استخراج علائم شناساگریزی اهداف دریایی و روش‌های بهبود آن‌ها به همراه نتایج تست میدانی

نفیسه رادکانی [1] و بیژن ذاکری [2]

[1] کارشناسی ارشد برق مخابرات گرایش میدان، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، nafis_r68@yahoo.com

[2] استادیار گروه مخابرات میدان دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

تاریخ دریافت :۱۳۹۳/۰۶/۰۲ تاریخ پذیرش :۱۳۹۵/۰۶/۰۷

چکیده

بکارگیری فناوری شناساگریزی برای اهداف دریایی نقش مهمی را در قابلیت مقابله با دشمن بازی می‌کند. به منظور طراحی یک هدف شناساگریز ابتدا باید علائمی از هدف که توسط حساسه‌های موجود قابل آشکارسازی هستند را شناسایی کرد و با بکارگیری روش‌ها و فناوری‌های مناسب این علائم را به حداقل رساند. در این مقاله به بررسی مهم‌ترین علائم شناسایی یک هدف دریایی در چهار حوزه راداری، فروسرخ، صوتی و بصری می پردازیم. روش‌های مناسب و ملاحظات لازم جهت کاهش این علائم را بیان می کنیم و در ادامه نتایج شبیه‌سازی و تست میدانی یک شناور سطحی را در حوزه‌های معرفی شده مورد ارزیابی و یک طرح شناساگریز برای آن ارائه می‌دهیم.

کلیدواژه

تکنولوژی شناساگریزی، اهداف دریایی ، رادار گریزی، تشعشعات فروسرخ

مقدمه

امروزه تجهیزات دریایی مانند انواع شناورها به سمت بکارگیری دانش فنی شناساگریزی[1] پیش می‌روند. شناساگریزی به مفهوم حداقل سازی علائم آشکارسازی می باشد. فناوری شناساگریزی لزوماً یک هدف را غیر قابل شناسایی نمی‌سازد، بلکه احتمال شناسایی آنرا را کاهش می‌دهد یا باعث تاخیر در شناسایی می‌شود. علائم شناسایی اهداف با توجه به سنجنده‌های شناسایی مفهوم می‌یابند و شامل حوزه‌های مختلف از جمله راداری[2]، فروسرخ[3]، صوتی[4] و بصری[5] می‌باشند [۱].

شناساگریزی به عنوان دفاع بدون استفاده از سلاح مطرح می‌گردد. با توجه به استفاده‌ی گسترده‌ی فناوری‌های شناسایی و هدف‌گیری در دریا از تجهیزات و تسلیحات پیشرفته که وابسته به حساسه‌های شناسایی از دور هستند، اقدامات موثر شناساگریزی می‌تواند، توان شناسایی حساسه‌های دشمن را کاهش دهد. فناوری‌های نوین علاقه‌مندی جنگیدن از فاصله‌ی دور را افزایش داده و این در جنگ‌های نسل اخیر مشاهده شده است. برد تسلیحات دشمن وابسته به حساسه‌های شناسایی دشمن می‌باشد و قابلیت حساسه‌های شناسایی دشمن وابسته به علائم شناسایی اهداف مقابل است. بنابراین با شناخت علائم شناسایی خودی و کاهش این علائم، دشمن نیازمند استفاده از تجهیزات مدرن‌تر و پیشرفته‌تر و یا نزدیک نمودن میدان نبرد است. بنابراین کاهش فاصله‌ی نبرد، حضور دشمن را در تیررس تسلیحات دریایی و ساحلی خودی فراهم می‌سازد. فناوری شناساگریزی اهداف خودی توانایی غافلگیر نمودن دشمن را فراهم می‌آورد، میدان نبرد را برای دشمن ناامن می‌سازد و توانایی بازدارندگی و ابتکار عمل را برای نیروی خودی مهیا می‌سازد. نکته‌ای که نباید از نظر دور نگاه داشت این است که تلاش برای بی‌اثر کردن پنهان‌سازی[6] نیز در حال پیشرفت است و هم‌پای رشد پنهان‌سازی در حال توسعه است.

تاکنون روش‌ها و فناوری‌های مختلفی به منظور کاهش علائم شناسایی اهداف و پنهان‌سازی هدف از حساسه‌های شناسایی دشمن در همه‌ی حوزه‌های تهدید ارائه شده‌اند. این روش‌ها در اهداف دریایی مدرن پیاده‌سازی شده‌اند و آن‌ها را شناساگریز ساخته‌اند. روش‌های دیگری هم پیشنهاد شده‌اند که تاکنون عملیاتی نشده‌اند و شاید در آینده امکان پیاده‌سازی آنها فراهم شود. در این مقاله علائم شناسایی اهداف را معرفی کرده و به مهم‌ترین علائم شامل سطح مقطع راداری، تشعشعات فروسرخ حرارتی، اثر صوتی و اثر بصری یک هدف و منابع تولید آنها در هدف می پردازیم. سپس دستورالعمل‌های لازم و روش‌های مناسب جهت کاهش علائم آشکارسازی و پنهان‌سازی هدف را که تاکنون پیشنهاد شده‌اند و از گذشته تا به امروز توسط

[1] Stealth technology
[2] Radar
[3] Infrared
[4] Acoustic
[5] Visual
[6] Counter Stealth

Archive of SID
www.SID.ir

اهداف مدرن مورد استفاده قرار می‌گیرند و همچنین روش‌های جدید پیاده‌سازی نشده را ارائه می‌دهیم. در نهایت علائم مهم آشکارسازی در یک هدف دریایی خاص مورد بررسی قرار می‌گیرد و نتایج شبیه‌سازی و تست میدانی آن هدف در حوزه‌های شناسایی معرفی شده ارزیابی می‌شود و همچنین یک طرح شناساگریز برای هدف دریایی مورد نظر ارائه می‌شود.

علائم آشکارسازی اهداف دریایی

تهدیداتی که یک هدف با آن مواجه است، در سه حوزه‌ی هوایی، دریایی و زیردریایی قابل دسته‌بندی هستند. تهدیدات هوایی و دریایی شامل بصری، راداری، فروسرخ حرارتی، ماهواره‌ای، لیزر، سیگنال‌های تشعشعی و ردِ ناو[7] می‌باشند. تهدیدات زیردریایی شامل نویزهای صوتی، اثرات الکتریکی و مغناطیسی ناشی از زیرسیستمهای داخل هدف و همچنین تغییرات فشار آب، یک هدف را در معرض خطر قرار می‌دهند. با توجه به پیشرفت‌های وسیع در تکنیک‌های شناسایی، طراحی به منظور پنهان‌سازی نیاز به ادغام فناوری‌های مختلفی دارد. از آنجایی که تهدیدات راداری، فروسرخ حرارتی، صوتی و بصری مهم‌ترین تهدیدات می‌باشند، انواع پنهان‌سازی‌هایی که بیشتر توسط اهداف استفاده می‌شود، در موضوعاتی شامل علائم و انعکاسات راداری، فروسرخ، صوتی و بصری طبقه‌بندی می‌شوند. در ادامه به هریک از این علائم و روش‌های کاهش آن‌ها به منظور پنهان‌سازی هرچه بهتر یک هدف رزمی می‌پردازیم.

اثر سطح مقطع راداری[8]

از جمله عوامل تهدیدکننده‌ی اهداف دریایی، رادارها هستند که سیگنالی را به سمت هدف ارسال و سیگنال پراکنده شده از سطوح هدف را دریافت می‌کنند. واضح است که سیگنال پراکنده شده‌ی دریافتی توسط رادار، به طور مستقیم با سیگنال پراکنده شده توسط هدف متناسب است. قابلیت نصب روی زمین، کشتی، هواپیما و ماهواره‌ی جاسوسی باعث شده که رادار، مهم‌ترین عامل خطرناک برای یک هدف رزمی به حساب آید و داشتن برنامه‌ای ویژه برای مقابله با آن (تکنولوژی پنهان‌سازی) ضروری به نظر برسد [۱]. شکل ۱ ارسال سیگنال به سوی کشتی و دریافت سیگنال ناشی از برخورد موج سیگنال به کشتی را توسط رادار نشان می‌دهد.

شکل ۱. ارسال موج توسط رادار و دریافت اکوی ناشی از حضور کشتی

سطح مقطع راداری یک اندازه‌گیری از شدت بازتابش یک هدف است و مقدار آن در شناسایی هدف تعیین کننده است. بنابراین کاهش آن به معنای تاخیر در شناسایی هدف توسط دشمن می‌باشد. سطح مقطع راداری تنها پارامتری است که با ایجاد تغییر در شکل هدف می‌توان آن را کنترل کرد. به همین دلیل دانشمندان در تلاشند تا به بهترین روش، آن را کاهش دهند. این پارامتر به فاصله از رادار بستگی ندارد و تابع عوامل اصلی زیر می‌باشد [۲]:

۱. شکل ظاهری، اندازه و جنس هدف
۲. زاویه‌ی هدف نسبت به آنتن فرستنده یا گیرنده
۳. فرکانس کاری آنتن رادار
۴. پلاریزاسیون[9] آنتن‌های فرستنده و گیرنده
۵. مکان آنتن فرستنده و گیرنده تا هدف

کاهش سطح مقطع راداری یکی از مهم‌ترین عوامل بازدارندگی تهدیدات نظامی و آسیب‌ناپذیری[10] یک هدف نظامی است. پنهان‌سازی از دید رادار نیاز دارد که هدف امواج رادار را جذب کند و یا آنها را به بخش‌های دیگر فضا پراکنده کند و یا با تشعشع امواج معکوس اکوهای بازگشتی را صفر کند. جذب امواج و منحرف کردن آنها مهم‌ترین اهداف برای پنهان‌سازی از دید رادار هستند.

منابع اصلی تولید علائم راداری

برای یک کشتی رزمی، پراکندگی‌های اصلی موج ناشی از گوشه‌های دو وجهی است که توسط ساختار بدنه‌ی کشتی[11]، سطح دریا، ساختمان بالایی کشتی[12] و عرشه‌ها[13] ایجاد می‌شود. منابع موج‌های الکترومغناطیسی پراکنده شده شامل موارد زیر می‌باشند:

۱. پراکندگی ایجاد شده از گوشه‌های دو وجهی عرشه
۲. پراکندگی ایجاد شده از محل اتصال ساختمان بالایی کشتی و عرشه، دکل[14] و محفظه‌های خروج دود[15]

---

7 Wake
8 Radar Cross Section (RCS)
9 Polarization
10 Survivability
11 Hull
12 Superstructure
13 Deck
14 Mast
15 Chimney

Archive of SID
www.SID.ir

۳. پراکندگی ایجاد شده از گوشه‌های مختلف موجود در ساختمان بالایی کشتی، سلاح‌های روی کشتی و گوشه‌ی ایجاد شده بین بدنه‌ی کشتی و سطح دریا

کاهش RCS با تنظیم کردن زاویه‌ی گوشه‌ها (تا حد مناسبی دور از ۹۰ درجه) و همچنین صیقلی کردن سطوح ممکن می‌شود. بنابراین طراحی زاویه‌ی گوشه‌های چند وجهی در قسمت‌های مختلف کشتی بسیار مهم است. برای اینکه کل هدف از لحاظ RCS وضعیت مناسبی داشته باشد، باید گوشه‌ها و زاویه‌های موجود در تک‌تک قسمت‌ها به شکل بهینه طراحی شوند تا امواج را به جهتی غیر از جهت رادار پراکنده کنند.

روش‌های کاهش سطح مقطع راداری

روش‌های مناسب جهت کاهش RCS یک هدف و پنهان‌سازی از دید رادار دشمن مطابق موارد زیر می‌باشند [۴-۳]:

۱. استفاده از مواد کامپوزیت به جای فلز در بدنه اصلی.
۲. استفاده از رنگ‌های جاذب راداری، هادی‌های مغناطیسی مصنوعی[16] و تکنولوژی مواد پلاسما[17].
۳. پوشش سلاح‌ها، منابع سوخت و بارها.
۴. تعبیه مخفی پله‌ها و تجهیزات لنگر انداختن.
۵. صاف و صیقلی کردن سطح بدنه.
۶. پوشش جاذب شیشه‌ی اتاق کنترل.
۷. اجتناب از ایجاد لبه‌های نوک تیز.
۸. موتورها و محفظه‌های آنها به شکل S ساخته شوند.
۹. پرهیز از بکارگیری ساختارهای خیلی کوچک مانند محفظه‌های ورود و خروج هوا و درب‌های اضطراری.
۱۰. نصب پوشش تمامی دریچه‌ها و حفره‌ها [۲].
۱۱. کل‌دهی کشتی‌ها بصورت گرد کردن، خمیده کردن، زاویه دار کردن و حذف گوشه‌ها.
۱۲. کج نمودن سطوح عمودی با انتخاب یک زاویه‌ی بهینه.
۱۳. ایجاد جداره‌ای از آب در اطراف برای ایجاد انعکاس.

روش‌های ذکر شده، روش‌هایی علمی و کلی هستند که در منابع اصلی ذکر شده‌اند. اما بنا به ابتکار و خلق ایده‌های جدید توسط مهندسین و طراحان، روش‌هایی ابتکاری و البته موثر معرفی شده‌اند. در این روش‌ها، برای رسیدن به اهداف طراحی، از محاسبات سنگین ریاضی و عددی که اغلب توسط برنامه‌های کامپیوتری محاسبه می‌شود، استفاده می‌شود. موارد زیر نمونه‌هایی از این روش‌ها می‌باشند [۱ و ۵-۷]:

۱. طراحی بهینه به روش پاسخ سطح و الگوریتم ژنتیک
۲. طراحی بهینه به روش الگوریتم ژنتیک نوسانات چند فرکانسی
۳. کاهش RCS با استفاده از پراکنده‌گرهای تصادفی [۶]
۴. کاهش RCS با استفاده از سطوح قابل انتخاب فرکانسی[18] [۷]

اثر امواج فروسرخ حرارتی

پنهان‌سازی فروسرخ محدوده‌ای از تکنولوژی پنهان‌سازی است که هدف آن کاهش اثر فروسرخ و نزدیک کردن تشعشعات هدف به زمینه‌ی محیطی است. این امر در معرض خطر بودن از ناحیه‌ی سلاح‌ها و حسگرهای فروسرخ را کاهش می‌دهد. در عمل باید کشتی رزمی مجهز به حسگرهایی باشد که دودهای خروجی موشک‌های ضدِ کشتی را تشخیص دهد و از طرف دیگر باید کاری کرد که کشتی‌ها اثر فروسرخ پایین‌تر از حد آستانه‌ی حسگرهای موشک‌های دشمن داشته باشند.

حسگرهای IR هدف را از طریق تفکیک تشعشعات آن هدف با زمینه‌اش شناسایی می‌کنند. اثر فروسرخ به فاکتورهای زیادی مانند شکل و اندازه‌ی هدف [۸]، جنس هدف، دما [۹]و قابلیت تشعشع، بازتابش منابع خارجی مانند تابش زمین[19]، خورشید و آسمان از سطح هدف [۱۰]، زمینه‌ای که هدف در آن مشاهده می‌شود [۱۱]و باند موجیِ[20] و حساسیت حسگر دریافت‌کننده بستگی دارد. با توجه به اینکه یک تعریف فراگیر برای اثر فروسرخ وجود ندارد، ابزاری هم برای اندازه‌گیری آن وجود ندارد. یعنی به هیچ‌وجه و با هیچ وسیله‌ای نمی‌توان یک تعریف و یا محدوده‌ی خاصی برای اثر فروسرخ یک جسم درنظر گرفت.

شناسایی منابع حرارتی اصلی در اهداف

طبق بررسی‌های انجام شده بر روی اهداف، تشعشعات حرارتی ناشی از یک هدف را می‌توان به دو دسته‌ی کلی منابع داخلی و منابع بیرونی تفکیک کرد [۱۲]. هر یک از این منابع خود شامل زیرقسمت‌هایی هستند که سهم مشخص و بسزایی را در تولید تشعشعات حرارتی در یک هدف ایفا می‌نمایند. شناخت این منابع منجر به ارائه‌ی روش‌هایی مناسب برای کاهش آن‌ها می‌گردد. منابع حرارتی داخلی شامل موارد زیر می‌باشند:

۱. گازهای خروجی از اگزوز ناشی از فعالیت موتور
۲. بدنه‌ی دودکش فلزی داغ شده
۳. گرمای داخلی پس زده شده توسط موتور
۴. پوسته‌ی داخلی گرم شده‌ی هدف ناشی از گرمای موتور و اتاق تاسیسات

[16] Artificial Magnetic Conductors (AMC)
[17] Plasma
[18] Frequency Selective Surfaces
[19] Earth Shine
[20] Wave Band

ش

Archive of SID
www.SID.ir

۵. هوای گرم شده ناشی از سیستم تهویه‌ی مطبوع
۶. ژنراتورهای برق
۷. گرمای حرارتی پنجره‌ها، سیستم‌های سلاح روی عرشه و دکل‌های مخابراتی ناشی از جذب امواج خورشید
۸. پوسته‌ی بدنه‌ی هدف ناشی از جذب امواج خورشید
۹. روز یا شب بود
۱۰. بازتاب نور خورشید توسط بدنه
۱۱. تضاد حرارتی کشتی با زمینه‌ی[۲۱] محیطی.

از بین تمامی منابع داخلی تشعشع حرارتی، می‌توان گفت شش مورد نخست بیشترین سهم و اهمیت را دارا می‌باشند. این منابع داخلی حرارتی به مراتب سهم بیشتری نسبت به منابع بیرونی حرارتی دارند. اما این سخن بدین معنا نیست که منابع بیرونی حرارتی نباید کاهش و بهبود یابند بلکه پیاده سازی توأم روش‌های کاهش IR برای منابع داخلی و منابع بیرونی منجر به یک نتیجه‌ی مناسب و قابل اعتماد می‌گردد.

بخش‌های مستعد تولید حرارتی در اهداف

بر اساس قرارداد بین المللی امنیت جان در دریا[۲۲] حداکثر دمای دریایی اجزای موتور و سایر بخش‌ها در اتاق موتور کشتی نباید از ۲۲۰ درجه‌ی سانتی‌گراد بیشتر باشد. در نتیجه برای جلوگیری از هرگونه جرقه یا آتش‌سوزی، تمامی سطوح که دمای بیش از این مقدار را دارند می‌بایست عایق‌سازی[23] و محافظت بشوند[۲۴]. بخش‌های معرفی شده در زیر بخش‌هایی هستند که احتمال نقص‌های فنی و حرارتی در آنها بیشتر می‌باشد و مستعد آتش-سوزی و حادثه می‌باشند [۱۳]. بخش الکتریکی شامل:

۱. سیستم تولید جریان DC
۲. تابلوی شبکه برق، باتری‌ها و سیم‌های دوبل
۳. سیستم تولید جریان AC

و بخش مکانیکی شامل:

۱. موتور و اتاق احتراق داخلی آن شامل کمپرسور، بویلر، پمپ، سیستم سوخت‌رسانی
۲. اگزوز و بخش‌های خارج کننده‌ی گازهای ناشی از احتراق
۳. مواد سازنده‌ی بدنه:
۴. پوشش FRP[۲۵] و انباشته شدن رطوبت در آن
۵. نفوذ اسمزی آب و لایه لایه شدگی بدنه

Contrast With Background [21]
Safety Of Life at Sea (SOLAS) [22]
Insulation [23]
SOLAS, Ch.II-2, reg. 15.2.10 [24]
Fiberglass Reinforced Plastic [25]

سطح‌بندی تشعشعات حرارتی اهداف

بر مبنای مطالعه‌ی روش‌های انجام شده بر روی نمونه اهداف دریایی پنهان موجود، میزان کاهش تشعشعات IR اهداف را به چهار سطح[۲۶] تقسیم می‌نمایند [۱۴]:

سطح یک: بدون کاهش دما

سطح دو: کاهش دمای بدنه‌ی فلزی تا ۳۰ درجه‌ی سانتی‌گراد بالای دمای محیط

سطح سه: کاهش دمای بدنه‌ی فلزی تا ۳۰ درجه‌ی سانتی‌گراد بالای دمای محیط/ کاهش دمای گاز خارج شونده از اگزوز تا ۲۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد

سطح چهار: کاهش دمای بدنه‌ی فلزی تا ۳۰ درجه‌ی سانتی‌گراد بالای دمای محیط/ کاهش دمای گاز خارج شونده از اگزوز تا ۱۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد

هر هدف بسته به عملکرد خویش و خطرهایی که وی را تهدید می‌نماید، به سطوح متفاوتی از روش‌های کاهش IR نیازمند خواهد بود. با انتخاب بهینه‌ی روش‌های کاهش تشعشعات IR می‌توان به سطح‌بندی مناسب برای تشعشعات کشتی مورد نظر رسید.

اثر صوتی

اثر صوتی یک هدف نظامی می‌تواند باعث دیده شدن آن توسط یک تهدید مثل زیردریایی گردد. از آنجاییکه در داخل آب سرعت انتشار موج صوتی بالاست، این پدیده برای سیستم‌های دریایی بسیار مهم است. اثرات صوتی برای توصیف ترکیبی از تابش‌های صوتی کشتی‌ها و زیردریایی‌ها استفاده می‌شوند. اثرات صوتی غالب در اهداف عبارتند از:

۱. نویز پروانه؛ نویز ناشی از ایجاد آشفتگی در آب، جریان-های گردابی (ورتکس)[۲۷] و تولید حباب‌های هوا (کویتاسیون)[۲۸] در اثر حرکت پروانه.
۲. نویز ماشین‌آلات نیروی محرکه و سیستم‌های مکانیکی شامل موتورهای دیزلی، موتورهای الکتریکی، ژنراتورها، محور پروانه، پمپ‌های سوخت، سیستم تهویه‌ی هوا و غیره.
۳. نویز بدنه؛ نویز هیدرودینامیکی تولید شده به علت حرکت آب جابه‌جا شده توسط بدنه‌ی هدف .

در این میان، بالاترین میزان نویز در سرعت‌های بالا مربوط به نویز کویتاسیون می‌باشد. ارتعاشات صوتی به ابعاد بدنه‌ی کشتی، ماشین‌آلات نصب‌شده روی کشتی و جابجایی کشتی بستگی دارند. بنابراین کلاس‌های مختلف کشتی‌ها، ترکیب‌های

Level [26]
Vortex [27]
Cavitation [28]

Archive of SID

www.SID.ir

متفاوتی از سیگنال‌های صوتی دارند. میکروفون زیرآبی و ردیاب صوتی در حالت غیرفعال کار می‌کنند و می‌توانند سیگنال‌های صوتی که توسط زیردریایی‌ها یا اهداف تولید می‌شوند را دریافت کرده و از این سیگنال‌ها برای حمله به هدف استفاده کنند. یکی از اهداف طراحان کشتی‌های رزمی کم کردن اثر صوتی آنهاست، همانطور که برای کم کردن سطح مقطع راداری و تابش فروسرخ برنامه‌ریزی می‌کنند. برای دیده نشدن توسط زیردریایی‌ها کم کردن اثر صوتی هدف اصلی است.

راه‌های کلی کاهش نویز صوتی هدف

نویز مربوط به پروانه را با رعایت موارد زیر می‌توان کاهش داد [۱۵-۲۱]:

۱. استفاده از پروانه‌هایی که حباب کمتری تولید می‌کنند.
۲. صیقلی نمودن سطوح پروانه به منظور حذف رسوبات.
۳. استفاده از نیروی پیشرانه با دو پروانه.
۴. تنظیم ابعاد بدنه و پروانه نسبت به هم.
۵. استفاده از پروانه‌هایی با مواد کامپوزیتی
۶. استفاده از سیستم‌های پیشرانه که در غلاف قرار گرفته‌اند.

نویز مربوط به ماشین‌آلات را با رعایت موارد زیر می‌توان کاهش داد:

۱. محکم کردن ماشین آلات با کم‌ترین لرزش مکانیکی.
۲. جدا کردن ماشین آلات از بدنه‌ی کشتی با لاستیک.
۳. طراحی سیستم‌ها به صورت چندمرحله‌ای برای موتورهای دیزلی.
۴. بهینه سازی سیستم‌های لوله‌کشی و لوله‌های خروج دود.
۵. استفاده از فیلترهای صوتی و شیرهای کنترل جریان.
۶. استفاده از نیروی پیشرانه‌ی الکتریکی، استفاده از سوخت‌های هیبریدی و یا ترکیبی از انرژی خورشیدی و باد.
۷. استفاده از سیستم رانش به جای پروانه از نیروی محرکه-ی واترجت‌ها[۲۹].

اثر بصری و استتار

کاهش اثر بصری یا کمتر دیده شدن توسط چشم، برای تمام اهداف نظامی ضروری است. تهدید اپتیکی[۳۰] یا بصری به معنای دیده شدن کشتی به صورت بصری می‌باشد که می‌تواند با چشم مسلح یا غیر مسلح صورت پذیرد. با توجه به هموار بودن سطح دریا و عدم وجود موانع طبیعی، محدوده‌ی بسیار وسیعی می‌تواند توسط چشم دیده شود و به همین دلیل تهدید بصری در مورد کشتی‌ها از جایگاه خاصی برخوردار است. به منظور پنهان ماندن هدف دریایی از چشم یا حسگرهای اپتیکی دشمن و کاهش تهدید بصری باید آن را استتار[۳۱] نمود. استتار کشتی نوعی از فریب نظامی است که به منظور مخفی کردن یا مبهم کردن از دید بصری دشمن یا فریب در مسیر حرکت، سرعت و فاصله‌ی کشتی یا تشخیص کلاس کشتی، کشتی با یک یا چند رنگ در طرح‌های مختلف رنگ‌آمیزی می‌شود. تاکنون انواع مختلفی از استتار دریایی مورد استفاده یا بررسی قرار گرفته‌اند که عبارتند از [۲۰-۲۷]:

۱. امتزاج[۳۲]: یک طرح رنگی یا رنگ‌بندی که تلاش در مخفی کردن کشتی از دید ناظر دارد.
۲. فریب[۳۳]: وانمود کردن اینکه کشتی نظامی کوچک‌تر از اندازه‌ی واقعی خود یا به عنوان یک کشتی تجاری به نظر برسد.
۳. دزل[۳۴]: ایجاد یک طرح رنگی بی‌نظم و درهم ریخته که سعی در به اشتباه انداختن دشمن در تشخیص و تخمین فاصله، جهت و سرعت کشتی خودی دارد.

نکته‌ی لازم به ذکر در مورد تهدیدات اپتیکی این است که دید ناظر انسانی نسبت به حسگرهای اپتیکی و پردازش تصویر در اولویت قرار دارد. علت این امر آنست که هرچقدر هم که حسگرهای اپتیکی با کیفیت باشند و یا از تحلیل‌های نرم‌افزاری سنگین برای اجسام استتار شده استفاده شود، باز هم هیچگاه به دقت چشم انسان نمی‌رسد. در بحث خاص طراحی طرح‌های استتاری، هدف، اشتباه ناظر در تشخیص است، خواه این ناظر یک انسان باشد خواه نرم‌افزار پردازش تصویر.

پارامترهای مهم در استتار

در ادراک شیء توسط چشم چند عامل دخیلند که عبارتند از: خصوصیات فیزیکی شیء، پس‌زمینه‌ای که شیء در آن قرار دارد، ویژگی‌های نور محیط و مدت زمان در معرض دید قرار گرفتن. عامل اول یعنی خصوصیات فیزیکی شیء نقش بسیار مهمی را در شناسایی آن دارد. برخی از مهم‌ترین خصوصیت-های فیزیکی شیء عبارتند از: شکل و اندازه، رنگ، بافت، سایه، الگو، مکان قرارگیری، همبستگی و دیگر خصوصیات مانند حرکت، نویز، دود و غیره. در روش‌های مختلف استتار، موضوعاتی چند همواره مدنظر طراحان قرار دارد. از جمله مهم-ترین این موضوعات، همانندی رنگ شیء با پس‌زمینه، ایجاد طرح‌های درهم شکسته بر روی شیء، استفاده از اثر ضدسایه و ساختار هندسی بهینه برای شیء مورد نظر می‌باشد. روش‌های خاص استتاری عبارتند از:

Water-Jet [29]
Optic [30]

Camouflage [31]
Blending [32]
Deception [33]
Dazzle [34]

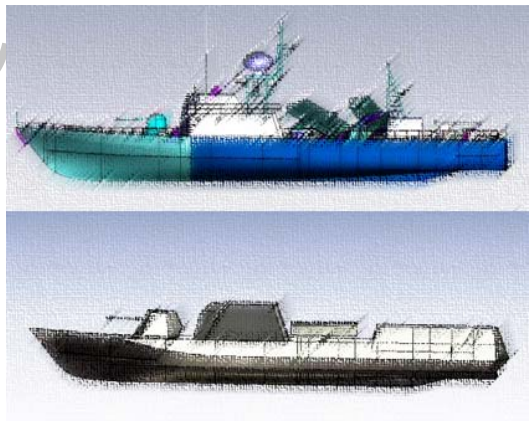
Archive of SID
www.SID.ir

۱. ایجاد جداره‌ای از آب در اطراف هدف؛ این روش علاوه بر کاهش RCS و اثرات حرارتی، همزمان سبب کاهش قابلیت دید اپتیکی نیز می‌شود.
۲. ایجاد ابری بزرگ از قطرات آب به دور کل مجموعه‌ی هدف؛ این روش نیز علاوه بر کاهش RCS و اثرات حرارتی، باعث استتار هدف می‌گردد.

نتایج پیاده سازی مدل شناور واقعی و رادارگریز

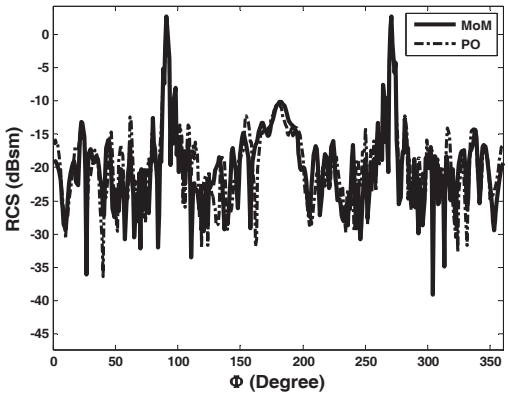
حوزه راداری

سطح مقطع راداری مهم‌ترین عامل شناسایی یک هدف می باشد. در این بخش سطح مقطع راداری هدف دریایی را با استفاده از شبیه‌سازی محاسبه نمودیم. سپس با اعمال روش-های کاهش سطح مقطع راداری شامل تغییر در فرم کلی هدف (بدنه، کابین، سوپراستراکچر، توپ‌انداز و ...) بصورت زاویه دار نمودن سطوح عمودی، قرار دادن ساختارهای مختلف درون اتاق‌ها و محفظه‌ها و همچنین استفاده از رنگ جاذب روی بدنه‌ی هدف، طرح شناور رادارگریز با پنهان‌مانی مناسب برای هدف دریایی مورد نظر بدست آوردیم. شکل ۲ هدف دریایی و طرح رادار گریز آن را نشان می‌دهد.



شکل ۲. بالا: مدل شناور واقعی. پایین: مدل طرح رادار گریز شناور.

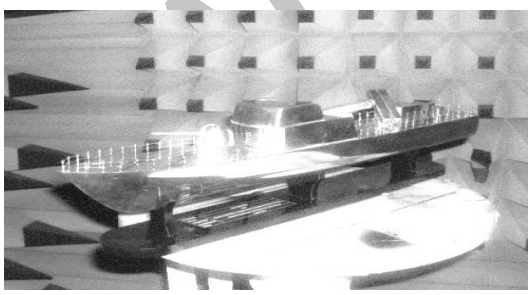
برای محاسبه میزان سطح مقطع راداری هدف اولیه و طرح رادارگریز آن شبیه‌سازی‌های مختلفی روی مدل واقعی هدف اولیه و مدل رادار گریز در ابعاد واقعی (۴۷ × ۶ × ۳.۵ متر) و همچنین مدل مقیاس شده هدف اولیه و مدل مقیاس شده رادار گریز با مقیاس ۱:۸۰ اندازه واقعی (۵۸.۷۵ × ۷.۵ × ۴.۳ سانتی متر) انجام شد. همچنین مدل مقیاس شده هدف اولیه ساخته شد و سطح مقطع راداری آن در اتاق تست، اندازه‌گیری شد. شبیه‌سازی‌ها و اندازه‌گیری سطح مقطع راداری مدل‌ها در باند فرکانسی X، با پلاریزاسیون موج تابشی عمودی و زاویه‌ی دید افقی[35] ($\theta = 90^\circ$ و $0^\circ < \varphi < 360^\circ$) و بصورت مونواستاتیک[36] انجام شد.



شکل ۳. مقایسه RCS بدست آمده استفاده از دو روش MoM و PO برای مدل مقیاس شده هدف دریایی اولیه

شکل ۳ مقایسه سطح مقطع راداری حاصل از شبیه‌سازی مدل مقیاس شده هدف اولیه را با استفاده از روش‌های MoM[37] و PO[38] در فرکانس ۹ گیگاهرتز نشان می‌دهد. همانطور که در شکل دیده می‌شود، نتایج حاصل از دو روش تطبیق خوبی با هم دارند.

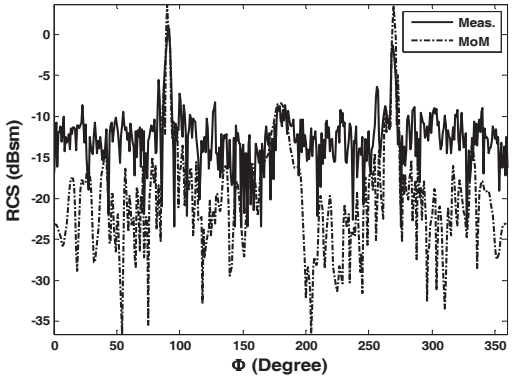
در شکل ۴، مدل هدف ساخته شده در مقیاس ۱:۸۰ هدف واقعی در اتاق تست دیده می‌شود. شکل‌های ۵ و ۶ مقایسه سطح مقطع راداری بدست آمده از تست با نتایج حاصل از دو روش MoM و PO را در فرکانس ۸.۵ گیگاهرتز نشان می دهد. در زوایایی که میزان سطح مقطع راداری بالا است تطبیق خوبی بین تست و شبیه‌سازی با دو روش مشاهده می‌شود. ولی در زوایایی که میزان سطح مقطع راداری پایین است، به دلیل بالا بودن سطح نویز در انجام تست، دقت نتایج تست مناسب نیست.



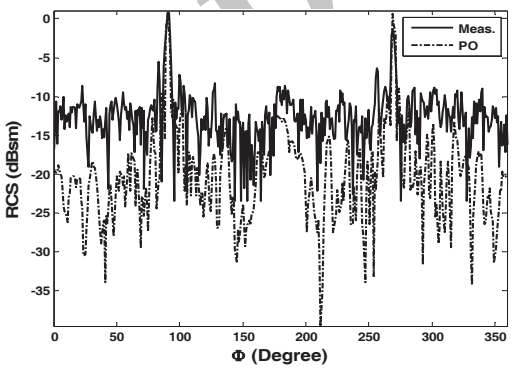
شکل ۴. مدل مقیاس شده هدف اولیه در اتاق تست

[35] Azimuth
[36] Monostatic
[37] Method of Moments
[38] Physical Optics

Archive of SID
www.SID.ir

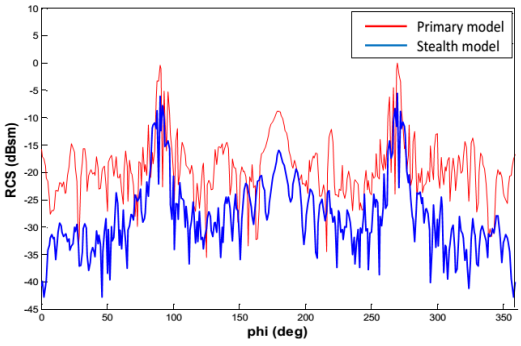


شکل ۵. مقایسه RCS بدست آمده از روش MoM و اندازه‌گیری برای مدل مقیاس شده هدف اولیه



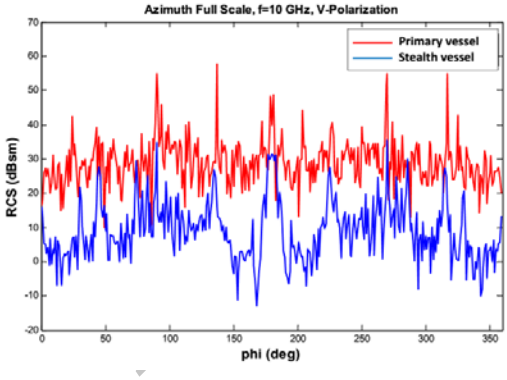
شکل ۶. مقایسه RCS بدست آمده از روش PO و اندازه‌گیری برای مدل مقیاس شده هدف اولیه

پس از طراحی مدل رادار گریز برای هدف، سطح مقطع راداری این مدل مقیاس شده رادارگریز با مدل مقیاس شده هدف اولیه در فرکانس ۱۰ گیگاهرتز با استفاده از شبیه‌سازی مورد مقایسه قرار گرفت. همانطور که در شکل ۷ دیده می‌شود، میزان سطح مقطع راداری مدل رادار گریز مقیاس شده نسبت به مدل مقیاس شده هدف اولیه در اکثر زوایا کاهش یافته است.



شکل ۷. مقایسه RCS مدل مقیاس شده هدف اولیه با طرح مقیاس‌شده رادارگریز در فرکانس ۱۰GHz

در نهایت، شبیه‌سازی سطح مقطع راداری هدف اولیه و طرح رادارگریز در ابعاد واقعی (شکل ۲) در فرکانس ۱۰ گیگاهرتز با استفاده از حل‌گر مجانبی[39] انجام شد. با توجه به شکل ۸، نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که هدف با متوسط سطح مقطع راداری ۳۰dBsm (منحنی قرمز) با تغییر در فرم ظاهری به متوسط سطح مقطع راداری ۵dBsm (منحنی آبی) رسیده است. به این معنا که به اندازه‌ی ۲۵dB کاهش ایجاد شده است. همانطور که در شکل ۸ دیده می‌شود، کاهش سطح مقطع راداری در تمامی زوایا به صورت یکنواختی پدیدار گشته است. هدف دریایی مورد نظر با اندازه‌ی تقریبی ۴۷ متر و سطح مقطع راداری متوسط ۳۰dBsm، مطابق جدول ۲ (مرجع [۲۸]) در رده‌ی شناورهای تجاری ساحلی[40] قرار می‌گیرد. از طرفی متوسط سطح مقطع راداری هدف رادارگریز به اندازه‌ی ۵dBsm، این هدف را مطابق جدول ۲ در رده‌ی شناورهای ماهیگیری ساحلی[41] (با طول ۹ متر) جای می‌دهد. بر اساس این نتیجه‌ی کیفی، در صورت پیاده‌سازی طرح رادارگریز، رادار دشمن هدف دریایی ۴۷ متری را با یک هدف ۹ متری اشتباه می‌گیرد. با افزودن رنگ جاذب از طیف سیاه حاوی ترکیب کربنیل آهن[42] با ضخامت تقریبی یک میلی‌متر بر روی طرح جدید هدف ، سطح مقطع راداری این طرح نیز حدود ۱۵- ۱۹dB کاهش می‌یابد و هدف از نظر پنهان‌مانی راداری وضعیت مناسب‌تری پیدا می‌کند.



شکل ۸. مقایسه RCS طرح رادارگریز با هدف اولیه در فرکانس ۱۰GHz

جدول ۱. میانگین RCS شناور مورد نظر و طرح رادارگریز

نوع شناور	طول (متر)	میانگین RCS (dBsm)
شناور مورد نظر	۴۷	۳۰
شناور رادار گریز	۴۷	۵

[39] Asymptotic
[40] Coaster
[41] Inshore fishing
[42] Carbonyl Iron

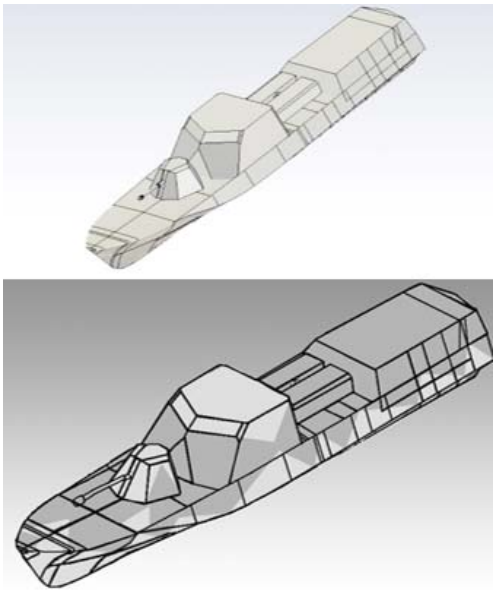
www.SID.ir

جدول ۲. مقادیر نوعی RCS کشتی‌ها [۲۸]

نوع شناور	طول (متر)	میانگین RCS شناور هدف (dBsm)	
		حداقل (بطور تقریبی)	حداکثر (بطور تقریبی)
ماهیگیری ساحلی	۹	۴.۸	۱۰
تجاری ساحلی	۴۰-۴۶	۱۳	۲۹
تجاری ساحلی	۵۵	۱۶	۳۳
تجاری ساحلی	۵۷	۲۴.۸	۳۶

حوزه استتاری

همانطور که گفته شد مهم‌ترین راه پنهان‌سازی بصری یک هدف دریایی بکارگیری طرح استتاری بر روی بدنه‌ی آن می‌باشد. در این بخش یک طرح استتاری برای پنهان‌سازی بصری مدل رادارگریز هدف مورد نظر ارائه می‌شود. بدین منظور لایه‌ای از رنگ بر روی هدف پاشیده می‌شود. این لایه رنگ روی لایه رنگ جاذب رادار قرار می‌گیرد. شکل ۹ نمایی از طرح هدف شناساگریز بدون رنگ و هدف رنگ آمیزی شده را نشان می‌دهد. مطابق شکل، رنگ مورد استفاده به صورت روشن از طیف سفید و خاکستری روشن می‌باشد. این طرح برگرفته از طرح هدف شناساگریز سوئدی بوده و جز یکی از رایج‌ترین طرح‌ها برای رنگ آمیزی اهداف و استتار آن‌ها از جنبه‌ی اپتیکی می‌باشد.



شکل ۹. بالا: نمایی از هدف شناساگریز بدون رنگ، پایین: هدف شناساگریز رنگ آمیزی شده

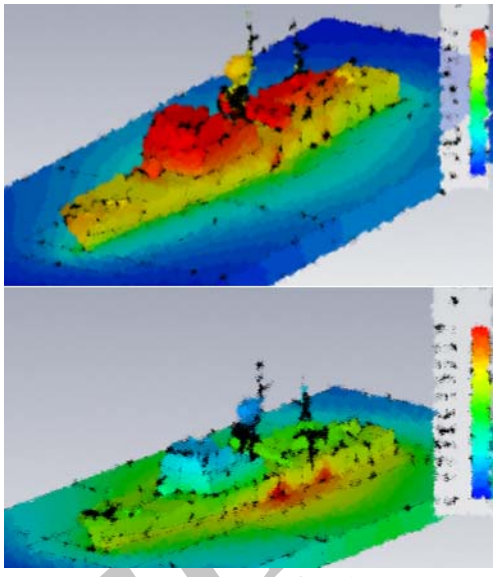
از دید RCS، افزودن لایه رنگ طیف سفید و خاکستری روشن با ضریب دی‌الکتریک ε_r =۱۳.۱۲۷۵ و ضخامت t = ۱mm روی هدف طرح شناساگریز بر روی اندازه‌ی سطح مقطع راداری اثر نامناسبی به وجود نمی‌آورد و در بازه‌ای از زوایا RCS را افزایش و در بازه‌ای کاهش می‌دهد. از دید IR، استفاده از رنگ آمیزی روشن و سفید بر روی بدنه، موجب جذب کمتر نور خورشید (پس تشعشع حرارتی کمتر) و بازتاب عمده‌ی آن می‌شود. چون طول موج بیشتر امواج بازتابیده‌ی نور خورشید خارج از بازه‌ی طول موج تشخیص دوربین‌های حرارتی IR است، پس می‌توان این انتظار را داشت که این نوع رنگ‌آمیزی تاثیر مثبتی را در جهت کاهش تشعشعات IR بدنه و امرِ پنهان‌سازی داشته باشد. دیگر پارامتر مهم در پنهان‌سازی بصری، خلوت بودن عرشه‌ی هدف است؛ هدف با عرشه‌ی شلوغ، بیشتر در معرض دید خواهد بود. با توجه به این نکته، در اکثر اهداف ی شناساگریز مدرن تلاش شده تا عرشه در حد امکان خلوت باشد و تمام تجهیزات در قسمت‌های پوشیده شده قرار گیرند. با توجه به شکل ۲ بالا قسمت پشتی هدف دریایی مورد نظر، پر از تجهیزات گوناگون است که احتمال دیده شدن آن را افزایش می‌دهد. در شکل ۲ پایین و شکل ۹ مشاهده می‌شود که در قسمت پشتی هدف طرح شناساگریز، تمام تجهیزات در زیر پوشش فلزی قرار گرفته‌اند، در نتیجه، این طرح از نظر اثر دیداری نیز تغییر قابل ملاحظه‌ای نسبت به هدف دریایی خواهد داشت.

حوزه حرارتی مادون قرمز

در این بخش با استفاده از شبیه‌سازی حرارتی و تست میدانی از طریق تصویربرداری با دوربین حرارتی به جستجوی منابع حرارتی مهم در هدف دریایی می‌پردازیم. پس از شناسایی این منابع تولید علائم حرارتی است که می‌توان روش‌های مناسب جهت کاهش تشعشعات حرارتی هدف را انتخاب و اعمال نمود. شکل ۱۰ نتایج شبیه‌سازی حرارتی هدف دریایی را در دو موقعیت زمانی روز و شب نشان می دهد. تضاد بالای حرارتی میان اجزای مختلف هدف با زمینه‌ی محیطی (بخش‌های قرمز رنگ) گویای تشعشع حرارتی بالا توسط این اجزا می‌باشد. با توجه به نتایج شبیه‌سازی، گازهای خروجی از اگزوز و آب خروجی سیستم خنک‌کننده‌ی موتور که در بدنه‌ی هدف به رنگ قرمز می‌باشند را می‌توان به عنوان عمده‌ترین منابع حرارتی داخلی در هر دو موقعیت روز و شب معرفی نمود. علاوه بر آن تاثیر تابش نور خوشید بر روی سوپراستراکچرها و بخش‌هایی از بدنه و کابین (بخش‌های قرمز رنگ) را می‌توان بعنوان عمده‌ترین منابع حرارتی خارجی هدف در روز معرفی کرد. منابع حرارتی بدست آمده در شبیه‌سازی شامل اگزوز، خروجی آب، رویه‌ی بالایی بدنه و سوپراستراکچر را می‌توان در تصاویر IR گرفته شده در تست میدانی هدف در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ مشاهده نمود. این تصاویر در روز و شب گرفته شده‌اند.

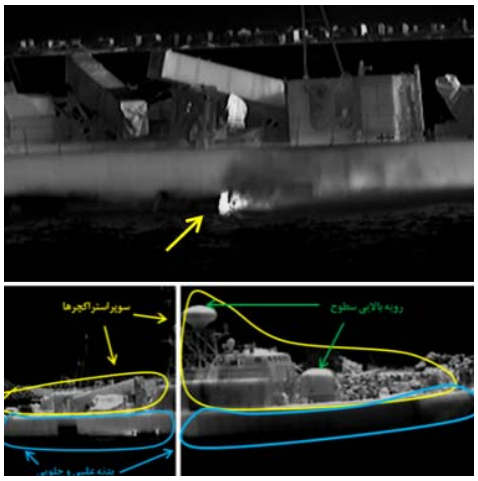
Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱۰. شبیه‌سازی حرارتی هدف. بالا: در روز و پایین: در شب

به منظور افزودن حوزه‌ی حرارتی به حوزه‌ی شناساگریزی طرح ارائه شده، روش‌ها و تجهیزات کاهش علائم حرارتی مربوط به منابع حرارتی بدست آمده از شبیه‌سازی و تست میدانی هدف باید در طرح بکار گرفته شوند. نکته‌ی دیگر در مورد طرح شناساگریز ارائه شده، روکش قسمت انتهایی در طرح می‌باشد. این روکش علاوه بر کاهش قابل ملاحظه‌ی سطح مقطع راداری و اثر دیداری، باعث می‌شود اتاق AFT هدف دریایی پنهان شود و در نتیجه اثرات حرارتی آن توسط گیرنده‌های مادون دریافت نشود. همچنین با وجود این روکش، رفت و آمد خدمه هدف در داخل آن صورت گرفته و مانع از انتشار تشعشعات حرارتی بدن آن‌ها به بیرون می‌شود.



شکل ۱۱. نمای جانبی هدف در تصویر IR با فاصله‌ی تقریبی ۵۰۰ متر در روز؛ بالا: اگزوز و خروجی آب، پایین: رویه بالایی و سوپراستراکچر

شکل ۱۲. اگزوز و خروجی آب در نمای مایل هدف در تصویر IR در شب با فاصله‌ی تقریبی ۳۵۰ متر

حوزه آکوستیک

در این بخش با استفاده از اندازه‌گیری میدانی به بررسی میزان نویز تولیدی هدف دریایی مورد نظر می‌پردازیم. پس از بررسی میزان و عوامل تولید نویز در هدف می‌توان روش مناسب جهت کاهش اثرات صوتی هدف را انتخاب و اعمال نمود. به منظور تست میدانی هدف هدف، یک هدف یدک‌کش به عنوان هدف داده‌بردار در حالت سکون مورد استفاده قرار گرفت. مخزن مخصوص داده‌برداری (شکل ۱۳) به عمق ۲۷ متری دریا فرستاده شد. حداکثر فاصله‌ی هدف هدف تا مخزن داده‌بردار ۵۰ متر و فرکانس نمونه برداری ۲۰ کیلوهرتز می‌باشد.

در ابتدا دو برداشت از نویز زمینه در عمق ۲۵ متری به منظور تست سیستم و آگاهی از سطح نویز زمینه صورت پذیرفت و عمده‌ی سیگنال زمینه در محدوده‌ی زیر یک کیلوهرتز بدست آمد. پس از آگاهی از نویز زمینه در مرحله‌ی بعد، هدف از مجاورت مخزن با فاصله‌ی حدود ۵۰ متر با حداقل سرعت ۸ گره دریایی عبور نمود و سیگنال صوتی آن ضبط گردید. این تست به مدت ۲۰ ثانیه بطول انجامید. سیستم داده بردار و نتیجه‌ی تحلیل فرکانسی سیگنال بصورت شکل ۱۴ می‌باشد.

همانطور که از پردازش طیفی مشخص است با نزدیک شدن هدف به سمت مخزن در زمان‌های بین ۷ تا ۱۰ ثانیه، فرکانس-های زیر ۳ کیلوهرتز شدت بیشتری پیدا کردند (رنگ قرمز معرف این موضوع است). تا قبل از نزدیک شدن هدف عمده فرکانس‌های موجود ناشی از نویز زمینه و در محدوده‌ی زیر یک کیلوهرتز قرار دارند.

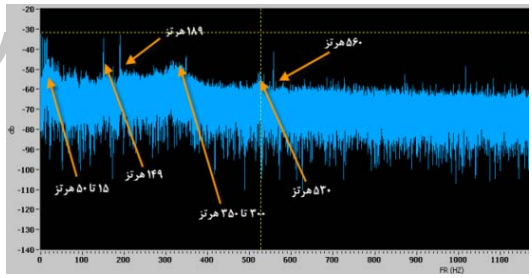
با بررسی نتایج بصورت تقریبی می‌توان گفت که هرگاه هدف به سمت مخزن نزدیک می‌شود هارمونی‌های با فرکانس بالاتر ظاهر شده و با دور شدن نیز کاهش یافته و از طرفی هارمونی-های نویز زمینه نیز مشخص شده‌اند، بنابراین ظاهر شدن هارمونیک‌های فرکانس بالای جدید می‌تواند به علت هارمونی-های ناشی از چرخش پروانه‌ی هدف ، بازآویش از کف دریا و ایجاد پدیده‌ی داپلر در اثر نزدیک شدن هدف به مخزن باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

با توجه به سرعت هدف می‌توان گفت پدیده‌ی داپلر که معمولاً در ۱۵ گره دریایی به بالا ایجاد می‌شود، رخ نداده است. همچنین بخاطر جنس بستر در ناحیه‌ی تست که از گل و لای است، می‌توان تا حدودی از بازگشت کف چشم‌پوشی کرد و نهایتاً هارمونی‌های ایجاد شده در تصاویر می‌تواند ناشی از چرخش پروانه‌ی هدف باشد که در تست‌ها محدوده‌ی بین ۳ تا ۴ کیلوهرتز را به خود اختصاص داده است. لازم به ذکر است که نویز زمینه در تحلیل‌ها حذف نشده‌اند. با استفاده از روش-های اشاره شده در بخش کاهش نویز صوتی هدف مانند طراحی بهینه‌ی پروانه، اثرات صوتی هدف مورد نظر کاهش می‌یابد و حوزه‌ی صوتی به حوزه‌ی شناساگریزی طرح افزوده می‌شود.

شکل ۱۳. مخزن مخصوص داده‌برداری



شکل ۱۴. تحلیل فرکانسی هدف درحال نزدیک شدن به مخزن

نتیجه گیری

تکنولوژی پنهان‌سازی یا همان کمتر قابل مشاهده بودن، مجموعه‌ای از روش‌هاست که وسیله‌های نقلیه‌ی نظامی مانند اهداف از آن به منظور مخفی ماندن از دید دشمن استفاده می‌کنند. امروزه خواستگاه اصلی تکنولوژی پنهان‌سازی در حوزه‌ی دریایی متعلق به اهداف دریایی جنگی است. هدف نهایی اقدامات شناساگریزی اهداف حذف یا کاهش علائم قابل شناسایی اهداف است و برای رسیدن به این هدف بایستی علائم قابل شناسایی اهداف اندازه‌گیری و میزان در معرض خطر بودن تعیین گردند و سپس با استفاده از روش‌های مناسب برای هر یک از علائم، راهکار مناسب جهت کاهش علائم هدف تعیین گردند. با اندازه‌گیری علائم شناسایی هدف پس از انجام اقدامات شناساگریزی میزان در معرض خطر بودن هدف تعیین می‌گردد. از آنجاییکه سیستم‌های راداری تکنولوژی اصلی آشکارسازی هواپیماها و اهداف می‌باشند، بیشتر فناوری‌های پنهان‌سازی روی موضوع خنثی کردن اکوهای رادار از هدف متمرکز است و کاهش تشعشعات فروسرخ، اثرات صوتی و بصری در اولویت‌های بعدی قرار می‌گیرند. در این مقاله به معرفی این علائم شناسایی مهم و منابع تولید آن‌ها پرداختیم و روش‌های کاهش آن‌ها را ارائه نمودیم. سپس یک هدف دریایی خاص را از نظر علائم راداری، حرارتی، صوتی و بصری مورد بررسی قرار دادیم. بدین ترتیب که با اعمال روش‌های کاهش علائم راداری و ارائه‌ی یک طرح به منظور استتار بصری، یک طرح شناساگریز برای هدف دریایی پیشنهاد دادیم. با انجام شبیه‌سازی مشخص شد که طرح ارائه شده از نظر سطح مقطع راداری میزان مناسبی دارد. همچنین منابع مهم تشعشع حرارتی را با استفاده از شبیه‌سازی و تست میدانی و اثر صوتی را از طریق تست میدانی مورد ارزیابی قرار دادیم. با بکارگیری روش‌های مربوط به کاهش این علائم در طرح هدف شناساگریز می‌توان حوزه‌های شناساگریزی هدف را افزایش داد. باید توجه داشت که در شرایط خاص ممکن است که اولویت خطر تهدیدات تغییر کند و توجه به سایر علائم در پنهان‌مانی هدف در اهمیت قرار گیرد. نتیجه اینکه عدم توجه به یک حوزه، هرچند با سطح تهدید پایین‌تر، می‌تواند یک هدف را از حالت شناساگریز خارج نماید. این بدین معنی است که باید به پروژه-ی پنهان‌سازی اهداف دریایی رزمی نگاه جامع و کاملی داشت و همه‌ی جنبه‌های پنهان‌سازی را مورد توجه قرار داد.

قدردانی

در انجام این پروژه آقای امین گرجی، محمدرضا خرمیان، محسن گرجی و فرشاد رئیسیان مشارکت داشتند که از آنها تقدیر می گردد.

مراجع

[1] D. Qing, G. F. Jun, “Ship Appearance Optimal Design on RCS Reduction Using Response Surface Method and Genetic Algorithms”, J. Shanghai Jiaotong Univ. (Sci.), Vol. 13, No. 3: 336–342, 2008.

[2] E. F. Knott, J. F. Shaeffer, M. T. Tuley, “Radar Cross Section”, Edition 2, Artech House, 1993.

[3] J. Wilson, “Electromagnetic stealth: the fight against radar”, Seminar Note, Eng. Dep., Calvin College, 2004.

[4] J. Khan, W. Duan, S. Sherbaz, “Radar Cross Section Prediction and Reduction for Naval

Archive of SID

www.SID.ir

Ships", *J. Marine Sci. Appl.*, 11: 191-199, 2012.

[5] M. Y. Volkan, "A New Multi-Frequency Vibrational Genetic Algorithm in Radar Cross Section Minimization Problems", *Journal of Aeronautics and Space Technologies*, Vol. 4 No. 1, January 2009.

[6] H. S. Park, J. K. Bang, H. T. Kim, "RCS Reduction by Using Random Scatterers", *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, Vol. 18, Issue 3, 2004.

[7] M. Y. Ismail, N. A. N. M. Shamsani, "Study of Frequency Selective Surfaces on Radar Cross Section Reduction", *International Journal of Integrated Engineering*, Vol.1 No.3, 2009.

[8] S. P. Mahulikar, S. K. Potnuru, P. S. Kolhe, "Analytical Estimation of Solid Angle Subtended by Complex Well-Resolved Surfaces for Infrared Detection Studies", *Applied Optics*, Vol. 46, No. 22, pp. 4991-4998, 2007.

[9] S. P. Mahulikar, S. K. Sane, U. N. Gaitonde, A. G. Marathe, "Numerical Studies of Infrared Signature Levels of Complete Aircraft", *Aeronautical Journal*, Vol. 105**,** No. 1046, 2001.

[10] S. P. Mahulikar, S. K. Potnuru, G. A. Rao, "Study of Sunshine, Skyshine, and Earthshine for Aircraft Infrared Detection", *Journal of Optics A: Pure & Applied Optics*, Vol. 11, No. 4, 2009.

[11] G. A. Rao, S. P. Mahulikar, "Effect of Atmospheric Transmission and Radiance on Aircraft Infrared Signatures", *AIAA Journal of Aircraft*, Vol. 42, No. 4, 2005.

[12] J. Thompson, D. Vaitekunasm, W. R. Davis, "IR Signature Suppression of Modern Naval Ships", Engineering Ltd. Ottawa, *ASNE 21st Century Combatant Technology Symposium*, Ontario, Canada, 27-30 January 1998.

[13] J. N. Allinson, "Applying Infrared Imaging Techniques to Marine Surveying", *Inframation conference*, 2003.

[14] W. R. Davis, J. Thompson, "Developing an IR Signature Specification for Military Platforms Using Modern Simulation Techniques", *Presented at the Smi Conference: Pursuit of Stealth,* London, 11 March 2002.

[15] J. Thompson, D. Vaitekunas, B. Brooking, "Lowering Warship Signatures: Electromagnetic and Infrared", *Presented at the SMi Conference: Signature Management,* London, 21 and 22 February, 2000.

[16] J. Fesmire, S. Augustynowicz, C. Darve, "Performance characterization of perforated multilayer insulation blankets", *Proceedings of the 19th International Cryogenic Engineering conference* (*ICEC19*), Grenoble, France, 2002, P. 843-846.

[17] B. Hiscoke, P. Eng., W.R. Davis, "IR Suppression – Exhaust Gas Cooling by Water Injection", *Presented at MECON, Hamburg*, Germany, September 2002.

[18] A. Embankment, "Guidelines for the Reduction of Underwater Noise from Commercial Shipping to Address Adverse Impacts on Marine Life", *International Maritime Organization*, April 2014.

[19] C. M. Payne, "Principles of Naval Weapon Systems", U.S. Naval Institute Blue & Gold Professional Library, Annapolis, Maryland, 2006, P. 173-174.

[20] R. Nambiar, "Modern Camouflage Techniques", Oct, 2009.

[21] R. Fischer, "Bow Thruster Induced Noise and Vibration", *Dynamic Positioning Conference*, October 17 – 18, 2000.

[22] "Ships – 2: Ship Camouflage Instructions", Second Revision, US Navy Bureau of Ships, June 1942.

[23] J. V. Ramana Rao, "Introduction to Camouflage and Deception", Defense Research & Development Organization, Ministry of Defense, 1999.

[24] N. E. S. Scott-Samuel, R. Baddeley, C. E. Palmer, I. C. Cuthill, "Dazzle Camouflage Affects Speed Perception", *PLoS ONE*, Vol. 6, Issue 6, pp. 1-5, June 2011.

[25] J. F. Brown, "The Visual Perception of Velocity", *Psychologische Forschung,* Vol. 14, Issue 1, pp. 199–232, 1931.

[26] P. Thompson, "Perceived Rate of Movement Depends on Contrast", *Vision Research*, Vol. 22, Issue 3, pp. 377–380, 1982.

[27] S. Georges, P. Seriès, Y. Frégnac, J. Lorenceau, "Orientation Dependent Modulation of Apparent Speed: Psychophysical Evidence", *Vision Research,* Vol. 42, Issue 25, pp. 2757–2772, Nov 2002.

[28] P. D. L. Williams, H. D. Cramp, K. Curtis, "Experimental Study of the Radar Cross Section of Maritime Targets", *IEE journal on electronic circuits and systems*, Vol. 2, No. 4, July 1978.

Archive of SID

www.SID.ir