

مدل‌سازی و شبیه‌سازی شدت هدف برای زیردریایی روسی کلاس آکولا

علی بیات^۱، عباس بشارتی سیدانی^{۲*}، هادی امیری^۳

ali.bayat1711@gmail.com

besharati@mut.ac.ir

hadi.amiri@ut.ac.ir

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، مجتمع دانشگاهی آمایش و پدافند غیرعامل، دانشگاه صنعتی مالک‌اشتر^{۲*} نویسنده مسئول، استادیار، مجتمع دانشگاهی شیمی و مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی مالک‌اشتر^۳ استادیار، دانشکده علوم مهندسی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۲/۳۰

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۲/۲۶

چکیده

شدت هدف یکی از پارامترهای اصلی در معادله سونار است که محاسبه آن برای سونارهای فعال مطرح می‌باشد. در این مقاله شدت هدف زیردریایی روسی ۹۴۱ کلاس آکولا به عنوان یکی از بزرگ‌ترین زیردریایی‌های جهان، به دست آمده است. ابتدا زیردریایی را به سه شکل هندسی استوانه، مستطیل و دماغه نیم کره، جدا کرده و شدت هدف را برای هر کدام در زوایای مختلف و فرکانس ثابت محاسبه کرده‌ایم؛ سپس هر سه شکل هندسی را با هم جمع کرده و شدت هدف کل زیردریایی محاسبه شده است. در نهایت مدل‌سازی و شبیه‌سازی برای این زیردریایی، ارائه شده است. با توجه به نتایج به دست آمده، برای این زیردریایی، در مجموع، شدت هدف زیردریایی در زاویه نرمال ۱۰۹/۲۶ دسی‌بل و متوسط شدت هدف قسمت استوانه‌ای و مستطیلی و دماغه در زاویه‌های مختلف، ۱۵/۱۹۳ دسی‌بل است.

واژه‌های کلیدی: زیردریایی، سونار، شدت هدف، مدل‌سازی و شبیه‌سازی

۱. مقدمه

یکی از بحث‌های مهم در پدافند غیرعامل دریایی، محافظت از زیرساخت‌های دریایی از جمله نیروگاه‌های کنار دریا، پل‌ها، تجهیزات و کشتی‌های موجود در دریاست. از زیردریایی در عملیات جاسوسی برای پیاده کردن تجهیزات در سواحل استفاده می‌شود. برتری زیردریایی در نبرد، توانایی آن در مخفی شدن در اعماق آب است. با توجه به این مسئله اهمیت آشکارسازی زیردریایی‌ها و دفاع در برابر آن‌ها مشخص می‌شود. این توانایی با خاصیت رسانایی صوتی

آب و با سیستم‌های سونار قابل شناسایی است. سونارها به‌طور کلی به دودسته، سونار فعال و سونار غیرفعال تقسیم‌بندی می‌شوند. سونار فعال یک موج صوتی را در آب ارسال می‌کند و این موج پس از منتشر شدن در محیط دریا و در اثر برخورد با اهداف و موانع موجود در مسیر خود، منعکس شده و به سمت گیرنده باز می‌گردد و سونار با تجزیه و تحلیل این اکوی بازگشتی به شناسایی اهداف می‌پردازد. در سونار غیرفعال، هدف، خود نقش یک منبع صوتی را بازی می‌کند و سونار با گوش دادن به اکوهای

انجام می‌شود. بخش پنجم به بحث و نتیجه‌گیری اختصاص داده شده است.

۲. شدت هدف^۲

هنگامی که یک پالس سونار فعال در آب فرستاده می‌شود، با توجه به شکل هندسی هدف و زاویه برخورد، بخشی از اصوات منعکس می‌شوند. نسبت شدت موج بازتاب شده در فاصله ۱ یارد (۱ متر) به موج صوتی برخوردی^۳ (برحسب دسی بل)، شدت هدف یا به اختصار TS نام دارد که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$TS = 10 \log \left(\frac{I_r}{I_i} \right) = 10 \log \left[\frac{\sigma}{4\pi} \right] \quad (2)$$

در این معادله I_r ، شدت انعکاس از هدف، d_i شدت موج برخوردی به هدف و σ سطح مقطع^۴ پراکنندگی بازگشتی است.

اندازه‌گیری‌های مختلفی روی شدت هدف برای اهداف مختلف صورت گرفته است. به عنوان مثال یک وال کوهان دار می‌تواند در فاصله یک متری و فرکانس ۱۲ تا ۸۶ کیلوهرتز شدت هدفی به اندازه ۰ تا ۸ دسی بل داشته باشد، درحالی که وال‌های بدون کوهان با شدت هدف کمتر از ۰ دسی بل هم دیده شده‌اند [۶]. شدت هدف یک دلفین در سال ۱۹۹۶ توسط Au به اندازه ۱۱dB- به دست آمد [۷]. در چند دهه اخیر شناسایی زیردریایی‌ها، از جمله مسائل اساسی طراحان و اپراتورهای زیرسطحی شده است. نمونه‌هایی از تحقیقات این حوزه شامل بررسی نویز انتشاری زیردریایی، مشخصات حرکتی آن‌ها، میزان شدت هدف، محاسبه برد آشکارسازی آن‌ها برای انواع سونارها در پژوهش‌های پیشین منتشر شده است [۸-۱۰].

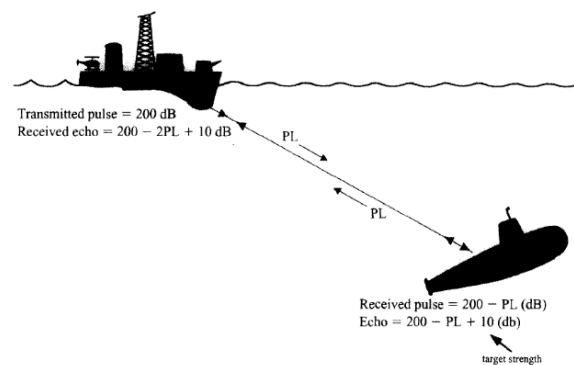
I_r به مشخصات فیزیکی (شکل هندسی) هدف و ویژگی سیگنال (زاویه و فرکانس) بستگی دارد. نتیجه در پراکنش مربع از این قرار است که اگر تمام انرژی از هدف منعکس شود، شدت برخوردی^۵ به هدف و شدت خارج شده^۶ از هدف باید برابر باشد.

$$I_i \sigma = 4\pi r^2 I_r \quad (3)$$

دریافتی از هدف به ردگیری و آشکارسازی آن می‌پردازد [۱]. معادله سونار، یک روش ساده و فعال است که اصول اولیه سونار را توصیف می‌کند. این معادله ارتباط بین انرژی فرستاده شده به آب توسط فرستنده و انرژی دریافت شده از سوی گیرنده را شرح می‌دهد [۲]. معادله سونار در حالت فعال از رابطه زیر به دست می‌آید [۳]:

$$SL - 2TL + TS = NL - DI + RL + DT \quad (1)$$

در این معادله (SL) سطح منبع برای پروژکتور، (DI) شاخص مسیریابی، (TL) انتقال‌های ازدست‌رفته، (NL) سطح نویز محیط، (RL) سطح بازتاب، (TS) شدت هدف و (DT) آستانه تشخیص را نشان می‌دهد. همه پارامترهای بالا، نسبت به شدت مرجع استاندارد یک موج تخت $1 \mu\text{Pa}$ ، برحسب دسی بل (dB) اندازه‌گیری می‌شوند. شکل (۱) به بیانی ساده طرز کار سونار فعال را نشان می‌دهد.



شکل ۱: نمونه‌هایی از یک سونار فعال [۴]

در این مقاله به مدل‌سازی و شبیه‌سازی شدت هدف زیردریایی روسی کلاس آکولا پرداخته شده است. زیردریایی پروژه ۹۴۱ روسیه، بزرگ‌ترین زیردریایی اتمی جهان است که با نام آکولا (کوسه) شناخته می‌شود و دارای بیست دستگاه پرتاب موشک بالستیک است. عمق فروری این زیردریایی ۵۰۰ متر و شناوری خودکار آن ۱۸۰ روز است [۵]. در ادامه و در بخش دوم پارامتر شدت هدف معرفی می‌شود و رابطه و مدل مناسب برای آن ارائه می‌شود. در بخش سوم مدل‌سازی شدت هدف قسمت‌های مختلف هندسی بدنه زیردریایی محاسبه و در بخش چهارم شبیه‌سازی

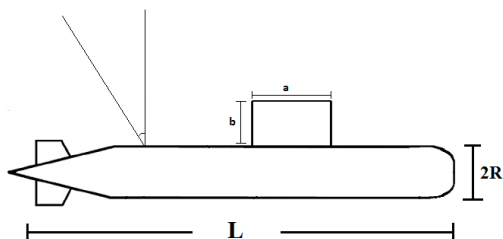
۳. مدل‌سازی شدت هدف زیردریایی

شدت هدف زیردریایی‌ها را اغلب به‌وسیله یک استوانه و یک نیم‌کره در دماغه آن، مدل‌سازی و شبیه‌سازی می‌کنند [۸-۱۰]. برای به دست آوردن TS زیردریایی می‌توان از فرمول TS در مرجع [۲] استفاده کرد. ابتدا با توجه به طول و عرض زیردریایی که به‌صورت استوانه با طول محدود است، مقدار TS در این قسمت با معادله Urick که در مرجع [۲] آمده است به دست می‌آید.

جدول ۱: مشخصات ابعاد و وزن زیردریایی روسی ۹۴۱ کلاس آکولا

ابعاد	وزن
طول	۱۷۲ متر
پهنای زیردریایی	۲۳/۳ متر
آب‌نشین	۱۱ متر
جابه‌جایی سطحی	۲۳۳۰۰ تن
جابه‌جایی زیرآب (بار کامل)	۴۸۰۰۰ تن

سپس قسمت مستطیل شکل بالای زیردریایی و در انتها، با توجه به دماغه زیردریایی که به شکل یک نیم‌کره است، TS نیم‌کره را محاسبه کرده و شدت هدف برآورد می‌شود. به‌عنوان نمونه در مقاله حاضر، شدت هدف زیردریایی روسی ۹۴۱ کلاس آکولا به دست آمده است. مشخصات ابعاد و وزن این زیردریایی در جدول (۱) داده شده است. زاویه پرتوی برخوردی امواج آکوستیک به بدنه زیردریایی در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل ۳: زاویه موج آکوستیک برخوردی به زیردریایی

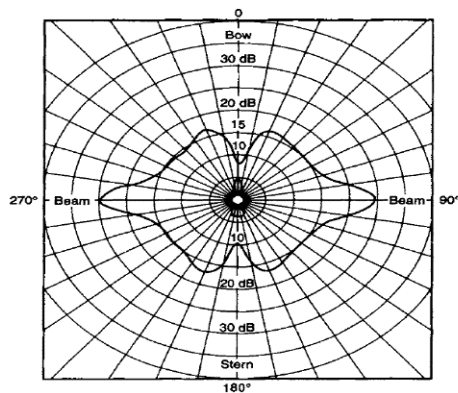
با توجه به شکل هندسی زیردریایی، آن را به صورت یک استوانه با طول محدود و یک مستطیل در بالای آن و یک دماغه نیم‌کره در نظر گرفته و شدت هدف برای هر قسمت با توجه به روابط آن‌ها محاسبه می‌شود. ابتدا قسمت استوانه‌ای

نسبت شدت موج بازتابی به شدت موج برخوردی به‌صورت ساده از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\frac{I_r}{I_i} = \frac{\sigma}{4\pi r^2} \quad (۴)$$

در این جا r برابر با یک یارد است. سطح مقطع پراکندگی بازگشتی (σ) یک عدد است که نشان‌دهنده درجه‌ای است که صوت از یک هدف بازتاب می‌شود. این مربوط به اندازه، شکل و بازتاب پذیری از یک هدف است.

شدت هدف زیردریایی‌ها به‌طور مستقیم به اندازه و ساختار کلاس زیردریایی مربوط می‌شود. در حال حاضر طبقه‌بندی خاصی برای اندازه‌گیری شدت هدف زیردریایی‌ها انجام نشده است [۸-۱۰]. منحنی شدت هدف، در بسیاری از متون به شکل الگوی پروانه شکل (۲) ارائه شده است. این شکل نشان می‌دهد اگر شدت هدف در نزدیکی زیردریایی افزایش زیادی داشته باشد، انتظار می‌رود الگوی زیردریایی شبیه به الگوی یک جسم استوانه‌ای باشد. با توجه به این که بخش‌هایی از زیردریایی مانند دماغه، منحنی شکل و دارای قوس و سطح مقطع آن‌ها کوچک‌تر است، در نتیجه، مقادیر شدت هدف را با توجه به ابعاد این بخش‌ها، در نظر گرفته و محاسبه می‌شود.



شکل ۲: منحنی شدت هدف فعال زیردریایی [۱۱]

در فرکانس‌های نظامی (< ۲۰ کیلوهرتز) پوشش خارجی و بدنه زیر فشار منعکس‌کننده‌های مناسبی هستند و انعکاس را از پوشش خارجی، بدنه زیر فشار، باله، چرخ فرمان، صفحه‌های دریایی، تثبیت‌کننده و پروانه می‌توان انتظار داشت [۱۲].

جدول ۳: محاسبه TS قسمت مستطیل شکل زیردریایی
در زوایای ۰ تا ۱۸۰ درجه

TS	زاویه	TS	زاویه
۱۷/۴۶ dB	۱۰۰	منفی بسیار	۰
۱۵/۹۷ dB	۱۱۰	-۳/۱۸ dB	۱۰
۱۳/۷۳ dB	۱۲۰	-۸/۸۴ dB	۲۰
۹/۶۴ dB	۱۳۰	۰/۶۷ dB	۳۰
۷/۱۸ dB	۱۴۰	۷/۱۸ dB	۴۰
۰/۶۷ dB	۱۵۰	۹/۶۴ dB	۵۰
-۸/۸۴ dB	۱۶۰	۱۳/۷۳ dB	۶۰
-۳/۱۸ dB	۱۷۰	۱۵/۹۷ dB	۷۰
بسیار منفی	۱۸۰	۱۷/۴۶ dB	۸۰
		۴۵/۸۱ dB	۹۰

قسمت سوم زیردریایی، دماغه کروی آن است. شعاع دماغه زیردریایی ۱۱/۵ متر است؛ بنابراین فرمول کره بزرگ را برای به دست آوردن قدرت هدف در دماغه زیردریایی استفاده می‌کنیم:

$$TS_{\text{sphere}} = 10 \log \left(\frac{a^2}{4} \right) = 10 \log(33.0625) = 15.193 \text{ dB} \quad (7)$$

اگر موج برخوردی از بالا در نظر گرفته شود، مجموع شدت هدف زیردریایی در زوایای موج برخوردی از جمع دو قسمت استوانه‌ای و مستطیل بالایی در زاویه صفر تا نود درجه به دست می‌آید.

$$TS_{\text{submarin}} = TS_{\text{cylinder}} + TS_{\text{rectangular}} \quad (8)$$

زیردریایی با توجه به رابطه استوانه در زوایای صفر تا ۱۸۰ درجه و در فرکانس ثابت ۲۰ کیلوهرتز به دست می‌آید:

$$TS_{\text{cylinder}} = 10 \log \left(\frac{RL^2}{(2\lambda)^2} \left[\frac{\sin(\beta)}{\beta} \right]^2 \cos^2(\theta) \right) \quad (5)$$

در این رابطه R و L به ترتیب شعاع و طول زیردریایی هستند. λ طول موج و از رابطه $\lambda = c/F$ به دست می‌آید (c سرعت صوت در آب و F فرکانس است). θ زاویه دید و $K = 2\pi/\lambda$ و $KL \sin \theta$ است.

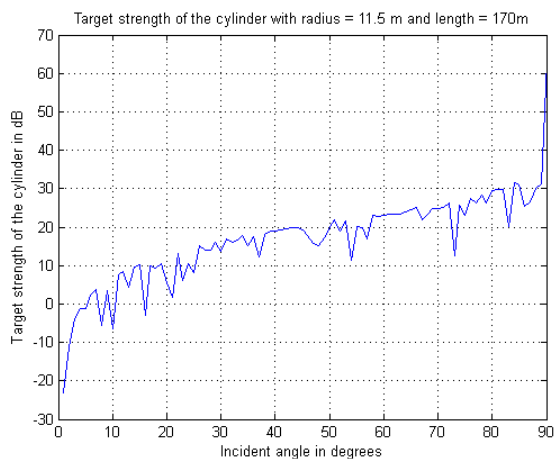
جدول ۴: محاسبه TS قسمت استوانه‌ای زیردریایی
در زوایای ۰ تا ۱۸۰ درجه

TS	زاویه	TS	زاویه
۲۴/۵۶ dB	۱۰۰	بسیار منفی	۰
۲۵/۶۹ dB	۱۱۰	۴/۵۷ dB	۱۰
۲۳/۷۱ dB	۱۲۰	۱۰/۱۶ dB	۲۰
۲۱/۴۲ dB	۱۳۰	۱۵/۵۷ dB	۳۰
۱۸/۲۶ dB	۱۴۰	۱۸/۲۶ dB	۴۰
۱۵/۵۷ dB	۱۵۰	۲۱/۴۲ dB	۵۰
۱۰/۱۶ dB	۱۶۰	۲۳/۷۱ dB	۶۰
۴/۵۷ dB	۱۷۰	۲۵/۶۹ dB	۷۰
بسیار منفی	۱۸۰	۲۴/۵۶ dB	۸۰
		۶۳/۴۵ dB	۹۰

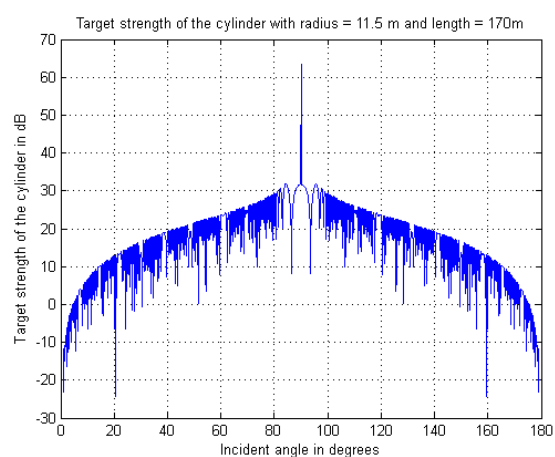
با توجه به جدول (۲) و زاویه موج آکوستیک برخوردی، مقدار TS در زاویه نرمال بیشترین مقدار دسی‌بل را دارد و این میزان حداکثر، به سرعت کاهش پیدا می‌کند و هرچه به زاویه ۱۸۰ درجه نزدیک می‌شود؛ این مقدار کمتر می‌شود. حال با توجه به قسمت مستطیلی شکل بالای زیردریایی، پارامتر شدت هدف، برای این بخش محاسبه می‌شود. طول بخش مستطیلی شکل ۲۷/۵ متر و عرض آن ۷/۸ متر است.

$$TS_{\text{Rectangular}} = 10 \log \left(\frac{ab}{\lambda^2} \left[\frac{\sin(\beta)}{\beta} \right]^2 \cos^2(\theta) \right) \quad (6)$$

که در آن، a طول و b عرض و $\beta = ka \sin \theta$ و $k = 2\pi/\lambda$ است.



(الف)



(ب)

شکل ۴: شدت هدف قسمت استوانه‌ای زیردریایی در فرکانس ۲۰ کیلوهرتز و زاویه موج برخوردی. (الف) زاویه ۰ تا ۹۰ درجه با نقطه‌یابی ۰/۱ در نرم‌افزار MATLAB. (ب) زاویه ۰ تا ۱۸۰ درجه با نقطه‌یابی ۰/۱ در نرم‌افزار MATLAB

جدول ۴: مجموع شدت هدف قسمت

استوانه‌ای و مستطیل بالای زیردریایی کلاس آکولا

زاویه	TS	زاویه	TS
۰	بسیار منفی	بسیار منفی	بسیار منفی
۱۰	۴/۵۷ db	-۳/۱۸ db	۱/۳۹ db
۲۰	۱۰/۱۶ db	-۸/۸۴ db	۱/۳۲ db
۳۰	۱۵/۵۷ db	۰/۶۷ db	۱۶/۲۴ db
۴۰	۱۸/۲۶ db	۷/۱۸ db	۲۶/۰۷ db
۵۰	۲۱/۴۲ db	۹/۶۴ db	۳۱/۰۶ db
۶۰	۲۳/۷۱ db	۱۳/۷۳ db	۳۷/۴۴ db
۷۰	۲۵/۶۹ db	۱۵/۹۷ db	۴۱/۶۶ db
۸۰	۲۴/۵۶ db	۱۷/۴۶ db	۴۲/۰۲ db
۹۰	۶۳/۴۵ db	۴۵/۸۱ db	۱۰۹/۲۶ db
۱۰۰	۲۴/۵۶ db	۱۷/۴۶ db	۴۲/۰۲ db
۱۱۰	۲۵/۶۹ db	۱۵/۹۷ db	۴۱/۶۶ db
۱۲۰	۲۳/۷۱ db	۱۳/۷۳ db	۳۷/۴۴ db
۱۳۰	۲۱/۴۲ db	۹/۶۴ db	۳۱/۰۶ db
۱۴۰	۱۸/۲۶ db	۷/۱۸ db	۲۶/۰۷ db
۱۵۰	۱۵/۵۷ db	۰/۶۷ db	۱۶/۲۴ db
۱۶۰	۱۰/۱۶ db	-۸/۸۴ db	۱/۳۲ db
۱۷۰	۴/۵۷ db	-۳/۱۸ db	۱/۳۹ db
۱۸۰	بسیار منفی	بسیار منفی	بسیار منفی

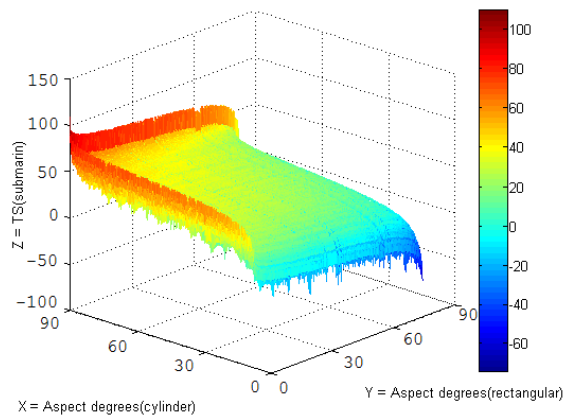
همان‌طور که در جدول (۴) مشاهده می‌شود، مقدار شدت هدف در زاویه نرمال بسیار زیاد به دست می‌آید و این مقدار در زاویه‌های مجاور به شدت افت می‌کند و در حال کم شدن شدت هدف نسبت به زاویه نرمال در پهناي زیردریایی است، اما به دلیل اینکه بخش نیم‌کره دماغه زیردریایی به انتهای خود می‌رسد، میزان شدت هدف کمتر از ۱۵/۱۹۳ دسی‌بل نخواهد شد. مقدار متوسط شدت هدف قسمت استوانه‌ای و مستطیل بالای زیردریایی ۴۱/۷۷ دسی‌بل است و در مجموع میانه قدرت هدف قسمت استوانه‌ای و مستطیلی و دماغه ۱۵/۱۹۳ دسی‌بل است.

۴. شبیه‌سازی شدت هدف زیردریایی

برای شبیه‌سازی موارد فوق از نرم‌افزار متلب استفاده شده است. ابتدا نمودار شدت هدف قسمت استوانه‌ای از زیردریایی روسی آکولا از جدول (۲) ترسیم می‌شود؛ سپس نمودار قسمت مستطیل شکل بالای زیردریایی از جدول (۳) استخراج می‌شود؛ در ادامه مجموع دو قسمت استوانه و مستطیل را نمایش داده و در انتها مجموع برآیند قسمت استوانه‌ای، مستطیلی و دماغه نیم‌کره ابتدای زیردریایی ترسیم شده است.

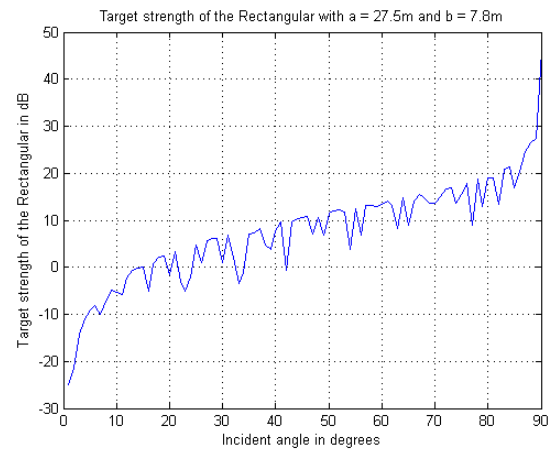
جدول (۴) محاسبه شد و در شکل (۶) مشاهده می‌شود، مجموع شدت هدف زیردریایی در زاویه نرمال ۱۰۹/۲۶ دسی بل می‌باشد که این مقدار بسیار زیاد است و به راحتی با سیستم سونار شناسایی می‌شود.

برآورد مجموع شدت هدف قسمت استوانه‌ای و مستطیل بالایی و کلاهک نیم کره دماغه زیردریایی در شکل (۷) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود شدت هدف قسمت استوانه‌ای زیردریایی در حال دور شدن از مقدار خود در زاویه نرمال است؛ اما کمتر از ۱۵/۱۹۳ دسی بل نمی‌شود. با توجه به اینکه ابعاد زیردریایی روسی کلاس آکولا بسیار بزرگ است، مقدار دسی بل شدت هدف مثبت به دست می‌آید.

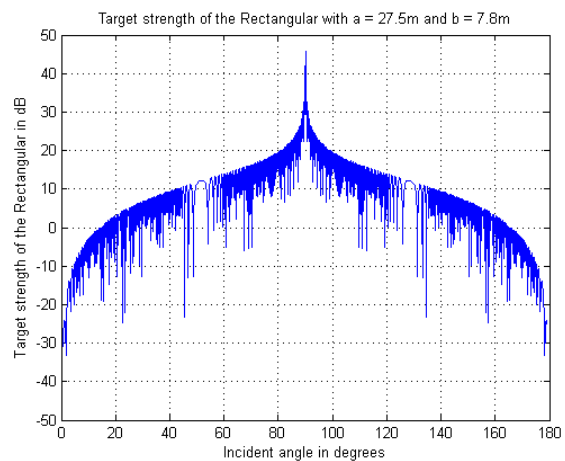


شکل ۶: مجموع قدرت هدف قسمت استوانه‌ای و مستطیلی زیردریایی کلاس آکولا در زاویه صفر تا نود درجه

در روش شناسایی زیردریایی توسط سونار فعال با استفاده از شکل‌های بالا و توجه کردن به رفتار شدت هدف و اکوی بازگشتی در مقابل تغییرات زاویه موج برخوردی به زیردریایی در یک زاویه خاص می‌توان به شناسایی زیردریایی اقدام کرد.



(الف)



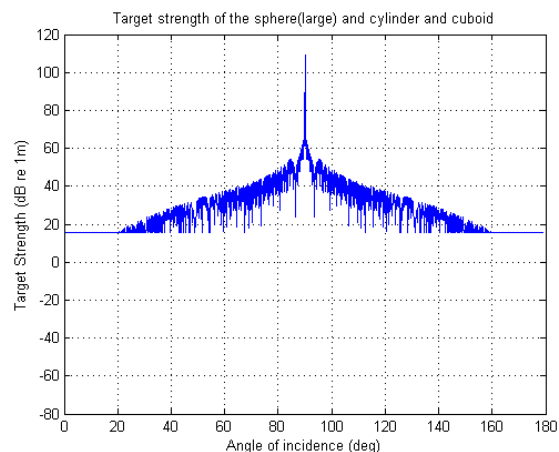
(ب)

شکل ۵: شدت هدف قسمت مستطیل بالای زیردریایی در فرکانس ۲۰ کیلوهرتز و زاویه موج برخوردی. (الف) زاویه صفر تا ۹۰ درجه با نقطه‌یابی ۰/۱. (ب) زاویه ۰ تا ۱۸۰ درجه با نقطه‌یابی ۰/۱.

شکل (۴) و (۵) شبیه‌سازی قدرت هدف حاصل از قسمت استوانه‌ای و مستطیل بالای زیردریایی را در مقابل تغییر زاویه برخوردی (بر اساس مدل Urick که در مرجع [۲] آمده است) با نرم افزار متلب نشان می‌دهد. فرکانس منبع ۲۰ کیلوهرتز و سرعت صوت در آب ۱۵۰۰ متر بر ثانیه فرض شده است [۳]. در این شکل‌ها محور افقی زاویه برخوردی موج و محور عمودی قدرت هدف قسمت استوانه‌ای و مستطیل بالایی زیردریایی را نشان می‌دهد.

شکل (۶) مجموع شدت هدف قسمت استوانه‌ای و مستطیلی زیردریایی را در فرکانس ۲۰ کیلوهرتز و زاویه موج برخوردی صفر تا نود درجه نشان می‌دهد. همان‌طور که در

- [5] Project 941 Akula [Internet]. Russia: 2018[updated June 7 2018]. Available from: <http://rusnavy.com>
- [6] Miller JH, Potter DC. Active high frequency phased-array sonar for whale ship-strike avoidance: target strength measurements. Proceeding of the MTS/IEEE Oceans; 2001 Nov 5; Honolulu, HI, USA: IEEE; 2001.
- [7] Au WW. Acoustic backscatter from a dolphin. The Journal of the Acoustical Society of America. 1994 May; 95: 2881.
- [8] Silva S, editor. Advances in Sonar Technology. BoD-Books on Demand; 2009.
- [9] Ainslie MA. Principles of sonar performance modelling. Berlin: Springer; 2010.
- [10] Pailhas Y. Sonar systems for object recognition [dissertation]. Univ Heriot-Watt; 2013.
- [11] Herbich JB. Developments in offshore engineering. 1st ed. Houston, Texas: Gulf Publishing Company; 1999.
- [12] Wait AD. Sonar for Practicing Engineers. 3rd ed. England: John Wiley & Sons; 2002.



شکل ۷: برآورد مجموع قدرت هدف قسمت استوانه‌ای و مستطیل بالایی و کلاهک نیم کره دماغه زیردریایی

۵. نتیجه‌گیری

به عنوان یک پارامتر مهم در معادله سونار فعال و در راستای تعیین میزان برد سونارهای فعال و ارزیابی آنها، مقاله حاضر به بررسی شدت هدف در سونار فعال پرداخته که در این راستا، به عنوان یک نمونه واقعی، زیردریایی کلاس آکولا و مدلسازی شدت هدف آن مدنظر قرار گرفته است. در این مقاله، ابتدا زیردریایی با شکل‌های هندسی ساده مدلسازی شده است. سپس با توجه به شکل هندسی هر قسمت و زاویه پرتوی برخوردی، شدت هدف در هر قسمت مدلسازی و نتایج مدلسازی با نرم‌افزار متلب شبیه‌سازی شد. همان‌طور که در بخش‌های قبل گفته شد، به کمک مدلسازی و شبیه‌سازی میزان شدت هدف یک زیردریایی، این مشخصات می‌تواند در طراحی سونارها و در طراحی سیستم‌های زیرآبی مدنظر قرار گیرد.

پی‌نوشت

1. Flat Wave
2. Target Strength
3. Incident
4. Cross-Section
5. Strike
6. Leave
7. Pressure Hull
8. Fin
9. Rudder
10. Propeller

مراجع

- [1] Hodges RP. Underwater Acoustics Analysis Design and Performance of Sonar. United Kingdom: John Wiley; 2010.
- [2] Urick RJ. Principles of underwater sound. 3rd ed. California: Peninsula Publishing; 1983.
- [3] Etter PC. Underwater Acoustic Modelling and Simulation. 4th ed. United States: CRC Press; 2013.
- [4] Kim YJ. The Underwater Propagation of Sound and its Applications. Dartmouth undergraduate journal of science. 2012 March; 11:1-7.