نشریه علمی پدافند غیرعامل

سال دوازدهم، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰، (پیاپی ۴۸): صص ۲۶-۱۵

علمی- پژوهشی

رویکرد راهبردی به استفاده از پلاسما در برابر تهدیدات ناشی از پالس‌های الکترومغناطیسی

عارف بالی[1*]، حسین فیاضی[2]، محمدرضا علیزاده پهلوانی[3]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۱۰

چکیده

با تولید پالس‌های الکترومغناطیسی با عرض کوتاه، انرژی کم و توان بالا و ارسال این پالس‌ها به سمت تجهیزات الکترونیکی و مخابراتی ممکن است تجهیزات به‌صورت موقت یا دائمی دچار آسیب یا اختلال شوند. در وضعیتی که تجهیزات خودی در مقابل این میدان‌های گذرای پرقدرت با اصول صحیح حفاظت شده باشند این خطر تا حد زیادی برطرف خواهد شد. پلاسما یکی از راه‌های محافظت در برابر تهدیدات الکترومغناطیس، بخصوص تجهیزاتی همچون رادارها و آنتن‌هاست به دلیل اینکه این تجهیزات را نمی‌توان با روش‌های دیگر محافظت نمود. هنگامی‌که EMP در سد پلاسما پخش می‌شود، ذرات بار در پلاسما توسط الکتریسیته شتاب می‌گیرند و میدان مغناطیسی ناشی از موج الکترومغناطیسی حادث شده، می‌تواند حالت پلاسما را تغییر دهد. اندرکنش بین EMP و لایه پلاسما به حفاظت در برابر EMP می‌انجامد. در این پژوهش در پی تحقق هدف اصلی قابلیت استفاده از پلاسما در برابر تهدیدات سلاح‌های الکترومغناطیس با رویکرد پدافند غیرعامل، ۳۱ راهبرد اصلی استخراج شد. استحصال راهبردها برای رسیدن به پنج اصل پدافند غیرعامل که شامل افزایش بازدارندگی، کاهش آسیب‌پذیری، تداوم فعالیت‌های ضروری، پایداری ملی و مدیریت بحران می‌شوند، امری ضروری است. روش حل ماتریس SWOT برای تحلیل عوامل داخلی و خارجی (۱۴ نقطه قوت، ۲۱ نقطه‌ضعف، ۹ فرصت و ۱۲ تهدید) مورداستفاده گرفت که این عوامل از طریق تکمیل پرسشنامه توسط ۱۶ نفر از متخصصان حوزه پلاسما و الکترومغناطیس مورد بررسی قرار گرفت. از ادغام عوامل تأییدشده، راهبردهای تهاجمی (SO)، راهبردهای تغییر جهت (ST)، راهبردهای رقابتی (WO)و راهبردهای تدافعی (WT) استخراج و برای تأیید آن‌ها از پرسشنامه دوم استفاده شد. پرسشنامه دوم به‌صورت الکترونیکی و توسط ۳۱ نفر از افراد مربوطه تکمیل گردید. آلفای کرون باخ ۰/۹۰۱ و ۰/۹۶۱ (محاسبه به‌وسیله نرم‌افزار SPSS) برای به ترتیب پرسشنامه اول و دوم، نشان از پایایی آن‌ها دارد.

کلید واژه‌ها: پدافندغیرعامل، پلاسما، پالس الکترومغناطیسی، توان بالا، راهبرد

[1] استادیار، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، مجتمع دانشگاهی برق و کامپیوتر- (a_bali@mut.ac.ir) - نویسنده مسئول

[2] دانشجوی دکتری برق، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، مجتمع دانشگاهی برق و کامپیوتر

[3] دانشیار، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، مجتمع دانشگاهی برق و کامپیوتر

۱- مقدمه

به‌صورت کلی نگهداری از سیستم‌های الکترونیکی در برابر سلاح‌های الکترومغناطیسی روش‌های متفاوتی از قبیل: جداسازی زیرسیستم‌ها، رعایت اصول زمین کردن، استفاده از پوشش مناسب، متوقف کردن جریان‌ها و ... را دارد که در برخی موارد مانند رادارها، آنتن‌ها، فرستنده‌ها و گیرنده‌ها قابل‌استفاده نیستند و تنها روش‌هایی مانند استفاده از پلاسما می‌تواند برای مقابله با سلاح‌های الکترومغناطیس استفاده شود که در این پژوهش به تفضیل موردبررسی قرار خواهد گرفت. محدودساز پلاسمایی در باند فرکانسی مورد نظر مانند یک فیلتر عمل می‌کند، در موجبر گازهایی که عمدتا از نوع نجیب هستند قرار داده شده و این محدودساز در مسیر ورود پالس‌ها قرار داده شده است. اگر توان پالس‌ها کمتر از نقطه شکست گاز باشند عبور انجام شده و اگر توان آن‌ها از آستانه شکست بالاتر باشد باعث شکست گاز و درنتیجه پلاسما شدن محیط شده و محدودساز جلوی عبور این پالس‌های توان بالا را با بازتاب یا جذب آن‌ها می‌گیرد.

در برخی تجهیزات الکترونیکی می‌توان با قراردادن محفظه فلزی حفاظت در مقابل پالس‌های الکترومغناطیسی را انجام داد اما در تجهیزاتی که وظیفه گیرندگی دارند نمی‌توان از روش‌های معمول استفاده کرد و باید از تجهیزاتی استفاده کرد که در روند عادی گیرندگی سیگنال اختلال ایجاد نکنند. محدودساز پلاسمایی در مقابل پالس‌های با توان پایین واکنشی نداشته ولی ضربات الکترومغناطیسی با توان بالا باعث پلاسما شدن محدودساز شده و موجب بازتاب یا جذب آن‌ها می‌شود.

پژوهش‌هایی جهت حفاظت در مقابل پالس‌های الکترومغناطیسی توان بالا انجام گرفت، نفوذ میدان‌های مربوط به پالس‌های الکترومغناطیسی EMP[1] به اتاقک محافظ فلزی با یک شکاف مورد بررسی قرار گرفته و اثربخشی حفاظ با اندازه‌های مختلف با روش دیفرانسیل محدود حوزه زمان محاسبه شد [۱]. تست حوزه زمان اثربخشی مواد حفاظتی در مقابل پالس‌های الکترومغناطیسی انجام شده است [۲] تکنولوژی‌های حفاظت در برابر EMP و روش تشخیص پالس الکترومغناطیسی بررسی و تشریح گردید[۳]. [۴] به شبیه‌سازی مشخصه‌های حفاظ و از بین رفتن یک نوع دریچه موج‌بر برای EMP پرداخته و تحلیل اثر تزویج در شرایط مختلف بررسی شده است [۵].

روش‌های تست درزگیر تداخل الکترومغناطیسی (EMI[2]) و توسعه‌ی روش‌های مختلف تست و ارزیابی درجه اثربخشی درزگیر EMI نیز موضوع مهمی است[۶]. تحلیل اثربخشی مواد کامپوزیتی با گذردهی منفی برای پالس‌های الکترومغناطیسی مختلف بررسی شده است [۷].

در مقابله با EMP سه عامل جهت قطبش موج حادث شده، شکل دهانه و دهانه‌ی آرایه برای تحلیل اثربخشی محفظه اتاقک بررسی‌شده است [۸]. شبیه‌سازی تزویج پالس الکترومغناطیسی با مدارات محافظ موضوع مهمی است که از روش‌هایی مانند نفوذ یک سیم با یک روزنه و استفاده از روش دیفرانسیل محدود حوزه‌ی زمان برای شبیه‌سازی پالس الکترومغناطیسی با جریان تداخل تحریک شده محقق شده است و شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد که سیم نفوذکننده می‌تواند تا حد زیادی جریان تداخل تحریک شده در مدارها را افزایش دهد، افزایش طول سیم و زاویه‌ی وقوع EMP هر دو تأثیر قابل‌توجهی در جریان تداخل دارند [۹].

رعایت اصول زمین کردن برای سامانه‌های مختلف ازجمله تجهیزات جنگ الکترونیک ضروری می‌باشد، بویژه در زیرساخت‌های حیاتی و سایت‌های مخابراتی حفاظت صاعقه و رعایت تاب‌آوری برای مقابله با خطرات احتمالی الزامی است [۱۰، ۱۱]. در جنگ‌های نوین ممکن است دشمن از هر ابزاری استفاده کند، از جمله برای ایجاد آسیب موقت و دائم در تجهیزات الکترونیکی، استفاده از پالس‌های الکترومغناطیسی پرقدرت محتمل است[۱۲، ۱۳]. پالس‌های الکترومغناطیسی علیه سیستم‌های الکتریکی عمل می‌کنند، این پدیده هنگامی در سال ۱۹۶۲ کشف شد که در اثر آزمایش یک انفجار اتمی در اقیانوس آرام، قطعات الکترونیکی موجود در جزایر هاوایی به‌کلی از کار افتادند. سپس ارتش تحقیقاتی را در مورد تأثیر این امواج در دو بخش موجودات زنده ازجمله انسان و اهداف غیر زنده همچون تأسیسات و قطعات آغاز کرد و با پیوند دادن این آزمایش‌ها به موارد قبلی به نسل جدیدی از تسلیحات دست‌یافت که از جبهه‌های جنگ تا شورش‌ها و اعتراضات خیابانی کاربرد دارد [۱۴].

پلاسما مدت زیادی است که در حوزه فیزیک و مهندسی مورد مطالعه قرارگرفته است و نتایج حاصل از این مطالعات امروزه در بسیاری از صنایع به‌طور عملی به کار می‌رود. واژه پلاسما به گاز یونیزه شده‌ای اطلاق می‌شود که همه یا بخش قابل‌توجهی از اتم‌های آن یک یا چند الکترون ازدست‌داده و به یون‌های مثبت تبدیل‌شده باشند [۱۵]. در جنگ‌های مدرن آینده یک سلاح الکترومغناطیسی می‌تواند بسیاری از سیستم‌های نظامی دشمن را بدون ایجاد تلفات از کار بیندازد برای مثال این سلاح می‌تواند سیستم کنترلی یک خودرو و یا سیستم‌های

[1] Electromagnetic pulse
[2] Electromagnetic interference

هدف‌گیری موشک‌های مختلف و یا اینکه سیستم‌های ارتباطی بین خطوط دشمن را به‌کلی را از کار بیندازد و همچنین می‌تواند سیستم‌های ناوبری را از رده خارج کند و یا حسگرهای برد بلند و برد کوتاه را از کار بیندازد [۱۶].

آقای عباسی و همکاران در پژوهشی آثار مخرب بمب‌های الکترومغناطیسی بر روی تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی در تأسیسات زیربنایی نظامی و غیرنظامی موردمطالعه قراردادند و با شبیه‌سازی چگونگی انتشار امواج الکترومغناطیسی توان بالا نشان دادند که در زمان کوتاهی چه توانی از امواج منتشره از یک بمب الکترومغناطیسی به داخل ساختمان نفوذ می‌کند و باعث تخریب و تداخل در کارکرد بانک‌های اطلاعاتی نظامی و غیرنظامی و تأسیسات ارتباطی و مخابراتی و سایر تجهیزات شده و به نتایج جبران‌ناپذیری منجر خواهد شد [۱۷].

در پژوهشی دیگر به بررسی نحوه انتشار و جذب امواج الکترومغناطیسی در چشمه‌های پلاسمای امواج سطحی در مختصات دکارتی به روش تفاضل محدود حوزه زمانی پرداخته شده است. معادلات ماکسول به‌طور هم‌زمان در موج‌بر و کاواک حل‌شده و به‌منظور تحریک مد TE01 در موج‌بر از فن میدان کل میدان پراکنده‌شده استفاده‌شده است و میزان جذب انرژی در پلاسما در دو رژیم پخشی و غیر پخشی نیز با یکدیگر مقایسه شده است [۱۵]. در پژوهشی دیگر خانم میر طالبی و همکاران به مطالعه نظری عبور موج الکترومغناطیسی از یک‌لایه پلاسمای سرد ابر چگال ناهمگن پرداختند. فرض این پژوهش به‌صورت لایه پلاسما در داخل خلأ غوطه‌ور در نظر گرفته‌شده است و چگالی پلاسما به شکل سهموی هست. در این حالت، ضریب گذردهی الکتریکی پلاسما به‌طور تدریجی و سهموی کاهش می‌یابد، و منفی شده و سپس دوباره مثبت می‌شود. همچنین چگونگی تسهیل عبور موج الکترومغناطیسی برای طیف وسیعی از زاویه فرودی، موردبررسی قرارگرفته است همچنین در این پژوهش دامنه موج عبوری و انعکاسی و وابستگی ضریب گذار کل ساختار به پارامترها به‌صورت تحلیلی محاسبه‌شده و موردبررسی قرارگرفته است [۱۸].

پلاسمای تولیدشده در هوا یا هلیوم در فشار اتمسفر به‌عنوان یک جاذب باند پهن از VHF به S-band عملکرد مطلوبی دارد [۱۹]. بررسی و شبیه‌سازی عددی واکنش بین امواج الکترومغناطیس با پلاسمایی با فشار اتمسفریک انجام شده است [۲۰- ۲۱]. مشخصه‌یابی پلاسمای اتمسفریک تولیدشده توسط یک لامپ مشعل پلاسما نشان داد که مشعل‌های پلاسما می‌توانند به‌طور مؤثر امواج ماکروویو را کاهش دهند. این فعالیت‌های پژوهشی عمدتاً بر روی انتشار امواج الکترومغناطیسی در یک پلاسمای بدون محدودیت یا پلاسما نیمه محدود تمرکز دارد [۲۲].

۲- روش‌شناسی تحقیق

پژوهش حاضر از نوع کاربردی و توسعه‌ای است. در این پژوهش پس از مطالعه کتابخآن‌های و اسنادی و مطالعات صورت گرفته جهت تعیین عوامل محیطی داخلی و بیرونی از روش SWOT استفاده شد. پس از تهیه پرسشنامه اول و توزیع آن میان جامعه‌آماری داده‌های به‌دست‌آمده از پرسشنامه اول با نرم‌افزار SPSS مورد تحلیل قرار گرفت. مدل SWOT ابزاری برای شناخت تهدیدها و فرصت‌های موجود در محیط خارجی یک سیستم و بازشناسی ضعف‌ها و قوت‌های داخلی آن به‌منظور سنجش وضعیت و تدوین استراتژی و راهبردی بلندمدت یا کوتاه‌مدت و ایجاد تصمیمات بزرگ در موضوعات و مسائل مختلف طراحی‌شده است. درنهایت برای دستیابی به اولویت‌بندی راهبردهای موردنظر و تأیید آن‌ها، پرسشنامه دومی میان جامعه آماری توزیع گردید و نتایج آن ارزیابی شد.

در این پژوهش جامعه آماری متشکل از اساتید دانشگاه در رشته‌های نظیر فیزیک هسته‌ای، مهندسی هسته‌ای، مکانیک و هوافضا و متخصصان و کارکنان سازمان انرژی اتمی و شرکت تخصصی متصا انتخاب شد. با توجه به شرایط کرونا درروش نمونه‌گیری از بین جامعه آماری موردنظر به‌صورت تصادفی در پرسشنامه اول ۱۶ نفر و در پرسشنامه دوم ۳۲ نفر متخصص دارای سابقه و یا تحصیلات مربوط با موضوع موردنظر انتخاب شد و پرسشنامه‌ها توسط آن‌ها تکمیل گردید.

در پرسشنامه اول نحوه امتیازدهی به سؤالات ازنظر اهمیت بر مبنای طیف لیکریت است که از بازه عدد ۱ تا ۵ تنظیم‌شده است که نشان‌دهنده اهمیت بسیار کم تا بسیار مهم مشخص‌شده است. پس از تکمیل نمودن پرسشنامه اول توسط جامعه آماری از ماتریس SWOT برای به دست آوردن راهبردهای تهاجمی (SO)، راهبردهای تغییر جهت (ST)، راهبردهای رقابتی (WO)، راهبردهای تدافعی (WT) استفاده شد. این راهبردها در راستایی رسیدن به اهداف تعریف‌شده بلندمدت، میان‌مدت، کوتاه‌مدت و نیز اسناد بالادست موجود در این زمینه استخراج‌شده است.

شکل (۱): روندنمای انجام پژوهش

برای تدوین راهبرد از الگوی خاصی استفاده شده است:

الف- راهبردهای S-W :

- استفاده از قوت‌ها برای جبران ضعف‌ها.

ب- راهبردهای S-T :

- استفاده از قوت‌ها برای حدف یا کاهش تهدیدات
- ممانعت از تحقق تهدیدات ضد قوت‌های موجود

ج- راهبردهای S-O :

- استفاده از فرصت ها برای ارتقای قوت‌ها
- استفاده از قوت‌ها برای افزایش فرصت‌ها
- استفاده از قوت‌ها بر علیه(ضد) ضعف‌های دشمن

د- راهبردهای W-T :

- ممانعت از تحقق تهدیدات ضد ضعف‌ها
- ممانعت از توسعه و افزایش ضعف‌ها (در برابر تهدیدات)
- تلاش برای کاهش و حذف ضعف‌ها (در برابر تهدیدات)

ه- راهبردهای W-O :

- استفاده از فرصت ها برای جبران ضعف‌ها

و- راهبردهای T-O :

- استفاده از فرصت ها برای کاهش تهدیدات

در استخراج راهبردهای تهاجمی SO (با توجه به مفهوم پدافند غیرعامل) دقت بیشتری اعمال شد، به‌گونه‌ای که

راهبردهای مرتبط با فرصت‌هایی (O) که منجر به ارتقا و افـزایش قوت‌های (S) خودی می شوند، در دسته‌بندی راهبردهای پدافند غیرعاملی مورد توجه قرار گیرند اما راهبردهای مرتبط با استفاده از قوت‌های (S) خودی علیه (ضد) نقـاط ضـعف دشـمن (O)، در دسته‌بندی راهبردهای پدافند غیرعاملی قرار نگیرند (چون ماهیت آفندی دارند) اما به‌صورت مجزا و در دسته بنـدی جـداگانه‌هـای قابل ارائه هستند. راهبردهای SW و ST از نوآوری‌های این طـرح می‌باشند.

۳- ادبیات و مبانی نظری

علم پلاسما علاوه بر اینکه منجر به شناخت بیشتر جهـان اطـراف می‌گردد، پیش‌زمینه بسیاری از مصارف کاربردی بشـر و قطعـات تکنولوژیکی نیز مـی‌باشـد. پلاسـما شـالوده بسـیاری از نیازهـای کاربردی مثل: پردازش نیمـه‌هـادی‌هـا، اسـتریل کـردن قطعـات پزشکی، لامپ‌ها، لیزرها، تولید لایه‌های مقاوم الماسی، ژنراتورهای توان بالای ماکروویو و سوئیچ‌های پالسـی اسـت. فنـاوری پلاسـما تأثیر زیادی بر توسعه اقتصادی بعضی کشورها داشـته اسـت کـه به‌عنوان‌مثال به رشد ۱۰ درصدی اقتصاد آلمـان مـی‌تـوان اشـاره نمود. این بهبود اقتصادی با ارزیـابی اسـتراتژیک بـازار بـه همـراه نوآوری محصول حاصل‌شده است [۲۳]. هسته اصـلی بمـب‌هـای الکترومغناطیسـی درواقـع همـان منـابع تولیـد پـالس الکترومغناطیسی توان بالا و فناوری ماکروویو توان بالا مـی‌باشـد. ازاین‌رو پایه فناوری بـرای طراحـی بمـب‌هـای الکترومغناطیسـی متنوع بوده که در بعضی موارد تکمیل و به تولیـد رسـیده اسـت. برخی فناوری‌های عمده به شرح زیر می‌باشند [۲۴، ۲۵]:

الف: مولد شارژ فشرده: وسیله‌ای است که در یک بسته نسبتاً فشرده قادر به تولید انرژی الکتریکی به میزان میلیون‌هـا ژول در مدت‌زمان چند میکروثانیه است.

ب: مولـدهای هیـدرودینامیکی مغناطیسـی: ایـن مولـدها می‌توانند به‌عنوان مولد جریان استارت برای وسیله مولدهای شارژ فشرده استفاده شوند.

پ: منابع ماکروویو نیرومند: هرچند مولـدهای شـارژ فشـرده به‌طور بالقوه و مؤثر به‌عنوان یک نوع فناوری اساسی جهت تولیـد پالس‌های قوی الکترومغناطیسی به کار می‌روند ولی باند فرکانسی کاری آن‌ها غالباً از یک مگاهرتز کمتر است. بنـابراین بسـیاری از هـدف‌هـا را بـا چنـین محـدوده فرکانسـی نمـی‌تـوان بـه‌آسـانی موردحمله قرارداد. زیرا حوزه عملکـرد فرکـانس آن‌هـا بـه‌مراتـب بالاتر و در فرکانس‌های نزدیک ماکروویو می‌باشد.

فناوری‌های تولید پالس الکترومغناطیسی توان بالا و ماکروویو تـوان بـالا موجـب طراحـی، توسـعه و تولیـد بمـب‌هـای الکترومغناطیسی به‌عنوان یک اسلحه مخرب عملی برای اسـتفاده غیرهسـته‌ای شـده اسـت. بمـب‌هـای الکترومغناطیسـی ازنظـر تقسیم‌بندی جزو سلاح‌های غیـر اتمـی محسـوب مـی‌شـوند کـه به‌جای مواد منفجره از یک منبع تغذیه جهت تـأمین انـرژی لازم برای تولید میدان الکترومغناطیسی بسیار قوی استفاده می‌کننـد. به‌طوری‌که این میدان قادر است چنـدین هـزار ولـت بـرق را بـه تجهیزات و مدارات داخلی اهداف موردنظر القا کند و بدین‌وسـیله موجب تخریب آن‌ها شود. بمب‌های مذکور در حـوزه تـاکتیکی و راهبردی کاربرد دارند [۲۳].

هنگامی‌که EMP در سد پلاسما پخش می‌شود، ذرات بـار در پلاسما توسط الکتریسیته شتاب می‌گیرنـد و میـدان مغناطیسـی ناشی از موج الکترومغناطیسی حادث شده، می‌تواند حالت پلاسما را تغییر دهد. در همان زمان، ذرات شارژ شتاب گرفته بـر انتشـار EMP تأثیر می‌گذارد و انتقال را تغییر مـی‌دهـد. انـدرکنش بـین EMP و لایـه پلاسـما بـه حفاظـت در برابـر EMP مـی‌انجامـد. هنگامی‌که چگالی انرژی پـالس الکترومغناطیسـی انتشـار انـدک است، قدرت میدان الکتریکـی تحریـک‌شـده توسـط EMP بـرای تحریک یونیزاسیون بیشتر گاز در سد پلاسما کافی نیست [۲۶].

در مورد مصادیق استفاده از سامانه‌های پلاسـمایی در مقابـل سلاح‌های الکترومغناطیس، به‌صورت کلی به دلیل به‌روز بودن این فناوری اطلاعات کامل و دقیقی در مورد سابقه استفاده از این نوع سامانه‌ها در دست نیست ولی در سال‌هـای اخیـر پیشـرفت‌هـای قابل‌توجهی در فناوری استفاده‌شده برای تولید ایـن پـالس‌هـا در ایالات‌متحده و روسیه و سایر کشورها انجام‌شده است و ایـن امـر باعث افزایش نیاز به محافظت مؤثر در برابر این تهدیدها می‌شود. شـرکت علـوم پلاسـما (PSC) تجربـه گسـترده‌ای در سـاخت محدودکننده‌های پلاسما برای محافظت از تجهیزات الکترونیکـی حساس در برابر پالس‌های پرقـدرت و سـریع افـزایش مـی‌دهـد. فناوری محدودکننده پلاسما موجود از پیکربندی الکتـرود نقطـه فلزی استفاده می‌کند. درحالی‌که این پیکربنـدی معقـول و مـؤثر بوده است، ظهور آرایه‌های نانولوله کربن (CNT) تراز شده فرصتی برای بهبود بسیار زیاد عملکرد محدودکننده پلاسما است. استفاده از آرایه CNT بـه‌عنـوان یـک الکتـرود تقویـت‌کننـده میـدان در محدودکننده پلاسما، نویـدبخش ارائـه زمـان واکـنش سـریع‌تـر، قابلیت انتقال قدرت بیشتر و قابلیت اطمینـان بیشـتر نسـبت بـه سیستم‌های موجود را فراهم مـی‌کنـد و محافظـت مـؤثری بـرای رادارهای BMDS در برابر پالس‌هـای پرقـدرت و سـریع افـزایش می‌دهد [۲۷].

پلاسماهای غیرتعادلی می‌توانند توسط دو نوع دما توصیف شوند. دمای الکترونی و دمای ذرات سنگین. به دلیل اختلاف جرمی زیاد میان الکترون و ذرات سنگین، دمای پلاسما یا دمای گاز ثابت می‌باشد و با افزایش انحراف از حالت تعادلی، تفاوت دمای الکترونی (Te) و دمای ذرات سنگین (Th) بیشتر خواهد شد. دمای الکترونی و دمای گاز درپلاسمای غیرتعادلی معمولا به‌ترتیب در بازه K ۱۰۴ - ۱۰۵ و K ۳۰۰ - ۱۰۰۰ است و چگالی الکترونی آن کمتر از m ۱۰۱۹ -۳ می‌باشد. همچنین در این نوع پلاسما نشان داده شده است که شرایط تعادل ترمودینامیکی موضعی جزئی می‌تواند برقرار باشد. به عنوان مثال، برای وضعیت‌هایی نزدیک آستانه یونیزاسیون (مانند ترازهای p ۵ و بالاتر در پلاسمای آرگون) پلاسما در تعادل ترمودینامیکی جزئی قرار دارد [۲۸].

فرکانس پلاسما اساسی‌ترین مقیاس زمانی در تعاریف پلاسما است. فرکانس پلاسما برای ذرات مختلف، متفاوت است. اما منظور از فرکانس پلاسما در حالت کلی فرکانس الکترونی است که نسبتا سریع است. در واقع فرکانس پلاسما متناسب با فرکانس نوسانی الکترواستاتیک ذرات می‌باشد که در پاسخ به جدایی باری کوچک در آن اتفاق می‌افتد [۲۹].

۳-۱- تجزیه و تحلیل محیطی

جهت تحلیل اطلاعات در این پروژه از روش ترکیبی استفاده شده است، به‌این‌ترتیب که برای بررسی داده‌های به‌دست‌آمده از پرسشنامه‌ها روش کمی و عددی استفاده شد و از سوی دیگر برای ارائه راهکارها و طرح‌های کوتاه مدت، میان‌مدت و بلند مدت از روش کیفی استفاده شد.

هرچیزی که در درون مرزهای جمهوری اسلامی ایران قرار دارد یا موجب قوت و یا موجب ضعف است هر چیزی که در بیرون از مرزهای کشور قرار دارد می‌تواند فرصت یا تهدید به‌شمار رود. عوامل محیطی استخراج شده مربوط به قوت، ضعف، فرصت‌ها و تهدیدها در جداول (۴- ۱) آورده شده است. در جدول‌های درج شده در یک ستون مجموع امتیاز داده‌شده توسط متخصصان آورده شده است و در ستون دیگر میانگین امتیاز آن‌ها قید شده است. عباراتی که میانگین عددی آن‌ها کمتر از عدد ۳ باشد غیر معتبر شناخته‌شده و برای تبیین راهبرد از آن‌ها استفاده نشده است. لازم به‌ذکر است که برای استخراج محیط درونی و بیرونی سازمان در نظر گرفته نشده است و مرزهای کشور جمهوری اسلامی ایران ملاک تشخیص درونی یا بیرونی بودن می‌باشد.

جدول (۱): اولویت‌بندی نقاط قوت پرسشنامه اول

	عبارت	میانگین نمره پرسشنامه	وضعیت
دفاعی	امکان ایجاد فریب نیروهای دشمن به دلیل رؤیت پذیر نبودن پلاسما (S1)	۳/۶	تأیید
	سرعت‌بالای واکنش پلاسما در برابر تهدیدات الکترومغناطیسی نسبت به سایر روش‌ها (S2)	۳/۸۶۶	تأیید
	امکان ایجاد استتار و اختفا توسط پلاسما در محدوده طیف امواج الکترومغناطیسی (S3)	۳/۴۶۷	تأیید
امنیتی	قدرت و اشراف اطلاعاتی بالا در کشور	۲/۹۳۳	رد
	امکان حفاظت از سامانه‌های حیاتی سایبر الکترونیکی با استفاده از پوشش پلاسمایی جهت مقابله با تهدیدات سلاح‌های الکترومغناطیسی (S4)	۳/۸	تأیید
سیاسی	تأکیدات مستمر امامین انقلاب از گفتمان ترویج علم و خودکفایی، حمایت از نخبگان و بی‌اعتمادی به بیگانگان (S5)	۳/۸۶۶	تأیید
	بهره‌گیری از مطالعات آینده‌پژوهی در کشورهای همسو هم‌پیمان پیرامون کاربردهای سامانه‌های پلاسمایی (S6)	۳/۶	تأیید
	انگیزه مسئولان نسبت به بومی‌سازی انواع تجهیزات و پوشش‌های مقابله با تهدیدات ناشی از سلاح‌های الکترومغناطیسی (S7)	۳/۲۶۶	تأیید
اقتصادی	انگیزه مسئولان نسبت به بومی‌سازی انواع سامانه‌ها به دلیل صرفه‌جویی ارزی (S8)	۳/۲	تأیید
اجتماعی	برخورداری از جامعه‌ای سرشار از نیروهای انسانی متخصص، کارآمد و پرانگیزه جهت ارتقای ظرفیت‌های دفاعی و ملی کشور و توسعه نوآوری، درآمدزایی و کارآفرینی (S9)	۳/۸	تأیید
فناورانه	وجود برخی مراکز دانشگاهی، اساتید برجسته و مهندسین باانگیزه در کشور که در موضوعات مرتبط با علوم و فناوری‌های مرتبط با پلاسما و سلاح‌های الکترومغناطیسی فعالیت دارند (S10)	۳/۸	تأیید
	امکان استفاده از سامانه دفاع پلاسمایی در جاهایی که امکان شیلد و ارت کردن سیستم یا استفاده از دیگر روش‌ها امکان‌پذیر نیست (S11)	۳/۳۶۶	تأیید
	وجود امکانات آزمایشگاهی مقدماتی جهت تست پلاسما، و ابزارهای مناسب برای شبیه‌سازی پلاسما و تقابل آن با امواج الکترومغناطیسی در مقیاس آزمایشگاهی (S12)	۳/۳۳	تأیید
قانونی	انگیزه مسئولان درراستای تصویب قوانین حمایتی برای توسعه فناوری‌های مرتبط با پلاسما و سلاح‌های الکترومغناطیسی	۲/۸۶۶	رد

جدول (۲): اولویت‌بندی نقاط ضعف پرسشنامه اول

	عبارت	میانگین نمره پرسشنامه	وضعیت
دفاعی	نیاز به تدوین روش‌هایی برای افزایش توجه نیروهای مسلح به رعایت اصول ایمنی و الزامات مقابله با تهدیدات ناشی از به‌کارگیری سلاح‌های الکترومغناطیسی نظیر سامانه‌های پلاسمایی (W1)	۴	تأیید
	ضرورت ارتقا دانش و سطح آموزش نیروهای مسلح در قبال کاربردهای پدافندی و آفندی سامانه‌های پلاسمایی (W2)	۴/۴۶۶	تأیید
	ضعف مفرط سامانه‌های گیرنده و فرستنده دارای آنتن) نظیر انواع رادار، لینک ارتباطی، الینت، کامینت (در برابر تهاجمات الکترومغناطیسی به دلیل عدم امکان شیلد نمودن آنتن (W3)	۳/۶	تأیید
	ضرورت استفاده از محدودکننده پلاسمایی در سامانه‌های گیرنده و فرستنده دارای آنتن) نظیر انواع رادار، لینک ارتباطی، الینت، کامینت (جهت مقابله با تهاجمات الکترومغناطیسی دشمن (W4)	۴	تأیید
	ضرورت توسعه سامانه‌های پلاسمایی جهت مقابله با تهدیدات سلاح‌های الکترومغناطیسی	۴/۰۶۶	تأیید
	نیاز به ایجاد انطباق بیشتر تجهیزات دفاعی پلاسمایی با انواع مختلف سلاح‌های الکترومغناطیسی در مأموریت‌های متنوع رزمی نیروهای مسلح و شرایط اقلیمی متفاوت (W6)	۳/۸۶۶	تأیید
امنیتی	نیاز به توسعه تجهیزات محافظت پلاسمایی در مراکز و سامانه‌های حیاتی، نظیر سامانه‌های جمع‌آوری الکترونیکی) رادار، الینت، کامینت و ...(جهت مقابله با تهدیدات سلاح‌های الکترومغناطیسی (W7)	۴/۱۳۳	تأیید
سیاسی	ضعف در تدوین یک سند راهبردی و برنامه کلان روزآمد جهت تعیین تکلیف علوم و فناوری‌های مرتبط با پلاسما و سلاح‌های الکترومغناطیسی (W8)	۳/۶۶	تأیید
	وجود رده‌ها و سازمان‌های پراکنده ذی اثر و ذی‌نفع در موضوعات مرتبط با علوم و فناوری‌های مرتبط با پلاسما و سلاح‌های الکترومغناطیسی	۲/۹۳۳	رد
	ضعف در به‌کارگیری از تمام ظرفیت‌های ملی (شرکت‌های دانش‌بنیان و مراکز پژوهشی دانشگاهی) در خصوص توسعه روش‌های نوین و فناوری پلاسما در مقابل تهدیدات سلاح‌های الکترومغناطیسی (W9)	۳/۸۶۶	تأیید
اقتصادی	سرمایه‌گذاری ناکافی در بخش بومی‌سازی علوم، فناوری‌ها و محصولات مرتبط با پلاسما و مقابله با سلاح‌های الکترومغناطیسی (W10)	۳/۲۶۶	تأیید
	پرهزینه بودن فرآیند ایجاد و توسعه علوم، فناوری‌ها و محصولات پلاسمایی (W11)	۳	تأیید
اجتماعی	تمایل برخی متخصصان جوان و اساتید دانشگاهی جهت مهاجرت موقت یا دائمی از کشور به دلیل ترویج فرهنگ ناکارآمدی سازوکارهای حمایتی از ایشان (W12)	۳/۶	تأیید
فناورانه	الزام به فعالیت مستمر سامانه مولد پلاسما در زمان اندرکنش با امواج ناشی از سلاح‌های الکترومغناطیسی	۲/۱۳	رد
	پیچیده و زمان‌بر بودن فرآیند بومی‌سازی سامانه سلاح‌های پدافندی و آفندی پلاسمایی (W13)	۳/۶۶	تأیید
	ضرورت ارتقا سطح علوم و فناوری‌های مرتبط با پلاسما در کشور (W14)	۳/۰۶۶	تأیید
	ضعف در آزمایشگاه‌های مرجع برای کنترل کیفیت سامانه‌های پلاسمایی و الکترومغناطیسی	۳/۷۳۳	تأیید
	زمان‌بر بودن فرآیند رشد و بلوغ فناوری محافظت پلاسمایی در برابر تهدیدات ناشی از سلاح‌های الکترومغناطیسی (W16)	۳/۶	تأیید
	ضرورت افزایش قابلیت تطابق الکترومغناطیسی و مقابله با امواج، میدان‌ها و جریان‌های ناخواسته (W17)	۳/۸	تأیید
	نیاز به توزیع یکپارچه و گسترده پلاسما در محدوده مورد تهدید سلاح‌های الکترومغناطیسی (W18)	۳/۵۳۳	تأیید
	کوتاه بودن برد و عمر نسل‌های کنونی پلاسما و امکان استفاده از آن به‌عنوان پوشش محدوده مورد حفاظت	۲/۸	رد
	ضعف آموزش‌های تخصصی نسبت به چگونگی استفاده از علوم و فناوری‌های پلاسمایی در برابر تهدیدات ناشی از سلاح‌های الکترومغناطیسی (W19)	۴	تأیید
	کمبود نیروی انسانی متخصص و مجرب در موضوعات مرتبط با علوم و فناوری‌های پلاسمایی در کشور (W20)	۳/۶	تأیید
زیست محیطی	نیاز به طراحی سامانه‌های پلاسمایی و سلاح‌های الکترومغناطیسی خاص متناسب با ویژگی‌های طبیعی و اقلیمی کشور و مأموریت‌های مختلف (W21)	۴/۱۳	تأیید
	احتمال ایجاد وقفه در عملکرد سامانه‌های دفاعی پلاسمایی در شرایط متفاوت آب و هوایی (W22)	۳/۱۳۳	تأیید
	گسترده بودن کشور و سخت بودن ایجاد منطقه‌های حفاظتی پلاسمایی برای مقابله با تهدیدات ناشی از سلاح‌هایی الکترومغناطیسی در تمام مناطق (W23)	۳/۴۶	تأیید
قانونی	وجود برخی قوانین ضعیف، دست و پاگیر، ناکارآمد یا مخرب در مسیر بومی‌سازی سریع و ارزان‌قیمت محصولات پراهمیت موردنیاز کشور (W24)	۴/۱۳۳	تأیید

جدول (۳): اولویت‌بندی فرصت‌ها پرسشنامه اول

	عبارت	میانگین نمره پرسشنامه	وضعیت
دفاعی	امکان خرید برخی نمونه‌های سامانه‌های پلاسمایی از کشورهای همسو باهدف گرفتن ایده و بومی‌سازی (O1)	۳/۴۶۶	تأیید
	امکان حضور در رزمایش کشورهای همسو و هم‌پیمان یا انجام رزمایش‌های مشترک با آن‌ها جهت استفاده از تجربیات آن‌ها پیرامون استفاده از پلاسما در مقابل تهدیدات ناشی از سلاح‌های الکترومغناطیسی (O2)	۳/۶	تأیید
امنیتی	امکان انعقاد تفاهم‌نامه‌های همکاری با کشورهای همسو و هم‌پیمان پیرامون توسعه علوم و فناوری‌های مرتبط با سامانه‌های پلاسمایی و سلاح‌های الکترومغناطیسی (O3)	۳/۲	تأیید
	امکان نفوذ به پایگاه‌های اطلاعاتی مراکز علمی پژوهشی بیگانه که در موضوعات مرتبط با علوم و فناوری‌های مرتبط با سامانه‌های پلاسمایی و سلاح‌های الکترومغناطیسی فعالیت دارند (O4)	۳/۴۶۶	تأیید
اقتصادی	امکان دومنظوره سازی فناوری‌ها و محصولات پلاسمایی و مرتبط با سلاح الکترومغناطیسی (O5)	۳/۳۳	تأیید
اجتماعی	وجود انگیزه بالای اسلامی و وطن‌دوستی مسلمانان و ایرانیان مقیم خارج جهت توسعه همکاری‌های علمی پژوهشی ایران	۲/۶۶	رد
فناورانه	امکان استفاده از علم، تجربه و ارتباطات دانشمندان، متخصصان و مهندسان ایرانی مقیم خارج از کشور (O6)	۳/۴	تأیید
	مکان حضور در همایش‌ها و اجلاس‌های بین‌المللی در حوزه‌های مرتبط	۲/۹۳۳	رد
قانونی	امکان استفاده از تجربیات موفق وکارامد بین‌المللی به‌ویژه در حوزه‌های قانونی و حقوقی درزمینه استفاده از پلاسما و سلاح‌های الکترومغناطیسی (O7)	۳/۴۶۶	تأیید

جدول (۴): اولویت‌بندی تهدیدها پرسشنامه اول

	عبارت	میانگین نمره	وضعیت
دفاعی	امکان استفاده دشمن از سلاح‌های الکترومغناطیسی ضد سامانه‌های الکترونیکی، مخابراتی، کنترلی، رایانه‌ای خودی (T1)	۴/۲	تأیید
امنیتی	امکان جذب متخصصان و نیروهای متخصص و ماهر داخلی از سوی دشمنان (T2)	۴/۱۳۳	تأیید
	امکان بهره‌گیری دشمن از درز اطلاعات مرتبط با علوم و فناوری‌های پلاسما و سلاح‌های الکترومغناطیسی (T3)	۳/۸۶۶	تأیید
	احتمال ترور یا حذف فیزیکی و سازمان‌یافته دانشمندان و متخصصان حوزه‌های پلاسما و سلاح‌های الکترومغناطیسی (T4)	۳/۷۳۳	تأیید
	امکان به‌کارگیری سامانه‌های کوچک و قابل‌حمل سلاح‌های الکترومغناطیسی توسط گروه‌های معاند و اشرار باهدف از بین بردن دوربین‌ها و حسگرهای پیرامونی جهت ورود به مراکز حیاتی، حساس و مهم	۲/۹۳۳	رد
اقتصادی	امکان خرید دانش فنی و حق انحصار محصولات بومی و داخلی مرتبط با پلاسما و سلاح‌های الکترومغناطیسی توسط بیگانگان و افزایش هزینه تأمین آن‌ها برای طرف خودی (T5)	۳/۰۶۶	تأیید
اجتماعی	وجود بار روانی منفی استفاده از مواد پرتوزا در جامعه جهانی (T6)	۳/۸۶۶	تأیید
فناورانه	وجود محدودیت‌های ناشی از تحریم‌های علمی و فناورانه و اقتصادی در مسیر تأمین دانش فنی و برخی مواد اولیه و اقلام روزآمد جهت ساخت و به‌روزرسانی فناوری‌ها و محصولات پلاسمایی در برابر تهدیدات ناشی از سلاح‌های الکترومغناطیس (T7)	۳/۶	تأیید
	امکان جذب و به‌کارگیری آشکار یا نامحسوس اساتید دانشگاهی و شرکت‌های دانش‌بنیان و متخصصان مجرب کشور توسط دشمن در موضوعات مرتبط با علوم و فناوری‌های مرتبط با پلاسما و سلاح‌های الکترومغناطیسی (T8)	۳/۴	تأیید
	وجود مشوق‌های خارجی که مانع از بازگشت متخصصان و نیروهای متخصص و کارآمد این حوزه به کشور می‌شود (T9)	۳/۸	تأیید
زیست‌محیطی	امکان استفاده دشمن از ضعف‌های طبیعی و اقلیمی داخلی به هنگام استفاده از سامانه‌های پلاسمایی و سلاح‌های الکترومغناطیسی (T10)	۳/۶۶	تأیید
قانونی	احتمال نفوذ سازمان‌یافته دشمن به مراکز تصمیم‌گیری و قانون‌گذاری جهت تغییر دادن اولویت‌ها و تدوین عامدانه مقررات ناکارآمد (T11)	۳/۴۶۶	تأیید

جدول(۵): نتایج آلفای کرون باخ پرسشنامه اول

آلفای کرون باخ			
قوت	ضعف	فرصت	تهدید
۰/۷۰۴	۰/۸۴۴	۰/۸۱۷	۰/۷۹۵
عوامل داخلی		عوامل خارجی	
۰/۸۵۶		۰/۸۷۷	
کل			
۰/۹۰۷			

حال با توجه به بررسی همه راهبردهای استخراج شده و با درنظر گرفتن اهداف اصلی پدافندی، راهبردها به ۵ دسته زیرمجموعه پدافند غیرعامل تقسیم شده‌اند:

- مجموعه اقدامات غیرمسلحانه موجب افزایش بازدارندگی مقابل تهدیدات و اقدامات نظامی و امنیتی دشمن:
  - انجام اقدامات در حوزه مراقبت و حفاظت پیرامونی.
  - ایجاد شرایط استتار و اختفا برای اهداف در معرض تهدید در برابر:
  - نورهای (مرئی، مادون قرمز، ماوراء بنفش)
  - امواج الکترومغناطیسی
  - صوتیات (شنیداری، فرو صوت و فراصوت)
  - سایر کمیت‌های فیزیکی وشیمیایی
  - انجام اقدامات فریب وحساسیت زدایی برای اهداف در معرض تهدید.
  - انجام اقدامات در حوزه آمایش سرزمینی با فراهم‌سازی امکانات و الزامات زیر:
  - تمرکز زدایی و پراکنده‌سازی تاسیسات تاسیسات، تجهیزات و اماکن متناسب با شرایط تهدید.
  - تجمیع وگردآوری تاسیسات تاسیسات، تجهیزات و اماکن متناسب با شرایط تهدید.
- مجموعه اقدامات غیرمسلحانه موجب کاهش آسیب‌پذیری مقابل تهدیدات و اقدامات نظامی دشمن:
  - شناسایی، طبقه‌بندی و اولویت‌بندی روش‌های مقاوم‌سازی، ایمن‌سازی و استحکام بخشی تخصصی زیرساخت‌ها، اماکن و تاسیسات در قبال اثرات ناشی از تحقق انواع تهدیدات و حوادث غیر مترقبه.
  - شناسایی، طبقه‌بندی و اولویت‌بندی روش‌های هشداردهی در قبال انواع تهدیدات و حوادث غیر مترقبه.
- مجموعه اقدامات غیرمسلحانه موجب تداوم فعالیت‌های ضروری مقابل تهدیدات واقدامات نظامی دشمن:
  - دو یا چند منظوره‌سازی اماکن، تاسیسات، تجهیزات و سامانه‌ها با ایجاد اشتراکات، یکپارچگی، هماهنگی و همپوشانی‌های هرچه بیشتر آن‌ها.
  - ایجاد ظرفیت‌های ذخیره ورزرو برای اماکن، تاسیسات، تجهیزات، سامانه‌ها و خطوط تولید دارای اولویت
  - تامین مکفی و بومی‌سازی تولید انواع قطعات، ماجول‌ها، زیر سیستم‌ها و سامانه‌های کلیدی یا پر مصرف
- مجموعه اقدامات غیرمسلحانه موجب تسهیل مدیریت بحران مقابل تهدیدات و اقدامات نظامی دشمن:
  - ایجاد مسیرهای نجات و فرار اضطراری.
  - ایجاد پناهگاه‌های زیر زمینی.
  - ایجاد درمانگاه‌های نجات سرپایی.

- ایجاد انبار ذخیره آب، غذا و دارو و دیگر امکانات مورد نیاز برای شرایط بحران.
- ایجاد الزامات اسکان اضطراری و موقت افراد بابرپایی اقامتگاه‌های موقت ماژولار، ضد آتش‌سوزی، سریع‌النصب و ماندگار.
- ایجاد سایر الزامات، امکانات و تجهیزات مورد نیاز.

● مجموعه اقدامات غیرمسلحانه موجب ارتقای پایداری ملی مقابل تهدیدات و اقدامات نظامی دشمن:

- بهینه سازی راهبردها، راهکارها واصول پدافند غیرعامل درداخل کشور.
- انجام مطالعات تطبیقی برای شناسایی فعالیت‌ها در حوزه پدافند غیرعامل در دیگر کشورها.
- فضاسازی رسانه‌ای و فرهنگ‌سازی مناسب و کارآمد پیرامون تبیین چیستی، چرایی و چگونگی پدافند غیرعامل به زبان ساده برای عموم مردم.
- تدوین قوانین، مقررات، دستورالعمل ها و آئین نامه های مورد نیاز برای ارتقاء پایداری ملی مقابل تهدیدات و اقدامات نظامی دشمن در حوزه پدافند غیرعامل.
- طراحی و اجرای رزمایش‌ها با رویکرد پدافند غیرعامل جهت ارزیابی آمادگی رده‌های مختلف.
- حمایت از ایجاد زیرساخت‌های آموزشی بهینه و کارامد در حوزه ملی با رویکرد پدافند غیرعامل.
- حمایت از ایجاد زیرساخت‌های پژوهشی بهینه و کارامد در حوزه ملی با رویکرد پدافند غیرعامل.
- حمایت از ایجاد زیرساخت‌های صنعتی بهینه و کارامد در حوزه ملی با رویکرد پدافند غیرعامل.
- حمایت از ایجاد شرکت‌های دانش بنیان در حوزه مشاوره، اجرا و نظارت پدافند غیرعامل.

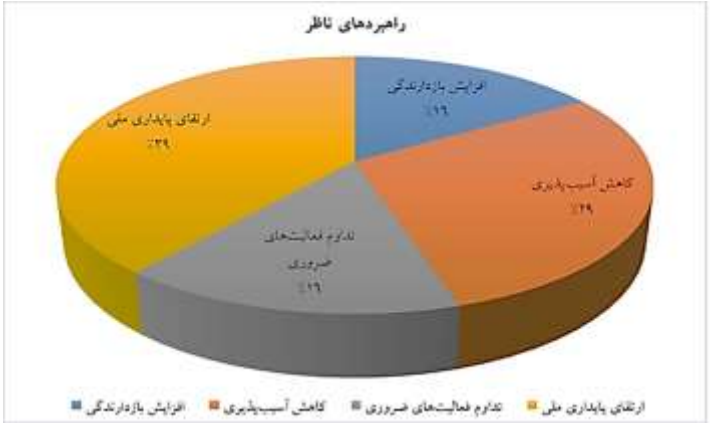
در جدول (۶) به بررسی راهبردها و دسته‌بندی آن‌ها متناسب با اهداف پدافندی پرداخته شده است.

جدول (۶): دسته‌بندی راهبردها و محاسبه وزن آن‌ها

اصول پدافند غیرعامل	راهبرد مرتبط با هر هدف کلان	وزن هر راهبرد	وزن هر اصل	وزن از ۱۰۰
افزایش بازدارندگی	برنامه‌ریزی جهت توسعه انواع سامانه‌های پلاسمایی جهت مقابله با تهدیدات سلاح‌های الکترومغناطیسی دشمن با کمک خرید برخی نمونه‌های سامانه‌های پلاسمایی از کشورهای همسو	۳/۴۶۷	۱۸	۱۶/۱۴
	حفاظت از سامانه‌های الکترونیکی، مخابراتی، کنترلی، رایانه‌های خودی با خصوصیاتی همچون رؤیت پذیر نبودن پلاسما و سرعت‌بالای واکنش پلاسما در برابر سلاح‌های الکترومغناطیسی دشمن	۴/۰۱۶۱		
	برنامه‌ریزی جهت ایجاد استتار و اختفای پلاسمایی سامانه‌های گیرنده و فرستنده دارای آنتن (نظیر انواع رادار، لینک ارتباطی، الینت، کامینت) در برابر تهاجمات الکترومغناطیسی به دلیل عدم امکان شیلد نمودن آنتن	۳/۷۵۸		
	حمایت از متخصصان داخلی برای نفوذ به پایگاه‌های اطلاعاتی مراکز علمی پژوهشی بیگانه که در موضوعات مرتبط با علوم و فناوری‌های مرتبط با سامانه‌های پلاسمایی و سلاح‌های الکترومغناطیسی فعالیت دارند	۳/۰۹۶		
	ایجاد زمینه جهت تست رؤیت پذیری، سرعت بالا و همچنین امکان ایجاد استتار و اختفا توسط پلاسما بر روی نمونه سامانه‌های پلاسمایی خریداری شده از کشورهای هم‌پیمان در مقابل با سلاح‌های الکترومغناطیسی	۳/۶۶۱		
کاهش آسیب‌پذیری	توسعه تجهیزات محافظت پلاسمایی درمراکزوسامانه‌های حیاتی با انعقاد تفاهم‌نامه‌های همکاری با کشورهای همسو و هم‌پیمان پیرامون توسعه علوم و فناوری‌های مرتبط، جهت مقابله با تهدیدات سلاح‌های الکترومغناطیسی	۳/۴۶۷	۳۲/۴۶۶	۲۹/۱۲
	برنامه‌ریزی جهت افزایش قابلیت تطابق الکترومغناطیسی و مقابله با امواج، میدان‌هاوجریان‌های ناخواسته با شبیه‌سازی و تست در مقیاس آزمایشگاهی	۳/۷۰۱		
	برنامه‌ریزی جهت طراحی و ساخت سامانه‌های پلاسمایی و سلاح‌های الکترومغناطیسی خاص متناسب با ویژگی‌های طبیعی و اقلیمی کشور برای جلوگیری از استفاده دشمن از ضعف‌های طبیعی و اقلیمی داخلی	۳/۵۱۶		
	جلوگیری از استفاده دشمن ازدرزاطلاعات داخلی و همچنین نفوذ به پایگاه‌های اطلاعاتی مراکز علمی پژوهشی بیگانه مرتبط با علوم و فناوری‌های پلاسماوسلاح‌های الکترومغناطیسی	۳/۱۶۱		
	حفاظت از سامانه‌های حیاتی سایبر الکترونیکی با انعقاد تفاهم‌نامه‌های همکاری با کشورهای همسو و هم‌پیمان پیرامون توسعه علوم و فناوری‌های مرتبط با سامانه‌های پلاسمایی جهت مقابله با تهدیدات سلاح‌های الکترومغناطیسی دشمن	۳/۳۰۶		
	برنامه‌ریزی جهت به‌کارگیری علم، تجربه و ارتباطات دانشمندان، متخصصان و مهندسان ایرانی مقیم خارج از کشور برای سامانه دفاع پلاسمایی درجاهایی که امکان شیلد و ارت کردن سیستم یا استفاده ازدیگرروش‌هاامکان‌پذیرنیست	۳/۷۲۵		
	خرید برخی نمونه‌ها و تجهیزات آزمایشگاهی پلاسمایی از کشورهای هم سو باهدف گرفتن ایده و بومی‌سازی به‌منظور رفع ضعف مفرط سامانه‌های گیرنده و فرستنده دارای آنتن	۳/۶۹۳		
	آزمایش میزان انطباق تجهیزات دفاعی پلاسمایی با انواع مختلف سلاح‌های الکترومغناطیسی در مأموریت‌های متنوع رزمی نیروهای مسلح و شرایط اقلیمی متفاوت در رزمایش کشورهای همسو و هم‌پیمان	۳/۸۳۸		
	ارتقای دانش و قابلیت متخصصان داخلی در زمینه امکان استفاده دشمن از سلاح‌های الکترومغناطیسی ضد سامانه‌های الکترونیکی، مخابراتی، کنترلی، رایانه‌های خودی	۴/۰۵۸		

ادامه جدول (۶): دسته‌بندی راهبردها و محاسبه وزن آن‌ها

تداوم فعالیت‌های ضروری	تسریع در جذب سرمایه‌گذاری مکفی برای بومی‌سازی علوم، فناوری‌هاومحصولات مرتبط باپلاسماومقابله با سلاح‌های الکترومغناطیسی با توجه به انگیزه بالای مسئولین	۳/۲۲۵	۱۷/۵۸۵	۱۵/۷۷
	افزایش حمایت‌های مادی و معنوی از نخبگان، اساتید دانشگاه و شرکت‌های دانش‌بنیان فعال در حوزه‌های مرتبط با پلاسما با عنابت به تأکیدات مستمر امامین انقلاب از گفتمان ترویج علم و خودکفایی	۳/۴۴۵		
	حمایت از بومی‌سازی فناوری‌ها و سامانه سلاح‌های پدافندی وآفندی پلاسمایی با تکیه‌بر علم، تجربه و ارتباطات دانشمندان، متخصصان و مهندسان ایرانی مقیم خارج از کشور	۳/۷۲۵		
	برنامه‌ریزی جهت بومی‌سازی انواع تجهیزات و پوشش‌های مقابله با تهدیدات ناشی از سلاح‌های الکترومغناطیسی و کاهش هزینه‌های فرآیند ایجاد و توسعه این علوم	۳/۳۰۶		
	برنامه‌ریزی جهت دومنظوره سازی فناوری‌هاومحصولات پلاسمایی و مرتبط با سلاح الکترومغناطیسی جهت کاهش هزینه‌های ایجاد و توسعه این علوم	۳/۸۸۲		
ارتقای پایداری ملی	ارتقای دانش و سطح آموزش نیروهای مسلح در قبال کاربردهای پدافندی وآفندی سامانه‌های پلاسمایی با حضور در رزمایش کشورهای همسو و هم‌پیمان یا انجام رزمایش‌های مشترک با آن‌ها	۳/۷۵۷	۴۳/۴۳۱	۳۸/۹۶
	تسریع در تدوین سند راهبردی و برنامه کلان روزآمد جهت تعیین تکلیف علوم و فناوری‌های مرتبط با پلاسما و سلاح‌های الکترومغناطیسی با عنابت به تأکیدات مستمر امامین انقلاب از گفتمان ترویج علم و خودکفایی	۳/۱۱۳		
	به‌کارگیری تمام ظرفیت‌های ملی (شرکت‌های دانش‌بنیان ومراکزپژوهشی دانشگاهی) با بهره‌گیری از مطالعات آینده‌پژوهی در خصوص توسعه روش‌های نوین و فناوری پلاسمادرمقابل تهدیدات سلاح‌های الکترومغناطیسی	۳/۷۲۵		
	برنامه‌ریزی جهت ارتقای سطح علوم و فناوری‌های مرتبطباپلاسمادرکشور با حمایت همه‌جانبه از نخبگان و بی‌اعتمادی به بیگانگان	۳/۳۲۲		
	تقویت آزمایشگاه‌های مرجع برای کنترل کیفیت سامانه‌های پلاسمایی و الکترومغناطیسی با استفاده از علم، تجربه و ارتباطات اساتید برجسته و مهندسین باانگیزه در کشور	۳/۲۵۸		
	تدوین دوره‌های آموزش‌های تخصصی در برخی مراکز دانشگاهی با استفاده از اساتید برجسته و مهندسین باانگیزه در کشور نسبت به چگونگی استفاده از علوم و فناوری‌های پلاسمایی دربرابرتهدیدات ناشی از سلاح‌های الکترومغناطیسی	۳/۳۸۷		
	حذف یا اصلاح قوانین ضعیف، دست پاگیر، ناکارآمدیامخرب با استفاده از تجربیات موفق وکارامد بین‌المللی به‌ویژه در حوزه‌های قانونی و حقوقی درمسیربومی‌سازی سریع و ارزان‌قیمت محصولات پراهمیت موردنیاز کشور	۳/۸		
	استفاده از علم، تجربه و ارتباطات دانشمندان، متخصصان و مهندسان ایرانی مقیم خارج از کشور جهت مقابله با تحریم‌های علمی وفناورانه و اقتصادی درمسیرتأمین دانش فنی و برخی مواد اولیه و اقلام روزآمد جهت ساخت و روزآمدسازی	۳/۴۰۶		
	بهره‌گیری از مطالعات آینده‌پژوهی جهت تدوین یک سند راهبردی و برنامه کلان روزآمد جهت تعیین تکلیف علوم و فناوری‌های مرتبط با پلاسما و سلاح‌های الکترومغناطیسی	۳/۸۵۴		
	توسعه امکانات آزمایشگاهی جهت تست پلاسما، وابزارهای مناسب برای شبیه‌سازی پلاسماوتقابل آن با امواج الکترومغناطیسی درمقیاس آزمایشگاهی برای افزایش انگیزه بازگشت متخصصان و نیروهای متخصص و کارآمد	۴/۰۳۲		
	ایجاد زمینه انعقاد تفاهم‌نامه‌های همکاری با کشورهای همسو برای سامانه‌های پلاسمایی جهت حفاظت از سامانه‌های حیاتی سایبر الکترونیکی کشور	۳/۷۲۵		
	استفاده از تجربیات موفق وکارامدبین‌المللی به‌ویژه در حوزه‌های قانونی و حقوقی برای اصلاح قوانین ضعیف، دست و پاگیر، ناکارآمد یا مخرب مرتبط با بومی‌سازی سریع و ارزان‌قیمت محصولات پراهمیت موردنیاز کشور	۴/۰۴۸		
			۱۱۱/۴۸	۱۰۰



شکل (۲): نمودار دایره‌ای درصد هر یک از اصول پدافند غیرعامل در راهبردهای ناظر

۳-۲- اولویت‌بندی راهبردها

انتخاب و اولویت‌بندی راهبردها گام مهمی است زیرا تمام راهبرهایی که به واسطه طی کردن دو مرحله ورود اطلاعات و مرحله تحلیل و مقایسه تدوین شده‌اند، نیازمند صرف منابع‌اند و محدودیت منابع یکی از عوامل تاثیرگذار در اجرای راهبردهاست. طبق چارچوب تحلیلی ما، بعد از مرحله استخراج راهبردها،

مرحله اولویت‌بندی راهبردها است. اولویت‌بندی راهبردها با توجه به شاخصه‌های اولویت‌بندی انجام گرفته است. پس از بررسی و استخراج عوامل محیطی با مصاحبه با صاحب نظران و با توجه به روش اشباع نظری و توزیع آن بین نخبگان، عوامل محیطی منتخب تعیین گردیده و با توجه به سیاست‌های کلان، راهبردهایی برای تحقق اهداف پدافندی استخراج گردید و با توزیع بین نخبگان و افرادی که آشنایی با مساله طرح راهبردی دارند به اولویت‌بندی آن‌ها پرداخته شده است. اولویت اول، اجرای راهبرهای زیر می‌باشند:

جدول (۷): اولویت‌بندی ۱۰ راهبرد اصلی

عنوان راهبرد	میانگین
ارتقای دانش و قابلیت متخصصان داخلی در زمینه امکان استفاده دشمن از سلاح‌های الکترومغناطیسی ضد سامانه‌های الکترونیکی، مخابراتی، کنترلی، رایانه‌ای خودی	۴/۰۵
استفاده از تجربیات موفق وکارامدبین‌المللی به‌ویژه در حوزه‌های قانونی و حقوقی برای اصلاح قوانین ضعیف، دست و پاگیر، ناکارآمد یا مخرب مرتبط با بومی‌سازی سریع و ارزان‌قیمت محصولات پراهمیت موردنیاز کشور	۴/۰۴
توسعه امکانات آزمایشگاهی جهت تست پلاسما، وابزارهای مناسب برای شبیه‌سازی پلاسماوتقابل آن با امواج الکترومغناطیسی درمقیاس آزمایشگاهی برای افزایش انگیزه بازگشت متخصصان و نیروهای متخصص و کارآمد	۴/۰۳
حفاظت از سامانه‌های الکترونیکی، مخابراتی، کنترلی، رایانه‌های خودی با خصوصیاتی همچون رؤیت پذیر نبودن پلاسما و سرعت‌بالای واکنش پلاسما در برابر سلاح‌های الکترومغناطیسی دشمن	۴/۰۱
برنامه‌ریزی جهت دومنظوره سازی فناوری‌هاومحصولات پلاسمایی و مرتبط با سلاح الکترومغناطیسی جهت کاهش هزینه‌های ایجاد و توسعه این علوم	۳/۸۸
بهره‌گیری از مطالعات آینده‌پژوهی جهت تدوین یک سند راهبردی و برنامه کلان روزآمد جهت تعیین تکلیف علوم و فناوری‌های مرتبط با پلاسما و سلاح‌های الکترومغناطیسی	۳/۸۵
آزمایش میزان انطباق تجهیزات دفاعی پلاسمایی با انواع مختلف سلاح‌های الکترومغناطیسی در مأموریت‌های متنوع رزمی نیروهای مسلح و شرایط اقلیمی متفاوت در رزمایش کشورهای همسو و هم‌پیمان	۳/۸۳
حذف یا اصلاح قوانین ضعیف، دست پاگیر، ناکارآمدیامخرب با استفاده از تجربیات موفق وکارامد بین‌المللی به‌ویژه در حوزه‌های قانونی و حقوقی درمسیربومی‌سازی سریع و ارزان‌قیمت محصولات پراهمیت موردنیاز کشور	۳/۸
برنامه‌ریزی جهت ایجاد استتار و اختفای پلاسمایی سامانه‌های گیرنده و فرستنده دارای آنتن (نظیر انواع رادار، لینک ارتباطی، الینت، کامینت) در برابر تهاجمات الکترومغناطیسی به دلیل عدم امکان شیلد نمودن آنتن	۳/۷۵
ارتقای دانش و سطح آموزش نیروهای مسلح در قبال کاربردهای پدافندی وآفندی سامانه‌های پلاسمایی با حضور در رزمایش کشورهای همسو و هم‌پیمان یا انجام رزمایش‌های مشترک با آن‌ها	۳/۷۵

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش قابلیت استفاده از پلاسما در برابر تهدیدات ناشی از سلاح‌های الکترومغناطیسی با رویکرد پدافند غیرعامل مورد بررسی قرار گرفت. عوامل داخلی (قوت‌ها و ضعف‌ها) و خارجی (فرصت ها و تهدیدها) پایه اساسی برای رسیدن به راهبردها و راهکارهای اصول پدافند غیرعامل قرار گرفتند. پس از بررسی اصول حاکم برکار به بیان مبانی تحقیق پرداخته شد. مبانی نظری و مفهوم شناسی پلاسما و سلاح‌های الکترومغناطیس برای استخراج عوامل محیطی مدنظر قرار گرفته شد. با درنظر گرفتن ارزش‌ها و باورها و سیاست‌های کلی، با تجزیه‌وتحلیل محیط درونی و بیرونی، پرسشنامه اول تهیه و با توجه به فاکتورهایی نظیر آلفای کرونباخ اعتبارسنجی شد. با استفاده از تجزیه‌وتحلیل داده‌های بدست آمده از پرسشنامه اول و دوم و در نظر گرفتن سیاست‌های کلان، راهبردها تجمیع و اولولیت بندی شد به طور خلاصه در این پروژه ۳۱ راهبرد استخراج و دسته‌بندی گردید و ۱۰ راهبرد اصلی نیز اولویت‌بندی شد.

۵- مراجع

[1] Cheng, Gao, Zhou Bihua, Chen Bin, Yi Yun, and Li Yanxin. "The penetrating of EMP fields into a metal shielding enclosure by a slot." In 2002 3rd International Symposium on Electromagnetic Compatibility, pp. 127-130, 2002.

[2] Chen, Xiang, and Yong-guang Chen. "Time-domain test for material electromagnetic pulse shielding effectiveness based on shielding black-box windows method." In International Symposium on Electromagnetic Compatibility-EMC EUROPE, pp. 1-5, 2012.

[3] Pereira, Viren, and G. R. Kunkolienkar. "EMP (Electro-Magnetic Pulse) weapon technology along with EMP shielding & detection methodology." In 2013 Fourth International Conference on Computing, Communications and Networking Technologies (ICCCNT), pp. 1-5, 2013.

[4] Fang, ChongHua, Qi Zhang, and DaGang Xie. "Simulation of shielding characteristic of a typical decay waveguide window for EMP." In 2010 International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications, pp. 780-783, 2010.

[5] Xiao, Dongping, Jun Yuan, Zhanlong Zhang, and Hui Lei. "Experimental and Theoretical Study of Coupling Effect of Electromagnetic Pulse on Shielded Cable." In 2012 Sixth International Conference on Electromagnetic Field Problems and Applications, pp. 1-4, 2012.

[6] Kunkel, George. "Historical methods of testing EMI gaskets." In 2014 IEEE Symposium on Product Compliance Engineering (ISPCE), pp. 60-62. , 2014.

[7] Yong-fang, Bao, Lu Ying-hua, Zhang Hong-xin, and Han Chun-yuan. "The analysis of shielding effectiveness of negative permittivity composite materials to different EMP." In 2005 IEEE International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications, vol. 1, pp. 635-638., 2005.

[8] Hu, Tao, Qifeng Liu, and Xueqin Yi. "Study of shielding properties of cylindrical enclosures illuminated by EMP." In 2013 5th IEEE International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications, pp. 209-213, 2013.

[9] Xu, Li, Yu Jihui, Li Yongming, Wang Quandi, Deng Qianfeng, and Zhang Yan. "Simulation of the EMP coupling to circuits inside a shielding box by a wire penetrated with an aperture." In 2007 International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications, pp. 1345-1348., 2007.

[10] R. Ghaffarpour; M. Louni. "A Review on Earthing Systems and Lightning Protection Techniques for Telecommunication Towers on Mountains and Rocky Land". Passive Defense Quarterly, vol. 11, no. 4, pp. 7-16, 2021, (in persian)

[11] S. M. Miryosefi; R. Ghaffarpour. "New Critical Infrastructure Protection Strategies". Passive Defense Quarterly, vol. 11, no. 3, pp. 1-14.2020, (in persian).

[12] M. E. Minaie , M. Hossein Zadeh , M. J. Begheri Pour" The Effects of Passive Defense in Modern NBC Warfare" Passive Defense Quarterly, vol. 7, no. 3, pp. 37-51, 2011, (in persian).

[13] S. R. Mir Motahari, Z. Rostami, A. Talebi, Z. Norouzi "High Power Electromagnetic (HPM) Threats against Electronic Systems and Their Countermeasures " Passive Defense Quarterly, vol. 3, no. 2, pp. 23-28, 2012, (in persian).

[14] E.Khodabandeh" Passive defense considerations of EMP electromagnetic bombs on electronic and telecommunication systems and provide a solution" The first national conference on passive defense in marine science, vol.17, no. 26, 2014, (in persian).

[15] M.Menati, A.Niknam, .M.Hashemzad "Simulation of propagation and absorption of electromagnetic waves in surface wave plasma sources by FDTD method ", 17th Iranian Optics and Photonics Conference, 2010, (in persian).

[16] N.Dehnavi, Z.Malekshahi, H. Ranjbar Askari, D.Duranian, "Emission of electromagnetic waves with lower frequencies than plasma frequency in ternary plasma photon crystals". The Second National Conference on Applied Research in Mathematics and Physics, 2014, (in persian).

[17] A.Abbasi, A. Ghezeljeh, A Iraqi, M Afshar Naderi, "Passive defense of electronic equipment against electromagnetic bombs" Sixth Congress of the Iranian Geopolitical Association Passive Defense, 2013, (in persian).

[18] Mir Aboutalebi, S., Khadivi Boroujeni, M. K., & Hashemi Hossain Abadi, M.. Electromagnetic wave transmission of over-dense plasma with parabolic electric permittivity profile. Iranian Journal of Physics Research, vol. 16, no. 1, pp. 55-61, 2016.

[19] Laroussi, M. " Scattering of electromagnetic waves by a layer of air plasma surrounding a conducting cylinder" International journal of infrared and millimeter waves, vol. 17, no. 12, pp. 2215-2232, 1996.

[20] Laroussi, M., & Roth, J. R. "Numerical calculation of the reflection, absorption, and transmission of microwaves by a nonuniform plasma slab" IEEE Transactions on Plasma Science, vol. 21, no.4, pp. 366-372, 1993.

[21] Koretzky, E., & Kuo, S. "Characterization of an atmospheric pressure plasma generated by a plasma torch array. Physics of Plasmas" vol. 5, no. 10, pp. 3774-3780-1998.

[22] Bodewein, Lambert, Kristina Schmiedchen, Dagmar Dechent, Dominik Stunder, David Graefrath, Lukas Winter, Thomas Kraus, and Sarah Driessen. "Systematic review on the biological effects of electric, magnetic and electromagnetic fields in the intermediate frequency range (300 Hz to 1 MHz)." Environmental research, vol. 171, pp. 247-259.2019.

[23] Neuber, Andreas A., and James C. Dickens. "Magnetic flux compression generators." Proceedings of the IEEE, vol. 92, no. 7, pp. 1205-1215.2004.

[24] Deng, Y., Jiang, Y., Liu, J., Liquid metal technology in solar power generation-Basics and applications. Solar Energy Materials and Solar Cells, vol. 222, p. 110925.2021.

[25] Li, Zhigang, Jiachun Wang, Li Cheng, and Qichao Wang. "Plasma radome designed for the EMP effects defense." In Selected Papers of the Chinese Society for Optical Engineering Conferences held July 2016, vol. 10141, p. 101410R. International Society for Optics and Photonics, 2016.

[26] Christy, Larry, Chaminda Jayasinghe, and Joe Sprengard. "A new class of lightweight, multifunctional material for electromagnetic compatibility." In 2017 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility & Signal/Power Integrity (EMCSI), pp. 11-16. IEEE, 2017.

[27] Lindholm, Paul F., Glenn Ramsey, and Hau C. Kwaan. "Passive immunity for coronavirus disease 2019: a commentary on therapeutic aspects including convalescent plasma." In Seminars in thrombosis and hemostasis. Thieme Medical Publishers, 2020.

[28] Tendero, Claire, Christelle Tixier, Pascal Tristant, Jean Desmaison, and Philippe Leprince. "Atmospheric pressure plasmas: A review." Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy. vol. 61, no., pp. 2-30, 2006.

[29] Payne, Komlan, Kevin Xu, Jun H. Choi, and Jay Kyoon Lee. "Plasma-enabled adaptive absorber for high-power microwave applications." IEEE Transactions on Plasma Science. vol. 46, no. 4, pp. 934-942. 2018.

The Introduction of a Strategic Approach to Plasma Application Against Threats from Electromagnetic Pulses

A. Bali[1*], H. Fayazi[2], M.R Alizadeh Pahlavani[3]

Abstract

By generating electromagnetic pulses with short bandwidths, low energy and very high power, and transmitting them to electronic and telecommunication equipment, the equipment may be temporarily or permanently damaged or disrupted. The mentioned risk will be largely eliminated if your equipment is properly protected against these powerful transient fields. Plasma is one of the ways to protect against threats, especially for the equipment such as radars and antennas because these devices cannot be protected by other methods. When EMP is propagated in the plasma barrier, the charged particles in the plasma are accelerated by the electricity, and the magnetic field generated by the electromagnetic wave can change the state of the plasma. The interaction between the EMP and the plasma layer results in a protection against the EMP. In this study, with a passive defense approach, 31 main strategies are extracted for the realization of the main goal which is the ability to use plasma against the threats of electromagnetic weapons. The acquisition of strategies is essential to achieve the five principles of passive defense, which include increasing deterrence, reducing vulnerability, continuing essential activities, national sustainability, and crisis management. The SWOT matrix solution method is used to analyze the internal and external factors (14 strengths, 21 weaknesses, 9 opportunities, and 12 threats) with these factors being assessed through a questionnaire filled by 16 experts in the field of plasma and electromagnetism. The integration of validated factors, leads to the extraction of aggressive strategies (SO), directional change strategies (ST), competitive strategies (WO), and defensive strategies (WT) whose validations are confirmed by the second questionnaire. The second questionnaire is completed electronically by 31 people. Cronbach's alpha of 0.901 and 0.961 (calculated by SPSS software) for the first and second questionnaires, respectively, indicate their reliability.

Key Words: *Passive Defense, Plasma, Electromagnetic Pulse, High Power, Strategy*

* Faculty of Electrical and Computer Engineering, Malek-Ashtar University of Technology, Iran (a_bali@mut.ac.ir) - Writer-in-Charge