

نشریه علمی پدافند غیرعامل

سال دوازدهم، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۰، (پیاپی ۴۷): صص ۸۶-۷۱

علمی - ترویجی

مطالعه راهبردی کاهش آسیب پذیری سامانه‌های قدرت در برابر پالس‌های الکترومغناطیسی

رضا شعبانی نژاد^۱، عارف بالی لاشک^{۲*}، ایمان سلطانی^۳، حسین فیاضی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۳۰

چکیده

تهدیدات الکترومغناطیسی ناشی از پالس الکترومغناطیسی باند باریک و گسترده یکی از تهدیدات نوظهور محسوب شده و از اهداف این تهدیدات سامانه قدرت است. سامانه قدرت که شامل سه بخش تولید و انتقال و توزیع می‌باشند، در صورت فقدان زیرساخت‌های لازم در برابر این تهدید می‌تواند آسیب پذیر باشد. در این مقاله که مبتنی بر SWOT است با کمک گروهی از خبرگان از صنعت برق تا مراکز نظامی و دانشگاهی ابتدا نقاط SWOT امتیازدهی شده است که این خبرگان حدود ۴۰ نفر بودند و با استفاده از فرمول کوکران انتخاب شده‌اند. جهت گیری راهبردها به سمت راهبردهای تدافعی بوده، بنابراین در ادامه با تلفیق نقاط مطرح شده ۶ راهبرد تدافعی، ۴ راهبرد محافظه کارانه، ۳ راهبرد تهاجمی و ۳ راهبرد رقابتی ارائه شده و سرانجام از این راهبردها، ۴۷ راهکار مناسب با هدف کاهش آسیب پذیری سامانه قدرت استخراج و ارائه شده است، با این چشم‌انداز که در صورت به کارگیری دشمنان نظام مقدس جمهوری اسلامی از این تهدیدات علیه سامانه قدرت کشور، کمترین آسیب زیرساخت‌های حیاتی را به چالش بکشد و بتواند به فعالیت خود ادامه دهد.

کلیدواژه‌ها: پدافند غیرعامل، سامانه قدرت، سامانه الکترومغناطیسی باند باریک، سامانه الکترومغناطیسی باند گسترده

۱- کارشناس ارشد دانشگاه صنعتی مالک اشتر

۲- استادیار دانشگاه صنعتی مالک اشتر - نویسنده مسئول: (a_bali@mut.ac.ir)

۳- دکتری دانشگاه صنعتی مالک اشتر

۴- دانشجوی دکتری دانشگاه صنعتی مالک اشتر

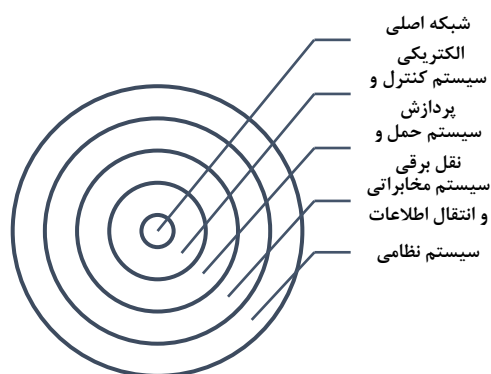
۱- مقدمه

انرژی یکی از پارامترهای اصلی توسعه اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و امنیتی هر کشور است. همواره تهاجم نظامی شبکه برق به عنوان اولین هدف مورد حمله و آسیب جدی قرار گرفته و هنگامی که شبکه برق آسیب ببیند و از بهره‌برداری ساقط شود عملاً آن کشور در انزوا قرار می‌گیرد. لذا بقا یا کاهش آسیب-پذیری شبکه برق ضروری است، شبکه برق دارای چهار بخش اصلی تولید، پست فشارقوی (پست‌های فشار قوی به عنوان مراکز کنترل و تغذیه شبکه برق از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند)، انتقال و توزیع است که هر کدام با تهدیدات خاصی روبرو هستند و در صورت تهاجم و آسیب به هر بخش، عملیات برق‌رسانی با مشکل روبرو می‌شود، شبکه قدرت را می‌توان به سه زیرلایه تقسیم نمود: لایه فیزیکی، لایه انسانی و لایه اینترنتی. لایه فیزیکی اشاره به خواص ملموس مرتبط با برق، مانند نیروگاه‌های برق، خطوط انتقال و ترانسفورماتورها دارد. لایه انسانی اشاره به افرادی دارد که دسترسی به سامانه‌های قدرت داشته باشند و لایه اینترنتی شامل اطلاعات سخت‌افزاری، نرم‌افزاری، داده‌ها و شبکه ارتباطی است که از عملکرد سامانه الکتریکی حمایت می‌کند. تهدید زمانی مخرب است که از طریق سه لایه مانند تخریب ترانسفورماتور در لایه فیزیکی خسارات ناشی از عوامل مخرب در لایه تصمیم‌گیری انسان و حملات از طریق بدافزارها و هکرها در لایه اینترنتی پیاده‌سازی شود. یک اقدام تهاجمی موفق در شبکه برق می‌تواند آثار ویرانگری بر امنیت ملی، اقتصاد و زندگی هر شهروند داشته باشد با این حال سامانه قدرت جنبه‌های مختلفی دارد که هرگز نمی‌تواند در برابر یک حمله از پیش تعیین‌شده محافظت شود. نیروگاه برق به دلیل وسعت ساختمان و حجم تجهیزات و همچنین شبکه‌های انتقال و توزیع به دلیل در دسترس بودن یکی از مهم‌ترین اهداف کشورهای مهاجم در حملات نوین می‌باشند [۱]. سامانه‌های الکترومغناطیسی با تولید پالس فوق‌العاده قوی الکترومغناطیسی در کسری از زمان به ادوات الکترونیکی، تجهیزات کامپیوتری و مخابراتی شدیداً آسیب می‌رساند. در جنگ خلیج فارس از سامانه‌های الکترومغناطیسی با قدرت پالسی ۱۶ مگاوات علیه تجهیزات راداری و الکترونیکی عراق استفاده شد. آمریکا در سال ۱۹۹۹ از سامانه‌های الکترومغناطیسی علیه تجهیزات راهبردی و نیروگاه‌های یوگسلاوی استفاده نمود و نقطه مقابل آن در این جنگ، استفاده روس‌ها از سامانه‌های الکترومغناطیسی علیه ابر کامپیوترهای آمریکا بود [۲]. بنابراین اهمیت این تحقیق شامل:

- باعث تداوم فعالیت صنایع بزرگ خواهد شد.
- افزایش شاخص سلامت و قابلیت اطمینان شبکه برق را به دنبال خواهد داشت.

- باعث تداوم فعالیت سامانه حمل‌ونقل برقی خواهد شد.
- از مرگ بسیاری از حیوانات که حیاتشان به شریان الکتریسیته وابسته است، جلوگیری خواهد کرد. ضرورت تحقیق شامل:
- قطع ارتباط بین شهری را به دنبال خواهد داشت.
- مرگ بسیاری از انسان‌ها در مراکز درمانی اتفاق خواهد افتاد.
- تعطیلی اجلاس و همایش بین‌المللی را به دنبال خواهد داشت.
- تخریب تجهیزات صنعت و خسارات مالی جبران‌ناپذیر را به دنبال دارد.
- امنیت ملی را مخدوش خواهد کرد.

پنج هدف اصلی پدافند غیرعامل در سیاست ابلاغی از سوی مقام معظم رهبری، افزایش بازدارندگی، تداوم فعالیت ضروری، تسهیل مدیریت بحران، کاهش آسیب‌پذیری و ارتقاء پایداری ملی است. در این مقاله هدف چهارم یعنی استخراج راهبردها با هدف کاهش آسیب‌پذیری در سامانه قدرت مورد بررسی قرار گرفته است، تا در صورت اتفاق تهدیدات الکترومغناطیسی، دارایی و زیرساخت‌های سامانه قدرت کشور کمترین آسیب و صدمات را متحمل شوند. برای پی بردن به جایگاه و اهمیت این موضوع راهبرد ۵ حلقه واردن جهت آسیب‌پذیری اهداف و آماج در برابر تهدیدات الکترومغناطیسی در شکل (۱) نشان داده شده است. همان‌طور که روشن است لایه اصلی و هدف این تهاجم از کار انداختن شبکه اصلی سامانه قدرت است [۳].

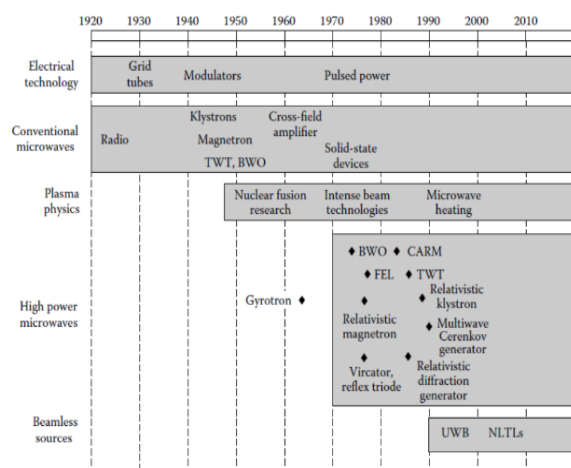


شکل (۱): حلقه واردن برای تهدیدات الکترومغناطیسی

۱-۱- سامانه الکترومغناطیسی باند باریک

سامانه‌های میکروویو پر قدرت در دهه‌های اخیر به عنوان یک فناوری جدید ظهور کرده است. علاوه بر این که کاربردهای جدیدی ارائه می‌دهد برای کاربردهای فعلی نیز روش‌های بهتری را ارائه می‌کند. ترکیبی از منابع که فیزیک دستگاه میکروویو معمولی را در جهت جدید سوق می‌دهند یا ساز و کارهای تعامل

مطالعات فیزیکی با چگالی انرژی بالا اعمال شد. در دسترس بودن پرتوهای الکترونی نسبی قوی سبب شد که دانش تعامل موج و ذره به دست آمده در مطالعه فیزیک پلاسما در تولید مایکروویوها مورد استفاده قرار گیرد. خلاصه ای از این روند در شکل (۳) آمده است [۴].



شکل (۳): روند پیشرفت تاریخی علوم و ادوات مرتبط به سامانه مایکروویو توان بالا [۴]

نمونه ای از پروژه های تحقیقاتی دنیا که با هدف ساخت سامانه فرعی الکترومغناطیسی در سال ۲۰۱۶ دنبال شد پژوهشی است که توسط آقای وانگ و همکاران در انیستوتو لوفبور اکراین ارائه شد. آن ها ژنراتور پالسی خطوط شکل دهی پالس بلوملین (دوقطبی کننده پالس) مبتنی بر ترانس تسلا را طراحی کردند. این ژنراتور که مبتنی بر ترانس تسلا بوده و از دو خطوط شکل دهی پالس بلوملین (دوقطبی کننده پالس) برای محدود کردن عرض پالس بهره می برد قادر به تولید ولتاژی در محدوده ۰/۶ مگا ولت تا فرکانس ۱ گیگاهرتز بوده و توان ۱۰ گیگاوات را در مدت ۵ نانوثانیه تخلیه می کند [۵].

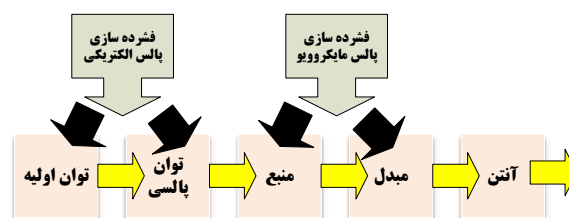


شکل (۴): ژنراتور پالسی مبتنی بر ترانس تسلا [۵]

جدید را به کار می گیرند، منجر به یک جهش کوانتومی در سطوح توان مایکروویو شده اند. می توان سامانه های مایکروویو پر قدرت را به صورت زیر تعریف کرد:

- دستگاه هایی که حداکثر توان در آن ها از ۱۰۰ MW فراتر می رود.
- دستگاه هایی که فرکانس کاری آن ها بین ۱ تا ۳۰۰ گیگاهرتز است.

این سامانه مطابق شکل (۲) از یک منبع اولیه، سامانه توان پالسی، مبدل (برای تبدیل پالس خروجی منبع به پالس مناسب آنتن) و سرانجام آنتن که وظیفه تشعشع و انتشار پالس به سمت هدف را بر عهده دارد تشکیل شده است.

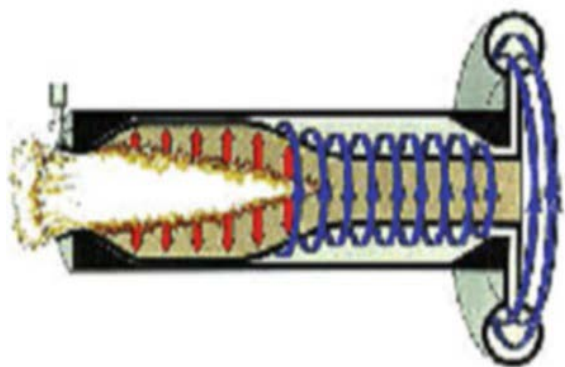


شکل (۲): زیرساخت سامانه الکترومغناطیسی باند باریک [۴]

سامانه های مایکروویو نتیجه تلاش در یک روند تاریخی است. موج های مایکروویو اولین بار توسط هرتز در دهه ۱۸۸۰ میلادی تولید شدند. رادیو در فرکانس های پایین در اوایل قرن بیستم با ظهور لامپ های شبکه ای مورد استفاده قرار گرفت و در دهه ۱۹۳۰، محققان دریافتند که فرکانس های بالاتر را می توان با استفاده از حفره های تشدید متصل به مدارهای الکتریکی به دست آورد. اولین دستگاه حفره کلاسترون در سال ۱۹۳۷ ارائه شد. به دنبال آن فعالیت های گسترده ای در طی جنگ جهانی دوم رخ داد که شامل برون یابی مگنترون و اختراع لامپ موج متحرک و نوسان ساز برگشتی بود. مدولاتور هایی که اغلب از لامپ های توان شبکه استفاده می کردند همه این منابع را تغذیه می کردند. در دهه ۱۹۶۰ تقویت کننده میدان متعامد ساخته شد. پس از آن در دهه ۱۹۷۰ منابع مایکروویو حالت جامد پدیدار شدند. در این زمان فناوری لامپ مایکروویو به سمت تولید رفت و تحقیقات محدود شد. در دهه ۱۹۵۰، تلاش ها برای کنترل واکنش هسته ای گرمایی برای تولید انرژی، منجر به شناخت دقیق تعامل بین ذرات و امواج شد. در دهه ۱۹۶۰ فناوری الکتریکی با معرفی توان پالسی گسترش یافت و منجر به تولید پرتوهای ذرات باردار با جریان های بیش از ۱۰ KA در ولتاژ های ۱ MV و بیشتر شد. این پرتوهای قوی برای، همجوشی محصور سازی اینرسی و سایر

۱-۲- سامانه الکترومغناطیسی باند گسترده

این سامانه که دارای باند فرکانسی وسیع‌تر نسبت به سامانه باند باریک هستند. اساساً به کمک دو ژنراتور پالسی مشهور یعنی «ژنراتور پالسی فشرده‌ساز شار مغناطیسی» و «ژنراتور مگنتو هیدرودینامیک» طراحی می‌شوند، و در باند فرکانسی مایکروویو عمل می‌کنند. با توجه به این مطلب که این دو ژنراتور به‌صورت انفجاری عمل می‌کنند به سامانه الکترومغناطیسی مبتنی بر این دو ژنراتور پالسی «بمب الکترومغناطیسی» نیز می‌گویند [۳]. در شکل (۷) تصویری از ژنراتور پالسی فشرده‌ساز شار مغناطیسی آمده است.



شکل (۷): ژنراتور فشرده‌ساز شار مغناطیسی [۳]

از نمونه ژنراتورهای فشرده‌ساز شار مغناطیسی ساخته‌شده می‌توان به نمونه ساخته‌شده توسط رابرت لوبارف محقق روسی اشاره کرد که توانسته بود میدان مغناطیسی حدود ۱/۵ تسلا در سال ۱۹۵۲ توسط این مولد ایجاد کند پس از او ولادیمیر چیشف به رهبری پاولوسکی توانست میدانی حدود ۱۰ تسلا با جریان ۲۰۰ مگا آمپر ایجاد کند و معمولاً بر روی کلاهک موشک سوار شده یا درون چمدان قرار داده می‌شود و زمان خیز بین ۱۰ تا ۱۰۰ میکروثانیه و بیشینه توان خروجی را نزدیک ۱ مگاژول ذکر کرده‌اند چنین خروجی به میدان الکتریکی با دامنه ۱ کیلوولت بر متر در یک مایلی انفجار خواهد رسید و اگر بر روی موشک سوار شوند تا ۱۷۵ متری هدف نزدیک شود شدت میدان الکتریکی ۱۰ کیلو ولت بر متر خواهد رسید چنین شدت میدانی بسیار بالاتر حد آستانه ادوات الکترونیکی است ضعف این مولد فرکانس پایین آن است [۷]. آژانس توسعه دفاعی کره شمالی بر روی ژنراتور فشرده‌ساز استوانه‌ای کار کرده است که در آن یک بانک خازنی مانند یک منبع به این ژنراتور متصل است

پروژه تحقیقاتی دیگر، تحقیق و توسعه سامانه مایکروویو توسط آزمایشگاه ملی آمریکایی سندیا است (شکل ۵). طبق گزارش‌ها این سامانه قادر به تولید پالسی در محدوده ۹۵ گیگاهرتز است با هدف نصب بر روی هواپیمای AC-130 می‌باشند. از جمله شرکت‌های آمریکایی که در این پروژه همکاری می‌کند می‌توان به Lockheed Martin، Raytheon، ITT و BAE اشاره کرد [۶].



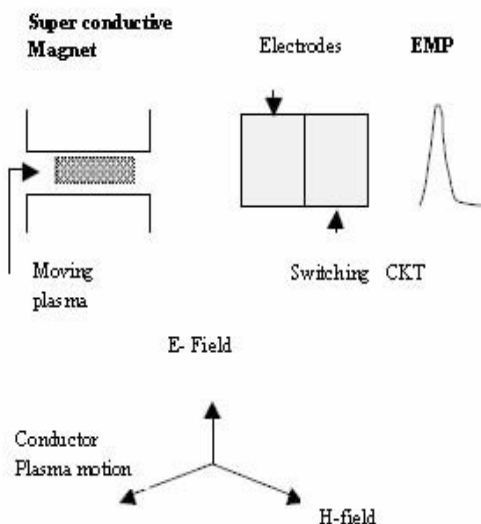
شکل (۵): آزمایش بر روی سامانه مایکروویو [۶]

نمونه دیگر از ساخت سامانه باند باریک می‌توان به پروژه‌ی CHAMP «موشک پیشرفته ماکروویو توان بالا ضد تجهیزات الکترونیکی» اشاره کرد که توسط آزمایشگاه تحقیقاتی نیروی هوایی آمریکا انجام گرفت و هدف آن آسیب‌رساندن به تجهیزات الکترونیکی از طریق پالس‌های الکترومغناطیسی است و در سال ۲۰۱۲ شرکت بوئینگ تست موفقیت‌آمیز این سامانه را اعلام کرد که در آن این سامانه توانست هفت هدف متفاوت را از کار بیندازد (شکل ۶) [۶].



شکل (۶): پروژه CHAMP [۶]

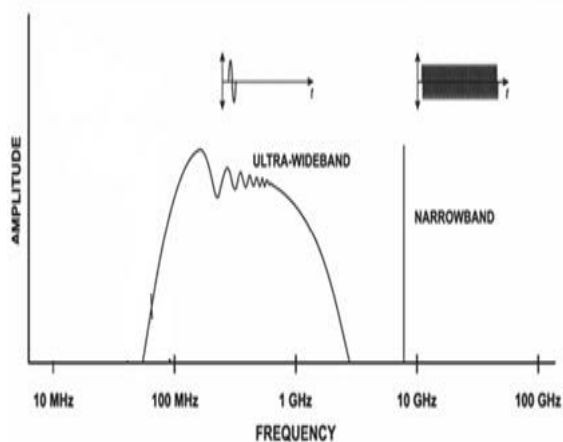
الکترومغناطیسی در سامانه قدرت یکی از روش ها استفاده از کابل هایی با شیلد تست شده است [۱۳].



شکل (۹): ژنراتور مگنتو هیدرودینامیک [۳]

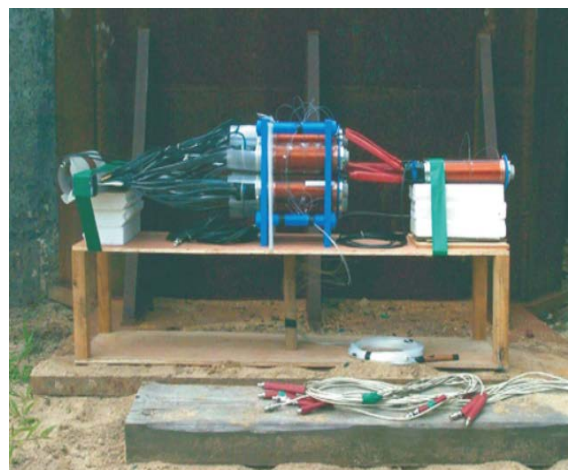
۳-۱- پارامترهای سامانه باند باریک و گسترده

تهدیدات الکترومغناطیسی دارای شکل پالس متفاوت هستند. شکل (۱۰) مقایسه ای بین دو پالس باند گسترده و باند باریک در حوزه فرکانس آمده است و در جدول (۱) مشخصات این دو پالس الکترومغناطیسی یعنی زمان خیز t_r ، بیشینه استقامت میدان الکتریکی E_{max} ، زمان حداکثر نصف دامنه پالس t_{fwhpm} ، زمان بین بیشینه و کمینه میدان الکتریکی t_{pp} ، مدت پالس t_d و فرکان مرکزی f_c نشان داده شده اس



شکل (۱۰): پالس الکترومغناطیسی باند گسترده و باند باریک [۹]

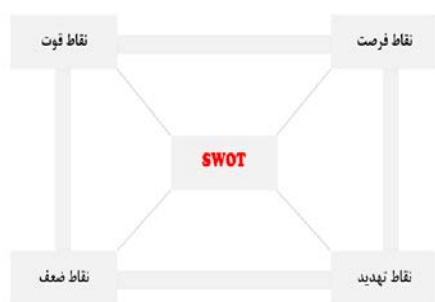
اندوکتانس اولیه آن ۴۵ میکرو هانری است که به بار ۱۳۶ نانو هانری متصل است و این ژنراتور به صورت موازی و سری متصل شده است و ولتاژ خروجی با افزایش تعداد ژنراتور بیشتر می شود (شکل ۸) [۸].



شکل (۸): ژنراتور فشرده ساز شار مغناطیسی طراحی شده توسط آژانس دفاعی کره شمالی [۸]

یکی از روش های تولید پالس الکترومغناطیسی با استفاده از این مولد مگنتو هیدرودینامیک است. این مولد هیچ قسمت متحرکی ندارد همچنین نیاز به قسمت های ذخیره کننده و مبدل انرژی ندارد و می تواند انرژی گرمایی حاصل از انفجار را به طور مستقیم به انرژی الکتریکی پالسی تبدیل نماید و دارای ساختار ساده اما فناوری بالایی است. نحوه ی عملکرد به این گونه است هنگام عبور یک سیال رسانا (می تواند یک پلاسما از مواد منفجره یونیزه شده یا گاز جلوبرنده باشد) از میان صفحات ایجاد کننده یک میدان مغناطیسی عمود بر مسیر جریان سبب القای میدان الکتریکی در راستای عمود بر جریان اولیه و میدان مغناطیسی می شود که جریان اولیه می تواند ناشی از پلاسمای انفجاری حاوی بارهای الکتریکی افزایش یافته باشد. این مولد نسب به مولد فشرده ساز شار مغناطیسی پیشرفت کمتری داشته است و با توجه به ساختار این مولد نظیر اندازه و وزن به نظر می رسد بهره برداری از آن ها در آینده نیز کمتر است و این مولد می تواند به عنوان مولد جریان چاشنی برای مولد فشرده ساز شار مغناطیسی باشد چون مولد فشرده ساز برای راه اندازی نیاز به یک شار مغناطیسی دارد که به آن میدان چاشنی نیز می گویند [۷]. شکل (۹) نحوه عملکرد این مبدل را نشان می دهد، برای حفاظت در برابر پالس ها

ممکن می‌رساند برای این منظور نقاط قوت و ضعف و فرصت و تهدیدها در چهار حالت کلی ST،WO،SO و WT پیوند داده می‌شود و گزینه‌های راهبردی از بین آن‌ها انتخاب می‌شود [۱۱].



شکل (۱۱): سوات

۲-۳- ماتریس ارزیابی عوامل خارجی (EFE) و عوامل داخلی (IFE)

از آنجایی که این مقاله به بررسی و شناسایی عوامل محیطی پرداخته است بر این اساس بایستی از متغیرهای موجود در محیط‌های داخلی و خارجی سازمان آگاه بود. به همین دلیل عوامل راهبردی را مورد ارزیابی قرار داده و پس از تعیین عوامل مهم و کم اهمیت اولویت‌بندی صورت می‌گیرد برای ارزیابی عوامل راهبردی داخلی و خارجی از جدول IFE و EFE استفاده می‌شود. جهت اولویت‌بندی به هر کدام از عوامل ضریب وزنی از ۱ تا ۴ داده می‌شود این وزن بر اساس اهمیت و با توجه به نظر گروه کارشناسی که آشنایی کامل با مسایل و مشکلات سازمان دارند می‌باشند وضع موجود هر عامل با امتیازی بین ۱ تا ۴ تعیین می‌شود و در پایان اولویت‌بندی راهبردها مشخص شده و جهت رسیدن به وضعیت مطلوب سازمان برنامه‌ریزی لازم انجام می‌گردد [۱۱].

۲-۴- ماتریس راهبردها

استراتژی‌ها یا راهبردها راه و روش رسیدن به اهداف و مأموریت سازمان را نشان می‌دهند. به عبارتی راهبردها، روش‌ها و مسیرهای کلی برای رسیدن به اهداف می‌باشند. راهبردها باید از ویژگی‌های زیر برخوردار باشند:

- هدف‌های بلندمدت، عملیات عمده و چگونگی تخصیص منابع را تعیین و اعلام کنند.
- حوزه‌های که سازمان در آن فعالیت دارد و یا قرار است فعال باشد را انتخاب کنند.
- در جهت ایجاد مزیت‌های رقابتی پایدار در هر یک از اجزای سازمان تلاش کنند.

جدول (۱): پارامترهای سامانه الکترومغناطیسی باند گسترده و باریک [۱۰]

شکل پالس	پارامتر اول	پارامتر دوم	پارامتر سوم
باند گسترده تک جهته	t_p ۹۰-۲۵۰ پیکو ثانیه	t_{fwhpm} کمتر از نانو ثانیه	استقامت میدان الکتریکی ۱-۱۰۰ کیلو ولت بر متر
باند گسترده دو جهته	t_p ۵۰-۲۵۰ پیکو ثانیه	t_{pp} ۱۰۰-۵۰۰ پیکو ثانیه	استقامت میدان الکتریکی ۱-۱۰۰ کیلو ولت بر متر
باند باریک	f_c ۵۰۰ مگاهرتز تا ۵ گیگاهرتز	t_a ۵۰-۵۰۰ نانو ثانیه	استقامت میدان الکتریکی ۱-۱۰۰ کیلو ولت بر متر

۲- روش تحقیق

۲-۱- روش‌شناسی تحقیق

اساساً سه روش تحقیق حاکم است. روش تحقیق توصیفی، تاریخی و کتابخانه‌ای بررسی سوابق، مطالعات کتابخانه‌ای، مدارک و مستندات قبلی و غیره انجام می‌شود. روش تحقیق تحلیلی، بررسی مدل‌های ریاضی، تحلیل داده‌های آماری و غیرآماري، محاسبات و غیره است. در روش تحقیق تجربی و پیمایشی مطالعات میدانی، داده‌برداری میدانی، آزمون و اندازه‌گیری و غیره است. در این طرح پژوهشی به دلیل محرمانه و هزینه بر بودن نمی‌توان از روش تجربی بهره برد و به‌صورت ترکیبی از روش تحقیق توصیفی و تحلیلی استفاده می‌گردد و به کمک SWOT تحلیل داده‌های پرسشنامه صورت می‌گیرد. قلمرو موضوعی پژوهش، تحقق طرح کلان پدافند غیرعامل، قلمرو مکانی پژوهش کشور جمهوری اسلامی ایران و محدوده زمانی تحقیق افق ۱۴۱۴ است.

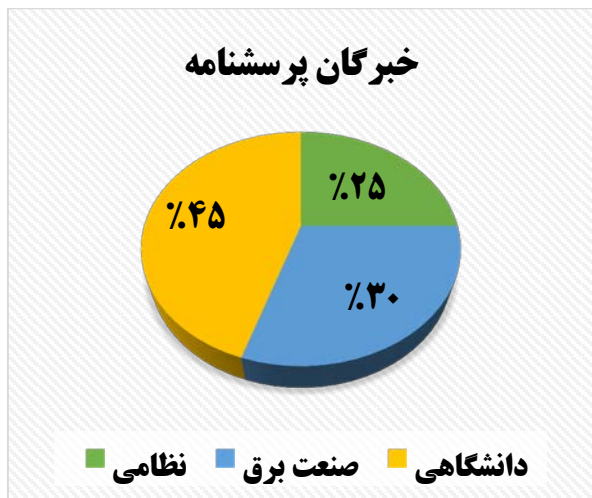
۲-۲- مدل سوات

مدل SWOT یکی از ابزارهای راهبردی تطابق نقاط قوت و ضعف درون سامانه‌ای با فرصت‌ها و تهدیدات برون سامانه‌ای است. مدل SWOT تحلیل سامانمند را برای شناسایی این عوامل و انتخاب راهبردی که بهترین تطابق بین آن‌ها را ایجاد می‌نماید، ارائه می‌دهد (شکل ۱۱). از دیدگاه این مدل یک راهبرد مناسب قوت‌ها و فرصت‌ها را به حداکثر و ضعف‌ها و تهدیدها را به حداقل

فعال بودند اما نمونه آماری مجموعه‌ای از افراد بودند که در وزارت نیرو، پژوهشگاه نیرو، توانیر، مدیریت شبکه برق ایران، ساتبا، سازمان پدافند غیرعامل، دانشگاه و مراکز تحقیقاتی وابسته به وزارت علوم و مجموعه‌های نظامی در حال فعالیت بودند، به‌منظور محاسبه حجم نمونه آماری می‌توان از دو روش متداول فرمول کوکران یا جدول مورگان استفاده نمود. فرمول کوکران یکی از پرکاربردترین روش‌ها برای محاسبه حجم نمونه آماری است. در این پژوهش به‌منظور محاسبه حجم نمونه آماری از فرمول کوکران استفاده می‌شود. بر اساس معادله (۱) با فرض p و q برابر 0.5 ، Z برابر 1.96 ، d برابر 0.01 و حجم جامعه آماری 70 نفر، نمونه آماری 40 نفر محاسبه شده است که از این 40 نفر 18 نفر در مراکز دانشگاهی، 12 نفر در وزارت نیرو و مجموعه‌های وابسته و 10 نفر در مراکز نظامی مشغول فعالیت در حوزه صنعت برق و تهدیدات الکترومغناطیسی هستند.

$$n = \frac{Z^2 \times p \times q}{d^2} \quad (1)$$

$$1 + \frac{1}{N} \left(\frac{Z^2 \times p \times q}{d^2} - 1 \right)$$



شکل (۱۴): خبرگان پرسشنامه

۲-۶- نقاط سوات کاهش آسیب‌پذیری سامانه قدرت در برابر پالس‌های الکترومغناطیسی

۲-۶-۱- نقاط قوت

۱- توانایی شرکت‌های زیرمجموعه وزارت نیرو و برخی شرکت‌های فناوری و دانش‌بنیان در طراحی، ساخت، نصب، راهاندازی و پشتیبانی انواع نیروگاه‌ها، پست‌ها (مراکز کنترل و

- وظایف اصلی و عمده مدیران را در سطح کل سازمان تعیین کنند.
- ارزش‌های متفاوت ولی همسو را برای ذینفعان تعریف و تعیین کنند. مقاصد، نیت و جهت‌گیری‌های سازمان را بیان کنند.

در روش سوات اساساً چهار نوع راهبرد قابل استخراج است:
الف) راهبردهای رقابتی یا S-T:

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

ب) راهبردهای تهاجمی یا S-O:

- استفاده از فرصت‌ها برای ارتقای قوت‌ها
- استفاده از قوت‌ها برای افزایش فرصت‌ها
- استفاده از قوت‌ها بر علیه ضعف‌های دشمن

ج) راهبردهای تدافعی یا 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

د) راهبردهای محافظه‌کارانه یا W-O:

- استفاده از فرصت‌ها برای جبران ضعف‌ها [۱۲]

در شکل (۱۳) ماتریس راهبردها نمایش داده شده است.

		عوامل خارجی	
		←	↓
		عوامل درونی	
نقاط تهدید	نقاط فرصت	نقاط قوت	نقاط ضعف
راهبرد رقابتی ST	راهبرد تهاجمی SO		
راهبرد تدافعی WT	راهبرد محافظه‌کارانه WO		

شکل (۱۳): ماتریس راهبردها

۲-۵- نحوه انتخاب نمونه آماری

جامعه آماری این مجموعه افرادی هستند که در صنعت برق و مراکز نظامی در حیطه شبکه برق و تهدیدات الکترومغناطیسی

غیرعامل ۳- امکان سرمایه‌گذاری یا جذب سرمایه برای ایجاد نیروگاه‌های مشترک و مبادله برق با کشورهای همسایه ۴- امکان استفاده از علم، تجربه و ارتباطات دانشمندان، متخصصان و مهندسان ایرانی مقیم خارج از کشور ۵- امکان حضور در همایش‌ها و اجلاس‌های بین‌المللی در حوزه‌های مرتبط ۶- وجود انگیزه بالای اسلامی و وطن‌دوستی مسلمانان و ایرانیان مقیم خارج جهت توسعه همکاری‌های علمی پژوهشی با ج ۱ ۷- امکان استفاده از تجربیات موفق و کارآمد بین‌المللی در حوزه‌های قانونی و حقوقی در زمینه طراحی شبکه سراسری برق کشور و مباحث پدافند غیرعامل مرتبط با آن ۸- ظرفیت‌های اقلیمی مناسب به‌منظور جذب سرمایه‌گذارهای خارجی جهت احداث نیروگاه‌های مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر

۲-۶-۴- نقاط تهدید

۱- امکان استفاده دشمن از چند اقلیم بودن کشور و تهاجم الکترومغناطیسی به صنعت برق کشور ۲- وجود تهدیدات سایبرالکترونیکی دشمن، ضد بخش‌های مخابراتی و کنترلی و مراکز دیسپاچینگ تأسیسات، پست‌ها و خطوط انتقال ۳- برخورداری دشمنان از سامانه‌های جدید نظیر سلاح‌ها و تجهیزات آسیب‌رسان (مانند تجهیزات الکترومغناطیسی، گرافیتی و ...) به تأسیسات، پست‌ها (مراکز کنترل و تغذیه برق) و خطوط انتقال ۴- تأثیرات مخرب ناشی از انتشار گسترده (طبیعی یا انسان‌ساخت) ریزگردها (گرد و غبار) بر تأسیسات، پست‌ها (مراکز کنترل و تغذیه برق) و خطوط انتقال ۵- وجود تحریم‌های تجاری و نظامی که سبب محدودیت در صادرات در محصولات صنعت برق به خارج از کشور شده است ۶- یکپارچگی شبکه سراسری برق کشور و امکان ناپایداری در تأمین توان در صورت آسیب دیدن نواحی حساس و کلیدی شبکه سراسری برق کشور ۷- امکان جذب متخصصان و نیروهای متخصص و ماهر داخلی از سوی دشمنان ۸- امکان ایجاد ایرادات عمدی یا نصب برخی اقلام خاص در تجهیزات تأسیسات، پست‌ها (مراکز کنترل و تغذیه برق) و خطوط انتقال که از خارج کشور و یا از منابع مشکوک داخلی تأمین می‌شوند.

۳- نتایج بحث

۳-۱- ماتریس ارزیابی عوامل داخلی و خارجی کاهش آسیب‌پذیری سامانه قدرت در برابر پالس‌های الکترومغناطیسی جهت ارائه برنامه راهبردی، فهرستی از عوامل داخلی (قوت‌ها و

تغذیه شبکه برق) و خطوط انتقال موردنیاز شبکه برق کشور ۲- آشنایی نسبی صنایع دفاعی و نیروهای مسلح نسبت به تهدیدات نوظهور نظیر سلاح‌های گرافیتی و سامانه‌های الکترومغناطیسی (که به‌صورت خاص انواع نیروگاه‌ها، پست‌ها و خطوط انتقال را آماج حمله قرار می‌دهند) و راه‌های مقابله با آن‌ها ۳- تدوین و ابلاغ استانداردهای لازم ملی برای طراحی نیروگاه‌ها، پست‌ها و خطوط انتقال توسط مرکز ملی استاندارد ۴- تأکیدات مستمر امامین انقلاب از گفتمان ترویج علم و خودکفایی، حمایت از نخبگان و بی‌اعتمادی به بیگانگان ۵- امکان استفاده از شرایط متنوع اقلیمی جهت تولید انرژی پاک و تجدیدپذیر به روش‌های مختلف ۶- وجود مراکز دانشگاهی، اساتید برجسته و مهندسين بانگیزه در کشور و امکان طراحی انواع نیروگاه‌ها و پست‌ها (مراکز کنترل و تغذیه شبکه برق) و خطوط انتقال و به‌روزرسانی اقلام و تجهیزات مرتبط با رویکرد پدافند غیرعامل ۷- وجود انواع تجهیزات نظارتی و مانیتورینگ جهت کنترل امنیت نیروگاه‌ها و پست‌ها (مراکز کنترل و تغذیه شبکه برق) و خطوط انتقال ۸- توانایی شرکت‌های داخلی در تولید بیشتر قطعات موردنیاز نیروگاه‌ها و خطوط انتقال.

۲-۶-۲- نقاط ضعف

۱- نیاز به طراحی تأسیسات خاص متناسب با ویژگی‌های طبیعی و اقلیمی کشور و ایجاد انطباق بیشتر بین تجهیزات و روش‌های تولید انرژی الکتریکی در شرایط اقلیمی متفاوت ۲- ضعف در آزمایشگاه‌های مرجع برای کنترل کیفیت انواع تجهیزات شبکه سراسری برق کشور ۳- آلودگی هوا و اثرات نامطلوب آن بر روی تجهیزات به‌ویژه سامانه عایقی ۴- گستردگی شبکه برق کشور ۵- ضعف در آزمایشگاه‌های مرجع برای کنترل کیفیت انواع تجهیزات مورد نیاز در شبکه سراسری برق کشور ۶- قابل شناسایی بودن نواحی مختلف شبکه برق کشور ۷- حساسیت زیاد تجهیزات کنترلی نیروگاه‌ها و پست‌های فشارقوی در برابر تهدیدات الکترومغناطیسی ۸- ضرورت به‌کارگیری تجهیزات حفاظتی نوین و افزایش توانمندی عملیاتی جهت مقابله با تهدیدات نوظهور نظیر سامانه‌های گرافیتی، سامانه‌های الکترومغناطیسی و نظایر آن‌ها که به‌صورت خاص انواع تأسیسات و خطوط انتقال را موردحمله قرار می‌دهد.

۲-۶-۳- نقاط فرصت

۱- امکان خرید برخی تجهیزات دارای فناوری‌های جدید از کشورهای همسایه با هدف گرفتن ایده و بومی‌سازی ۲- امکان استفاده از تجربیات موفق دیگر کشورها پیرامون طراحی، ساخت و محافظت نیروگاه‌ها، پست‌ها و خطوط انتقال با رویکرد پدافند

جدول (۳): ماتریس ارزیابی عوامل خارجی

نقاط	میانگین	وزن	امتیاز	امتیاز وزنی
O1	۳/۸۵	۰/۰۶۵۵۴۳۱	۱	۰/۰۶۵۵۴۳۱
O2	۴/۱۸	۰/۰۷۱۱۶۱	۳	۰/۲۱۳۴۸۳۱
O3	۳/۶۲	۰/۰۶۱۶۲۷۵	۱	۰/۰۶۱۶۲۷۵
O4	۳/۷۷	۰/۰۶۴۱۸۱۱	۱	۰/۰۶۴۱۸۱۱
O5	۳/۷۷	۰/۰۶۴۱۸۱۱	۳	۰/۱۹۲۵۴۳۴
O6	۳/۶۲	۰/۰۶۱۶۲۷۵	۱	۰/۰۶۱۶۲۷۵
O7	۳/۶۹	۰/۰۶۲۸۱۹۲	۴	۰/۲۵۱۲۷۶۸
O8	۳/۷۷	۰/۰۶۴۱۸۱۱	۲	۰/۱۲۸۳۶۲۳
T1	۳/۷۳	۰/۰۶۳۵۰۰۲	۱	۰/۰۶۳۵۰۰۲
T2	۳/۵۵	۰/۰۶۰۴۳۵۸	۱	۰/۰۶۰۴۳۵۸
T3	۳/۶۴	۰/۰۶۱۹۶۸	۱	۰/۰۶۱۹۶۸
T4	۴/۱۸	۰/۰۷۱۱۶۱	۳	۰/۲۱۳۴۸۳۱
T5	۳/۳۶	۰/۰۵۷۲۰۱۲	۲	۰/۱۱۴۴۰۲۵
T6	۲/۶۴	۰/۰۴۴۹۴۳۸	۱	۰/۰۴۴۹۴۳۸
T7	۳/۷۳	۰/۰۶۳۵۰۰۲	۲	۰/۱۲۷۰۰۰۳
T8	۳/۶۴	۰/۰۶۱۹۶۸	۲	۰/۱۲۳۹۳۶
جمع	۵۸/۷۴	۱		۱/۸۴۸۳۱

ضعف‌ها) و عوامل خارجی (فرصت‌ها و تهدیدها) توسط جمعی از کارشناسان حوزه مدیریت راهبردی متخصص در تهدیدات الکترومغناطیسی و صنعت برق تنظیم گردید. حاصل عملکرد این کارشناسان پیش‌بین ۸ نقطه قوت، ضعف، فرصت و تهدید بوده است. بعد به کمک جامعه‌ای از خبرگان از مراکز نظامی، دانشگاهی و صنعت برق امتیازدهی‌ها شد.

حاصل جمع امتیاز وزنی عوامل داخلی ۱/۸۷ و عوامل خارجی ۱/۸۴ است. نتایج حاصل از جدول (۳ و ۲) گویا این مطلب است که عوامل داخلی پراهمیت‌تر از عوامل خارجی است. بنابراین در استخراج راهبردها بایستی به نقاط داخلی توجه بیشتری کرد، از جهتی با توجه به موقعیت راهبردی. ماتریس راهبردهای کاهش آسیب‌پذیری سامانه قدرت در برابر تهاجم الکترومغناطیسی ناشی از سامانه‌های باند باریک و گسترده که در شکل (۱۵) آمده مبتنی بر محیط تدافعی است بایستی در استخراج راهبردها تأکید بیشتری بر راهبرد WT باشد و از جهتی با توجه به امتیاز بیشتر محیط داخلی از در تدوین راهبردها باید نقاط ضعف توجه بیشتری شود در نتیجه، راهبردهای WO در اولویت بعدی قرار می‌گیرد.



شکل (۱۵): ماتریس راهبردی کاهش آسیب‌پذیری سامانه قدرت در برابر تهدیدات الکترومغناطیسی ناشی از تسلیحات باند باریک و گسترده

۲-۳- تلفیق عوامل داخلی و خارجی جهت استخراج راهبردهای چهارگانه

به‌منظور تدوین راهبردهای قابل اجرا در مرحله تلفیق با بهره‌گیری از عوامل داخلی و خارجی راهبردهای اجرایی توسط اعضای گروه پژوهشی اندیشیده شد. بر این اساس ۶ راهبرد تدافعی، ۴ راهبرد محافظه‌کارانه، ۳ راهبرد تهاجمی و ۳ راهبرد رقابتی استخراج شد (جدول ۴).

جدول (۲): ماتریس ارزیابی عوامل داخلی

نقاط	میانگین	وزن	امتیاز	امتیاز وزنی
S1	۳/۵۸	۰/۰۵۸۰۵۰۹	۲	۰/۱۱۶۱۰۱۸
S2	۴/۰۸	۰/۰۶۶۱۵۸۶	۲	۰/۱۳۲۳۱۷۲
S3	۳/۷۵	۰/۰۶۰۸۰۷۵	۲	۰/۱۲۱۶۱۵
S4	۳/۹۲	۰/۰۶۳۵۶۴۱	۱	۰/۰۶۳۵۶۴۱
S5	۴/۰۲	۰/۰۶۵۱۸۵۷	۱	۰/۰۶۵۱۸۵۷
S6	۴/۰۸	۰/۰۶۶۱۵۸۶	۱	۰/۰۶۶۱۵۸۶
S7	۳/۶۷	۰/۰۵۹۵۱۰۳	۳	۰/۱۷۸۵۳۰۹
S8	۴/۰۱	۰/۰۶۵۰۲۳۵	۴	۰/۲۶۰۰۹۴
W1	۳/۸۲	۰/۰۶۱۹۴۲۶	۲	۰/۱۲۳۸۸۵۲
W2	۴/۰۹	۰/۰۶۶۳۲۰۷	۲	۰/۱۳۲۶۴۱۵
W3	۳/۷۳	۰/۰۶۰۴۸۳۲	۲	۰/۱۲۰۹۶۶۴
W4	۳/۸۲	۰/۰۶۱۹۴۲۶	۲	۰/۱۲۳۸۸۵۲
W5	۴/۰۹	۰/۰۶۶۳۲۰۷	۲	۰/۱۳۲۶۴۱۵
W6	۳/۵۵	۰/۰۵۷۵۶۴۵	۱	۰/۰۵۷۵۶۴۵
W7	۳/۷۳	۰/۰۶۰۴۸۳۲	۱	۰/۰۶۰۴۸۳۲
W8	۳/۷۳	۰/۰۶۰۴۸۳۲	۲	۰/۱۲۰۹۶۶۴
جمع	۶۱/۶۷	۱		۱/۸۷۶۶

جدول (۴): راهبردهای استخراجی از عوامل محیطی

نحوه تلفیق	راهبرد تدافعی
W7/T3	۱. محافظت نیروگاه‌ها و پست‌ها و خطوط انتقال و توزیع الکتریکی در برابر تهدیدات ناشی از به‌کارگیری سامانه الکترومغناطیسی با تأکید ویژه بر محافظت از تجهیزات کنترلی
W3/T4	۲. مقابله با اثرات نامطلوب آلودگی هوا بر تجهیزات شبکه برق به‌ویژه بر عایق‌ها و مقره‌ها
W2/T3	۳. رعایت اصول سازگاری الکترومغناطیسی مطابق استانداردهای بین‌المللی در آزمایشگاه‌های مرجع برای تجهیزات شبکه برق
W6/T3	۴. افزایش مشاهده‌پذیری شبکه برق به‌وسیله حفاظت گسترده شبکه
W1/T1-T5	۵. برنامه‌ریزی جهت طراحی نیروگاه‌های خاص متناسب با ویژگی‌های طبیعی و اقلیمی کشور و ایجاد انطباق بیشتر بین تجهیزات و روش‌های تولید انرژی الکتریکی در شرایط اقلیمی متفاوت
W2/T6	۶. ارزیابی و توسعه کیفیت توان‌بخش توزیع (مصرف) در برابر تهدیدات الکترومغناطیسی عمدی
نحوه تلفیق	راهبرد محافظه‌کارانه
W4/O1	۱. برنامه‌ریزی جهت هوشمند سازی کنترل‌شده و حفاظت‌شده شبکه برق کشور
W6/O7	۲. اصلاح ساختار شبکه انتقال و توزیع با هدف شناسایی کمتر توسط دشمن با توجه به گستردگی شبکه
W5/O3-O4	۳. ایجاد آزمایشگاه‌های مرجع تهدیدات الکترومغناطیسی در صنعت برق
W7-W8/O1-O2-O5	۴. توسعه زیرساخت سامانه‌های مبتنی بر رانساناها در صنعت برق
نحوه تلفیق	راهبرد تهاجمی
S3/O2-O4	۱. بهینه‌سازی استانداردهای ملی برای طراحی، ساخت، به‌کارگیری و محافظت از نیروگاه‌ها، پست‌ها و خطوط انتقال با توجه به تهدیدات جدید
S1-S5/O2-O3-O8	۲. برنامه‌ریزی جهت افزایش تراز قابلیت اطمینان شبکه برق
S8/O6	۳. استفاده از پوشش در تجهیزات کلیدی پست و نیروگاهی
نحوه تلفیق	راهبرد رقابتی
S2/T3	۱. شناسایی و اولویت‌بندی روش‌های مقابله با انواع سامانه الکترومغناطیسی و تجهیزات آسیب‌رسان به نیروگاه‌ها، پست‌ها و خطوط انتقال
S2-S7/T2-T7-T8	۲. شناسایی، اولویت‌بندی و تعیین روش‌های مقابله با انواع تهدیدات سایبرالکترونیکی دشمن، ضد بخش‌های مخابراتی و کنترلی و مراکز دیسپاچینگ نیروگاه‌ها، پست‌ها و خطوط انتقال
S4-S6-S8/T3-T6	۳. بومی‌سازی فناوری نانو در صنعت برق برای مقاوم‌سازی در برابر تهدیدات الکترومغناطیسی

۳-۳- برنامه‌ریزی کمی راهبردی

بازدارنده هر عامل تحت عنوان نمره بهبود (AS) محاسبه می‌شود و سرانجام نمره بهبود کل (TAS) برای هر راهبرد استخراج شده و اولویت‌بندی راهبردها مشخص می‌شود که در جدول‌های (۵-۸) آورده شده است.

بعد از تدوین راهبردها گام مهم بعدی، اولویت‌بندی راهبردهاست، در مدیریت راهبردی به کمک برنامه‌ریزی کمی راهبردی این کار صورت می‌گیرد. در حقیقت میزان تأثیر سایر عوامل داخلی و خارجی سامانه بر راهبردها محاسبه شده و اثر تقویت‌کننده یا

جدول (۷): برنامه‌ریزی کمی راهبردی، راهبردهای تهاجمی

راهبرد سوم		راهبرد دوم		راهبرد اول		وزن	عوامل
TAS	AS	TAS	AS	TAS	AS		
۰/۰۸۰۷۶۴	۰/۷۵	۰/۱۱۶۱۰۱۸	۱	۰/۵۸۰۵۰۹	۰/۵	۰/۱۱۶۱۰۱۸	S1
۰/۰۹۹۳۳۷۹	۰/۷۵	۰/۱۳۳۳۱۷۳	۱	۰/۰۹۹۳۳۷۹	۰/۷۵	۰/۱۳۳۳۱۷۳	S2
۰/۰۶۰۸۰۷۵	۰/۵	۰/۱۱۶۱۰۱۸	۱	۰/۱۱۶۱۰۱۸	۱	۰/۱۱۶۱۰۱۸	S3
۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۱	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	S4
۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۱	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	S5
۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۱	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	S6
۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۱	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	S7
۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۱	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	S8
۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۱	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	W1
۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۱	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	W2
۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۱	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	W3
۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۱	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	W4
۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۱	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	W5
۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۱	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	W6
۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۱	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	W7
۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۱	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	W8
۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۱	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	O1
۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۱	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	O2
۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۱	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	O3
۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۱	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	O4
۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۱	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	O5
۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۱	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	O6
۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۱	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	O7
۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۱	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	O8
۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۱	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	T1
۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۱	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	T2
۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۱	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	T3
۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۱	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	T4
۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۱	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	T5
۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۱	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	T6
۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۱	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	T7
۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۱	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	T8
۲/۲۴۹۹		۲/۲۴۹۹		۲/۲۴۹۹		۲/۲۴۹۹	جمع TAS

جدول (۸): برنامه‌ریزی کمی راهبردی، راهبردهای رقابتی

راهبرد سوم		راهبرد دوم		راهبرد اول		وزن	عوامل
TAS	AS	TAS	AS	TAS	AS		
۰/۰۸۰۷۶۴	۰/۷۵	۰/۱۱۶۱۰۱۸	۱	۰/۵۸۰۵۰۹	۰/۵	۰/۱۱۶۱۰۱۸	S1
۰/۰۹۹۳۳۷۹	۰/۷۵	۰/۱۳۳۳۱۷۳	۱	۰/۰۹۹۳۳۷۹	۰/۷۵	۰/۱۳۳۳۱۷۳	S2
۰/۰۶۰۸۰۷۵	۰/۵	۰/۱۱۶۱۰۱۸	۱	۰/۱۱۶۱۰۱۸	۱	۰/۱۱۶۱۰۱۸	S3
۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۱	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	S4
۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۱	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	S5
۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۱	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	S6
۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۱	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	S7
۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۱	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	S8
۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۱	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	W1
۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۱	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	W2
۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۱	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	W3
۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۱	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	W4
۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۱	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	W5
۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۱	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	W6
۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۱	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	W7
۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۱	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	W8
۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۱	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	O1
۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۱	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	O2
۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۱	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	O3
۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۱	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	O4
۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۱	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	O5
۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۱	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	O6
۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۱	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	O7
۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۱	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	O8
۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۱	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	T1
۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۱	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	T2
۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۱	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	T3
۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۱	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	T4
۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۱	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	T5
۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۱	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	T6
۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۱	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	T7
۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۱	۰/۰۳۰۳۵۴۱	۰/۵	۰/۰۳۰۳۵۴۱	T8
۲/۲۴۹۹		۲/۲۴۹۹		۲/۲۴۹۹		۲/۲۴۹۹	جمع TAS

الکترومغناطیسی با تأکید ویژه بر محافظت از تجهیزات کنترلی» به ترتیب با امتیاز ۲/۷۶ و ۲/۶۷ در اولویت‌های بعدی قرار گرفتند.

۳-۵- راهکارها

راهکارها که در حقیقت از راهبردها استخراج می‌شود و در حقیقت شکل عملیاتی راهبردها می‌باشند، در این جا به‌زای هر راهبرد راهکارهای مناسب آن مشخص شده است.

۳-۴- اولویت‌بندی راهبردها

به کمک برنامه‌ریزی کمی راهبردی، راهبردهای چهارگانه را امتیازدهی کرده‌ایم. بر این اساس راهبردها اولویت‌بندی می‌شوند. راهبرد «افزایش مشاهده‌پذیری شبکه برق به‌وسیله‌ی حفاظت گسترده شبکه» با امتیاز ۲/۸۵ دارای بیشترین امتیاز بوده و راهبردهای «برنامه‌ریزی جهت افزایش تراز قابلیت اطمینان شبکه برق» و «محافظت نیروگاه‌ها و پست‌ها و خطوط انتقال و توزیع الکتریکی در برابر تهدیدات ناشی از به‌کارگیری سامانه

جدول (۸): راهکارهای مناسب جهت کاهش آسیب پذیری سامانه قدرت در برابر تهدیدات الکترومغناطیسی ناشی از تسلیحات الکترومغناطیسی باند باریک و گسترده

راهکار	راهبرد
طراحی و بهره برداری ساختمان ها و اتاق های کنترل با قابلیت محافظت در برابر پالس های الکترومغناطیسی	محافظت نیروگاه ها و پست ها و خطوط انتقال و توزیع الکتریکی در برابر تهدیدات ناشی از به کارگیری سامانه الکترومغناطیسی با تأکید ویژه بر محافظت از تجهیزات کنترلی
مطالعه و ارزیابی تاب آوری شبکه توزیع در برابر سامانه باند باریک و گسترده	
مطالعه و ارزیابی تاب آوری شبکه انتقال در برابر سامانه باند باریک و گسترده	
مطالعه و ارزیابی تاب آوری نیروگاه های بخار در برابر سامانه باند باریک و گسترده	
مطالعه و ارزیابی تاب آوری نیروگاه های گازی در برابر سامانه باند باریک و گسترده	
مطالعه و ارزیابی تاب آوری نیروگاه های سیکل ترکیبی در برابر سامانه باند باریک و گسترده	
مطالعه و ارزیابی تاب آوری نیروگاه های اتمی در برابر سامانه باند باریک و گسترده	
مطالعه و ارزیابی تاب آوری نیروگاه های تجدید پذیر سامانه باند باریک و گسترده	مقابله با اثرات نامطلوب آلودگی هوا بر تجهیزات شبکه برق به ویژه بر عایق ها و مقره ها
همکاری با سازمان حفاظت محیط زیست جهت رفع اثرات آلاینده های هوا در تولید برق با توجه به فرسوده بودن نیروگاه های کشور	
توسعه تولید انرژی تجدید پذیر جهت کاهش تولید گازهای گلخانه ای	
توسعه زیرساخت نیروگاه های هسته ای کشور	رعایت اصول سازگاری الکترومغناطیسی مطابق استانداردهای بین المللی در آزمایشگاه های مرجع برای تجهیزات شبکه برق
اجرای طرح سازگاری الکترومغناطیسی در سطح ملی برای بارهای حساس و مهم شبکه برق	
اجرای طرح سازگاری الکترومغناطیسی در سطح ملی برای تجهیزات کنترلی و ابزار دقیق صنعت برق	
الزامی کردن تدریس دروس سازگاری الکترومغناطیسی و مهندسی توان پالسی در دانشگاه ها	افزایش مشاهده پذیری شبکه برق به وسیله ی حفاظت گسترده شبکه
توسعه اندازه گیری گسترده در شبکه برق با هدف بهبود کنترل در شرایط اضطراری ناشی از تهدیدات الکترومغناطیسی	
انجام مطالعات موردی در حیطه اهمیت پایداری فرکانس در طرح حفاظت ناحیه گسترده جهت جلوگیری از خاموشی گسترده	برنامه ریزی جهت طراحی نیروگاه های خاص متناسب با ویژگی های طبیعی و اقلیمی کشور و ایجاد انطباق بیشتر بین تجهیزات و روش های تولید انرژی الکتریکی در شرایط اقلیمی متفاوت
ایجاد زیرساخت های سخت افزاری و نرم افزاری جهت مطالعه امکان و احتمال رخداد پدیده های طبیعی در مناطق مختلف کشور توسط سازمان ها و نهادهای ذی ربط	
اجرای الزامات برای پیمانکاران صنعت برق برای در نظر گرفتن شرایط اقلیمی و محیط زیستی (آلودگی هوا، ریزگرد، گرما، سرما، رطوبت، باد، یخبندان، شرایط بحرانی در ماه های گرم سال) در طراحی شبکه برق	
کاهش بهره برداری تجهیزاتی از شبکه برق که آثار نامطلوب بر محیط زیست به دنبال دارند (مانند گاز SF6 به علت خاصیت گلخانه ای)	ارتقاء کیفیت توان در برابر تهدیدات الکترومغناطیسی از طریق پیوستگی سامانه زمین، برق گیر مناسب و فیلترهای مناسب جهت محدود کردن مؤلفه های هارمونیک در سطح شبکه برق ملی
جایابی منابع تولید پراکنده با هدف کاهش هارمونیک های ولتاژی و جریانی	
توسعه زیرساخت های هوشمند سازی شبکه برق با رعایت اصول امنیت سایبری	برنامه ریزی جهت هوشمند سازی کنترل شده و حفاظت شده شبکه
ارتقاء زیرساخت ها در بخش تعمیر و نگهداری هوشمند	

تکمیل زیرساخت سامانه اطلاعات جغرافیایی در تمام بخش‌ها برای تعمیر و نگهداری مداوم	برق کشور
طراحی و اجرا شبکه برق به صورت هم‌رنگ با مبلمان شهری در بخش توزیع و انتقال	اصلاح ساختار شبکه انتقال و توزیع با هدف شناسایی کمتر توسط دشمن با توجه به گسترده‌گی شبکه
زمینی کردن فیدها و پست‌های تغذیه بارهای مراکز حساس و مهم	
طراحی و ساخت مراکز کنترل و دیسپاچینگ در مکان‌هایی با امنیت شهری و اطلاعاتی بالا با رعایت اصول پدافند غیرعامل	
ایجاد آزمایشگاه مرجع کنترل کیفیت تجهیزات صنعت برق در سطح برق منطقه‌ای به کمک بخش خصوصی	ایجاد آزمایشگاه‌های مرجع تهدیدات الکترومغناطیسی در صنعت برق
ایجاد آزمایشگاه‌های سازگاری الکترومغناطیسی در مراکز دانشگاهی	
ایجاد آزمایشگاه‌های تخصصی توان پالسی در صنعت برق	
طراحی ترانس‌های قدرت مبتنی بر ابر رسانا	توسعه زیرساخت سامانه‌های مبتنی بر ابر رساناها در صنعت برق
طراحی ژنراتورها مبتنی بر سامانه‌های ابر رسانا	
استفاده از ابر رساناها در محدودکننده‌های جریان خطا	
ایجاد زیرساخت برای ملزم بودن دست‌اندرکاران صنعت برق به رعایت استانداردهای بین‌المللی (مانند IEC) تهدیدات الکترومغناطیسی در تجهیزات شبکه برق	بهینه‌سازی استانداردهای ملی برای طراحی، ساخت، به کارگیری و محافظت از نیروگاه‌ها، پست‌ها و خطوط انتقال با توجه به تهدیدات جدید
فراهم کردن زیرساخت‌های فنی برای انجام انواع تست‌های معمول برای تجهیزات (کابل‌ها، کلیدها، خازن‌ها، تابلوهای فشار متوسط و ضعیف) صنعت برق	
ایجاد زیرساخت‌های فنی و فناوری جهت افزایش شاخص‌های قابلیت اطمینان برق (تعداد دفعات خاموشی و زمان خاموشی) مراکز دارای اولویت (حساس و مهم) به هنگام تهدیدات الکترومغناطیسی	برنامه‌ریزی جهت افزایش تراز قابلیت اطمینان شبکه برق
فراهم کردن استانداردهای قابلیت اطمینان محور در طراحی و بهره‌برداری شبکه برق	
استفاده از کابینت‌های فلزی جهت پوشش تجهیزات حساس در پست‌های فشارقوی	استفاده از پوشش در تجهیزات کلیدی پست و نیروگاهی
استفاده از کابینت‌های فلزی جهت پوشش تجهیزات حساس در مراکز نیروگاهی	
استفاده از کابینت‌های فلزی جهت پوشش تجهیزات حساس در کنترل و دیسپاچینگ	
انجام اقدامات حفاظتی (سامانه مسدودکننده زمین و خازن گذاری) در شبکه انتقال جهت کاهش صدمات اضافه جریان و ولتاژ ناشی از پالس‌های الکترومغناطیسی	شناسایی و اولویت‌بندی روش‌های مقابله با انواع سامانه الکترومغناطیسی و تجهیزات آسیب‌رسان به نیروگاه‌ها، پست‌ها و خطوط انتقال
مطالعه و پژوهش موردی شبکه برق در برابر تهاجم الکترومغناطیسی مختلف (مانند اثر سامانه باند باریک بر نیروگاه‌های هسته‌ای پوشهر)	
شناسایی مکان‌های حادثه‌خیز در برابر تهدیدات الکترومغناطیسی (احتمال رخ داد تهاجم الکترومغناطیسی بیشتر است) و ارائه خدمات برنامه‌ریزی شده و مدون	
گارگاه‌های آشنایی با تهدیدات سایبری در صنعت برق	شناسایی، اولویت‌بندی و تعیین روش‌های مقابله با انواع تهدیدات سایبر الکترونیکی دشمن، ضد بخش‌های مخابراتی و کنترلی و مراکز دیسپاچینگ نیروگاه‌ها، پست‌ها و خطوط انتقال
رعایت اصول امنیت سایبری در مراکز حساس صنعت برق	
استفاده از مواد نانو در طراحی مقره‌های خطوط انتقال و توزیع	بومی‌سازی فناوری نانو در صنعت برق برای مقاوم‌سازی در برابر تهدیدات الکترومغناطیسی
استفاده از مواد نانو جهت بهبود خاصیت مقاومت حرارتی در هادی	

- [10] D. Nitsch, M. Camp, F. Sabath, J. Luiken ter Haseborg and H. Garbe, "Susceptibility of some electronic equipment to HPEM threats," *IEEE transactions on Electromagnetic Compatibility*, vol. 46, no. 3, pp. 380-389, 2004.
- [11] H. Jeffrey S., and C.H. St John. "Foundations in strategic management," Cengage Learning, 2013.
- [12] J. D. Hunger and T. L. Wheelen. "Strategic Management 5th ed," 1996.
- [13] V. Gurevich. "8. The issue of control cables selection for HEMP-protected electric facilities," In *Protecting Electrical Equipment*, pp. 171-178, De Gruyter, 2019.

۴- نتیجه‌گیری

تهدیدات الکترومغناطیسی ناشی از سامانه الکترومغناطیسی یکی از مدرن‌ترین تهدیدات علیه سامانه قدرت می‌باشند. در این مقاله درباره کلیات دو سامانه الکترومغناطیسی باند گسترده و باریک و نحوه تأثیر آن بر تجهیزات حساس سامانه قدرت اشاره شده است و در ادامه با استفاده از روش سوات به تحلیل نقاط محیطی داخلی و خارجی این موضوع پرداخته شده است و جهت‌گیری راهبرد تدافعی بوده است. به عبارتی بایستی از توسعه نقاط ضعف در برابر تهدیدات پیشگیری شود. بنابراین با تأکید بر این راهبرد ۱۶ راهبرد استخراج شد و به کمک برنامه‌ریزی کمی راهبردی این راهبردها اولویت‌بندی شده است. بر اساس این تحلیل «افزایش مشاهده‌پذیری شبکه برق به وسیله حفاظت گسترده» به‌عنوان یک راهبرد کلیدی مطرح شده است و سرانجام از راهبردهای استخراجی ۴۷ راهکار با رویکرد کاهش آسیب‌پذیری بیان شده است.

۵- مراجع

- [1] M. Palizban, and R. Dashti, "Strengthening Power grid infrastructure using passive defense methods", *Passive Defense journal*, 2019. (in Persian)
- [2] R. Amirsoofi, "the position and role of smart ammunition as a defensive and deterrent factor in future fields", *smart defense conference*, 2006. (In Persian)
- [3] B. Zohuri and M. Moghaddam, "Directed Energy Beam Weapons the Dawn of a New Military Age," *Journal of Material Sciences & Manufacturing Research*. SRC/JMSMR-124, J. Mater. Sci. Manufac. Res., vol. 2, no. 2 pp. 2-8, 2021.
- [4] J. Benford, John A. Swegle, and E. Schamiloglu, "High power microwaves. CRC press," 2007.
- [5] M. Wang, "A Tesla-Blumlein PFL-Bipolar pulsed power generator," PhD Diss., Loughborough University, 2016.
- [6] V. Gurevich, "Protection of substation critical equipment against intentional electromagnetic threats," *John Wiley & Sons*, 2017.
- [7] M. Ebrahimnezhad, "Familiarity with non-lethal weapons," *Malek Ashtar Publisher*, Tehran, 2008, (in Persian)
- [8] C. M. Fowler and L. L. Altgilbers, "Magnetic flux compression generators: A tutorial and survey," *Electromagnetic Phenomena* 3, no. 3 pp: 305-357. 2003.
- [9] F. Peterkin, and R. L. Gardner. *System Design and Assessment Notes*. Note 42, "High Power Microwave Applications", Directed Energy Warfare Office, Naval Surface Warfare Center, 2014.

The Strategic Study of Reducing the Vulnerability of Power Systems Against Electromagnetic Pulses

R. Shabaninezhad, A. Balilashak*, I. Soltany, H. Fayazi

Abstract

The electromagnetic threats caused by narrowband and wideband electromagnetic pulses are one of the emerging threats. One of the targets of these threats is the power system. The power system has three main parts: production, transmission and distribution. In this article which is based on SWOT analysis, 40 people are selected using the Cochran's formula from a group of experts from the electricity industry, the military and academic centers to rate the SWOT points. Since the strategies are oriented toward defensive strategies, 6 defensive, 4 conservative, 3 offensive and 3 competitive strategies are presented by combining the discussed points. From these strategies, 47 appropriate strategies are developed to reduce the vulnerability of the power system, with the prospect that if the enemies of the Islamic Republic use these threats against the country's power system, least damage is imposed on vital infrastructures and this industry can continue its activities.

Key Words: *Passive Defensive, Power System, Narrowband Electromagnetic System, Ultra-Wideband Electromagnetic System*