

روشی جدید برای محاسبه پارامترهای قدرت هدف از اجزاء تشکیل دهنده بدن غواص

علی شهبانی^۱، سید محمد علوی^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد و ۲- استادیار دانشگاه جامع امام حسین (ع)

(دریافت: ۱۳۹۲/۰۲/۰۸، پذیرش: ۱۳۹۲/۱۱/۲۰)

چکیده

ویژگی‌های منحصر به فرد سونار اکتیو و امکان انتشار آسان سیگنال‌های صوتی در محیط زیر آب، امکان شناسایی و ردگیری اهداف زیرآبی را به وسیله آنها فراهم می‌کند. استفاده از سونار برای شناسایی غواص به منظور جلوگیری از نفوذ غواصان به تجهیزات بندرگاهی و همچنین حفاظت از نیروگاه‌های ساحلی و غیره از جمله کاربردهای سیگنال صوتی در حوزه پدافند غیرعامل هستند. با کمک گرفتن از سونار اکتیو و تهیه نمونه ریاضی مناسب برای غواص و اندازه‌گیری قدرت هدف آن، می‌توان نسبت به شناسایی غواص اقدام کرد. در روش اکتیو شناسایی غواص، عامل تعیین کننده، پارامتر قدرت هدف است. در مقاله حاضر با استفاده از نمونه استوانه‌ای یوریچ و با در نظر گرفتن حالت خاصی از شنای غواص، قدرت هدف از اجزاء بدن و کپسول هوا اندازه‌گیری شده است. سپس نتایج حاصل با هم جمع شده و اکوی بازگشتی از کل بدن به دست آمده است. همچنین نتایج حاصل با نرم‌افزار متلب برای شناسایی غواص شبیه‌سازی شده است.

کلید واژه‌ها: قدرت هدف، آکوستیک، سونار، شناسایی غواص، مدل سازی غواص.

A New Method for Calculating the Target Strength Parameters of the Diver's Body Components

A. Shabani, S. M. Alavi

Imam Hossein University

(Received: 28/04/2013; Accepted: 09/02/2014)

Abstract

Unique features of active sonar and the possibility of easy transmission of acoustic signals in underwater environment provide the ability to identify and track the underwater targets. Use of sonar for diver detection in order to prevent the diver's entrance to harbor equipment plants, protection from the coastal power and etc are the applications of acoustic signals in passive defence. Diver detection could be done by getting help from the active sonar, making an appropriate mathematical model for the diver and measuring its target strength. In diver detection by active method, its target strength is the most important factor. In this paper, target strength of body components and air cylinder have been measured using Urick cylindrical model and considering the swimming state of the diver, the results have been assembled to obtaining the returning echo from the whole body. The results have also been simulated by MATLAB software to detect the diver.

Keywords: Target Strength, Acoustic, Sonar, Diver Detection, Diver Modeling.

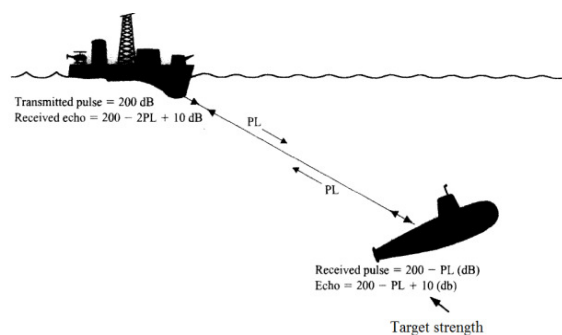
* Corresponding Author E-mail: malavi@ihu.ac.ir

۱. مقدمه

استفاده معمول از برخی سامانه‌ها و کاربرد آنها در موارد دفاعی بدون اینکه حساسیت ایجاد کند، می‌تواند از موارد پدافند غیر عامل محسوب شود (درست مطابق استفاده از رادارهای کشتیرانی و موارد مشابه). یکی از بحث‌های مهم در پدافند غیرعامل دریایی، محافظت از زیرساخت‌های دریایی از جمله نیروگاه‌های کنار دریا، پل‌ها، تجهیزات و کشتی‌های موجود در بندرگاه‌ها می‌باشد. حملات تروریستی از سوی غواصانیکتی از خطرناک‌ترین تهدیدات برای این تجهیزات دریایی و ساحلی به‌شمار می‌رود. غواص به راحتی می‌تواند با پنهان شدن در زیر آب به این نقاط حساس نفوذ کرده و صدمات جبران ناپذیری به آنها وارد سازد. با توجه به این مسئله اهمیت آشکارسازی این خطرات و دفاع در برابر آنها مشخص می‌شود. از آنجا که سیگنال‌های آکوستیکی توانایی انتشار در بردهای طولانی در زیر آب را دارا می‌باشند، سونار مؤثرترین وسیله برای استفاده در آشکارسازی و ردگیری اهداف در دریاها است. سونارها در حالت کلی به دو نوع فعال و غیرفعال تقسیم می‌شوند؛ سونار فعال یک موج صوتی را درون 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 برمی‌گردد 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 دریافتی از هدف به ردگیری و آشکارسازی آن می‌پردازد [۱]. قدرت هدف^۱ تنها در سونار اکتیو مطرح می‌شود بنابراین در اینجا به بیان معادله این نوع سونار بسنده می‌شود. معادله سونار اکتیو در حالت لگاریتمی آزمایش عبارت است از:

$$SNR = (SL + TS - 2PL) - NL \quad (1)$$

سمت چپ معادله بالا نسبت سیگنال به نویز (در حالت لگاریتمی) را بیان می‌کند. SL بیان‌گر سطح منبع^۲، TS قدرت هدف، PL تلف انتشار^۳ و NL سطح نویز^۴ است [۲]. شکل (۱) به بیانی ساده طرز کار سونار فعال را نمایش می‌دهد.



شکل ۱. طرز کار سونار فعال [۲]

در این مقاله به مدل‌سازی غواص، اندازه‌گیری و شبیه‌سازی قدرت هدف غواص بر اساس مدل مناسب پرداخته شده‌است. در ادامه و در

بخش دوم مقاله پارامتر قدرت هدف معرفی شده و رابطه و مدل مناسب برای اندازه‌گیری و شبیه‌سازی آن بیان شده است. در بخش سوم طبق مدل به‌دست آمده در قسمت قبلی اکوی بازگشتی از غواص مدل‌سازی شده و نتایج شبیه‌سازی شده برای قدرت هدف و اکوی بازگشتی نشان داده شده‌است. بخش چهارم به بیان نتیجه‌گیری اختصاص داده شده است.

۲. قدرت هدف

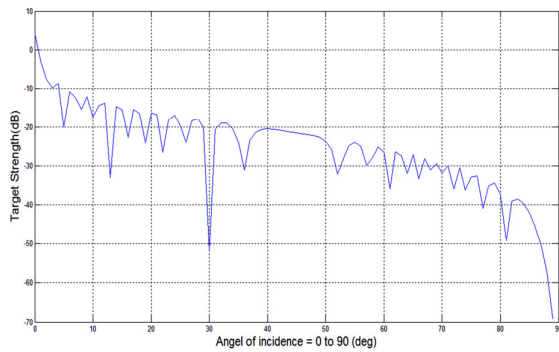
قدرت هدف در واقع اشاره به اکوی بازگشتی از اهداف زیر آب دارد. قدرت هدف در فرم لگاریتمی و در واحد dB به‌صورت نسبت شدت صوت بازگشتی در فاصله ۱ متری از مرکز آکوستیکی هدف به‌شدت صوت برخوردی به هدف تعریف می‌شود. با این اوصاف داریم:

$$TS = 10 \log \left(\frac{I_r}{I_i} \right) \quad (2)$$

انرژی صوتی از منبع نقطه‌ای فرضی از سطح منعکس کننده هدف برگشت داده می‌شود که برای اهداف بزرگی چون زیردریایی می‌تواند چندین مترمربع از سطح آن باشد [۲]. اندازه‌گیری‌های مختلفی روی قدرت هدف برای اهداف مختلف صورت گرفته است. به‌عنوان مثال یک وال کوهان‌دار می‌تواند در فاصله ۱ متری و فرکانس ۱۲ تا ۸۶ کیلوهرتز قدرت هدفی به اندازه ۰ تا ۸ دسی‌بل داشته باشد، درحالی‌که وال‌های بدون کوهانی با قدرت هدف کمتر از ۰ دسی‌بل هم دیده شده‌اند [۳]. قدرت هدف یک دلفین در سال ۱۹۹۶ توسط Au به اندازه ۱۱ dB - به‌دست آمد [۴]؛ با این حال اندازه‌گیری‌های بسیار کمی روی قدرت هدف غواص که امکان بهره‌گیری از سونار را برای آشکارسازی آن تعیین می‌کند انجام شده‌است. آنالیز قدرت هدف غواص با در نظر گرفتن شکل، هندسه، ویژگی مواد سازنده و زاویه برخوردی موج با آن بسیار پیچیده خواهد بود. بعضی از اهداف درون دریا را می‌توان با اجسام کروی شبیه‌سازی کرد و راه‌حل‌های دقیقی برای قدرت اهداف این اجسام کروی در منابع علمی موجود می‌باشد [۵] و [۶] ولی شکل یک انسان پیچیده‌تر از یک جسم کروی است. استوانه‌ای با طول محدود می‌تواند یک مدل مناسبی برای شبیه‌سازی بدن غواص باشد. رابطه استوانه‌ای با طول محدود در سه مدل [۷] Urick، [۸] Stanton و [۹] Ganaurd مورد بررسی قرار گرفته است. در اینجا برای مدل‌سازی غواص از مدل اول استفاده شده است.

استوانه با طول محدود، به‌دلیل حالت کشیده‌ی آن مناسب‌ترین مدل برای به‌دست آوردن قدرت هدف غواص است. در اینجا برای مدل کردن غواص از یک استوانه با طول محدود استفاده می‌شود که اثرات انتهای آن ناچیز در نظر گرفته شده‌است؛ برای این منظور طول استوانه باید بزرگ‌تر از شعاع آن باشد و در واقع تعریف استوانه محدود یا غیرمحدود از همین خاصیت طول آن نشأت می‌گیرد [۱۰ و ۱۱]. برای مدل‌سازی، از یک استوانه محدود پر از هوا به‌عنوان تقریبی از غواص در آب استفاده شده‌است؛ البته باید مفروضات زیر را نیز در نظر گرفته شود [۱۱]:

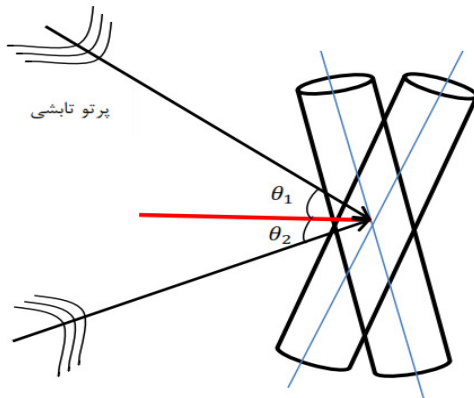
¹ Target Strength (TS)
² Source Level
³ Propagation Loss
⁴ Noise Level



شکل ۳. قدرت هدف یک استوانه با طول محدود

۳. مدل سازی غواص

قبل از آنکه به مدل سازی غواص پرداخته شود حالت کلی تر مورد بررسی قرار گرفته شده است. دو استوانه مجاور با طول محدود و ابعاد متفاوت به طوری که محورهای آنها موازی باشند در نظر گرفته شده است؛ منبع صوتی واقع در فاصله دور، این دو استوانه را مورد تابش قرار می دهد (شکل ۴). اگر زاویه برخوردی موج تابشی با هر کدام از این استوانه ها در اثر حرکت رفت و برگشتی دچار تغییر شود، قدرت هدف حاصل از این دو استوانه به عنوان تابعی از تغییرات زاویه و با استفاده از مدل Urick (مانند آنچه در قسمت قبل بیان شد) قابل محاسبه و شبیه سازی است و می توان آن را در فضایی سه بعدی نمایش داد.



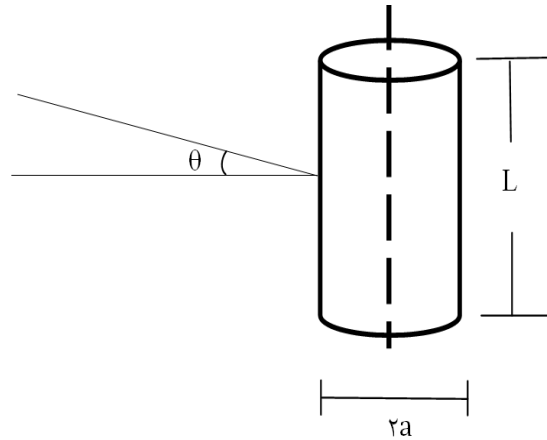
شکل ۴. دو استوانه با طول محدود در مقابل پرتو

شکل (۵) شبیه سازی قدرت هدف دو استوانه با ابعاد متفاوت به کمک نرم افزار مطلب را نشان می دهد. در این شکل از استوانه هایی با طول های ۵ متر و ۱ متر و با شعاع های ۰/۱۲۵ متر و ۰/۱ متر استفاده شده است. در ضمن زاویه برخوردی موج با هر کدام از استوانه ها محورهای x و y در فضای سه بعدی بوده و به طور مستقل از ۰ تا ۹۰ درجه تغییر می کنند. محور عمودی قدرت هدف این دو استوانه به عنوان تابعی از زاویه های برخوردی موج با استوانه ها می باشد [۱۳].

۱- طول استوانه باید بزرگ تر از شعاع آن باشد تا بتوان اثرات انتها را نادیده گرفت.

۲- این مدل برای مواردی که موج صفحه ای عمود بر محور استوانه باشد بسیار دقیق تر خواهد بود.

۳- هدف باید یک شیء با انعکاس کامل باشد (شرط لباس غواص). نکته مهمی که حائز اهمیت می باشد این است که در تمام روند انجام کار فرض شده است که منبع صوتی در فاصله بسیار دوری نسبت به غواص قرار دارد و در نتیجه موج به صورت صفحه ای است و همچنین تغییرات فاصله غواص در قدرت هدف بی تأثیر است و تنها تغییرات زاویه ای اجزاء بدن بر میزان اکوی بازگشتی دخالت دارد. برای یک هدف کاملاً منعکس کننده، مهم ترین پارامترهای تأثیرگذار بر قدرت هدف، زاویه انحراف و فرکانس هستند. شکل (۲) نشان دهنده پرتو برخوردی به یک استوانه با طول L ، شعاع a و زاویه برخورد θ است.



شکل ۲. استوانه با طول محدود در مقابل پرتو [۱۱]

رابطه قدرت هدف یک استوانه با طول محدود به صورت زیر است [۷]:

$$TS = 10 \log t \quad (۳)$$

$$t = \frac{aL^2}{2\lambda} \left(\frac{\sin(\beta)}{\beta} \right)^2 \cos^2(\theta) \quad (۴)$$

$$\beta = kL \sin(\theta) \quad (۵)$$

در رابطه بالا، L طول استوانه در واحد متر، a شعاع استوانه در واحد متر و k عدد موج است. رابطه بالا توسط Kerr به دست آمده و او از این رابطه برای محاسبه میزان پراکندگی امواج رادیویی توسط استوانه محدود و کاملاً هادی استفاده کرده است [۱۲]. این رابطه بعدها توسط Urick برای محاسبه میزان پراکندگی امواج آکوستیک استفاده شد. شکل (۳) شبیه سازی قدرت هدف حاصل از یک استوانه با طول ۱ متر و شعاع ۰/۱۲۵ متر را در مقابل تغییر زاویه برخوردی (بر اساس مدل Urick) با نرم افزار مطلب نشان می دهد. فرکانس منبع ۶۰ کیلوهرتز و سرعت صوت در آب ۱۵۰۰ متر بر ثانیه فرض شده است. در این شکل محور افقی زاویه برخوردی موج و محور عمودی قدرت هدف استوانه را نشان می دهد.

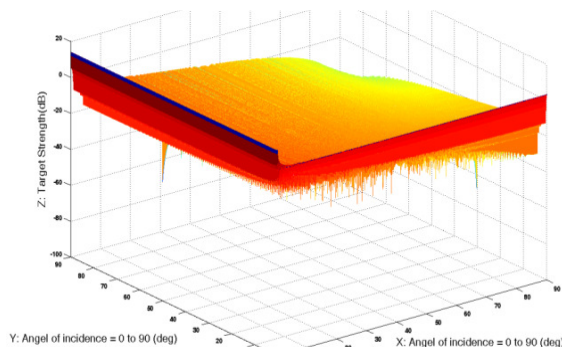
متغیر است. لازم به ذکر است که سهم عمده در اکوی بازگشتی از بدن غواص متعلق به کپسول هوا و شش های غواص است؛ ولی با توجه به شکل های نشان داده شده مربوط به تغییرات زاویه پاهای غواص [۱۳]، نمی توان از نقش مهم آنها در قدرت هدف و کمک به شناسایی دقیق تر غواص چشم پوشی کرد. اگر بخواهیم خطای شناسایی غواص با روش های اکتیو و استفاده از قدرت هدف را به حداقل برسانیم باید این موارد را نیز مدنظر قرار دهیم. روند کار به این صورت است که قدرت هدف حاصل از پاهای غواص محاسبه شده و با TS_1 نامگذاری شده است [۱۳]؛ در واقع TS_1 تابعی از زوایای موج با پاهاست. همچنین قدرت هدف تجهیزات تنفسی غواص، با TS_2 و بالاتنه را با TS_3 نامگذاری شده و می توان مقدار آنها را مطابق شکل (۳) و با استفاده از رابطه (۳) در زاویه ای خاص محاسبه کرد (توجه شود که زاویه موج با بالاتنه و تجهیزات ثابت است). حال می توان قدرت هدف کلی غواص (TS_t) را محاسبه کرد.

$$TS_t = TS_1 + TS_2 + TS_3 \quad (۶)$$

حال مطلبی که باقی می ماند چگونگی دخالت دادن اثرات کپسول هوا و شش های غواص در TS_2 و TS_3 است. در مرجع [۱۶] میزان اختلاف داده های واقعی کپسول هوای غواص و مدل $Urick$ بررسی شده است. طبق این داده ها برای کپسول استوانه ای از جنس استیل (در صورت تابش منبع به طول استوانه) و همچنین استوانه با جنس نرم، در فرکانس ۶۰ کیلوهرتز، اختلاف داده های واقعی و مدل $Urick$ بسیار اندک و قابل چشم پوشی است و می توان با دقت بالایی نتایج حاصل از رابطه $Urick$ را مورد استفاده قرار داد. اما در فرکانس های پایین تر می توان به منظور دخالت دادن تأثیرات هوای کپسول و شش ها برای TS_2 و TS_3 ضرایبی را که وابسته به جنس و اندازه کپسول هوای غواص، اندازه شش ها و خصوصیات آب دریای مورد آزمایش و... باشد تعریف کرد. به این ترتیب TSt را می توان از رابطه زیر محاسبه کرد:

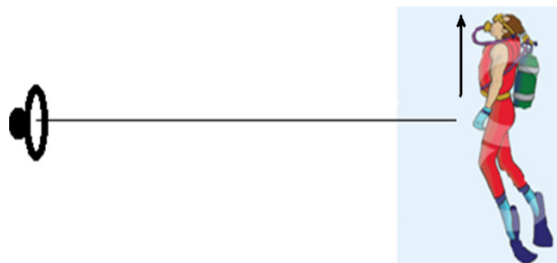
$$TS_t = TS_1 + \alpha TS_2 + \beta TS_3 \quad (۷)$$

در رابطه بالا α و β ضرایبی هستند که تأثیرات هوای کپسول و شش ها را دخالت می دهند. حال برای محاسبه دقیق قدرت هدف کل بدن و تجهیزات تنفسی غواص باید قدرت هدف های اجزاء را با هم جمع کنیم. برای این منظور بالاتنه به صورت یک استوانه با طول ۰/۵ متر و شعاع ۰/۲۵ متر و کپسول هوا با استوانه ۰/۳ متری و با شعاع ۰/۲ متری مدل شده اند. با توجه به شکل (۵) و نحوه قرار گرفتن غواص و منبع نسبت به هم و همچنین تعریف زاویه θ در شکل (۲)، در این حالت منبع، بالاتنه و تجهیزات تنفسی را به صورت عمودی مورد تابش قرار می دهد. با این اوصاف قدرت هدف بالاتنه طبق رابطه (۷) $۲/۳۴$ - دسی بل و قدرت هدف کپسول $۵/۸$ - دسی بل خواهد بود. لازم به ذکر است که ابتدا باید قدرت هدف ها را از حالت لگاریتمی خارج و با هم جمع کرده و سپس نتیجه به صورت لگاریتمی بیان شود. در اینجا چون فرکانس کاری ۶۰ کیلوهرتز است ضرایب α و β برابر یک در نظر گرفته می شود (با فرض کپسول هوای از جنس



شکل ۵. قدرت هدف حاصل از دو استوانه

حال از مطالب فوق برای محاسبه قدرت هدف پاها استفاده شده است. غواص در حالتی که به صورت عمودی به سمت سطح آب یا کف دریا در حال شنا باشد فرض شده و پاها با دو استوانه هم اندازه با طول ۰/۵ متر و شعاع ۰/۲۵ متر مدل شده اند و منبع در فاصله بسیار دور غواص را به صورت افقی مورد تابش قرار می دهد (شکل). فرض بر این است که برای شنای کمرال سینه غواص آشکارسازی می شود؛ در این نوع شنا زاویه بین پاهای غواص تا ۳۰ درجه تغییر می کند (۱۴ و ۱۵)؛ پس زاویه پاها نسبت به محور اصلی استوانه (تنه) و موج برخوردی در بازه ۱۵ + درجه تا ۱۵ - درجه تغییر خواهد کرد.



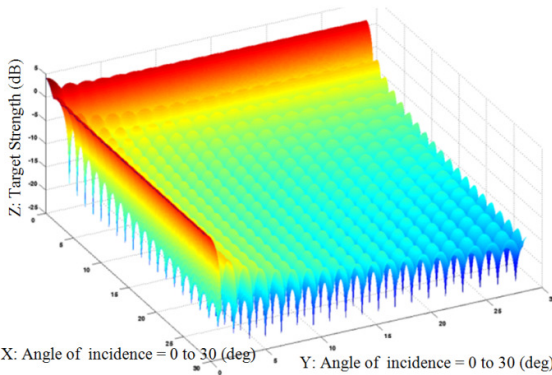
شکل ۶. حرکت عمودی غواص [۱۳]

در پژوهشی قدرت هدف حاصل از حرکت پاهای غواص طبق حالت فوق محاسبه و شبیه سازی شده است [۱۳]. در اینجا برای انجام یک شبیه سازی دقیق تر قدرت هدف بالاتنه و کپسول هوای غواص نیز به مدل سازی و محاسبات مربوطه آن اضافه شده است. در پژوهش دیگر کل بدن غواص به صورت یک استوانه در نظر گرفته شده است [۱۱]. اگر بدن غواص به این صورت در نظر گرفته شود نمی توان تأثیر حرکات پای غواص در حین شنا را به درستی مدل کرد. باید توجه داشت که تغییر زاویه ای که پاهای غواص در حین شنا نسبت به موج پیدا می کنند، مستقل از قسمت بالاتنه بوده و قدرت هدف غواص را تحت تأثیر قرار می دهد؛ در واقع زاویه بالاتنه غواص با منبع موج می تواند تقریباً ثابت باشد ولی برای پاها این مطلب صادق نیست. راه حل پیشنهادی برای حل مشکل این است که قسمت بالاتنه غواص و تجهیزات تنفسی آن با دو استوانه مدل شده که زاویه برخوردی موج با آنها تقریباً ثابت است و هر کدام از پاهای غواص نیز یک استوانه در نظر گرفته شده است که در حین شنا زاویه موج با آن

در این مقاله قدرت هدف کلی غواص که حاصل از حرکت پاها، بالاتنه و کپسول هوا است محاسبه و شبیه‌سازی شده‌است. با توجه به شکل (۸) و تعریف زاویه θ در شکل (۲)، زاویه منبع با بالاتنه و کپسول در این حالت ۱۵ درجه خواهد بود. ابعاد استوانه‌های بالاتنه و کپسول هوا مانند حالت قبل فرض شده‌است. طبق رابطه (۳) قدرت هدف بالاتنه ۱۴/۹۴- دسی‌بل و قدرت هدف کپسول هوا ۱۹/۷۴- دسی‌بل خواهد شد. تغییرات زاویه‌ای پای راست روی محور x و تغییرات زاویه‌ای پای چپ روی محور y در نظر گرفته شده و محور Z قدرت هدف کلی بدن غواص را در این حالت نشان می‌دهد (شکل ۱۰).

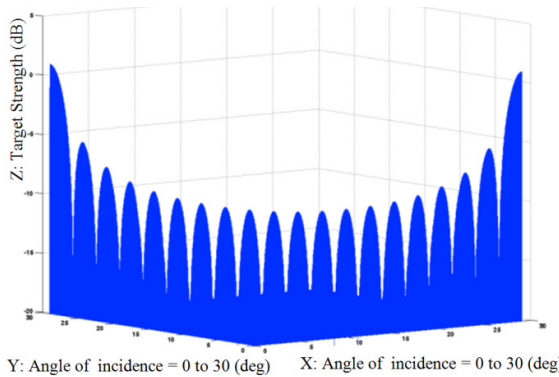


شکل ۹. انحراف غواص از محور اصلی [۱۳]



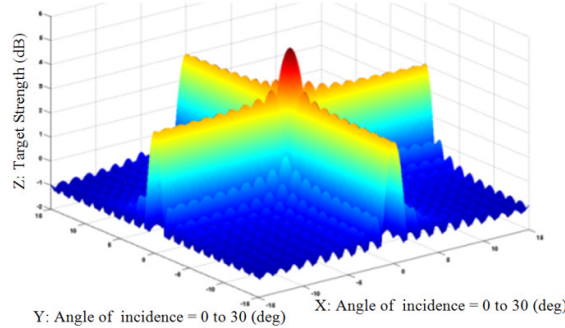
شکل ۱۰. قدرت هدف کلی حاصل از پاها، بدن و کپسول هوای غواص در شای کراال عمودی با انحراف ۱۵ درجه بدن نسبت به موج برخوردی

در اینجا نیز چون موج برخوردی بر صفحه حرکت پاها مماس است در شکل حاصل تقارن وجود داشته و باید رویه مربوط به نیمساز صفحه $x-y$ به عنوان قدرت هدف اصلی انتخاب شود (شکل ۱۱).



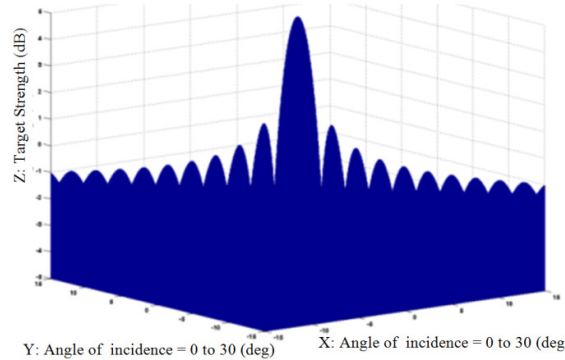
شکل ۱۱. قدرت هدف اصلی حاصل از پاها، بدن و کپسول هوای غواص در شای کراال عمودی با انحراف ۱۵ درجه بدن نسبت به موج برخوردی

استیل). اگر تغییرات زاویه‌ای پای راست را روی محور x و تغییرات زاویه‌ای پای چپ را روی محور y در نظر گرفته شود، محور Z قدرت هدف را نشان می‌دهد. شکل (۷) نشانگر قدرت هدف کلی غواص به همراه تجهیزات تنفسی است؛ باید توجه کرد که در این مقاله حالتی که بالاتنه و کپسول هوا یکدیگر را می‌پوشانند مورد بررسی قرار نگرفته‌است.



شکل ۷. قدرت هدف کلی بدن غواص و تجهیزات تنفسی در شای کراال عمودی

لازم به ذکر است که چون پاهای غواص در هنگام شنا به صورت متقارن حرکت می‌کنند، تمام نقاط رویه‌ی نشان داده شده در شکل (۷) قدرت هدف مطلوب نیست بلکه نقاطی از فضای سه‌بعدی که روی صفحه نیمساز صفحه $x-y$ قرار دارند قدرت هدف حاصل از پاهای غواص می‌باشند. شکل (۸) این مطلب را نشان می‌دهد.



شکل ۸. قدرت هدف مطلوب حاصل از حرکت پاها، بدن و کپسول هوای غواص در شای کراال عمودی

تا اینجا حالتی بررسی شد که غواص در جهت عمودی (حرکت به سمت سطح آب یا کف دریا) شنا می‌کرد و منبع از روبرو آن را مورد هدف قرار می‌داد. در مرحله بعدی فرض بر آن است که بدن غواص نسبت به این محور عمودی به اندازه‌ی زاویه ϕ انحراف پیدا می‌کند (شکل ۹)؛ لازم به ذکر است در این حالت نیز موج برخوردی بر صفحه حرکت پاها مماس است.

به‌عنوان مثال در شای کراال برای زاویه $\phi = 15^\circ$ تغییرات زاویه پاهای غواص در بازه ۰ درجه تا ۳۰ درجه قرار می‌گیرد که قدرت هدف حاصل از آنها در [۱۳] محاسبه و ارائه شده‌است.

قرار دهد. با تعیین دقیق تر ضرایب α و β برای جنس های مختلف کپسول هوا و لباس غواص و شرایط محیطی مورد آزمایش می توان به مدل سازی دقیق تری نیز دست یافت که این مهم فعالیت های بیشتر و کامل تری را در آینده می طلبد.

۵. مراجع

- [1] Hodges, R. P. "Underwater Acoustics Analysis Design and Performance of Sonar"; John Wiley, united kingdom, 2010.
- [2] Wait, A. D. "Sonar for Practicing Engineers"; John Wiley & Sons, England, 2002.
- [3] Miller, J. H.; Potter, D. C. "Active High Frequency Phased-Array Sonar for Whale Ship Strike Avoidance: Target Strength Measurements"; Proceedings of the IEEE/MTS Oceans 2001, 2104-2107.
- [4] Au, W. L. "Acoustic Backscatter from a Dolphin"; J. Acoust. Soc. Am. 1994, 95, 2881-2881.
- [5] Flammer, C. "Spheroidal Wave Functions"; Stanford Univ. Press, Stanford, Calif., 1957.
- [6] Chu, D. T.; Stanton, K. "Application of Pulse Compression Techniques to Broadband Acoustic Scattering by Live Individual Zooplankton"; J. Acoust. Soc. Am. 1998, 104, 39-55.
- [7] Urlick, R. J. "Principles of Underwater Sound"; McGraw - Hill, New York, 1983.
- [8] Stanton, T. K. "Sound Scattering by Cylinders of Finite Length. I. Fluid Cylinders"; J. Acoust. Soc. Am. 1988, 83, 55-63.
- [9] Gaunard, G. C. "Sonar Cross Sections of Bodies Partially Insonified by Finite Sound Beams"; IEEE J. Ocean Eng. 1985, 10, 213-230.
- [10] Clay, C. S.; Medwin, H. "Principles and Applications"; Acoustical Oceanography, Wiley - Interscience, New York, 1977.
- [11] Sarangapani, S.; Miller, J. H.; Potty, G. R.; Reeder, D. B.; Stanton, T. K.; Chu, D. "Measurements and Modeling of the Target Strength of Divers"; IEEE Oceans 2005 - Europe Conf., 2, 952-956.
- [12] Kerr, D. E. "Propagation of Short Radio Waves"; M.I.T. Radiation Laboratory Series, McGraw-Hill, New York, 1951.
- [13] Shabani, A.; Alavi, S. A. "Modeling and Parameter Identification of a Diver Using Target Strength"; 2th Radar Sys. Tech. Conf. 2013 (In Persian).
- [14] <http://www.goswim.ir/post/52>.
- [15] <http://fa.wikipedia.org/wiki/>.
- [16] Zampolli, M. F.; Jensen, B.; Tesei, A. "Review of Target Strength Information for Waterside Security Applications"; NURC-PR-2008.

در روش شناسایی غواص توسط سونار اکتیو با استفاده از شکل های بالا و توجه کردن به رفتار قدرت هدف و اکوی بازگشتی در مقابل تغییرات زاویه موج برخوردی به غواص در یک شنای خاص می توان به شناسایی غواص اقدام کرد. البته لازم به ذکر است که برای بررسی الگوی تغییر زاویه پاهای غواص در انواع روش های شنا کافی است دامنه تغییرات زاویه مربوط به آن الگو را در رابطه استفاده کرده و به شناسایی و آشکارسازی هدف دست یافت.

همان طور که ذکر شد در تمام موارد بالا و برای تمام زاویه های مختلف حرکت غواص راستای موج برخوردی به غواص با صفحه حرکت پاهای او مماس است. حال اگر غواص هنگام شنا به صورت مایل حرکت کند صفحه موج برخوردی بر صفحه حرکت پاها مماس نبوده و در این حالت شاهد تقارنی مانند موارد فوق نخواهیم بود.

۴. نتیجه گیری

یکی از کارکردهای مهم پدافند غیرعامل در عرصه نظامی و دریایی حفاظت از تجهیزات و زیرساخت های دریایی ساحلی است که به شدت در معرض خطر حمله و نفوذ غواصان هستند و شناسایی غواص و جلوگیری از ایجاد خطر به وسیله آن امری حیاتی می باشد. روش مناسب برای شناسایی غواص استفاده از خواص آکوستیکی و آشکارسازی آن در محیط زیر آب توسط سونار می باشد.

در این مقاله روشی برای مدل سازی و اندازه گیری قدرت هدف غواص و شناسایی آن ارائه شده است. ابتدا رابطه مناسب ارائه و نتایج به دست آمده توسط نرم افزار Matlab شبیه سازی شد. سپس نشان داده شد که می توان با توجه به تغییرات قدرت هدف غواص در حین شنا کردن، ناشی از تغییر زاویه، نسبت به شناسایی آن در زیر آب اقدام کرد. در واقع همان طور که بیان شد برای انجام این کار باید غواص را با یک شکل ساده تر مدل کرد تا بتوان قدرت هدف آن را محاسبه نمود. ساده ترین شکل ممکن برای این کار استفاده از استوانه با طول محدود است. بدن غواص و تجهیزات تنفسی به سه قسمت تقسیم شد و برای هر قسمت از مدل های استوانه ای و مدل Urlick برای مدل سازی و محاسبه قدرت هدف استفاده شد. قدرت هدف غواص و الگوهای اکوی بازگشتی آن در حالت های مختلف حرکت عمودی و یا با انحراف از محور اصلی مورد بررسی قرار گرفت. قابل توجه است که روش ارائه شده برای انواع مختلف شنا و با تعریف دامنه تغییرات زاویه پاها و بدن قادر است قدرت هدف را در فضایی سه بعدی در اختیار