Journal of Acoustical Engineering Society of Iran, Vol. 11, No. 1, 2023

(Research Article)
Determining source level directivity of a passenger ship with the data of the hydrophone array in the shallow water environment

A.A. Abniki[1], H. Sayyaadi[*2], M.S. Seif[2]
1. Faculty of Mechanical Engineering, Sharif University of Technology
2. Scientific Center of Hydrodynamics and Dynamics of Marine Vehicles, Faculty of Mechanical Engineering, Sharif University of Technology

Received: 2022/12/18, Accepted: 2023/07/19

Abstract

Underwater noise radiated by ships is one of the main sources of marine ambient noise and acoustic pollution for marine habitats. Thus, it is essential to determine and assess this type of noise. This study measured the source level directivity of a passenger ship at the frequency band ⅓ octave centered around 63 and 125 in a shallow water environment in the Persian Gulf. To receive the underwater noise of the target ship, a bed-mounted hydrophone array was used. The obtained data were compared with the data from a single B&K-8106 hydrophone located in the middle of the array. The results suggested that if accurate sound propagation modeling and AIS data are available, it is possible to calculate the source level of ships in shallow water using the bed-mounted hydrophone array. It was also observed that there is significant variability in the directivity curves at two frequencies of 63 and 125 Hz so that the source level in the angular range of 90° to 165° and 195° to 270° has higher values compared to other angle ranges. That is, there is more noise at the ship stern than at its front.

Keywords: Source level, Hydrophone array, Directivity, Underwater noise radiated.

pp. 25-32 (In Persian)

[*] Corresponding author E-mail: sayyaadi@sharif.edu

مقاله پژوهشی

مجله انجمن مهندسی صوتیّات ایران
سال ۱۴۰۲، دوره: ۱۱، شماره: ۱، صفحات: ۲۵-۳۲

تعیین جهت‌مندی تراز منبع شناور مسافربری با داده‌های آرایه هیدروفونی در محیط آب کم‌عمق

علی‌اصغر آب‌نیکی[1]، حسن صیادی*[2]، محمدسعید سیف[2]

۱. دانشگاه صنعتی شریف، پردیس بین الملل کیش

۲. قطب علمی هیدرودینامیک و دینامیک متحرک‌های دریایی، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف

دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۲۷، پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۲۸

چکیده

نوفه زیرآبی تشعشعی کشتی‌ها یکی از منابع اصلی نوفه محیطی دریا و آلودگی صوتی برای زیستگاه‌های دریایی است و از این‌رو تعیین و ارزیابی این نوع نوفه، حائز اهمیت است. در این مقاله، جهت‌مندی تراز منبع یک کشتی مسافربری در دو بسامد ۶۳ و ۱۲۵ هرتز یک‌سوم اکتاو باند در محیط آب کم‌عمق در خلیج فارس به‌دست آمده است. جهت دریافت نوفه زیرآبی کشتی هدف، از یک آرایه هیدروفونی کف‌خواب استفاده شده و نتایج آن با نتایج حاصل از داده‌های یک تک هیدروفون استاندارد الگوی بی‌اَندکِی-۸۱۰۶ مستقر در وسط آرایه مقایسه گردیده است. نتایج نشان می‌دهند که اگر الگوسازی انتشار صوتی دقیق و داده‌های اِی‌آی‌اِس در اختیار باشد، با استفاده از آرایه هیدروفونی کف‌خواب، محاسبه تراز منبع شناورها در آب کم‌عمق امکان‌پذیر است. هم‌چنین مشاهده گردید که تغییرپذیری قابل‌ملاحظه‌ای در نمودار جهت‌مندی در دو بسامد ۶۳ و ۱۲۵ هرتز وجود دارد به‌طوری‌که تراز منبع در بازه زاویه‌ای ۹۰ درجه تا ۱۶۵ درجه و ۱۹۵ درجه تا ۲۷۰ درجه نسبت به دیگر بازه‌های زاویه‌ای دارای مقادیر بیش‌تری است، یعنی نوفه شناور در بخش انتهایی آن نسبت به بخش جلویی آن بیش‌تر است.

کلیدواژه‌ها: تراز منبع، آرایه هیدروفونی، جهت‌مندی، نوفه زیرآبی تشعشعی.

۱. مقدمه

نوفه زیرآبی تشعشعی[1] کشتی‌ها، یکی از منابع اصلی نوفه محیطی[2] در دریا است که توسط انسان تولید می‌گردد [۱-۳] و این دسته از نوفه به یک منبع قابل توجه آلودگی صوتی برای زیستگاه‌های دریایی تبدیل شده است. به‌طور مثال ماهی کاد به نوفه تک بسامد در بازه ۳۰ تا ۴۷۰ هرتز حساس است [۴-۵]. از طرفی مشاهدات طولانی مدت نشان می‌دهند که تراز نوفه محیطی در بسامدهای پائین با گذشت زمان افزایش یافته است [۶-۷] و این امر اساساً نتیجه افزایش فعالیت‌های کشتی‌رانی تجاری است. از این‌رو ارزیابی اثرات صوتی فعالیت‌های کشتی‌رانی بر جانداران دریایی، یک مبحث حائز اهمیت جهت تحقیق می‌باشد. در سال‌های اخیر مطالعات بسیاری در خصوص تعیین نوفه زیرآبی تشعشعی کشتی‌های تجاری انجام شده است که تنها بر اندازه‌گیری نوفه در سمت راست کشتی[3] و در نزدیک‌ترین نقطه مجاورت کشتی و گیرنده صوتی (سی‌پی‌اِی)[4] متکی هستند (به‌طور مثال [۸-۱۰]). هم‌چنین چندین مطالعه نیز در خصوص تعیین جهت‌مندی تراز منبع (اِس‌اِل)[5] کشتی‌ها صورت گرفته است. به‌طور مثال در سال ۲۰۱۶ موستونن و همکاران [۱۱]، الگوی دایروی جهت‌مندی تراز منبع دو کشتی باربری و مسافربری را در بسامد ۶۳ و ۱۲۵ هرتز در یک محیط آب کم‌عمق در دریای بالتیک تعیین نمودند. آن‌ها در مطالعه خود، جهت دریافت نوفه کشتی‌ها از یک هیدروفون در نزدیکی بستر دریا استفاده نمودند. در سال ۲۰۱۳ گاگرو و همکاران [۱۲]، الگوی جهت‌مندی تراز منبع کشتی‌های مختلف (ماهی‌گیری، بازرگانی و تحقیقات ماهی‌گیری) را در شرایط مختلف در بسامدهای ۶۳، ۱۲۵،

* نویسنده پاسخگو: sayyaadi@sharif.edu

[1] Underwater radiated noise
[2] Ambient noise
[3] Starboard
[4] CPA; Closest Point of Approach
[5] SL; Source Level

۱۰۰۰ و ۵۰۰۰ هرتز براساس اندازه‌گیری میدانی ارائه نمودند. آن‌ها در تحقیق خود از سه هیدروفون در عمق‌های مختلف استفاده نمودند. در سال ۲۰۱۴ لیسینگ و همکاران [۱۳]، برای سه نوع کشتی (ماهی‌گیری، بازرگانی و تحقیقات ماهی‌گیری) در بسامدهای ۶۳ و ۱۲۵ هرتز، جهت‌مندی تراز نوفه تشعشعی کشتی‌ها را به‌دست آوردند و اثرات آن‌را بر ارزیابی نقشه‌های نوفه زیرآبی مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها در تحقیق خود از سه هیدروفون در عمق‌های مختلف استفاده نمودند.

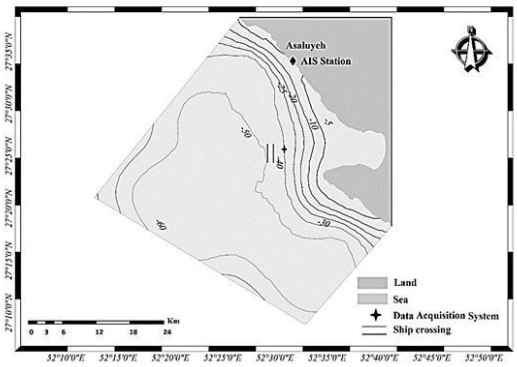
در این تحقیق، تعیین جهت‌مندی تراز منبع یک کشتی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج برای دو بسامد ۶۳ و ۱۲۵ هرتز ارائه شده‌اند. پس از تحلیل حوزه بسامد طیف علامت‌های دریافتی از شناورهای هدف مشخص گردید که بیشینه توان یا سطح علامت‌های مذکور در بازه بسامدی ۵۰ تا ۱۷۰ هرتز می‌باشد. جهت انتخاب زیربازه‌های بسامدی در بازه ۵۰-۱۷۰ هرتز، از بازه‌های بسامدی باندهای اکتاو[1] استفاده شده است که رایج ترین باند اکتاو، اکتاو۱/۳(یک سوم) است که نسبت حد بالایی به حد پایینی بازه، جذر مرتبه سوم عدد دو (تقریباً ۱/۲۶) می‌باشد. توالی متوسط بسامدهای اکتاو در هنگام اندازه‌گیری شدت صوتی، بسامدهای: ۳۱/۵، ۶۳، ۱۲۵، ۲۵۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۴۰۰۰، ۸۰۰۰ هرتز هستند [۱۴]. بنابراین دو بسامد ۶۳ و ۱۲۵ هرتز انتخاب شده‌اند.

در این پژوهش جهت دریافت نوفه زیرآبی کشتی هدف، از یک آرایه هیدروفونی کف‌خواب استفاده شده و نتایج آن با نتایج یک تک هیدروفون استاندارد الگوی بی‌آندکِی-۸۱۰۶ مستقر در وسط آرایه مقایسه گردیده است. در پژوهش‌های گذشته جهت تعیین جهت‌مندی تراز منبع امواج صوتی از آرایه هیدروفونی کف‌خواب استفاده نشده و از آن‌جا که در این پژوهش جهت دریافت نوفه زیرآبی کشتی هدف، از یک آرایه هیدروفونی کف‌خواب استفاده شده است این امر نوآوری پژوهش حاضر محسوب می‌شود.

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. تشریح مشخصات شناور هدف و شرایط اندازه‌گیری

اندازه‌گیری نوفه ساطع‌شده از شناورهای هدف توسط دانشگاه صنعتی شریف در ژانویه ۲۰۱۶ انجام شده است. این اندازه‌گیری‌ها براساس استاندارد معرفی‌شده در منبع [۱۵] انجام شده است.



شکل ۱ محل استقرار نزدیکی ایستگاه اندازه‌گیری صوتی کف‌خواب ساحل بندر عسلویه در خلیج‌فارس.

جدول ۱ مشخصات آرایه هیدروفونی.

ردیف	مشخصه	مقدار
۱	بسامد مرکزی آرایه	۱۵۰۰ هرتز
۲	نوع اثر قابل آشکارسازی از شناورهای هدف (حسگرهای به‌کار رفته در سامانه)	اثر صوتی (حسگر صوتی)
۳	تعداد کانال‌های صوتی	هشت کانال (حسگر استاندارد)
۵	بازه بسامدی داده‌برداری صوتی	۱۰ هرتز– ۳ کیلوهرتز
۷	بسامد نمونه‌برداری در کانال‌های صوتی	۱۰ کیلوهرتز برای هر کانال
۹	بسامد کاری پردازش‌گر برای کانال‌های صوتی	۸۰۰ مگاهرتز

یک ایستگاه اندازه‌گیری صوتی کف‌خواب شامل یک آرایه هشت هیدروفونی به طول ۴ متر و یک حسگر استاندارد الگوی بی‌آندکِی-۸۱۰۶، جهت اندازه‌گیری نوفه زیرآبی شناورهای هدف مورد استفاده قرار گرفتند. مشخصات این آرایه و حسگر در جدول ۱ و ۲ ارائه شده‌اند. ایستگاه اندازه‌گیری صوتی در محلی با عمق ۴۰ متر در نزدیکی ساحل بندر عسلویه در خلیج‌فارس مستقر بود (شکل ۱).

[1] Octave band

جدول ۲ مشخصات حسگر منبع بی‌اَندکِی-۸۱۰۶.

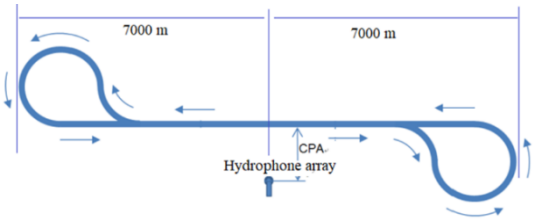
ردیف	مشخصه	مقدار
۱	حساسیت گیرندگی	۲٫۲۴ میلی‌ولت بر پاسکال
۲	پاسخ بسامدی	۱۰ هرتز تا ۱۰ کیلوهرتز ۳٫۰-۰٫۵+ دسی‌بل ۷ هرتز تا ۳۰ کیلوهرتز ۶٫۰-۰٫۵+ دسی‌بل
۳	دما	۱۰ تا ۶۰ درجه سلسیوس
۴	ولتاژ	۱۲ تا ۲۴ ولت‌دی‌سی
۵	جریان مصرفی	۶ میلی‌آمپر
۶	تراز فشار صوتی اشباع	۱۲ ولت: ۱۸۲ دسی‌بل نسبت به ۱ میکروپاسکال ۱۲ ولت: ۱۸۲ دسی‌بل نسبت به ۱ میکروپاسکال
۷	وزن	۳۸۲ گرم

جدول ۳ مشخصات شناور هدف مورد نظر در این تحقیق.

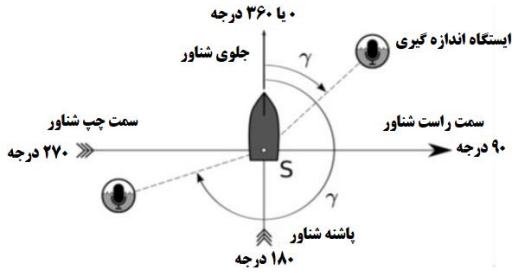
ردیف	مشخصه	شناور هدف
۱	طول کلی	۵۳ متر
۲	عرض	۱۴ متر
۳	وزن خالص	۹۴۳ تن
۵	آب‌خور	۵٫۱ متر
۷	بازه سرعت	۱۳-۱۷ گره دریایی
۹	تعداد پره‌های پروانه	چهار
۱۰	قطر پروانه	۵٫۴ متر
۱۱	بیشینه توان موتور	۵۵۰۰ اسب‌بخار
۱۲	نوع موتور	دیزل شش سیلندر
۱۳	ژنراتور	دیزل چهار سیلندر

شناور هدف در طی اندازه‌گیری میدانی، یک شناور مسافربری بود که مشخصات آن‌ها در جدول ۳ ارائه گردیده است.

مسیر حرکت شناور هدف نسبت به آرایه هیدروفونی در شکل ۲ نمایش داده شده است. در طی اندازه‌گیری‌ها، سامانه تعیین هویت خودکار (اِی‌آی‌اِس) نصب شده بر روی شناور هدف، به‌طور خودکار و پیوسته، اطلاعات مربوط به شناور را که شامل هویت، موقعیت، سمت و سرعت آن است را به ایستگاه ساحلی ارسال می‌نمود. این داده‌ها جهت تعیین موقعیت شناور هدف نسبت به ایستگاه اندازه‌گیری زیرآبی استفاده گردید (شکل ۳).



شکل ۲ مسیر حرکت شناور نسبت به آرایه هیدروفونی در این تحقیق.



شکل ۳ شناور هدف و هندسه استقرار ایستگاه اندازه‌گیری زیرآبی، زاویه جهت‌مندی، زاویه بین سمت شناور هدف و موقعیت ایستگاه اندازه‌گیری زیرآبی.

۲-۲. پردازش داده‌ها

در اندازه‌گیری انجام‌شده، زمان داده‌برداری حدود ۶ دقیقه می‌باشد. با توجه اطلاعات اِی‌آی‌اِس و موقعیت شناور هدف، علامت دریافتی از شناور به تکه‌های[1] زمانی تقسیم‌بندی شدند که هر تکه مربوط به یک موقعیت مکانی و زاویه‌ای خاص از شناور هدف می‌باشد. سپس در هر تکه زمانی با استفاده از پنجره هنینگ[2] با ۵۰ درصد پوشش، تابع چگالی طیف توان (پی‌اِس‌دی)[3] در بسامدهای اکتاو باند مورد نظر محاسبه گردید. تراز دریافت‌شده (آرِال)[4] از رابطه ۱ به‌دست می‌آید:

$$RL = 10 \times \log_{10}(P) - S \qquad (1)$$

که در آن P چگالی طیف توان علامت بوده و S حساسیت گیرنده امواج صوتی است.

تراز دریافت‌شده، تراز فشار صوتی دریافت‌شده توسط ایستگاه اندازه‌گیری زیرآبی است. مقدار تراز دریافت‌شده

[1] Segments
[2] Hanning
[3] PSD; Probability Density Function
[4] RL; Reciever Level

(آرال) از طریق اندازه‌گیری در محل آرایه معلوم می‌باشد. تراز دریافت‌شده از تفریق مقدار اتلاف انتشار (تی‌ال)[1] از تراز منبع به‌دست می‌آید [۲]. مقدار اتلاف انتشاری نیز از طریق شبیه‌سازی انتشار امواج صوتی تعیین می‌گردد. بنابراین با معلوم بودن تراز دریافت‌شده و اتلاف انتشار در هر بسامد، تراز منبع نیز قابل محاسبه است.

۲-۳. الگوسازی اتلاف انتشار

تراز دریافت‌شده، تراز فشار صوتی دریافت‌شده توسط ایستگاه اندازه‌گیری زیرآبی است. جهت محاسبه تراز دریافت‌شده در بسامدهای اکتاو باند، داده‌های اندازه‌گیری‌شده مورد پردازش قرار گرفتند. رابطه بین تراز دریافت‌شده (آرال) و تراز منبع (اِس‌اِل) در معادله ۲ ارائه شده است.

$$RL = SL - TL \qquad (۲)$$

که تی‌اِل نشان‌دهنده اتلاف انتشار است. اِس‌اِل به عنوان تراز فشار صوتی در فاصله یک متری منبع صوتی در جهت دریافت امواج صوتی تعریف می‌گردد. تمام بخش‌های معادله فوق بر حسب دسی‌بل نسبت به یک میکروپاسکال بیان می‌گردد. جهت تعیین تراز منبع، می‌بایست اتلاف انتشار معلوم باشد. در شرایط آب عمیق[2]، گسترش امواج صوتی را می‌توان به‌صورت کروی در نظر گرفت و از این‌رو، اتلاف انتشار را می‌توان به‌صورت معادله ۳ بیان نمود [۱۶].

$$TL = ۲۰ \times \log\left(r / r_{ref=۱m}\right) \qquad (۳)$$

یک علامت صوتی که از آب دریا عبور می‌کند به علت اثر مسیرهای چندگانه دچار اغتشاش و ناهمگونی شده و به علت عوامل مختلف اتلافی، تضعیف می‌گردد. اتلاف انتشار، بیان‌کننده تغییر توان علامت با مسافت است. در واقع اتلاف عبوری عبارت است از نسبت دو شدت بر حسب دسی‌بل، یکی از این دو شدت عبارت است از $I(r,z)$ که شدت در یک نقطه از میدان است و دیگری I_o شدت در فاصله یک متری از چشمه صوتی است:

$$TL = -۱۰ \, Log \frac{I(r,z)}{I_o} = -۲۰ \, Log \frac{|p(r,z)|}{|P_o|} \, [dB \; re۱m] \qquad (۴)$$

اتلاف انتشار به‌صورت مجموع اتلاف در اثر گسترش شکل موج (یا پخش شدگی) و اتلاف در اثر تضعیف می‌باشد. بر این اساس می‌توان روابط اتلاف انتشار را برای حالت گسترش کروی و استوانه‌ای به ترتیب به‌صورت زیر نوشت:

$$TL = -۲۰ \, Log(r) + \alpha r$$
$$TL = -۱۰ \, Log(r) + \alpha r \qquad (۵)$$

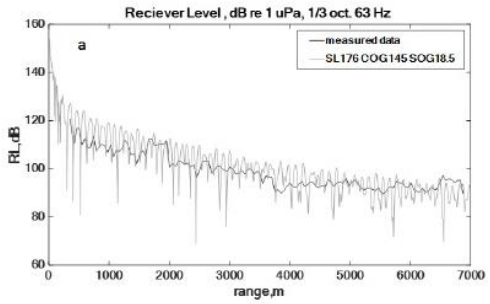
که r فاصله بین منبع امواج صوتی و گیرنده بر حسب متر می‌باشد. ضریب تضعیف α از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$\alpha = ۳/۳ \times ۱۰^{-۳} + \frac{۰/۱۱ f^۲}{۱ + f^۲} + \frac{۴۴ f^۲}{۴۱۰۰ + f^۲} + ۳ \times ۱۰^{-۴} f^۲ \, [dB / km] \qquad (۶)$$

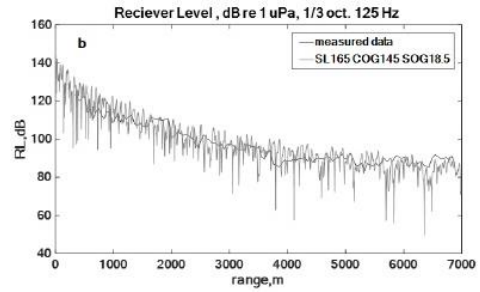
در شرایط آب کم‌عمق، از تأثیر بستر دریا نمی‌توان صرف‌نظر نمود. در این حالت، می‌بایست از الگوسازی انتشار امواج صوتی استفاده کرد تا بتوان اثر شیب بستر، ویژگی‌های صوتی بستر و نیم‌رخ سرعت صوتی[3] را لحاظ نمود. با توجه به بسامدهای پایین مورد نظر در این تحقیق و محیط ناهمگن انتشار امواج صوتی، می‌توان از روش معادلات سهموی (پی‌ایی)[4] استفاده نمود. در این مطالعه، الگوی انتشار امواج صوتی (آرای‌ام)[5] [۱۷] که مبتنی بر پیاده‌سازی معادلات سهموی است، جهت حل مسئله انتشار امواج صوتی مورد استفاده قرار گرفته است. ورودی این الگو شامل شیب بستر، نیم‌رخ سرعت صوتی و مشخصه‌های زمین صوتی[6] بستر دریا و هم‌چنین موقعیت منبع صوتی و گیرنده می‌باشد. خروجی الگو، مقدار تی‌اِل در صفحه منبع و گیرنده (عمق- برد) است. در اینجا، منبع امواج صوتی، شناور هدف است که موقعیت آن در طی اندازه‌گیری‌ها توسط داده‌های اِی‌آی‌اِس[7] تعیین می‌گردد. برای شناور هدف که از نزدیکی محل استقرار ایستگاه اندازه‌گیری زیرآبی عبور می‌کند، می‌توان انتشار امواج صوتی دو- بعدی را از محل استقرار ایستگاه اندازه‌گیری زیرآبی و تخمین موقعیت شناور هدف به‌دست آورد. پس از الگوسازی دو- بعدی انتشار امواج صوتی، مقدار اتلاف انتشار اندازه‌گیری‌شده و الگوسازی‌شده، سازگار گردد. به‌طور مثال در شکل‌های ۴ الی ۶، به ترتیب برای بسامد

[1] TL; Transmission Loss
[2] Deep water
[3] Sound speed profile
[4] PE; Parabolic Equation
[5] RAM; Range dependent Acoustic Model
[6] Geo-acoustic
[7] AIS; Automatic Identification System

یک‌سوم اکتاو باند ۶۳ هرتز (به ازای تراز منبع ۱۷۶ دسی‌بل نسبت به ۱ میکروپاسکال) و برای بسامد ۱۲۵ هرتز (به ازای تراز منبع ۱۶۴ دسی‌بل نسبت به ۱ میکروپاسکال)، داده‌های اندازه‌گیری از شناور هدف، بهترین سازگاری را با داده‌های الگوسازی دارند. داده‌های اندازه‌گیری‌شده (آرال)، برای هر ثانیه میانگین‌گیری شده‌اند.



(الف)

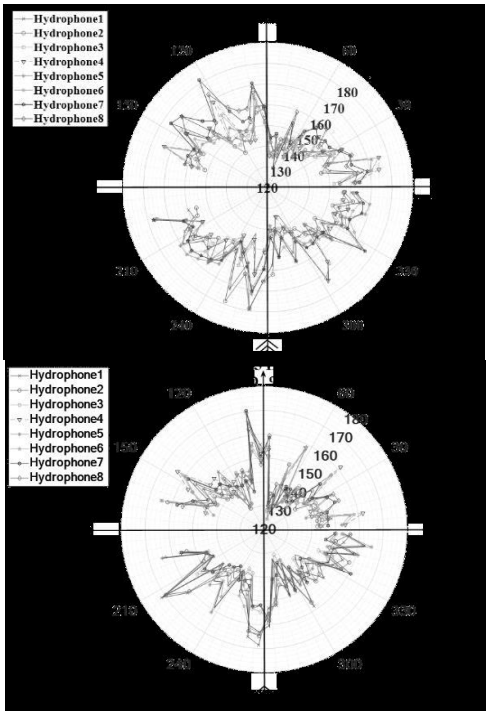


(ب)

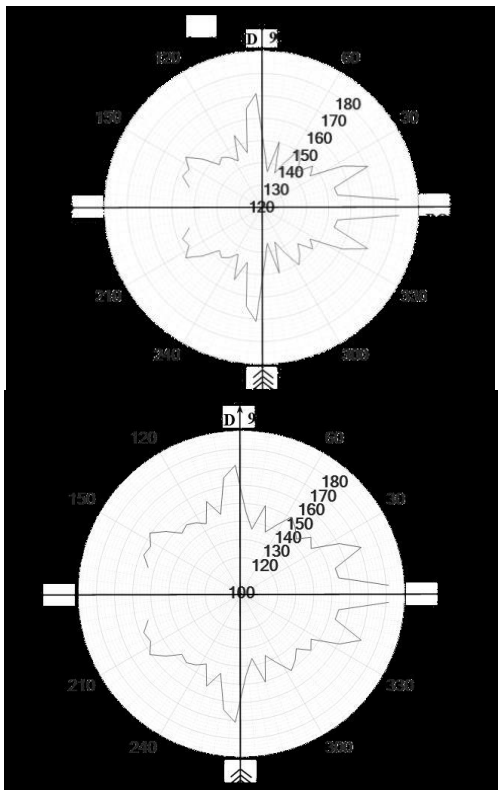
شکل ۴ خط آبی–داده اندازه‌گیری‌شده از شناور هدف، خط قرمز–داده الگوسازی‌شده، (الف) نتایج بسامد ۶۳ هرتز یک‌سوم اکتاو باند و (ب) نتایج بسامد ۱۲۵ هرتز یک‌سوم اکتاو باند.

۳. نتایج

برای زوایای مختلف، تراز منبع از موقعیت‌های معلوم شناور هدف محاسبه می‌شود. شکل ۵، نمودار جهت‌مندی تراز منبع را در بسامدهای ۶۳ و ۱۲۵ هرتز اکتاو برای شناور هدف در سرعت ۱۸٫۵ گره دریایی[1]، سی‌پی‌اِی برابر با یک کیلومتر، سرعت باد نه گره دریایی، با استفاده از داده‌های آرایه هیدروفونی نشان می‌دهد. تمام داده‌های اندازه‌گیری‌شده مورد استفاده در این شکل‌ها مربوط به اندازه‌گیری تیم دانشگاه شریف در ژانویه ۲۰۱۶ است. نمودارهای جهت‌مندی در این شکل برای زوایای هشت درجه تا ۱۶۵ درجه و ۱۹۵ درجه تا ۳۵۲ درجه ارائه شده



شکل ۵ نمودار جهت‌مندی شناور هدف در بسامد ۶۳ و ۱۲۵ هرتز یک‌سوم اکتاو باند با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری‌شده آرایه هیدروفونی.



شکل ۶ نمودار جهت‌مندی شناور هدف در بسامد ۶۳ و ۱۲۵ هرتز یک‌سوم اکتاو باند با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری‌شده هیدروفون بی‌اَندکِی-۸۱۰۶.

[1] Knote

است زیرا سطح علامت دریافت‌شده از شناور در این بازه‌های زاویه‌ای مناسب بود و در خارج از این بازه‌ها، نوفه محیطی بر سطح علامت شناور غالب می‌شود. شکل۵، نمودار جهت‌مندی تراز منبع شناور هدف را با استفاده از داده‌های هیدروفون بی‌اَندکِی- ۸۱۰۶ که در مرکز آرایه هیدروفونی قرار داشت، نشان می‌دهد.

۴. بحث

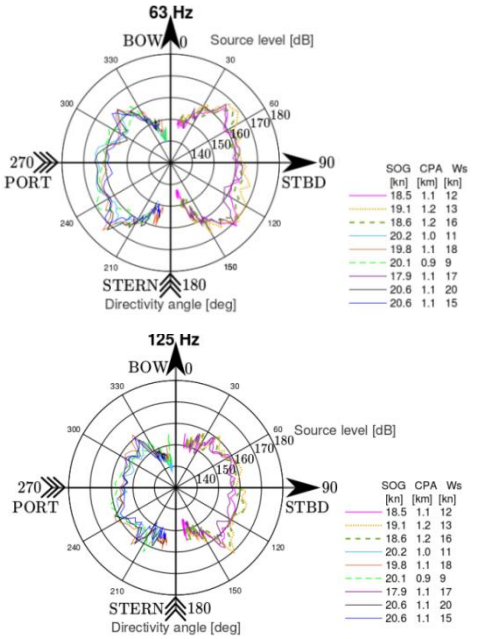
تجزیه و تحلیل این پژوهش نشان می‌دهد که محاسبه تراز منبع براساس نوفه ضبط‌شده کشتی در آب‌های کم‌عمق امکان‌پذیر است. برای این کار، دقیق بودن الگوسازی انتشار امواج صوتی زیرآب، در دسترس بودن داده‌های اِی‌آی‌اِس و تعیین مقادیر تلفات انتشار امواج صوتی برای منطقه اطراف ایستگاه ضبط نوفه کشتی مورد نیاز است. شایان ذکر است هر چقدر مقادیر انتشار امواج صوتی به‌دست‌آمده با استفاده از الگوسازی، دقیق‌تر باشد، مقادیر تراز منبع با دقت بیش‌تری به‌دست می‌آید و تغییرات آن کاهش می‌یابد. روش به‌کار رفته در این تحقیق، محدودیت‌های طبیعی خود را برای زوایای جهت نزدیک به صفر درجه و ۱۸۰ درجه دارد که در آن کاهش نسبت علامت به نوفه محیط، قابلیت اطمینان نتایج را کاهش می‌دهد.

علاوه بر این می‌بایست همگام‌سازی دقیقی میان داده‌های اِی‌آی‌اِس با داده‌های نوفه صوتی کشتی انجام شود، زیرا جابه‌جایی زمان ساعت دستگاه ضبط نوفه کشتی‌ها می‌تواند نتایج نادرستی را پدید آورد.

همان‌گونه که در شکل ۵ می‌توان مشاهده نمود، همه حسگرهای آرایه دارای منحنی‌های تراز منبع تقریباً مشابهی هستند. دلیل این امر تشابه مشخصات صوتی و الکترونیکی حسگرها و فاصله کم آن‌ها است. نمودارهای جهت‌مندی نشان می‌دهند که تراز منبع در هر دو بسامد ۶۳ و ۱۲۵ هرتز، در بازه زاویه‌ای ۹۰ تا ۱۶۵ درجه (بین پاشنه و سمت راست شناور) و در بازه زاویه‌ای ۱۹۵ درجه تا ۲۷۰ درجه (بین سمت چپ شناور و پاشنه آن) نسبت به دیگر بازه‌های زاویه‌ای دارای مقادیر بیش‌تری است یعنی تراز منبع در بخش انتهایی شناور بیش‌تر می‌باشد که این امر به دلیل وجود منابع نوفه شناور مانند موتورهای پیش‌رانش، ژنراتورها و غیره در بخش انتهایی شناور است. با مقایسه شکل ۶ در بسامدهای مشابه می‌توان دریافت که تطابق مناسبی بین نمودار جهت‌مندی هیدروفون بی‌اَندکِی- ۸۱۰۶ با آرایه هیدروفونی وجود دارد. این امر نشان می‌دهد که می‌توان از آرایه هیدروفونی کف‌خواب نیز برای تعیین جهت‌مندی تراز منبع شناورها استفاده نمود.

در شکل ۷ نتایج تحقیق موستونن و کلاسون [۱۱] در تعیین جهت‌مندی تراز منبع یک کشتی باری برای باند یک سوم اکتاو ۶۳ و ۱۲۵ هرتز ارائه شده است. در توضیحات این شکل، اِس‌اُجی[1] (سرعت روی زمین بر حسب نات دریایی)، سی‌پی‌اِی (نزدیکترین نقطه نزدیک)، Ws (سرعت باد)، دی‌آر‌اِف‌تی[2] (آبخور کشتی) نمایش داده شده‌اند.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود نتایج تحقیق کنونی با نتایج پژوهش موستونن و کلاسون در تعیین جهت‌مندی تراز صوتی سازگاری دارد.



شکل ۷ نتایج تحقیق موستونن و کلاسون در تعیین جهت‌مندی تراز منبع یک کشتی باری برای باند یک‌سوم اکتاو ۶۳ و ۱۲۵ هرتز [۱۱].

۵. نتیجه‌گیری

در این مطالعه، تراز منبع یک شناور مسافربری و جهت‌مندی آن در محیط کم‌عمق خلیج‌فارس با استفاده از

[1] SOG
[2] Drft

داده‌های اندازه‌گیری‌شده یک آرایه هیدروفونی کف‌خواب در دو بسامد ۶۳ و ۱۲۵ هرتز یک‌سوم اکتاو باند تعیین گردید و نتایج با نمودارهای جهت‌مندی تراز منبع تعیین‌شده یک هیدروفون بی‌اَندکِی-۸۱۰۶ که در مرکز آرایه قرار داشت، مقایسه گردید.

تحلیل‌ها نشان دادند که اگر الگوسازی انتشار امواج صوتی دقیق و داده‌های اِی‌آی‌اِس در اختیار باشد، با استفاده از آرایه هیدروفونی کف‌خواب، محاسبه تراز منبع شناورها در آب کم‌عمق امکان‌پذیر است. در این حالت، می‌توان تراز منبع شناور را به روش پس محاسبه به‌دست آورد. روش پژوهش حاضر دارای یک محدودیت ذاتی برای زوایای نزدیک به صفر و ۱۸۰ درجه است زیرا در نزدیکی این زوایا، سطح علامت دریافتی شناورهای هدف، پائین‌تر از سطح نوفه محیطی می‌باشد. نتایج نشان دادند که تغییرپذیری قابل ملاحظه‌ای در نمودار جهت‌مندی در دو بسامد ۶۳ و ۱۲۵ هرتز اکتاو وجود دارد به‌طوری‌که تراز منبع در زوایای در بازه زاویه‌ای ۹۰ تا ۱۶۵ درجه و ۱۹۵ تا ۲۷۰ درجه نسبت به دیگر بازه‌های زاویه‌ای دارای مقادیر بیش‌تری است. یعنی نوفه شناور در بخش انتهایی آن نسبت به بخش جلویی آن بیش‌تر است و این امر به دلیل قرارگیری منابع نوفه شناور در بخش انتهایی آن است. جهت فراهم نمودن اطلاعات بیش‌تر در مورد جهت‌مندی نوفه صوتی تشعشعی شناورها، می‌بایست دیگر باندهای بسامدی مورد تحقیق قرار گیرند.

تقدیر و تشکر

نویسندگان این مقاله به‌طور ویژه از آقایان عباس فتح‌تبار و وحید زارع‌پور تشکر می‌کنند که در ارتقاء کیفی این پژوهش پیشنهادات مفیدی داشتند.

تضاد منافع

این مطالعه، تضاد منافع ندارد.

فهرست منابع

[1] J.A. Hildebrand, “Anthropogenic and natural sources of ambient noise in the ocean,” Marine Ecology Progress Series, vol. 395, pp. 5-20, 2009.

[2] M.F. McKenna, D. Ross, S.M. Wiggins, J.A. Hildebrand, “Underwater radiated noise from modern commercial ships,” The Journal of the Acoustical Society of America, vol. 131, no. 1, pp. 92-103, 2012.

[3] G.M. Wenz, “Acoustic Ambient Noise in the Ocean: Spectra and Sources,” The Journal of the Acoustical Society of America, vol. 34, pp. 1936-1962, 2002.

[4] C.J. Chapman, A.D. Hawkins, “A field study of hearing in the cod, Gadus morhua L.,” Journal of Comparative Physiology, vol. 85, pp. 147–167, 1973.

[5] J.T. Nordeide, E. Kjellsby, “Sound from spawning cod at their spawning grounds,” ICES Journal of Marine Science, vol. 56, pp. 326–332, 1999.

[6] R.K. Andrew, B.M. Howe, J.A. Mercer, “Ocean ambient sound: Comparing the 1960s with the 1990s for a receiver off the California coast,” Acoustics Research Letters Online, vol. 3, pp. 65-72, 2002.

[7] M.A. McDonald, J.A. Hildebrand, S.M. Wiggins, “Increases in deep ocean ambient noise in the Northeast Pacific west of San Nicolas Island, California,” Journal of Acoustic Society American, vol. 120, no. 2, pp. 711-718, 2006.

[8] V. Humphrey, A. Brooker, R. Dambra, E. Firenze, “Variability of underwater radiated ship noise measured using two hydrophone arrays,” IEEE, pp. 230-237, 2015.

[9] Z. Peng, J. Fan, B. Wang, “Analysis and modelling on radiated noise of a typical fishing boat measured in shallow water inspired by AQUO project’s model,” Archives of Acoustic, vol. 43, no. 2, pp. 263–273, 2018.

[10] P. Jiang, J. Lin, J. Sun, X. Yi, Y. “Shan Source spectrum model for merchant ship radiated noise in the Yellow Sea of China,” Ocean Engineering, pp. 156-165, 2020.

[11] M. Mustonen, A. Klauson, J. Laanearu, M. Ratassepp, T. Folegot, D. Clorennec, “Passenger ship source level determination in shallow water environment,” Procceding Mtgs. Acoustic, vol. 27, pp. 348-358, 2016.

[12] T. Gaggeroa, M. Van der Schaarb, R. Salinasc, P. Beltránc, E. Rizzutoa, M. Andréb, “Directivity patterns of ship underwater noise emissions,” 1st International Conference and Exhibition on Underwater Acoustics, pp. 1295-1301, 2013.

[13] T. Leissing, C. Audoly, C. Rousset, “Influence of ship radiated noise level directivity on the assessment of undwerwater noise maps,” 2nd International Conference and Exhibition on Underwater Acoustic, pp. 1609-1614, 2014.

[14] M. Long, “Architectural Acoustics” 2rd ed. Academic Press, Cambridge, Massachusetts, pp. 129-174, 2014.

[15] “ITTC Recommended Procedures and

Guideline- Underwater Noise from Ship, Full Scale Measurements," International Towing Tank Conference, pp. 1-26, 2017.

[16] F.B. Jensen, W.A. Kuperman, M.B. Porter, "Computational Ocean Acoustics," second Edition, 2011.

[17] M.D. Collins, "A split-step Padé solution for the parabolic equation method," Journal of Acoustics Society America, vol. 93, pp. 1736-1742, 1993.