فصلنامه علوم و فنون نظامی
سال هفتم، شماره ۱۷، تابستان ۱۳۸۹، صص:۷۸-۶۱
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۹/۸/۱۸
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۸۹/۱۲/۱

بررسی عملکرد و نقاط قوت رادارهای ماوراء افق باند اچ- اف در کشف اهداف

محمّد رضا شیدایی[۱]

چکیده:

در طول تاریخ، جنگ همواره با پیشرفت فناوری ارتباط مستقیم داشته است. در آغاز قرن۲۱، قرنی که با "عصر اطلاعات و ارتباطات" متمایز می‌شود، پیشرفت فناوری‌های ارتباطی و اطلاعاتی، طبیعت جنگ را دگرگون کرده است. در این میان پیدایش و نقش رادارهای جدید با فناوری‌های پیشرفته، و به تبع آن پیدایش شیوه‌های جدیدی در مقابله با تهدیدات هوایی غیرقابل انکار است. امروزه رادارهای ماوراء افق با فرکانس HF[۲] با قابلیت انتشار امواج الکترومغناطیس به فضا و استفاده از خاصیت انعکاس امواج توسط لایه یونیسفر به عنوان آشکارسازهای اهداف در فواصل بسیار دورتر از آنچه که توسط رادارهای ماکروویو متداول با دید مستقیم قابل آشکارسازی است، بسیار مورد توجه کشورهای توسعه یافته قرار گرفته است.

در این مقاله سعی شده است دلایل استفاده و عوامل مؤثر بر عملکرد رادارهای ماوراء افق باند اچ- اف مورد بررسی و کنکاش علمی قرار گیرد. در ابتدا دلایل استفاده از این نوع رادارها سپس مقایسه هدف‌یابی در رادارهای ماوراء افق با رادارهای ماکروویو مطرح و در گام بعدی ویژگی‌های رادارهای ماوراء افق به صورت کامل تشریح می‌گردد. سپس عناصر اصلی ساختار رادارهای ماوراء افق (گیرنده-فرستنده- آنتن و پردازش اطلاعات) و در نهایت با طرح مدیریت رادار و لایه‌های یونیسفر و تلفات انرژی در سه منطقه لایه یونیسفر به یک نتیجه‌گیری منطقی می‌رسیم.

کلید واژگان:

رادارهای HF-OTH، قدرت تفکیک فاصله‌ای، قدرت تفکیک زاویه‌ای، مدیریت رادار، یونیسفر.

پرتال جامع علوم انسانی

۱- کارشناس ارشد مدیریت دفاعی و عضو گروه پژوهش‌گران ستاد آجا

مقدمه:

از میان سامانه‌های مختلف پدافند هوایی، رادارهای کشف هدف، هنوز جایگاه خود را به عنوان ابزاری مؤثر در مقابله با تهاجمات هوایی حفظ کرده است. با توجه به اینکه قابلیت‌های سامانه‌های پدافند هوایی، امنیت پروازهای نیروی حمله ور را شدیدا به مخاطره میاندازد. لذا برنامه‌ریزی جهت انهدام آنها یکی از اهداف اولیه نیروی حمله‌ور خواهد بود و طبیعی است که نیروی مدافع تلاش می‌کند با بهره‌گیری از فناوری‌های جدید تجهیزات دفاعی خود را ضمن حفظ نمودن، توسعه داده و به مؤثرترین نحو مورد بهره‌برداری قراردهد.

از طرفی یکی از مؤلفه‌های قدرت نظامی هر کشور داشتن برتری پدافندی در برابر تهدیدات هوایی است. لذا داشتن سامانه‌های پدافندی پیشرفته که توسط آنها بتوان کلیه تحرکات هوایی از قبیل: هواپیماهای جنگی و موشک‌های بیگانه را از فراسوی مرزها مورد رهگیری و تجزیه و تحلیل قرار داد می‌تواند گویای بعد دفاعی قوی در برابر تهدیدات احتمالی باشد. چرا که اولین بخش درگیر با حملات هوایی، سامانه‌های پدافندی هستند که از این منظر بسیار حائز اهمیت می‌باشند.
گام نهادن در زمینه بررسی و پیش‌بینی طراحی و ساخت رادارهای کشف با بعد مسافت بسیار که سمینار آن چندی پیش در دانشگاه صنعتی شریف برگزار شد نوید بسیار خوبی جهت برداشتن قدم‌های بعدی در ارتقاء قدرت ملی است.

همه رادارها توسط انتشار انرژی فرکانس رادیویی(امواج الکترومغناطیس) به یک هدف دوردست که آن انرژی را پراکنده می‌سازد، کار می‌کنند. بخشی از انرژی پراکنده شده در جهت تابش باز می‌گردد. با مقایسه انرژی بازتابیده و انتشار یافته، و به ویژه با محاسبه زمان رفت و برگشت انرژی، برد هدف بدست می‌آید. سمت هدف متناسب با جهتی است که رادار کاوش می‌کند، بنابراین هر دو عامل سمت و برد قابل اکتساب است. از آن پس بود که حروف اول کلمات "اکتساب و محاسبه برد رادیویی" را **رادار**[1] نامیدند. انرژی فرکانس رادیویی، همانند نور، در یک خط مستقیم در فضای آزاد حرکت می‌کند بطوری که این امواج توسط موانع، و خصوصاً تحدب زمین محدود می‌گردد. بالا بردن ارتفاع استقرار رادار، بوسیله ابزار مخصوص دید یا مشاهده‌گرها، این امکان را فراهم می‌آورد تا فواصل دورتری را در فراسوی این تحدب بتوان

1-RADAR: Radio Detection And Ranging

مشاهده نمود. در حقیقت فاصله تا افق افزایش می‌یابد، امّا این فاصله به مجذور ارتفاع بستگی دارد. برای دو برابر کردن فاصله تا افق، باید ارتفاع را چهار برابر کرد.(سلیمانی،۱۳۸۵، ص۳۷)

- چرا رادار ماوراء افق[1](OTHR)؟

فن‌آوری رادار ماوراء افق به کمک دانش‌های مرتبط بسیاری رشد کرده است، لذا پیش از آغاز به تشریح جزئیات، بهتر است اصول بکارگیری OTHR و پیشرفت‌های مورد نیاز برای عملی شدن این سیستم تعیین گردد.

یکی از اولین مشکلات موجود در راه توسعه فن‌آوری رادارهای مدرن، افزایش برد کاری آنها است. این واقعیتی است که هم در طراحی رادارهای زمینی و هم رادارهای مخصوص تحقیقات فضایی وجود دارد. بکارگیری امواج با طول موج‌های محدوده متر تا میلی‌متر(۳۰۰ تا ۳۰۰۰۰ مگا هرتز) باعث کم شدن برد رادارهای دید مستقیم در اثر انحنای زمین می‌گردد. به همین انگیزه و به دلیل قابلیت‌هایی مانند: سهولت کار در فرکانس پایین‌تر، برد بیشتر، تأثیرپذیری کمتر از نویزهای محیطی و محدودیت کمتر در استفاده از پهنای باند و... به ویژه از سال ۱۹۶۱ میلادی تمایل زیادی در بکارگیری رادارهایی با فرکانس بالا(HF) در محدوده ۳ تا ۳۰ مگا هرتز بوجود آمد تا به این وسیله بتوان هدف‌هایی که کاملاً در پشت خط افق از دید پنهان می‌شود را کشف نمود.(قوامی ،۱۳۸۳، ص ۲۵)

اولین بار رادارهای HF-OTH به منظور بررسی و اندازه گیری ارتفاع و قطر لایه‌های یونیسفر مورد استفاده قرار گرفت، امّا چون محدودیت رادارهای ماکروویو یعنی اجبار در دید خط مستقیم[2] را نداشت از آن علاوه بر رادار دید خط مستقیم به عنوان رادار ماوراء افق نیز استفاده شد. این رادار اگر به عنوان رادار دید خطی مستقیم مورد استفاده قرار گیرد، شعاع دیدی حدود ۴۰۰-۲۰۰ کیلومتر را می‌تواند پوشش دهد ولی چنانچه به عنوان رادار ماوراء افق مورد استفاده قرار گیرد مسافتی بین ۱۰۰۰ الی ۴۰۰۰ کیلومتر را پوشش داده و همانند رادارهای ماکروویو قابلیت آشکارسازی اهدافی همانند: هواپیما، موشک و کشتی‌ها را خواهد داشت. طول موج بسیار بلند

1- OTHR: Over The Horizon Radar
2- Line Of Sight

رادارهای HF امکان جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز در مورد دریاها، اقیانوس‌ها و بررسی پدیده‌هایی مانند: شفق قطبی و شهاب سنگ‌ها[1] را در اختیار بشر قرار داده است.

از آنجایی که قدرت سیگنال اکوی برگشتی از زمین به مراتب بیشتر از اکویی است که از هدف برمی‌گردد، لذا برای داشتن نسبتِ هدف به کلاتر[2] بهتر و کم اثر کردن اکوی ناشی از کلاترهای محیطی نیاز به قابلیت‌های چون: قابلیت **قدرت تفکیک فاصله‌ای**[3] (قدرت تفکیک فاصله‌ای: تفکیک فاصله‌ای می‌تواند تا حد ۲ کیلومتر هم کاهش یابد. اما مقدار متداول آن بین ۲۰ تا ۴۰کیلومتر است.)، قابلیت **قدرت تفکیک زاویه‌ای**[4] (قدرت تفکیک زاویه‌ای: تفکیک زاویه‌ای آن بر حسب پهنای پرتو تغییر می‌کند و می‌تواند به کمتر از یک درجه هم برسد که در فاصله ۳۰۰۰ کیلومتری معادل ۵۰ کیلومتر است.) و داشتن فرکانس داپلر بسیار عالی می‌باشیم. (اسکولنیک،۱۳۸۴، ص۶۳)

امّا متأسفانه ایجاد پارامترهای فوق در فرکانس HF بسیار سخت است، فرضا برای داشتن پهنای بیم[5] ۱ درجه در فرکانس HF به آنتی حدود ۲ کیلومتر نیاز است و برای داشتن قدرت تفکیک فاصله‌ای مناسب، نیاز به پهنای باند گسترده‌ای[6] است، امّا یونیسفر به ندرت پهنای باند بالاتر از ۱۰۰ کیلو هرتز را می‌تواند پوشش دهد، که این به معنی داشتن قدرت تفکیک فاصله‌ای تقریبا ۱/۵ کیلومتر است که چنین قدرت تفکیک‌هایی در زاویه و فاصله برای دیدن هدفی در ابعاد ۱۰۶ مترمربع در فاصله‌ی ۳۰۰۰ کیلومتر مناسب است که اصلا قابل قبول نمی‌باشد. (دستجردی، ۱۳۷۹، ص ۴۰)

- مقایسه هدف‌یابی در رادارهای ماوراء افق با رادارهای ماکروویو:

در ابتدای کار با رادار ماکروویو در باند HF، از این رادار در مباحث نظامی و از آن برای هدف‌یابی به صورت دید خطی و مستقیم استفاده می‌شد که با فرمول شیفت داپلر ایجاد شده

1- Meteors
2 -Target To Clutter
3 -Resolution In Range
4 -Resolution In Angle
5 -Beam Width
6 -Wide Signal Bandwidth

محاسبه و اندازه‌گیری می‌گردید و ملاک عمل در آشکارسازی هدف در این رادارها فقط نسبت سیگنال به نویز (S/N) بازگشتی از هدف بود که در دیدی خطی و مستقیم برای هواپیماها، فرکانس شیفت داپلر[1] بدست آمده در حدود ۵۰ - ۰ هرتز بود، که قابل قبول و مورد تأیید قرار گرفت. امّا پس از آنکه این امواج به صورت OTH استفاده شد مشخص شد که طیف فرکانس برگشت داده شده‌ی هدف از زمین حداقل ۳۲ دسی‌بل کاهش پیدا می‌کند. بنابراین استفاده از پردازش‌گرهای بسیار قوی دیجیتالی داپلر در رادارهای OTH به عنوان قلب این‌گونه رادارها مورد توجه قرار گرفت. به همین خاطر بر استفاده از فرستنده‌ها با توان بسیار بالا و آنتن‌های مناسب تأکید گردید ولی در رادارهای OTH فرمول مورد استفاده جهت محاسبه فاصله هدف دارای سه مؤلفه متفاوت با رادارهای ماکروویو می‌باشد که عبارت است از:

۱- فاکتور اثرات انتشار از یونیسفر که مواردی مانند: تلفات انرژی در یونیسفر، تلفات عدم تطابق در پلاریزاسیون و تلفات ناشی از مسیر می‌باشد در آن لحاظ می‌گردد.

۲- توان نویز در پهنای باند واحد که مواردی مانند: توان نویز ناشی از منابع طبیعی و اثر تداخل امواج ناشی از دستگاه‌های در حال کار در باند HF می‌باشد را شامل می‌شود.

۳- فاکتور زمان پردازش که به فرکانس تکرار پالس[2] مربوط می‌گردد، در آن لحاظ می‌گردد.

با توجه به سه فاکتور مذکور، لذا در طراحی رادارهای OTH نمی‌توان، فقط نسبت سیگنال به نویز (S/N) را تنها ملاک عمل آشکارسازی در نظر گرفت بلکه نسبت سیگنال به کلاتر نیز پارامتر بسیار مهمی در هدف‌یابی تلقی می‌گردد.(ولاکیس،۱۳۸۶، ص ۹۴)

- مشخصه‌های نمونه‌ای از عملکرد مناسب رادار ماوراء افق:

برای نمونه، مشخصه‌هایی از هواپیمای کشف شده را که می‌توان توسط رادار ماوراء افق بدست آورد مورد بررسی قرار می‌دهیم:

داشتن برد ۴۰۰۰ کیلومتر برای کشف هواپیما به توان متوسط چند صد کیلوواتی نیاز داشته و بهره آنتن نیز باید در حدود ۳۰-۲۰ دسی‌بل باشد و فرکانسی در حدود چند ده مگا هرتز نیز احتیاج

1- Shift Doppler

2- PRF: Pulse Repetition Frequency

است. همچنین سطح آنتن نیز باید بسیار بزرگ باشد تا رادار بتواند سیگنال‌های ضعیف را به صورت معقولی دریافت نماید. به همین لحاظ طول این آنتن‌ها معمولا ۳۰۰ متر در نظر گرفته می‌شود.(کرافت،۱۹۹۲، ص۹۱)

در رادارهای HF-OTH هم می‌توان همانند رادارهای ماکروویو از سیگنال‌هایی با فرکانس‌های مختلف مانند: موج پیوسته، پالسی،FM-CW و .... استفاده نمود.

در رادارهای HF-OTH به دلیل وجود پدیده منطقه پرش[1] آشکارسازی اهداف داخل ۱۰۰۰کیلومتر به خوبی صورت نمی‌گیرد. چرا که مشکل حداقل فاصله آشکارسازی در این‌گونه رادارها وجود دارد.

اولین آزمایشگاه تحقیقاتی آمریکا در مورد رادارهای HF-OTH که در سال ۱۹۶۱ پایه‌گذاری شد، دارای یک آنتن به طول ۹۸ متر و عرض ۴۳ متر با ۲۰ عدد رفلکتور[2] که در ۲ ردیف ۱۰ تایی قرار داشتند، بود و در پشت آن نیز یک عدد آنتن چرخشی با عرض ۲۷ متر جهت پوشش کامل منطقه تعبیه شده بود که با توان متوسط بین ۵۰ – ۵ کیلو وات کار می‌کرد.

نتیجه آخرین کارهای تحقیقاتی بر روی سامانه رادار ماوراء افق منجر به ساخت و بکارگیری راداری با مأموریت اخطار اولیه علیه بمب‌افکن‌ها و دیگر هواپیماهای نزدیک شونده در شهر ماین[3] گردید. در این سامانه گیرنده و فرستنده به منظور کاهش تأثیر متقابل بر یکدیگر، به فاصله ۱۶۲ کیلومتری از هم مستقر گردیدند. (کوک،۱۹۸۷، ص۲۵)

در رادراهای ماکروویو حساسیت گیرنده معمولا توسط نویز داخلی ایجاد شده در خود گیرنده سنجیده می‌شود و نویز خارجی عامل ثانویه مؤثر در این حساسیت محسوب می‌شود، در حالی‌که در رادار HF-OTH درست برعکس است، نویز خارجی ناشی از محیط انتشار، رعد و برق، نویز کیهانی، نویز ناشی از ساخته‌های دست بشر و سایر منابع منتشرکننده فرکانس‌های HF بسیار پر اهمیت‌تر و بزرگتر از نویز داخلی گیرنده می‌باشند.

باید خاطر نشان گردد که محدود شدن حساسیت گیرنده تنها به نویز خارجی ربط ندارد، بلکه اکوی برگشتی از سطح زمین و یا دریا عموما به‌قدری بزرگ است که هم بر سطح نویز خارجی و

---

1 -Skip Zone
2 -Reflector
3- Maine

هم بر اکوی هدف تسلط مطلق دارد، بنابراین استفاده از نوعی پردازش سیگنال داپلر جهت استخراج هدف از میان کلاتر ضروری است و اهمیت پردازش داپلر در رادارهای HF-OTH همانند عملکرد MTI یا روش پالس داپلر (استخراج هدف از بین سیگنال‌های مختلف برگشتی) در رادارهای ماکروویو است. امّا با این تأکید که اساس و خصوصیت بارز در کارایی رادارهای HF-OTH بحث پردازش داپلر در آن می‌باشد. پهنای باند فیلتر فرکانس داپلر بین ۱ الی ۵۰۰ هرتز بوده و بسته به خصوصیت اهداف و میزان پایداری شرایط مسیر انتشار، متغیر انتخاب می‌شود. (آلبس ترو، ۱۹۸۴، ص۵۲)

همان‌گونه که دستگاه‌های مولد امواج در باند HF باعث بروز تداخل در رادارهای HF می‌شوند، سیگنال‌های رادار HF نیز در صورت عدم دقت می‌توانند باعث تداخل در آن دستگاه‌ها گردند که به منظور به حداقل رسانیدن این تداخل‌ها باید از شکل موج‌های باند باریک[1] که باعث تمرکز طیف سیگنال و انرژی در کانالی باریک می‌شوند استفاده نمود، که این شاخص نیازمند فرکانسی با قابلیت انعطاف بالا و پالس بلند[2] می‌باشد. بلند بودن پالس در آشکارسازی اهداف در فاصله بسیار دور از اهمیت خاصی برخوردار است.

همچنین نحوه شکل‌دهی پالس فرستنده در کاهش انرژی مورد نیاز طیف سیگنال ارسالی برای رسیدن به اهداف دوردست تأثیر دارد که این مهم در مورد سیگنال‌های FM-CW نیز صادق می‌باشد و اگر احتیاط و دقت‌های فوق در طراحی به خوبی لحاظ شوند، کمترین تداخل را در رادارهای HF-OTH خواهیم داشت. ضمن آنکه خوشبختانه با کاهش فرکانس طیف‌های کناری رادار نیز کاهش قابل توجهی می‌یابد. همان‌گونه که قبلا گفته شد، رادارهای HF-OTH از لایه یونیسفر موجود در جو جهت انعکاس انرژی به سمت سطح زمین استفاده می‌کنند که خود باعث ایجاد تلفات اضافه در مسیر سیگنال می‌گردند.

حرکت ذرات یونیزه در یونیسفر باعث ایجاد محدودیت در پردازش داپلری و کاهش دقت در اندازه‌گیری زاویه‌ای می‌شود و بسیار مهم است که فرکانس رادار OTH به‌گونه‌ای انتخاب

1- Narrow Band Wave forms
2 -Long Pulse

شود که پارامترهای آن کمترین تأثیرگذاری و تأثیرپذیری از یونیسفر را داشته باشد و برای نیل به این هدف، بررسی و دقت در وضعیت و حجم کلاترهای راداری بهترین شاخص را ارائه می‌دهد.

برای کاهش برد مبهم در رادارهای HF-OTH، فرکانس تکرار پالس آنرا کاهش می‌دهند. برای مثال با انتخاب PRF در حدود ۵۰ هرتز می‌توان برد نامبهمی تا ۳۰۰ کیلومتر را داشت، امّا با کاهش PRF، امکان ایجاد سرعت کور و ابهام در داپلر و عدم کشف اهداف نیز زیاد می‌شود. بنابراین در رادارهای HF-OTH باید علاوه بر دقت در انتخاب PRF صحیح، در انتخاب پهنای باند پالس نیز دقت لازم را داشت که معمولا پهنای پالس ممکن است از چند میکرو ثانیه تا چند میلی ثانیه انتخاب شود.

بدلیل یونیزه شدن لایه یونیسفر در جو، امکان چرخش طرح پلاریزاسیون سیگنال و حذف اکوی هدف وجود دارد که برای کاهش این چرخش و حذف نشدن هدف باید در گیرنده از دو پلاریزاسیون عمود بر هم برای آشکارسازی سیگنال هدف استفاده نمود.(کلسو، ۱۹۷۷، ص ۱۰۷) ضمنا از تأثیر زمین بر پلاریزاسیون نیز نباید غافل بود، چرا که به دلیل مجاورت زمین وآنتن (بسته به طول موج سیگنال) همیشه باید زمین را بخشی از آنتن محسوب نمود.

همچنین بی‌نظمی دینامیکی در محیط انتشار یونیسفر ممکن است باعث حذف اکوی هدف گردد، زیرا انعکاس اتفاق افتاده در یونیسفر، چگالی الکترون‌ها را افزایش داده و دو طیف فوقانی و تحتانی را ایجاد می‌کند که طیف فوقانی دارای تلفات بیشتر و حتی اغلب قابل اغماض محسوب شده و فقط طیف تحتانی باقی می‌ماند. ضمن آنکه ساختار یونیسفر به گونه‌ای است که در طول روز متغیر بوده و باعث ایجاد پراکندگی‌های نامنظم در انتشار و انعکاس می‌گردد که تمام این پراش‌ها و دو یا چند طیفی شدن‌های سیگنال انعکاس یافته ممکن است باعث حذف اکوی هدف گردند. (کلسو، ۱۹۷۷، ص ۱۱۵)

آنتن رادارهای HF-OTH باید دارای گین بالا بوده تا بتواند پهنای باند وسیعی را پوشش دهد و قابلیت هدایت طیف‌های سیگنال در ارتفاع و زاویه گسترده و با توان بالا را داشته باشد، آنتنی با چنین مشخصاتی باید به اندازه کافی بزرگ بوده و زمین جلوی آن نیز به اندازه کافی وسیع[1] باشد. بطور مثال: اگر آنتنی با مشخصات پیش‌گفته، با اولین لوب[2] ۴ درجه طراحی کنیم و

1- Large Ground Screen
2 -Lobe

فرکانس‌کاری آن را نیز ۱۵ مگاهرتز در نظر بگیریم. زمینی که جلو آنتن قرار گرفته باید ۱۵۰ برابر طول موج یعنی حدوداً ۳۰۰۰ متر درنظر گرفته شود.

میزان پوشش راداری در سطح زمین به یونیسفر بستگی تام دارد و معمولاً با یک سیگنال تنها می‌توان حدود ۱۰۰۰ کیلومتر را تحت پوشش قرار داد، پس اگر نیاز به پوشش ۱۰۰۰ – ۴۰۰۰ کیلومتر از زمین را داشته باشیم، به حداقل سه فرکانس متفاوت نیز احتیاج داریم. به عبارت دیگر شرایط یونیسفر، استفاده از سه و شاید چهار، پنج یا شش فرکانس متفاوت را برای پوشش بهتر تا ۴۰۰۰ کیلومتر را به ما تحمیل می‌نماید، بنابراین در طراحی رادار باید قابلیت انعطاف در انتخاب و ارسال چندین فرکانس مختلف را مدنظر قرار داد.

پردازش داپلر نیازمند داپلری با قابلیت تفکیک مناسب است و آن حاصل نمی‌شود مگر با انتخاب مناسب بیم آنتن به‌گونه‌ای که توقف کافی در منطقه هدف داشته باشد و همچنین باید تضعیف کلاترهای محیطی نیز درحد مناسب انجام شود، که این زمان توقف چیزی حدود ۱۰ ثانیه باید در نظر گرفته شود.

با توجه با نکات گفته شده در مورد نیاز به انتخاب چندین فرکانس و زمان مناسب توقف بیم آنتن بر روی اهداف، زمان پردازش افزایش می‌یابد که برای کاهش این زمان پیشنهاد می‌شود از چندین فرستنده و چندین گیرنده بصورت مجزا و یا از یک فرستنده با بیم گسترده و چندین گیرنده با بیم باریک استفاده گردد. این اقدام باعث می‌شود که اندازه آنتن‌های فرستنده که بسیار گران قیمت‌تر از آنتن‌های گیرنده هستند (بدلیل قابلیت توان‌های بسیار بالا)، کاهش و در عوض تعداد آنها بیشتر شود. ضمن آنکه باریک شدن بیم آنتن‌های گیرنده، دقت و قابلیت تفکیک‌پذیری و مدت زمان استراحت گیرنده‌ها را افزایش می‌دهد.

یکی از مشکلاتی که در برابر رادارهای HF-OTH وجود دارد کلاترهای ناشی از شهاب سنگ‌ها و شفق‌های قطبی است که هر دو باعث ایجاد اکوهای بسیار قوی در رادار و جلوگیری از آشکارسازی اکوی اهداف مورد نظر می‌شوند. این اکوهای ناخواسته به اندازه کافی قوی هستند به طوری که از طریق سایدلوبها[1] و در مسافت‌هایی دورتر از آنچه که حداکثر برد نامبهم راداری است نیز به عنوان هدف ظهور نموده و باعث اختلال در عملکرد رادار می‌شوند که با مدیریت

1- Side lobes

صحیح در انتخاب فرکانس‌های ارسالی می‌توان اثرات این پدیده‌ها را به حداقل رسانده و یا حذف نمود.(ولاکیس، ۱۳۸۶،ص۹۵)

مدیریت رادار و یونیسفر:

چگالی الکترون‌های آزاد موجود در یونیسفر در هنگام برخورد امواج الکترومغناطیس ارسالی دچار تغییر می‌شوند که این تغییر چگالی زاویه حرکت امواج الکترومغناطیس را تغییر داده و موجب پراش امواج می‌گردد که میزان تغییر چگالی و به تبع آن میزان پراش به فرکانس امواج بستگی دارد به‌گونه‌ای که هرچقدر فرکانس پایین‌تر انتخاب شود میزان انحراف زاویه امواج بیشتر می‌شود. بنابراین انتخاب فرکانس مناسب جهت برگشت داده شدن امواج ارسالی از یونیسفر به سمت زمین، شرط اصلی و بسیار مهمی می‌باشد.

از آنجا که میزان چگالی الکترون‌های یونیسفر نیز به واسطه تشعشعات کیهانی و منظومه شمسی بصورت روزانه و فصلی متغیر است، اگر رفتارهای منظومه شمسی به صراحت قابل پیش‌بینی نباشد، مطمناً چگالی الکترون‌ها نیز به وضوح قابل پیش‌بینی نخواهد بود، لذا داشتن اطلاعات درزمان واقعی[1] از چگالی الکترون جهت عملکرد مناسب رادار از اهمیت بالایی برخوردار است.

به عنوان مثال: تحقیقات انجام شده ثابت کرده که چگالی الکترون‌های یونیسفر در تابستان افزایش می‌یابد و همچنین چگالی الکترون‌ها علاوه بر تغییرات روزانه و فصلی به مکان جغرافیایی نیز بستگی تام داشته و یونیسفر اطراف زمین دارای ضخامت و چگالی‌های متفاوت می‌باشد. (بوکر، ۱۹۸۶، ص۲۰۴)

تلفات‌انرژی در انتشاریونیسفری در سه منطقه از لایه یونیسفر اتفاق می‌افتدکه به‌قرار زیرند:

۱- منطقه پایین یونیسفر (منطقهD): که برخورد امواج با الکترون‌های آزاد باعث تشدید جنبش الکترون‌ها و اتلاف انرژی می‌شود که به منطقه جذب غیر انحرافی[2] معروف می‌باشد.

1 -Real Time
2 -Non Deviate Absorption Obscuration

۲- منطقه بالاتر از ۱۰۰ کیلومتری یونیسفر (منطقه E): که در آن زنجیره متراکمی از یون‌های آزاد قرار داشته و باعث کدر شدن یونیسفر نیز می‌گردد و به نام منطقه گهگاه تیره‌ساز[1] معروف است.

۳- منطقه سوم که بالاترین بخش یونیسفر بوده و عمده‌ترین تغییرات، انکسار امواج در این بخش صورت می‌گیرد و به منطقه جذب انکساری[2] معروف است.

علاوه بر تلفات گفته شده باید تلفات ناشی از عدم همسانی پلاریزاسیون[3]، تلفات ناشی از انعکاس امواج از زمین و تلفات ناشی از بی‌نظمی‌های یونیزاسیون در یونیسفر را نیز مدنظر داشته باشیم. (میسون، ۱۹۹۶، ص ۲۸-۲۵)

اگر چه همیشه در بخش پایینی یونیسفر، با افزایش ارتفاع چگالیِ الکترون‌ها افزایش می‌یابد امّا برخی از ویژگی‌های آن غیرقابل پیش‌بینی است و پارامترهایی مانند: روزنه دید آنتن[4] فرستنده، توان ارسالی و محدوده فرکانسی انتخاب شده نیز در چگونگی رفتار یونیسفر مؤثر هستند. در روزهای تابستانی، به دلیل توسعه یونیزاسیون به بخش‌های پایین‌تر یونیسفر، این بخش‌ها غلیظ‌تر شده و باعث بروز تلفات بیشتر در بخش‌های پایینی یونیسفر (منطقه D و یا Non Refractive Absorption) می‌گردد، لذا نیاز به انتخاب فرکانس‌های بالاتر برای عملکرد بهتر می‌باشیم. از طرفی در شب‌های سرد زمستانی نیز به دلیل پراکندگی الکترون‌ها و کاهش چگالی[5]، نیاز به انتخاب فرکانسِ پایین‌تر جهت عملکرد بهتر می‌باشیم. امّا در هردو حالت گفته شده از تأثیرات مقطعی فعالیت‌های خورشیدی[6] نباید غافل بود.(کولوسو، ۱۹۹۸، ص۱۰۹)

- پارامترهای اساسی رادار HF-OTH و لزوم بکارگیری آنها:

این رادار از امواج پیوسته (CW) با توانایی ارسال بسامد سوار[7] استفاده نموده، دارای یک آنتن فرستنده دو قطبی آرایه‌ای[8] به ارتفاع ۴۱ متر و طول ۶۹۴ متر است، کاوش در سمت بطور

---

1 -Sporadic – E
2 -Refractive Absorption
3 -Polarization Mismatch
4 -Antenna Aperture Size
5 -Dense
6 -Solar Activity
7 -Frequency Modulation
8 -Dipole-Transmitter Array

الکترونیکی توسط یک کامپیوتر کنترل می‌شود، بکارگیری بسامد سوار اضافی در هر ۶ باند کاری رادار، کامپیوتر علاوه بر آن کاوش در برد را هم کنترل می‌کند. ۲۱ مدار[1] فرستنده به قدرت هر کدام ۱۰۰ کیلووات در سامانه نصب گردیده که هر ۷ عدد آن می‌تواند همزمان موج ارسال نماید.

پهنای آنتن آرایه گیرنده ۱۷۷۳ متر است؛ ۹۶ مدار گیرنده سوپر هترودین[2] در آن نصب گردیده و اطلاعات پیوسته[3] در این گیرنده تبدیل به داده‌های عددی[4] می‌گردد. پرتو گیرنده بصورت عددی شکل می‌گیرد. حداقل برد عملیاتی ۸۰۰ کیلومتر و حداکثر آن در حدود ۳۰۰۰ کیلومتر است. (اسکولنیک،۱۳۸۴، ص۷۵)

رادار ماوراء افق را می‌توان به منظورهای متفاوتی بکار گرفت، که بستگی به طبیعت و نوع هدف دارد و رادارها به همان منظور طراحی می‌گردند. رادار طراحی شده توسط هدریک[5] و اسکولنیک[6] به منظور نظارت بر تحرکات هوایی بر فراز دریا و مشاهده وضعیت سطح دریا طراحی گردیده است. با این مشاهدات، امکان تعیین جهت حرکت امواج، تخمین ارتفاع آنها، و تخمین قدرت بادهای ایجاد کننده آنها وجود دارد. کارکرد رادار در باند HF امکان مطالعه لایه یونسفر را نیز فراهم می‌آورد. برای مثال، در سال ۱۹۷۴، راداری که در باند فرکانسی ۷ تا ۲۹ مگا هرتز به منظور مطالعه میدان‌های الکتریکی و ناهمسانی[7] در جریان یونسفری استوایی[8] کار می‌کرد، می‌کرد، منجر به کشف این موضوع شد که فاز جابجا شده سرعت و دمنه سیگنال‌های بازتابی، بطور مشخص بستگی به مسافت دارد. نتایج این مشاهدات در نهایت باعث اثبات این شد که سرعت فازی کم و دامنه سیگنال بازتابی بزرگ در مسافت‌ها طولانی با امواج پلاسمای افقی موجود در لایه انتشاری یونسفر مرتبط است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

1 -Module
2 -Supper Heterodyne
3 -Analog
4 -Digital
5 -Headrick
6 -Skolnik
7 -Non Uniformities
8 -Equatorial Ionospheric Currents

رادارهای OTH در حال حاضر در امریکا (R-OTHR) و استرالیا[1] در راستای کشف رفت و آمد هواپیمای قاچاقچیان بر فراز خلیج مکزیکو، مراقبت هوایی گسترده، اقیانوس نگاری یا پی جویی گردبادهای سهمگین بکار برده می‌شوند. (کرافت،۱۹۹۵ ص۹۹)

قابل ذکر است که مجزا بودن ایستگاه‌های گیرنده و فرستنده (و امکان استفاده از چند سامانه گیرنده متحرک اضافی) کشف موقعیت ایستگاه‌های گیرنده‌ای که موجی ارسال نمی‌نمایند[2] را برای دشمن مشکل می‌سازد. به عنوان یک برتری تکنیکی مهم است بدانیم که در نزدیکی و اطراف ایستگاه گیرنده هیچ‌گونه ناحیه کور حاصل از مدت طپش[3] فرستنده و زمان بازگشت[4] چرخه‌های حفاظتی[5] وجود ندارد. بکارگیری چندین ایستگاه فرستنده به طور همزمان، گرچه باعث باعث پیچیدگی بیشتر فرآیند پردازش سیگنال می‌شود، در همان زمان چشم‌اندازی از تکنیک‌های راداری را عرضه خواهد داشت. پردازش سیگنال و اطلاعات در خروجی سامانه‌های گیرنده به خوبی می‌تواند به‌طور همزمان انجام شود، در نتیجه وضعیت صحیح عملیات، اطلاعات را مستقیماً برای کاربران فراهم می‌آورد.

سامانه رادار چند ایستگاهۀ ماوراء افق شامل تعدادی سازه مجزا از هم شامل: فرستنده، گیرنده، و تسهیلات ماوراء افقی ارسال و دریافت است که اطلاعات دریافتی از هر هدف بوسیله کلیه حس‌گرها ترکیب شده و تواماً پردازش می‌گردد. بنابراین دو امتیاز اصولی دارد: چندین ایستگاه مجزا که در مناطق دور از هم مستقر هستند و ترکیب نمودن (پردازش توام) اطلاعات دریافت شده از هدف.

از آنجا که کشف، مهمترین و اساسی‌ترین بخش مأموریت عملیاتی پدافند هوایی است که توانایی: اطلاع‌رسانی و اعلام وضعیت در سراسر کشور، هدایت عملیاتی به موقع، ایجاد وضعیت پدافند غیرعامل در کشور، هدایت عملیاتی سامانه‌های پدافند هوایی(پدافند عامل- زمین پایه)، هدایت عملیاتی سامانه‌های پدافند هوایی (هوا پایه)، مدیریت و عملیات درگیری (نقطه‌ای-

1 -Jindalee Jorn
2 -Silent
3 -Pulse Duration
4 -Recovery Circuits
5 -Protection Circuits

منطقه‌ای- سراسری)، مدیریت بر فضای کشور، تخصیص سلاح و تسهیم آتش و ایفای اصلی‌ترین نقش در فرماندهی و کنترل را دارا بوده و از مؤلفه‌های اصلی قدرت ملی می‌باشد.

از طرفی راه‌کار دشمن برای کشف نشدن که بر دو پایه تخریب عملکرد سامانه‌های کشف و همچنین بکارگیری فناوری استیلث استوار است، ما را بر آن می‌دارد تا توانمندی فنی (الکترونیکی- مکانیکی- فیزیکی و تحرک) سامانه‌های خود را به حدی برسانیم که با اقدامات ضد الکترونیک خود و همچنین حمله‌های سخت دشمن، کارایی خود را ازدست نداده و از روش‌هایی استفاده کنیم تا بتوانیم پرنده‌های رادار گریز دشمن را کشف نماییم.

با توجه به قابلیت‌های این سامانه راداری و با لحاظ نمودن تهدیدات موجود در منطقه توسط رژیم اشغالگر قدس و نیروهای فرامنطقه‌ای پیرامون کشور و همچنین فناوری‌های جدید بکار رفته در تسلیحات این نیروها ما را برآن می‌دارد تا آمادگی لازم را برای دفاع در مقابل تهدیدات جدید به ویژه در بعد مراقبت هوایی کسب نماییم.

انواع تهدیدهای جدید نیازمند امکانات جدید به منظور کشف توسط سامانه‌های دفاع هوایی است. بنابراین برای مراقبت هوایی مطلوب از یک منطقه وسیع و مشاهده نظام‌مند و مداوم نواحی گسترده، بخصوص به منظور کشف و تعقیب در ارتفاع پست و مسافت‌های طولانی بر فراز زمین یا دریا، همواره بایستی در فکر فراهم آوردن مجموعه اطلاعاتی از مسیرهای زمینی و هوایی باشیم. لذا جهت نیل به این مهم و همچنین نیاز مبرم آجا به این‌گونه توانمندی‌ها، و پدافند در عمق که از راهبردهای اساسی جمهوری اسلامی ایران می‌باشد، این سامانه با عنایت به عملکرد آن می‌تواند بسیار مفید واقع گردد، لذا لازم است در وظایف پدافند هوایی قرارگاه خاتم‌الانبیاء آجا تجدید نظر نموده و این یگان حساس را به سامانه‌های راداری ماوراء افق تجهیز نمود.

نتیجه‌گیری:

زمانی که تحول فناورانه شکل می‌گیرد، این موضوع پیامدهای ساختاری مختلفی در ابعاد گوناگون به‌جای می‌گذارد. اگرچه ابزارهای نظامی و ساختار عملیاتی به‌عنوان نخستین منبع قدرت ملی آن کشور برای تأمین هدف‌ها و منافع تلقی می‌شود، اما در عصر تحولات فناورانه و تأثیر آن بر نبردهای منطقه‌ای و فرامنطقه‌ای باید به این جمع‌بندی رسید که تجهیزات و سامانه‌ها نقش کیفی

در نبردها ایفا می‌کنند، لذا کشوری از قدرت بیشتری برخوردار است که سرزمین‌ها و قدرت نظامی بیشتری در اختیار دارد. در این دوره، قدرت نظامی موجه‌ترین عامل اقتدار می‌باشد. در مراحل بعد، دیگر مؤلفه‌های قدرت مورد توجه قرار می‌گیرد و امینت، قدرت و تهدیدهای چند وجهی شکل می‌گیرد. لذا باید برای دوره‌های طولانی نسبت سه مؤلفه‌ی مذکور رویکرد سخت‌افزارانه را همواره مدنظر قرار داد.

سامانه‌ها و تجهیزات پدافندی از آن دسته از سخت‌افزارهایی هستند که بایستی با نگاهی ویژه با عنایت به مسائل معنونه به آنها نگریسته شود و به پیامدهای عدم بکارگیری سامانه‌های پیشرفته در پدافند هوایی و نتایج مثبت بهره‌گیری از آنها نگاهی اساسی مبذول داشت.

- علیهذا نتایج زیر را در مورد عملکرد رادارهای HF-OTH باید همواره مدنظر قرار داد:

این رادارها دارای **قابلیت‌های ممتاز و منحصر بفردی** هستند که عبارتند از:

۱- برد زیاد رادار ماوراء افق:(بردی بین ۱۰۰۰ تا ۴۰۰۰ کیلومتر) یکی از مهمترین توانمندی‌ها و مزایای آن است که با توجه به دکترین پدافند جمهوری اسلامی ایران (پدافند در عمق) می‌تواند به عنوان یک رادار اخطار اولیه در راه‌کارهای راهبردی آجا مورد توجه قرار گیرد.

۲- پوشش زاویه‌ای مناسب، قدرت تفکیک فاصله‌ای مناسب(بین ۲۰ تا ۴۰ کیلومتر)، **دقت فاصله‌ای نسبی مناسب**(بین ۲ تا ۴ کیلومتر)، **قدرت تفکیک زاویه‌ای**(کمتر از یک درجه) از خصوصیات قابل توجه این سامانه است.

۳- قدرت تفکیک داپلر: معمولاً تفکیک هدف‌هایی که فرکانس داپلر آنها در حدود یک دهم هرتز یا کمتر با هم فرق داشته باشد، امکان پذیر است در رادارهای با فرکانس ۲۰ مگاهرتز، اختلاف داپلری برابر با یک دهم هرتز معادل اختلاف سرعتی برابر با ۲۷ کیلومتر در ساعت (۱۵۰۰ نات در ساعت) می‌باشد.

اگر چه قدرت تفکیک فاصله‌ای و زاویه‌ای رادارهای HF ضعیف‌تر از را دارهای ریز موج است، اما قدرت تفکیک آن در حوزه داپلری کاملاً خوب است و هدف‌هایی که از لحاظ زاویه و فاصله قابل تفکیک نباشند، از نظر داپلر به خوبی قابل تفکیک خواهند بود. وقتی که هدف‌ها به کمک

داپلر از یکدیگر تفکیک شدند، تعیین فاصله و زاویه را می‌توان با دقتی بیش از دقت اسمی آنها انجام داد.

۴- تغییرات در چگالی بارهای یونیزه شده در یونیسفر در طی روز و فصل‌ها عامل تعیین کننده‌ای برای انتخاب فرکانس در رادارهای OTH و میزان تلفات انرژی است.

۵- استفاده از فضای یونیسفر به منظور کشف اهداف با مدیریت مناسب اطلاعاتِ مربوط به یونیسفر و پرداخت هزینه‌های لازم برای آن قابل اطمینان و بهره آن قابل قبول می‌باشد.

۶- **انتشار امواج در چگالی‌های مختلف**، نیازمند داشتن فرکانس‌های مختلف اما در پهنای باند کم است زیرا که فقط در پهنای باند کم بهترین حالت شکست امواج و پدیده انعکاس از یونیسفر اتفاق می‌افتد.

۷- محدودیت در پهنای باند باعث می‌شود سیگنال برگشتی فقط منطقه جغرافیایی محدودی از زمین را تحت پوشش قرار دهد در صورتیکه سامانه فوق فاقد این نقیصه است.

۸- در مطالعه مربوط به فضای انتشار باید به کلاترهای ناشی از عواملی همچون: زمین، یونیزاسیون ناشی از شهاب سنگ‌ها و شفق قطبی توجه نمود.

۹- نویز ناشی از عوامل طبیعی همچون: اشعه‌های کیهانی، پرتوهای خورشیدی و سایر منابع ایجاد کننده نویز هیچوقت بصورت شفاف و یکنواخت در باند فرکانسی HF منتشر نشده و مقادیر آنها متغیر است. لذا تأکید می‌شود که باند فرکانسی HF، باند بسیار شلوغی برای استفاده بوده و نیاز به داشتن پردازشگر داپلر دیجیتالی بسیار قوی و پر سرعت، تنها شرط اقدام برای استفاده از این باند فرکانسی برای رادارها می‌باشد.

۱۰- یکی از اصلی‌ترین کاربردهای فعلی این‌گونه رادارها می‌تواند در بحث کنترل ترافیک هوایی و بررسی شرایط دریاها و اقیانوس‌ها باشد.

منابع:

۱- اسکولنیک، آی. مریل، شناخت سامانه‌های راداری. ترجمه صادق نـژاد، احمـد ؛ حیـدری، حسین (۱۳۸۴). تهران: چاپخانه نهاجا.

۲- قوامی، سید قدرت‌الله(۱۳۸۳). آنالیز انتشار امواج و طراحی سیستم‌های ارتباطی.

۳- سلیمانی، محمد. اصول رادار(۱۳۸۵). تهران: انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران.

۴- وحید دستجردی، محمدعلی. کاربرد ماکروویو (۱۳۷۹). تهـران: انتشـارات دانشـگاه هـوایی شهید ستاری.

۵- ولاکیس، جان. ال. راهنمای مهندسی آنتن (۱۳۸۶). انتشارات نص

6- B. A. Alebastrov et. Al.(1984). Principles of Over-the-Horizon Radars. Moscow.

7- Booker, H.G. A theory of scattering by non-isotropic irregularities. with application to radar reflections from aurora. J. Atmospheric and Terrestrial Physics(1986). vol. 8 no. 4/5.

8- C.E.COOK-(1987).Radar signals-ac press.

9- J.M.KELSO(1977). Radio ray propagation in the ionosphere- new yourk- mc hill.

10- Kolosov, a.a., et al(1998).Over the Horizon Radar, Artech House, Translated by William F. Barton.

11- Mason J. and Sclater, N. (1996). Over-the-horizon radars scan skies for FOBS. Electronic Design. vol. 15, no. 26.

12- T.A.CROFT(1995).Sky Wave Backscatter, Space phys.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی