حمایت و تقویت نیروهای خود در عراق اسلحه ای را در نظر گرفته اند که گلوله شلیک نمی کند بلکه صدای مافوق صوت ایجاد می کند. این سلاح، ابزار صوتی ۱ میلیون دلار قیمت دارد.

این سلاح که توسط شرکت امریکن تکنولوژی کربوریشن^۱ ساخته شده است، صدایی با ۲ برابر صوت یک آتشفشان تولید می کند و باعث لطمات شدیدی به ویژه در ناحیه شنوایی می شود. این سلاح قادر است ۱۴۵ دسیبل صدا تولید کند که از ۳۰۰ متری موجب سر درد و صدمه شدید به قوه شنوایی میشود.

این دستگاه یک نوع بلند گو است که مانند یک چراغ قوه، اصوات را در یک جهت مشخص و بصورت متمرکز منتشر می کند، یعنی اگر فردی در مقابل این بلندگو قرار بگیرد ممکن است در اثر شدت صدا شنوایی خود را از دست بدهد، اما اگر با فاصله یک قدم کنار یا پشت دستگاه بایستد به راحتی می تواند با فرد کناری خود صحبت کند. این دستگاه در حال حاضر در عراق در ایست های بازرسی استفاده می شود. بطور مثال اگر شخصی قصد حمله با یک کلاشینکوف را داشته باشد، می توان این دستگاه را به طرف او نشانه رفته و روشن می نمود؛ شدت صدا به حدی زیاد است که مقاومت در برابر آن تقریباً محال است و شخص مهاجم کنترل خویش را از دست خواهد داد و برپایه عکس العمل طبیعی، ناخودآگاه دست هایش را روی گوش خود گذاشته و اسلحه را رها می کند. این دستگاه مانند یک پرژکتور است که روی یک پایه قرار گرفته است.

^۱ - American Technology Crop



شکل ۳- نمونه ای از دستگاه LRAD

هدف اولیه تولید این سلاح ، پاک سازی محیط های اطراف کشتی های نظامی ایالات متحده بود ولی بعد از موفقیت اولیه ، از این دستگاه برای موارد دیگری مانند : کنترل آشوبها ، گروگان گیری و ... استفاده شد .

بوسیله تنظیمات اولیه LRAD ، کارکنان کشتی می توانند به قایقی که در حال نزدیک شدن است هشدار بدهند که تغییر مسیر بدهد . این هشدار ها معمولاً قدرتی در حدود ۱۲۰ dB و بالاتر دارند که تا فاصله چند صد متری بسیار بلند و واضح دریافت می گردد ، ولی با این قدرت ، درد کمی احساس می شود .

در صورتی که قایق مهاجم به هشدار توجه نکند ، کارکنان کشتی دستگاه LRAD را از تنظیمات اولیه خارج کرده و قدرت دستگاه را در حدود ۱۵۱ dB و بالاتر تنظیم می کنند که این قدرت باعث تولید صدای خیلی بلند و درد آور می شود و در نتیجه آن قایق مهاجم محل را بدون کشتار و خون ریزی ترک می کند .

همانند سلاح های گیج کننده ، گازهای اشک آور و تجهیزات کمتر

کشنده ، LRAD نیز برای کنترل آشوب ها به کار می رود . البته انتقاد های شدیدی از جانب افراد دوستدار حقوق بشر به این سلاح مطرح است ، زیرا این سلاح بر خلاف سایر سلاح های غیر کشنده در برخی شرایط می تواند کشنده باشد و یا اثرات دائمی روی افراد بگذارد .

مزایا و معایب LRAD :

این سلاح دارای مزایایی مانند غیر کشنده بودن ، عدم خون ریزی ، کنترل راحت آشوب ها ، گروگان گیری ها و ... می باشد . اما در عین حال دارای معایبی مانند مشکلات دائم شنوایی برای افرادی که در محدوده دستگاه قرار گرفته اند ، حالت تهوع ، سرگیجه و حتی درد در قفسه سینه نیز می باشد .

روش جلوگیری :

بهترین روش برای کاهش صدای این سلاح ، استفاده از گوش گیرها می باشد اما در صورتی که فرد در محدوده دستگاه باشد این گوش گیرها تاثیر زیادی ندارند .

به همین دلیل متخصصین روی روش جدیدی که استفاده از سطوح جامد صاف برای انعکاس صدا به سمت منبع صدا می باشد ، تحقیق می کنند.

۲-۳- تأثیرات اصوات با قدرت زیاد بر روی انسان

صوت با قدرت زیاد می تواند موقتاً یا برای همیشه قابلیت شنوایی را کاهش دهد و بر اندام دالانی تأثیر بگذارد. در سطوح فشار بالا ، در معرض اصوات قرار گرفتن باعث آسیب های فیزیکی به بخش هایی از گوش

می شود . در سطوح خیلی بالاتر (انفجارهای ناشی از فشار زیاد) اندام های مانند ریه که حساس ترین عضو بدن است را مجروح کند

۴- سلاح های ناتوان ساز با انرژی جنبشی^۱

هدف این نوع سلاح ها، وارد آوردن درد و ناتوان سازی هدف (انسان) از طریق ضربه زدن به آن با پرتابه یا مرمی (گلوله لاستیکی) یا باتون دستی است. کارایی این سلاح ها تحت تاثیر عواملی از قبیل اندازه، کالبر، وزن، سرعت اصابت، شکل و جنس آنها و نیز وضعیت جسمانی، سن و موقعیت هدفی (انسان) که مورد اصابت واقع شده، قرار دارد. ارزیابی اثرات روانی این نوع سلاح ها بر هدف، گوناگون و مشکل می باشد.

این نوع سلاح ها را می توان برای کنترل و مهار نقطه ای (ناتوان سازی یک شخص) یا برای مهار جمعیت تظاهرکننده یا کنترل منطقه (ناتوان سازی افراد زیادی با یک شلیک) استفاده نمود.

موادی که در این نوع سلاح ها به کار می روند، معمولاً از جنس اسفنج^۲، پلاستیک، لاستیک، سرب، فولاد، سیلیکا یا چوب می باشند. پرتابه های از نوع سیلیکا، سرب و فولاد به تعداد زیاد و به صورت منقطع و در داخل کیسه پارچه ای شلیک می گردند تا از نفوذ این پرتابه ها به داخل بدن هدف مورد نظر و در نتیجه صدمه احتمالاً مرگبار، جلوگیری گردد. این نوع پرتابه ها را تحت واژه کلی کیسه حبوبات^۳ نام گذاری می نمایند. میزان استحکام مواد تشکیل دهنده سلاح های ضربه ای، تاثیر زیادی بر کارایی آنها می گذارد و برد پوششی

۱- kinetic energy nonlethal weapons

۲- foam

۳- beanbags

آنها از ۵۵ تا ۹۰ متر متغیر است. برخی از این سلاح ها از دو نوع مواد، ساخته شده اند: مواد پایه آنها از پلاستیک ساخته شده تا به ثبات در سرعت و وزن برسند و دماغه یا نوک آنها از اسفنج تشکیل شده تا میزان ضربه وارده به هدف را کاهش دهند. برخی از این نوع پرتابه ها جهت رهاسازی ماده رنگ کننده به کار می روند. این نوع پرتابه ها از قوطی پلاستیکی نازک تشکیل شده اند که درون آن پودر یا مایع رنگ کننده قرار دارد. برخی از این پرتابه ها فقط مواد شیمیایی رها می سازند و برخی دیگر هم برای رهاسازی مواد شیمیایی (رنگ، بوی ناخوشایند) و هم برای وارد آوردن ضربه به بدن هدف و ایجاد شوک، به کار می روند. شکل پرتابه، بر فرایند بالستیکی آن اثر می گذارد و به همین ترتیب، میزان دقت سلاح و ظرفیت یا قابلیت آن را در وارد آوردن ضربه به هدف نیز تحت تاثیر قرار می دهد. شکل های اولیه ای که برای این پرتابه ها به کار می روند عبارتند از استوانه ای، هرمی و گلوله ای در اندازه های مختلف. شکل های دیگری، مانند ریز بمب^۱ و کیسه حبوبات نیز وجود دارند. پرتابه هایی که از نوع کیسه حبوبات هستند، به شکل دایره ای یا مستطیل می باشند. طول این پرتابه ها نیز متفاوت است. وزن این پرتابه ها از ده ها گرم تا ۲۰۰ گرم متفاوت است. پرتابه های سبک تر و کوچک تر به صورت ۳۰۰ تایی به طور همزمان شلیک می گردند و برخی دیگر به صورت منفرد.

۵- سلاح های ناتوان ساز لیزری (لیزر کم توان)

سلاح های لیزری کم توان برعلیه حسگرها و بینایی انسان به کار می روند. هدف این سلاح ها در نقش ضد بینایی، ایجاد اثرات مختل کننده بینایی شامل

۱- bomblet

خارش، کور نوری^۱ خیرگی چشم^۲ و سایر آسیب ها به چشم کاربران دشمن است. شدت آسیب به چشم متفاوت می باشد که عمدتاً بستگی به طول موج لیزری مورد استفاده دارد. استفاده از طول موجی که مستقیماً به داخل چشم کاربران تابانده شود، باعث آسیب قرنیه چشم می گردد. چنانچه با این طول موج، توان کافی به کار رود، سوختگی ایجاد شده باعث تارشدن قرنیه گردیده و در نهایت منجر به آسیب های بسیار دردناک می شود

لیزرهای کم توان که برای ناتوان سازی تجهیزات به کار می روند، جهت اختلال در عملکرد یا انهدام آنها، مورد استفاده قرار می گیرند. در اینجا نیز این نکته قابل ذکر است که این تجهیزات معمولاً دارای ابزار اُپتیکی هستند که کار تأثیرگذاری لیزر را آسان تر می کنند. بهترین وضعیت دلخواه، زمانی است که طول موج سلاح لیزری برابر با طول موج حسگر باشد.

۶- عوامل شیمیایی

عوامل شیمیایی به گروهی از ترکیبات شیمیایی گفته می شود که اگر در یک عملیات نظامی بطور مناسبی منتشر گردند منجر به پیدایش آثار کشنده، آسیب رساننده و ناتوان کننده در انسان، حیوان، گیاه و مواد می شوند.

طبقه بندی عوامل شیمیایی غیر کشنده:

این طبقه بندی عبارتند از:

۱- عوامل ناتوان کننده^۳:

۱- flash blindness

۲- dazzle

۳ – Incapacitants

- عوامل روان گردان^۱ و محرک ذهنی^۲ - آرام بخش ها - (بی حس کننده ها) (بیهوش کننده ها) - عوامل کنترل اغتشاش: اشک آور و تهوع آور
- ۲- بدبوکننده ها
- ۳- عوامل ضد اصطکاک
- ۴- عوامل ضد گیاه ، علف کش ها^۳
- ۵- مواد آتش زا و دودزا
- ۶- بارور کننده های ابر
- ۷- تخریب کننده های مواد

- عوامل ناتوان کننده (طولانی اثر): عواملی که باعث ناتوانی روانی (ذهنی) شده و شخص را بطور موقتی برای مدت چند ساعت تا چند روز از انجام وظایف خود باز می دارند ولی بافتهای بدن هیچگونه آسیب جدی نمی بینند و مدت کوتاهی پس از خروج از محیط آلوده، تدریجاً سلامتی فرد بدون امداد و درمانهای ویژه باز می گردد. این عوامل با تاثیر مستقیم در سیستم عصبی باعث بروز معلولیت های فیزیولوژیکی و ذهنی اختلال در رفتار و قوه ادراک شخص می شوند. البته در صورت استفاده از دارو، سلامت شخص به سرعت بیشتری باز خواهد گشت ولی از طرف دیگر در غلظت های بسیار بالا باعث مرگ نیز می شوند مانند: عوامل روانی (BZ)، عوامل محرک ذهنی (LSD)، عوامل بیهوش کننده و آرام بخش (فتانیل).

نامهای مترادف: عوامل روانی، عوامل ناتوان کننده طولانی اثر، عوامل روان

^۱ - Halucinogene

^۲ - Psychogenic

^۳ - Herbicides

گردان

- **عوامل کنترل اغتشاش:** عواملی که با بروز آثار تحریکی در مخاط دستگاه تنفسی فوقانی، چشم و دستگاه گوارش باعث ریزش اشک، تحریک پوست، سوزش شدید چشم، آبریزش بینی، عطسه و تهوع و ناتوانی موقتی فرد برای مدت چند دقیقه و حداکثر تا چند ساعت می شوند، به همین دلیل به این مواد، عوامل ناتوان کننده کوتاه اثر، ناتوان کننده فیزیکی (جسمی)، عوامل محرک و عوامل ایدایی نیز می گویند. در این گروه نیز بافتهای بدن هیچگونه آسیب جدی نمی بیند. و مدت کوتاهی پس از خروج از منطقه آلوده، تدریجاً سلامتی فرد خودبخود باز می گردد.

این گروه شامل دو دسته عوامل اشک آور و عوامل تهوع آور بوده و برای انجام ماموریت های محدود متوسط جهت پوشش منطقه و همچنین عملیات کنترل شورش شهری، گروگان گیری، ضد گروگان گیری، آموزش و مانور استفاده می شوند.

تعریف و طبقه بندی عوامل کنترل اغتشاش

عوامل کنترل اغتشاش ترکیباتی هستند که موجب تحریک حسی شدید، اشک ریزش، عطسه، استفراغ و درد می شود. این مواد با تحریک چشم ها باعث اشک ریزش و بسته شدن چشم ها و با تحریک اندام تنفسی فوقانی سبب نا توانی موقتی^۱ می شوند. هنگامی که این عوامل از طریق چشم، پوست و استنشاق با بدن تماس پیدا می کنند اثرات نا توان کنندگی فیزیولوژیکی ایجاد می کنند و زیر مجموعه گروه بزرگی از مواد شیمایی به نام «عوامل ایدایی»^۲ هستند این گونه ترکیبات تحت عناوین تحریک کننده ها،^۳ عوامل آزار دهنده

^۱ - Temporary Incapacitating

^۲ - Harassing Agents

^۳ - Irritation

(یا ایدائی) و عوامل ناتوان کننده بیان می شوند ولی عموماً و به طور عام « گازهای اشک آور » نامیده می شوند.

از نظر فیزیولوژیکی عوامل کنترل اغتشاش را به سه گروه تقسیم بندی می کنند:

عوامل اشک آور: که ابتدا با تحریک و آزار چشم باعث اشک ریزش می شوند

عوامل عطسه آور^۴: که به طور عمده با تحریکات قسمت فوقانی دستگاه تنفسی باعث عطسه و سرفه غیر قابل کنترل می شوند این گروه به محرک های حلق و بینی موسومند.

عوامل تهوع آور^۵: که علاوه بر اثرات فوق باعث تهوع نیز می گردند. در این کتاب عوامل کنترل اغتشاش در دو گروه عوامل اشک آور و عوامل تهوع آور معرفی می گردند.

این مواد جزء گروهی مشتمل بر بیش از ۱۵ ترکیب شیمیایی هستند که به منظور ایجاد تحریک شدید حسی به ویژه تولید اشک طراحی شده اند و دوره تأثیر آن ها کوتاه و مختصر بوده، عوارض سمی آن ها گذرا، ناپایدار و موقتی است و در عرض چند دقیقه پس از قطع تماس با آن ها، اثرات حاصله ضعیف شده و یا به طور کلی از بین می رود. بدون این که باعث مرگ شوند، افراد را به طور موقتی از کار می اندازند (نا توان می سازند) و مصدوم احتیاج به درمان خاصی ندارد. بعضی اثرات بلافاصله پس از برخورد با عوامل به وجود می آید که شامل تحریک شدید چشم، ایجاد اشک ریزش یا کوری موقت، تحریک غشاءهای مخاطی بینی، نای و ریه ها که ایجاد سرفه می کند، تحریک گلو و معده که موجب بروز استفراغ و احتمالاً اسهال می گردد.

^۴ - Sternutators

^۵ - vomiting Agents

عوامل دودزا: این عوامل به صورت آئروسل هایی از مواد گازی، مایع و یا ذرات ریز جامد تولید دود یا مه می نمایند. این ترکیبات بطور تاکتیکی برای کاهش و یا از بین بردن میدان دید دشمن، تضعیف قابلیت های ابزار شناسایی و هدایت مهمات دشمن، ایجاد استتار روی نیروها و امکانات خودی و نشانه گذاری روی هدف به کار می روند.

عوامل آتش زا: مواد شیمیایی که بر اثر واکنش احتراقی و سوختن شدید باعث به آتش کشیدن اهداف نظامی و اقتصادی (انهدام ساختمانها، تاسیسات و ابزار مختلف) می شوند مانند بمب ناپالم، ترمیت و آتشزهای فلزی.

عوامل ضد گیاه (علف کش ها): عواملی که با ریزش نابهنگام برگها، خشکانیدن گیاهان، تسریع و یا متوقف کردن رشد گیاهان و نازانمودن خاک، به منظور از بین بردن استتار و اختفاء منطقه و نابود سازی منابع غذایی به کار می روند.

این عوامل شامل گروه بسیار متنوعی از ترکیبات با خواص بیولوژیکی و شیمیایی بسیار متفاوت هستند که از نظر ساختمان مولکولی متفاوت ولی از نظر اثرات مهارکنندگی و محدودسازی شدید رشد و نمو گیاهان با هم مشابهند.

عوامل آموزشی: این عوامل در رزمایش ها و آموزش های نظامی و غیرنظامی برای بالا بردن توان رزمی نیروهای خودی مورد استفاده قرار می گیرند. بسیاری از ترکیبات با خواص مشابه عوامل شیمیایی در این دسته قرار می گیرند.

سایر عوامل غیرکشنده: با پیشرفت هایی که در چند دهه اخیر در زمینه توسعه عوامل شیمیایی و نیز تحولات سیاسی نظامی و تصویب کنوانسیونهای منع کننده ای که در سطوح منطقه ای و بین المللی رخ داده ،

نوع بکار گیری و دسته بندی نظامی عوامل نیز دستخوش تغییر شده است و یک طبقه کلی تحت عنوان «عوامل شیمیایی غیرکشنده» مرسوم شده است.

۷- بمب گرافیتی و روش های مقابله

۷-۱- سابقه استفاده از بمب های گرافیتی

- جنگ کوزوو

در جنگ ناتو علیه یوگسلاوی سابق نیز، نیروهای ایالات متحده نوع جدیدی از بمب به نام بمب های گرافیتی مشهور به بمب های نرم را بر علیه تأسیسات برق صرب ها استفاده کردند. در دوم ماه می سال ۱۹۹۹ در عملیاتی، هواپیماهای ناتو، شش ایستگاه بزرگ ولتاژ بالای سیستم برق رسانی یوگسلاوی را با بمب های گرافیتی ۲۵۰ کیلوگرمی بمباران کردند. به دنبال این حمله ۷۰٪ برق کشور یوگسلاوی به مدت ۷ ساعت قطع شد. این حمله توسط جنگنده های F-۱۱۷ استیلث انجام گرفت و در نهایت موجب شکست این کشور از نیروی ناتو گردید.

- جنگ عراق

آمریکا در مارس ۲۰۰۳ میلادی تجهیزات توزیع قدرت عراق را هدف گرفت. به جای استفاده از بمب های قابل انفجار که تلفات فراوان به جا می گذاشت از بمب های حاوی الیاف کربن استفاده نمود که خرابی های به مراتب کمتری بر جا می گذاشت، و از نظر سیاسی و اذهان عمومی برای کشور حمله کننده وجهه بهتری داشت. بسیاری از حملات به تجهیزات توزیع نیروی الکتریکی در عراق خسارات بلندمدت بر جمعیت غیرنظامی وارد آورد. بعد از حملات آمریکا به تجهیزات انتقال نیروی الکتریکی در النصیریا، برق به مدت ۳۰ روز قطع بود.

۷-۲- آسیب های اجتماعی ناشی از حملات گرافیتی

آسیب های اجتماعی ناشی از حملات گرافیتی عبارتند از:

- (۱) قطع برنامه های تلویزیون و رادیو
- (۲) اختلال در پروازها و حرکت قطارها
- (۳) از کار افتادن پمپ بنزین ها
- (۴) از کار افتادن چرخ صنعت در شهرها و کارخانه ها
- (۵) از کار افتادن سایت کامپیوتری مراکز حساس
- (۶) از کار افتادن دستگاه های الکترونیکی حساس در بیمارستان ها
- (۷) قطع ارتباطات و عدم اطلاع رسانی
- (۸) از کار افتادن تمامی فعالیت های کنترلی سیستم های حساس
- (۹) اختلال در عملکرد شبکه های بانکی و پولی کشور
- (۱۰) از کار افتادن سیستم های تصفیه آب

۷-۳- گرافیت چیست؟

گرافیت از جنس کربن بوده و خاکستری رنگ است. گرافیت طبیعی به طور عمده در مکزیک، هند، سیلان و مادگاسکار وجود دارد. رگه های گرافیت که از سنگ های معدنی به دست می آیند همیشه با ناخالصی همراه اند. به طور کلی گرافیت به دو حالت ورقه ای و بی شکل یافت می شود. گرافیت متورق در بوته های ذوب فلزات و گرافیت بی شکل در مغز مدادها، رویه کاری های ریخته گری، جاروبک ذغال الکتریکی، قطعات قالبی و رنگ دانه ها به کار برده می شوند. گرافیت غیر قابل گداز بوده و در دمای 3890° درجه سانتیگراد تصعید می شود، در دمای بیش از 600°C درجه سانتیگراد اکسید شده و هادی خوبی برای انتقال حرارت و الکتریسیته است. همچنین در برابر مواد اسیدی و

قلیایی مقاومت بالایی دارد و به راحتی قالب گیری می شود.

۷-۴- بررسی خواص الکتریکی الیاف گرافیت

از آنجائیکه الیاف گرافیتی پس از فرود آمدن بر روی خطوط انتقال برق موجب بروز اتصال کوتاه و متعاقباً خاموشی می گردند، لذا لازم است که برخی از خواص الکتریکی آنها از جمله ضریب دی الکتریک و مقاومت الکتریکی تعیین و با سایر مواد و الیاف مقایسه شوند. این مقایسه به خاطر آن است که امروزه از الیاف های شیشه ای و نایلونی که با آلومینیوم یا فلزات هادی دیگر نیز پوشش داده شده اند در بمب های خاموشی به منظور تهاجم و قطع برق استفاده می شود.

۷-۵- عملکرد بمب های گرافیتی

فناوری به کار گرفته شده در این بمب ها مشابه بمب های خوشه ای است که حاوی تعدادی بمب کوچک (حدود ۲۰۰ عدد بمب) می باشد. این بمب های کوچک با استفاده از یک فیوز سنسوری در ارتفاع مناسبی از هوا پخش شده و محدوده ای به وسعت ۳ برابر زمین فوتبال را تحت پوشش قرار می دهد. در هر یک از این بمب های کوچک تعداد زیادی قرقره (۱۴۷ عدد) وجود دارد که با انفجار بمب، الیاف گرافیت از قرقره ها باز شده و در هوا پخش می شود و بر روی هدف فرود می آید و در سیستم های تولید و انتقال برق ایجاد اتصال کوتاه نموده و سبب قطع برق می شوند.

سلاح های گرافیتی تاکنون در دو نوع الیافی و پودری استفاده شده اند و تحقیقات نظامی برای یافتن مدل های دیگر در برخی کشورها در حال گسترش می باشد.

پیش بینی می شود در جنگ های آینده سلاح های غیرکشنده که آثار سوء

روانی داشته و توان اقتصادی کشور را فلج می نماید تنوع بیشتری داشته باشد. اما برای هدایت و کنترل دقیق بمب ها به کمک سیستم های ماهواره ای و توسط هواپیماهای ضدرادار و یا موشک های کروز تجهیزات بسیار پیشرفته ای لازم است.

بمب خاموشی BLU-۱۱۴/B بمبی است که از آن برای ضربه زدن به شبکه های قدرت دشمن می توان استفاده کرد. این سلاح بسیار سری بوده و تاکنون مطالب بسیار کمی در مورد این وسیله فوق تکنولوژیکی منتشر شده است.

هنوز به طور دقیق مشخص نیست چه نوع پخش کننده تاکتیکی مهماتی برای این کار در نظر گرفته شده ولی به نظر می رسد بمب خوشه ای CBU-۹۴/B حامل این بمب های فرعی باشد. بمب خوشه ای از دو قسمت اصلی تشکیل شده است:

- (۱) SUU-۶۶/B: پوسته بازشونده یا قسمت پخش کننده بمب های فرعی
- (۲) BLU-۱۱۴/B: بمب های فرعی حامل الیاف گرافیتی



شکل ۴- نمایی از قوطی های خارج شده از بمب اصلی ورشته های گرافیت

بمب فرعی BLU-۱۱۴/B که برای بمب خوشه‌ای CBU-۹۴/B طراحی شده دارای چتر کوچک تاخیرانداز سرعت سقوط و نیز بدنه استوانه‌ای است که الیاف کربن در آن قرار می‌گیرند. پس از انجام انفجار کوچک که در ارتفاع معینی صورت می‌گیرد، الیاف فوق به صورت توده رشته‌ای شکل در هوا پراکنده می‌شوند. در مدل دیگری از این بمب‌ها گرافیک کربنی به صورت پودر در محوطه هدف پخش و به تدریج این پودرها به منابع تولید الکتریسیته نفوذ و در محل‌هایی که قطب مثبت و منفی تجهیزات به هم نزدیک است نشن نموده و باعث اتصال الکتریکی و از کار افتادن آنها می‌شوند. پخش این مواد در هوا در عرض چند دقیقه تا نیم ساعت انجام می‌شود.

بمب BLU-۱۱۴/B بر روی هدفش منفجر شده و تعداد زیادی الیاف کربنی نازک را در هوا پخش می‌کند. این الیاف که تنها چند صدم اینچ ضخامت دارند می‌توانند مانند یک ابر غلیظ در هوا شناور بمانند. هنگام پخش الیاف مذکور از بمب‌های خوشه‌ای BLU-۱۱۴/B و تماس با ترانسفورماتور و دیگر اجزاء ولتاژ قوی یک اتصال کوتاه جریانی رخ می‌دهد و معمولاً یک قوس هنگام عبور جریان از لیف ایجاد می‌شود. اگر چه جزئیات ویژه مربوط به این نوع سلاح، طبقه‌بندی شده و سری باقی مانده است و پنتاگون نیز صراحتاً از دادن هر گونه اطلاعاتی در مورد این بمب خودداری نموده است.

• مکانیسم عملکرد بمب‌های گرافیتی

بمب‌های گرافیتی که تاکنون مورد استفاده قرار گرفته و شناسایی شده‌اند، از نظر مواد گرافیتی و عملکرد به دو دسته تقسیم می‌شوند:

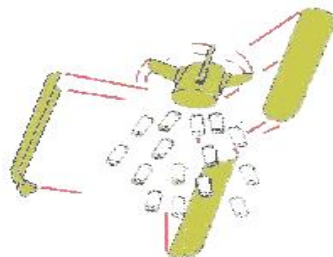
- بمب‌های گرافیتی الیافی
 - بمب‌های گرافیتی پودری
- بمب‌های گرافیتی عموماً دارای وزنی در حدود ۹۵۰ پوند بوده و از نظر

قیمت در مقایسه با بمب های جنگی بسیار ارزان قیمت می باشند. عملکرد این بمب ها همانند بمب های ناپالم است. بطوریکه بعد از رها شدن از هواپیما پوسته خارجی آن ترکیده و تعداد زیادی کپسول کوچک که هر کدام حاوی الیاف گرافیتی یا پودر گرافیتی می باشند، در فضا پخش می شود مراحل عمل بمب های مذکور بصورت زیر است:

- ۱- در مرحله اول بمب خوشه ای هدایت شونده لیزری عمل کرده و بمب های گرافیتی درون آن که هر کدام تقریباً به اندازه یک قوطی کنسرو می باشند، رها می شوند.
- ۲- هر کپسول رها شده از بمب اصلی دارای یک چترک نجات می باشد که در این مرحله باز شده و باعث می شود تا کپسول ها با سرعت کمی بر روی هدف مورد نظر فرود آیند.
- ۳- مقدار کمی ماده منفجره در داخل قوطی ها جاگذاری شده است که در این مرحله عمل کرده و باعث می شود تا درب فنری قوطی باز شود و تعدادی در حدود ۱۰۰ الی ۲۰۰ قرقره حامل نخ الیاف در هوا پراکنده گردد. نخ مذکور بسیار سبک وزن و نرم است. طول هر رشته از آن به ۴۰ متر و ضخامتش فقط به چند صدم اینچ می رسد و در مقابل حرارت نیز تا 3000°C درجه مقاوم است.
- ۴- سپس به دلیل حرکت چرخشی قرقره ها رشته های گرافیتی از هم باز شده و هم پوشانی الیاف یک شبکه توری مانند را بوجود می آورند.
- ۵- این شبکه های کربنی قابلیت هدایت الکتریکی بالایی دارند و قرار گرفتن آنها بر روی خطوط قدرت منجر به اتصال جریان کوتاه و نوسانات شدید جریان خواهد شد. این مساله باعث اضافه بار زیاد شبکه های قدرت شده که این پدیده نیز به نوبه خود به خاموشی نیروگاه های قدرت منجر می شود.

در نوع پودری کپسول ها دو قسمتی اند، و هنگامی که بوسیله چتر فرود می آیند، در میانه راه قسمت پایین کپسول جدا شده و پودر ذغالی شکل بسیار نرم و سبکی از آن خارج می شود. این پودر در فضا پخش شده و به تدریج بر روی محل اتصالات مراکز نیروگاهی و سوئیچینگ می نشیند. پودر مذکور بصورت یک عایق عمل نموده و تمام مدارات و جریان ها را قطع می کند. برطرف نمودن اثرات چنین حمله ای کار بسیار مشکلی بوده و مستلزم صرف وقت و هزینه بالایی است.

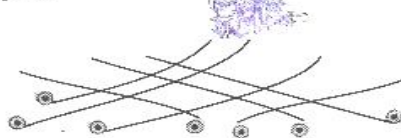
۱. از داخل بمب هایی که از طریق لیزر هدایت شده اند ۱۰۰ الی ۲۰۰ قوطی فلزی که اندازه آنها تقریباً برابر با یک قوطی نوشابه است به صورت چرخشی و پراکنده خارج می شوند



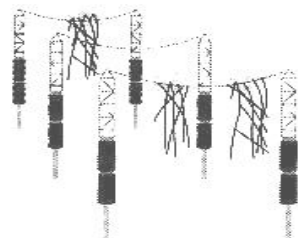
۲. هر کدام از قوطی های فلزی یک چتر نجات کوچک دارند که باز میشود و باعث می شوند قوطی های فلزی آرام و عمودی فرود آیند



۳. یک ماده منفجره کوچک در انتهای قوطی ها وجود دارد که انفجار آن باعث پخش شدن و خروج رشته های کربن می شود



۴. کربن های ریش ریش شده به صورت رشته های تداخل یافته تشکیل شبکه هایی را میدهند



۵. شبکه های کربنی رسانا های بسیار قوی هستند که با قرار گرفتن روی خطوط فشار قوی و ایجاد اتصال کوتاه بر آنها بار اضافی تحمیل کرده و پایگاهها را خاموش می کنند

شکل ۵: نمایی از مرحله خروج بمب های خوشه ای از بمب مادر تا قرار گیری الیاف بر روی خطوط انتقال

در جنگ های اخیر، در حمله به شبکه های قدرت یک کشور با استفاده از بمب های گرافیتی، الیاف کربنی پخش شده از این بمب ها، توده ابری شکلی را تشکیل می دهد که به طور آرام بر روی نیروگاه و تأسیسات مربوط به آن فرود آمده و با هر برخورد، شوک های شدید الکتریکی بوجود می آورد که منجر به قطع برق و صدمه زدن به دستگاه ها، وسایل و تأسیسات مربوط به آن می شود. پخش شدن الیاف کربنی در محیط یک نیروگاه سبب اتصال کوتاه شدن ترانسفورماتورها و سایر اجزای پست های فشار قوی شده و کار دستگاه ها و سیستم های کنترل، اندازه گیری، حفاظت و غیره موجود در شبکه های قدرت را مختل می کند. آتش سوزی، انفجار و اغتشاش از جمله اثرات این بمب ها بشمار می رود. مهم ترین بخش های یک نیروگاه که ممکن است در اثر حملات بمب های گرافیتی دچار آسیب گردند عبارتند از ترانسفورمرهای داخل محوطه نیروگاه و پست های فشار قوی، خطوط انتقال برق، ایزولاتورها (مقره)، کلیدهای فشار قوی، سیستم های کنترل، فرمان و سویچ.

۶-۷- مقابله با بمب های گرافیتی

در ابتدا مرحله اول مقابله شامل استتار ادوات و تجهیزات استراتژیک و آسیب پذیر است تا حداکثر فریب در هدف گیری دقیق، به عمل آید. این مرحله شامل پشتیبانی الکترونیکی (ESM) است که جهت کسب اطلاعات دشمن صورت می گیرد.

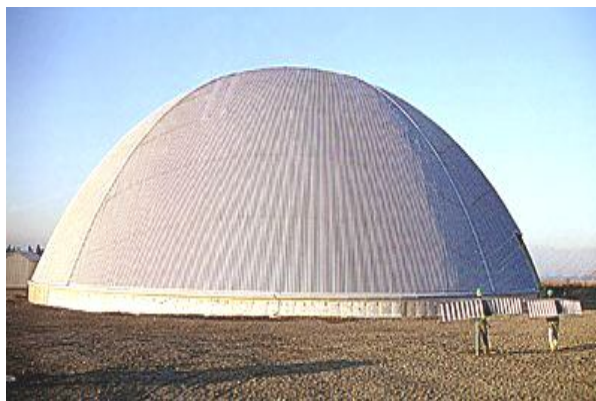
مرحله بعدی مقابله شامل جلوگیری از تماس الیاف گرافیت و پودرهای کربن با هدف مورد نظر به روش های مختلف از قبیل سقف های توری، چترهای باز و بسته شونده، فیلترهای الکترواستاتیک و لاک های عایق می باشد.

۱-۶-۷- راه های جلوگیری از تماس الیاف گرافیت با هدف مورد نظر

- استفاده از سقف های فلزی، توری یا پلاستیکی برای جلوگیری از

تماس الیاف گرافیت

امروزه از سقف های محافظ بزرگ ارزان قیمت، برای برگزاری نمایشگاه ها و نگهداری وسایل و تجهیزات به طور گسترده ای استفاده می شود. می توان برای محوطه نیروگاه های برق و نقاط استراتژیک نیز از این سقف های ارزان قیمت استفاده نمود. بهترین نوع آن ها، سقف های توری شکل پارچه ای می باشند که به راحتی قابل نصب در ارتفاع مناسب از سطح زمین نیروگاه می باشند. برای حفاظت کل مجموعه از اثرات بمب های گرافیتی می توان از سقف های فلزی یا پلاستیکی نیز استفاده نمود. در (شکل ۶) نمونه ای از این نوع سقف ها را مشاهده می کنید. استفاده از پوشش تور برای قسمت های مختلف داخل نیروگاه نیز مفید خواهد بود.



شکل ۶- یک نمونه از سقف های محافظ مدور بدون درز.

• استفاده از چتر برای جمع کردن الیاف گرافیت

برای انجام آزمایشات و داشتن تصویری دقیق از چگونگی عملکرد الیاف گرافیت، ماکتی از نیروگاه برق طراحی و ساخته شد. این ماکت به طور دقیق عملکرد بمب گرافیتی را در مختل نمودن نیروگاه نشان می دهد. با قرار گرفتن الیاف گرافیت بر روی خطوط، اتصال کوتاه رخ داده و قوس های الکتریکی مشاهده می شود. (شکل ۷) ماکت نیروگاه برق و قوس الکتریکی ناشی از اتصال کوتاه را به هنگام فرو افتادن الیاف نشان می دهد.



شکل ۷- قوس الکتریکی ناشی از اتصال کوتاه در خطوط برق ولتاژ بالا بعث تماس الیاف گرافیت.

روش پیشنهادی در این مورد برای جلوگیری از پخش شدن الیاف گرافیت بر روی مناطق مورد حمله، استفاده از چترهای پارچه ای باز و بسته شونده هوشمند می باشد. نمونه بارز این چترها در عربستان برای محافظت زائران از

نور آفتاب به کار گرفته شده است. برای نیروگاه ها و برج های مراقبت فرودگاهی، مخابراتی و برخی مناطق استراتژیک که می تواند مورد هجوم بمب گرافیتی باشد می توان از این چترها برای محافظت استفاده کرد. در ایران، نمونه آزمایشی چترهای جمع کننده الیاف گرافیت طراحی و ساخته شده است. یک نمونه از این چترهای نیوماتیکی را نشان داده شده است.



شکل ۸- چترهایی با سیستم نیوماتیکی.

• تغییر فناوری ساخت نیروگاه های جدید

با در نظر گرفتن شرایط جدید که ممکن است نیروگاه را تهدید کند، تغییر تکنولوژی برای ساخت نیروگاه های جدید بهترین روش می باشد. به این ترتیب تهدیدات احتمالی به صفر نزدیک می شود. با تغییر فناوری ساخت نیروگاه با تکنیک های پراکندگی و تمهیدات دیگری که برای مقابله با بمب های تخریبی با نفوذ بالا در نظر گرفته میشود، از حفاظت کامل نیروگاه میتوان اطمینان حاصل نمود.

۷-۶-۲- راه های جلوگیری از تماس پودر گرافیت با هدف مورد

نظر

در خصوص مقاوم سازی اطافهای کنترل و حفاظت در برابر آلودگی گرافیتی نوع پودری راهکارهای ذیل پیشنهاد می گردد:

- استفاده از پنجره های دوجداره مناسب نظیر پنجره های از نوع UPFC
- استفاده از دو درب جهت ورود و خروج از سالن که با فاصله مناسب از یکدیگر قرار داشته و با یکدیگر اینترلاک الکتریکی و یا مکانیکی داشته باشند به نحوی که باز نمودن یکی منوط به بسته بودن درب دیگر باشد.
- استفاده از فیلترهای نانو (ترجیحا) و یا فیلترهای الکترواستاتیک در محل هر دریچه ورود هوا
- استفاده از تابلوهای کنترل و حفاظت با درجه IP بالا
- اجرای سیستم تهویه به نحوی که موجب ایجاد فشار مثبت از سمت داخل به طرف محوطه بیرون گردد.
- عایق کاری بردهای الکتریکی با اسپری عایق
- قرار دادن و تعبیه دستگاههای تلفنهای اضطراری و مهم در محفظه های آب بندی شده مناسب
- نگهداری سیستم های بی سیم و پیچر در محفظه ها یا روکش های مخصوص
- مسدود نمودن هر گونه دریچه و یا روزنه اضافی موجود در بدنه ساختمان
- استفاده از فیلترهای مناسب در مسیر فنهای مکنده هوا در تجهیزاتی نظیر کامپیوترها

- استفاده از فن با IP بالا جهت تهویه تابلوها و سایر تجهیزات

۳-۶-۷- پاکسازی تجهیزات پس از تماس الیاف و پودر

پس از اصابت بمب های گرافیتی در پست ها، خاموشی اتفاق می افتد و پست ها و تجهیزات تا زمان پاکسازی کامل امکان قرار گرفتن در مدار و سرویس را ندارند و بایستی آلودگی های گرافیتی (پودری و الیافی) کاملاً حذف و پاکسازی شوند.

همانطور که در بخش های قبلی اشاره شد الیاف گرافیت بدلیل پوشش پلی وینیل الکل یا پلی وینیل استات و ساختار میکرونی بسیار چسبنده می باشد و پس از رها شدن از درون بمب های کوچک، در حین پایین آمدن مانند تار عنکبوت در هم تنیده می شوند و هنگامی که روی تجهیزات می نشیند به سختی به تجهیزات می چسبند و درون منافذ و شیارها گره می خورند. پودر گرافیت نیز مانند الیاف گرافیت چسبنده و گاهی اوقات چرب هم می باشد و بدلیل ریز بودن به داخل منافذ کوچک و حفره های ریز هم نفوذ می کند.

جهت بررسی روش های پاکسازی آلودگی های گرافیتی مطالعات گسترده و جستجوهای بسیاری در کتابخانه ها و مراکز اطلاع رسانی داخل و خارج کشور، استانداردها، کتاب های مرجع و نیز سایت های اینترنتی اعم از علمی و خبری انجام شد اما بدلیل مسائل امنیتی، اطلاعاتی در این منابع ارائه نگردیده است و تنها اشاره شده بود که پاکسازی یک پست از آلودگی های گرافیتی حدود ۳ الی ۱۰ روز بطول می انجامد. با توجه به موارد ذکر شده و عدم وجود مدارک و اسناد در این زمینه تمامی روش هایی را که باتوجه به شواهد و مدارک موجود و نیز با توجه به خواص گرافیت به ذهن می رسد و احتمال کاربردی بودن آن می باشد را بیان نموده و در مرحله بعدی امکان پذیر بودن یا نبودن آنها بررسی گردیده و به امکان سنجی فنی و اقتصادی آنها پرداخته می شود.

روش هایی که در نگاه اول جهت پاکسازی، آلودگی های گرافیتی به ذهن می رسد بشرح ذیل می باشد.:

- دمش هوای فشرده
- مکش
- استفاده توأم از دمش و مکش
- استفاده از آب، حلال و مواد شیمیایی
- پاکسازی دستی

پایان

کتابنامه

- ۱- ولی احمد رضا، علیرضاپوری محمد، حفیظی حسین، «دیده بانان نقش و جایگاه فناوری ها و سلاح های انرژی هدایت شده در جنگ های آینده»، مرکز آینده پژوهی علوم و فناوری دفاعی، موسسه آموزشی و تحقیقاتی صنایع دفاعی، بهمن ۱۳۸۸.
- ۲- ابراهیم نژاد محمد، «آشنایی با تسلیحات غیرکشنده»، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، پژوهشکده مهندسی پدافند غیرعامل، زمستان ۱۳۸۶.
- ۳- گزینه هایی از مقالات دکتر دانایی محمد مهدی، زمستان ۸۰.
- ۴- اسفندیاری مسعود، سلاح های ناتوان ساز، ویژه مربیان پدافند غیرعامل، دانشگاه امام حسین (ع).
- ۵- پروژه آلودگی های گرافیتی و راهکارهای مقابله، پژوهشگاه نیرو

منابع انگلیسی:

- ۱- E.F. vance .Couplhng to shielded cables. New York wiley interscience ۱۹۸۷
- ۲- S.A. Schel kun off electromagnetic wave. New York: van nostrand, ۱۹۴۵
- ۳- High power microwave sources and technologies Robert j. brker.
- ۴- Stocker H. Lcol Dick J.B and Brbeube. Non-Lethal Weapons : Opportunites for R D" ۲۰۰۴.
- ۵- L.col Mackay Colin. Non-Lethal Weapons : Contributing to Psychological Effects in Operations Other Than War ۲۰۰۶.