



ORIGINAL RESEARCH PAPER (Marine Science)

Acoustic Propagation Analysis in the front of Saline Water Mass in the Gulf of Aden

*Leila Karimi¹, Mohammad Akbari Nasab^{*2}, Raheleh Shafiee Sarvestani³*

¹ M.Sc. in Marine Physics, Faculty of Marine and Oceanic Sciences, University of Mazandaran, Iran

² Assistant Professor of Marine Physics, Faculty of Marine and Oceanic Sciences, University of Mazandaran, Iran

³ Doctor of Marine Physics, Faculty of Marine and Oceanic Sciences, Institute Teacher Fars, Shiraz, Iran

Abstract

Background and Objectives: Influence of water mass on sound propagation in the Gulf of Aden underwater acoustics used for communication, navigation and identification of objects by both humans and marine mammals and for investigating the detrimental effects of anthropogenic activities (e.g. pile driving, seismic survey and ships) on marine animals. The Gulf of Aden presents a unique ecosystem that deserves scientific attention. In addition to its extraordinary biotic richness, the Gulf of Aden also serves as a highway for international trade between east and west. The Gulf of Aden is an important Gulf connecting Red sea water with the Indian Ocean. Red Sea Water is the most prominent water mass in the Gulf of Aden and there is no ambiguity about its origin. It outflows into the Gulf of Aden from the Red Sea through Bab-el-Mandab strait. Sound speed in the oceans depends on temperature, salinity, and pressure and has large seasonal and spatial variations.

Methods: This paper studies patterns and seasonal variations of propagation sound in the presence of the Red sea water mass by using a coupled ocean model (MITgcm) and an acoustic model (ray method). For this purpose, first using the results of Shafiei et al. (1397), temperature and salinity output were extracted and then using the Mackenzie equation, the speed of sound was calculated.

Findings: By examining the sound speed profile horizontally and vertically, the intrusion flow of the Red Sea water to the Gulf of Aden was observed at depths of 300 to 800 meters Also in winter, the outflow area of the Red Sea is larger than in summer. Then, the influence of this strong intrusion on sound propagation are comprehensively analyzed with the parabolic equation and explained by using the ray theory. Using the ray theory, in the presence of infiltration flow of Red Sea water to the Gulf of Aden in different scenarios, including in the direction perpendicular to this flow, parallel to the movement of this flow and different depths of the sound source, how sound propagation from this phenomenon in these seasons Analyzed.

Conclusion: Propagation sound was studied in 2D and 3D, the results show that displacement the sound source across intrusion flow can change the propagation paths and cause the convergence zone to broaden and approach the sound source. In addition, the results of two-dimensional and three-dimensional simulations showed that the presence of these masses caused changes in the distribution of acoustic energy in both seasons. Overall, the results show that intrusion flow can change the propagation paths and cause the convergence zone to broaden and approach the sound source.

Keywords: water mass- sound propagation- acoustic energy distribution - infusion flow – Gulf of Aden – Ray method

مقاله پژوهشی (علوم دریایی)

بررسی نحوه انتشار صوت در حضور توده آب شور در خلیج عدن

لیلا کریمی^۱، محمد اکبری نسب^{۲*}، راحله شفیعی سروستانی^۳^۱دانشجوی ارشد فیزیک دریا، دانشکده ی علوم دریایی و اقیانوسی، دانشگاه مازندران leilakarimi8648@gmail.com^۲دانشیار فیزیک دریا، دانشکده ی علوم دریایی و اقیانوسی، دانشگاه مازندران m.akbarinasab@umz.ac.ir^۳دکتری فیزیک دریا، پژوهشکده معلم فارس، شیراز rahele_shafiee@yahoo.com

چکیده:

پیشینه و اهداف: اکثر تجهیزات اندازه گیری در دریا، براساس تکنولوژی آکوستیک ساخته می شود. پرتوهای آکوستیکی تحت تاثیر پدیده های دریایی، دچار تغییرات خواهد شد.

روش ها: در این مقاله، جفت مدل اقیانوسی (MITgcm) و مدل آکوستیکی (روش پرتو) در خلیج عدن، جهت بررسی رفتار انتشار صوت در این منطقه، به صورت دو بعدی و سه بعدی در فصل های زمستان و تابستان مطالعه گردید. بدین منظور ابتدا با استفاده از نتایج شفیعی و همکاران (۱۳۹۷)، خروجی دما و شوری استخراج گردید و سپس با استفاده از فرمول منکنزی، سرعت صوت محاسبه گردید.

یافته ها: با بررسی نیمرخ سرعت صوت بصورت افقی و قائم، خروجی توده آب دریای سرخ به خلیج عدن در عمق های ۳۰۰ تا ۸۰۰ متری مشاهده شد، که با مطالعات قبلی همخوانی داشت. نتایج نشان داد که در فصل زمستان، پهنه خروجی آب دریای سرخ بیشتر از تابستان است. با استفاده از روش پرتو، در حضور جریان نفوذی آب دریای سرخ به خلیج عدن در سناریوهای مختلف از جمله در راستای عمود بر این جریان، موازی با حرکت این جریان و اعماق مختلف منبع صوتی، نحوه انتشار صوت ناشی از این پدیده در این فصول مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

نتیجه گیری: نتایج نشان داد، که جابجای منبع صوتی بشدت رفتار پرتوهای صوتی را تحت تاثیر قرار می دهد. نتایج انتشار صوت وابستگی شدید به قرارگیری چشمه آکوستیکی در عمق هایی که توده آب دریای سرخ در فصل های مختلف قرار دارد، نشان داد. در شبیه سازی انتشار صوت در راستای افقی حرکت جریان نفوذی، چنانچه منبع در انتهای خلیج عدن نصب شده باشد، نسبت به حالتی که در ابتدا خلیج نصب شده باشد، در هر دو فصل، تلفات انتقال صوت در تمام لایه ها کمتر می باشد که با الگوی مقطع طولی و عرضی تغییرات سرعت صوت همخوانی دارند. در ضمن نتایج شبیه سازی دو بعدی و سه بعدی نشان داد که حضور این توده ها باعث تغییرات در توزیع انرژی آکوستیکی در هر دو فصل گردید.

کلمات کلیدی: جفت مدل آکوستیکی و عددی- جریان نفوذی- خلیج عدن- روش پرتو

مقدمه:

انتشار صوت در مناطق مختلف جهان انجام شده است (۱-۵). در محیط دریا عوامل مختلفی مانند باد، اثرات جزر و مدی، جریان نفوذی، امواج درونی بر روی انتشار صوت در دریا تاثیر گذارند. براساس موقعیت فرستنده ها و گیرنده ها در اعماق و فرکانس منابع، هر کدام از عوامل تاثیر خاصی بر روی فشار آکوستیکی دارند در نتیجه مطالعات بسیاری در این حیطه انجام شده است (۶-۹). برای محاسبه فشار آکوستیکی در دریا نحوه توزیع چگالی و همچنین نحوه

در محیط زیر آب به علت تضعیف زیاد امواج الکترومغناطیسی و نوری، برای بردهای متوسط و بلند همواره از امواج صوتی به منظور ارسال سیگنال استفاده می شود. آکوستیک زیر آب اغلب برای تشخیص و آشکار سازی زیر دریایی ها به کار می رود، همچنین در کارهایی نظیر ارتباطات زیر دریا، نقشه برداری از ساختار و توپوگرافی اقیانوس، مکان یابی معادن فلزات، آثار باستانی و مطالعات زیست شناسی دریایی نیز کاربردهای زیادی دارد. به همین دلیل مطالعات زیادی بر روی نحوه

فصلی است، کم‌ترین انتقال در ماه جولای تا اواسط سپتامبر و بیشترین انتقال در ماه فوریه است، اختلاط این توده آب به حجم جریان و عمق بستگی دارد (۱۷).

در این مقاله با استفاده از نتایج (شفیعی و همکاران، ۱۳۹۷) اثر توده آب دریای سرخ ناشی از جریان نفوذی خلیج عدن بر روی انتشار صوت به صورت دو بعدی و سه بعدی با استفاده از روش پرتو مطالعه می‌شود.

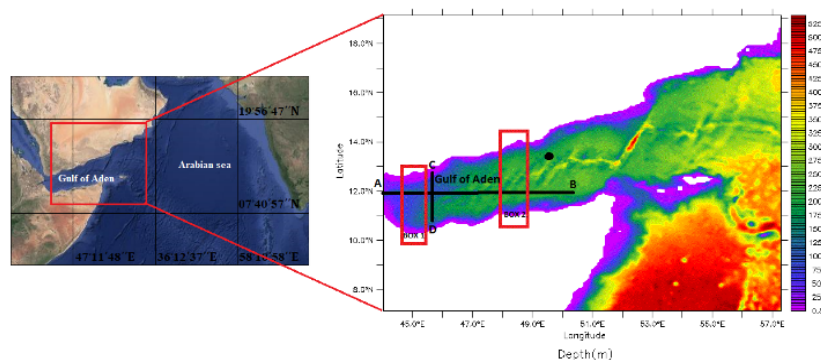
۱. روش پژوهش

۱-۱. منطقه مورد مطالعه

خلیج عدن خلیجی است واقع در جنوب یمن که از سمت جنوب با کشور سومالی و از سوی غرب با کشور کوچک جیبوتی همسایه و از سمت غرب به تنگه باب‌المندب و دریای سرخ و از سمت شرق با اقیانوس هند مرتبط است و بخشی از این اقیانوس به شمار می‌آید. خلیج عدن حدود ۹۰۰ کیلومتر طول دارد، بیشترین عمق در وسط، ۲۰۰۰-۲۵۰۰ متر و کم‌ترین عمق (کم‌تر از ۱۰۰۰ متر) در غرب آن و عمق متوسط خلیج عدن ۱۸۰۰ متر است. به طور کلی، عمق خلیج عدن از غرب به شرق افزایش می‌یابد (۱۸).

تغییرات سرعت صوت در محیط بسیار مهم است. عوامل محیطی بسیاری بر توزیع چگالی در دریا تأثیر گذارند، که شدت و ضعف هریک از آن‌ها، بسته به شرایط محیطی و جغرافیایی متفاوت است. مطالعات مختلفی بر روی توده‌های خلیج عدن انجام گرفته است، (۱۰، ۱۱) حضور سه توده (توده سطحی، توده میانی و توده آب دریای سرخ) در بالای ۱۰۰۰ متر و (۱۲-۱۴) ۴ توده آب (توده سطحی، توده میانی، توده آب دریای سرخ و توده نزدیک به بستر) در عمق‌های مختلف شناسایی کرده‌اند. که شاخص‌ترین توده، توده آب شور دریای سرخ بوده است. طبق مطالعات انجام شده توده آب سطحی بسیار شور در عمق ۲۰۰-۱۰۰ متری حاصل از اختلاط آب بسیار شور دریای عرب ناشی از تخییر بالا و بادهای موسمی با آب سطحی خلیج عدن، توده آب میانی در عمق ۶۰۰-۱۰۰ متری که منشأ آن آب‌های زیر سطحی جنب حاره بوده و توده آب بسیار شور خروجی از دریای سرخ با که در عمق ۹۰۰-۴۰۰ متری و پایین‌تر قرار دارد (۱۵).

آب شور دریای سرخ پس از ورود به خلیج عدن دو شاخه می‌شود، بزرگترین شاخه آن در امتداد سواحل آفریقا و کوچکترین آن در امتداد سواحل عربی گسترش می‌یابد. در نتیجه شوری در امتداد سواحل آفریقا بالاتر از سواحل عربی است (۱۶). شوری آب دریای سرخ در لایه میانی قرار دارد و انتقال آب دریای سرخ به صورت



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه و باکس ۱ و ۲ جهت جابجایی چشمه‌های آکوستیکی و شبیه‌سازی آکوستیکی از شمال یا جنوب، خط AB شبیه‌سازی در راستای طولی و خط CD معرف شبیه‌سازی در راستای عرضی است.

Figure 1: Study area and boxes 1 and 2 for moving acoustic source and acoustic simulation from north or south, AB line, longitudinal simulation and CD line Represents a simulation in the transverse direction

۲-۱. مدلسازی عددی پارامترهای هیدروفیزیکی MITgcm، پارامترهای هیدروفیزیکی و هیدرودینامیکی خلیج عدن بصورت میانگین ماهانه از مدل استخراج شده است (۱۵).

۲-۱. مدلسازی عددی پارامترهای هیدروفیزیکی

جهت مدلسازی حضور توده آب شور دریای سرخ، از مدل سه بعدی MITgcm استفاده شد. مدل سازی در حوزه مورد نظر برای ۲۰ سال اجرا شد تا مدل به پایداری برسد. پس از بررسی صحت سنجی مدل

۳-۱. جفت^۱ مدل اقیانوسی و آکوستیکی

مقطع طولی AB ($11.9^{\circ}N$ و $50^{\circ}E$ تا $44^{\circ}E$) و مقطع عرضی CD ($45.8^{\circ}E$ و $12.8^{\circ}N$ تا $11^{\circ}N$) (شکل ۱) بررسی شده است (۲۱). توده آب دریای سرخ در عمق های ۳۰۰ تا ۸۰۰ متری قرار دارد. همچنین در مقطع طولی AB در فصل زمستان توده آب دریای سرخ در عمق بالاتری نسبت به فصل تابستان قرار می گیرد بنابراین پهنای این توده در زمستان بیشتر از تابستان است. تغییرات شوری و دما و سرعت صوت در مقطع عرضی CD نشان می دهد. اختلاف سرعت صوت از سطح تا بستر در فصل تابستان بیشینه و در فصل زمستان کمینه است زیرا اختلاف دمای سطح تا بستر در تابستان بیشتر از فصل زمستان بوده است (۲۱).

۲-۱. بررسی روند تغییرات فشار آکوستیکی به صورت دو بعدی

در این بخش، با استفاده از روش پرتو، نحوه انتشار صوت در دو فصل، برای دو ناحیه، الف- خط افقی AB و ب- خط قائم CD در شکل (۱) نشان داده شده، شبیه سازی شد. جهت بررسی تغییرات فشار آکوستیکی در مکان های مختلف در این مطالعه چهار سناریو (الف: فرستنده در نقطه A، ب: فرستنده در نقطه B (در انتهای منطقه خلیج عدن)، پ: فرستنده در نقطه C شمال خلیج عدن، ت: فرستنده در نقطه D جنوب خلیج عدن) اجرا گردید. این سناریوها برای اعماق ۱۰۰ و ۶۰۰ متری، به صورت وابسته به برد، با فرکانس ۲۰۰ هرتز در چهار فصل مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

الف- فرستنده در نقطه A

هنگامی که فرستنده در عمق ۱۰۰ متری باشد (شکل ۲)، در فصل زمستان پرتوها نزدیک به هم مسیر را طی می کنند ولی در تابستان پرتوها با فاصله بیشتری از هم حرکت می کنند. در فصل زمستان زمانی که گیرنده در ۱۰۰ متری قرار داشته باشد سیگنال را به خوبی دریافت می کند. هنگامی که فرستنده در عمق ۶۰۰ متری (شکل ۳) نصب شده باشد. در فصل زمستان در عمق ۶۰۰ متر نقاط همگرایی مشاهده می شود. در فصل تابستان ۱۵۰ کیلومتری یک کانال صوتی تشکیل شده است.

با استفاده از دما و شوری حاصل از خروجی مدلسازی MITgcm و باتوجه به محدوده ی تغییرات پارامترهای هیدروفیزیکی در خلیج عدن سرعت صوت را با استفاده از فرمول مکنزی در خلیج عدن محاسبه گردید. برای محاسبه سرعت صوت از رابطه مکنزی (۱) در این مطالعه استفاده شده است (۱۹).

رابطه ۱

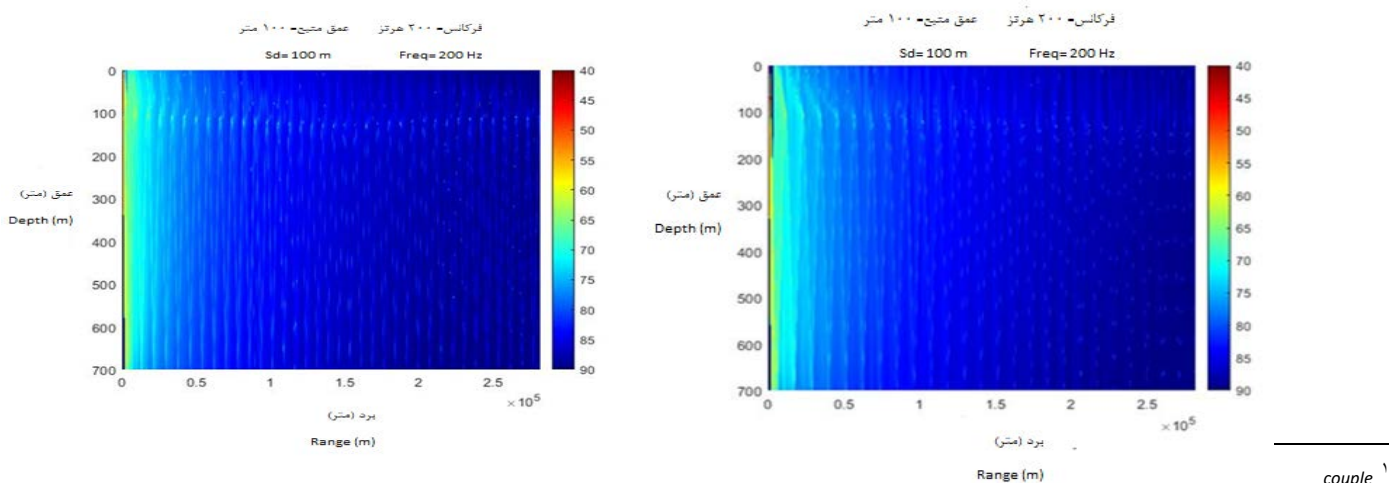
$$C=1448.96+4.591T-5.304\times 10^{-2} T^2+2.374\times 10^{-4}T^3+1.340(S-35)+1.630\times 10^{-2} D+1.657\times 10^{-7}D^2-1.025\times 10^{-2}T(S-35)-7.139\times 10^{-13}TD^3$$

دقت این رابطه ۰,۰۷ متر بر ثانیه و محدوده ی اعتبار آن برای دمای آب بین ۳۰ تا ۰، شوری بین ۳۰ PPT تا ۴۰ و عمق بین صفر تا ۸۰۰۰ متر می باشد.

در این مطالعه از روش پرتو برای مدلسازی آکوستیکی استفاده شد (۲۰). مدل پرتو برای تحلیل انتشار امواج صوتی در فرکانس های بالا استفاده شده و در محیط های که در آن ها سرعت صوت با مسافت متغیر است کارایی خوبی دارد. در این مطالعه از روش وابسته به برد انتشار صوت جهت بررسی اثر جریان نفوذی از دریای سرخ به خلیج عدن به مدل پرتو اعمال گردید. جهت مدلسازی انتشار صوت، شرایط مرزی سطح و بستر خلا، زاویه راستاوری انتشار ۳,۳ و ۳,۳-، قدرت تفکیک مکانی تغییرات سرعت صوت در راستای افقی ۷۴۰۸ متر و قدرت تفکیک عمودی ۵ تا ۱۵۰ متر لحاظ گردید. در شبیه سازی علاوه بر پارامترهای بالا، عمق چشمه آکوستیکی در اعماق ۱۰۰ و ۶۰۰ متری و با فرکانس ۲۰۰ هرتز در نظر گرفته شد.

۲. نتایج و بحث

روند تغییرات پارامترهای هیدروفیزیکی دما، شوری و سرعت صوت در

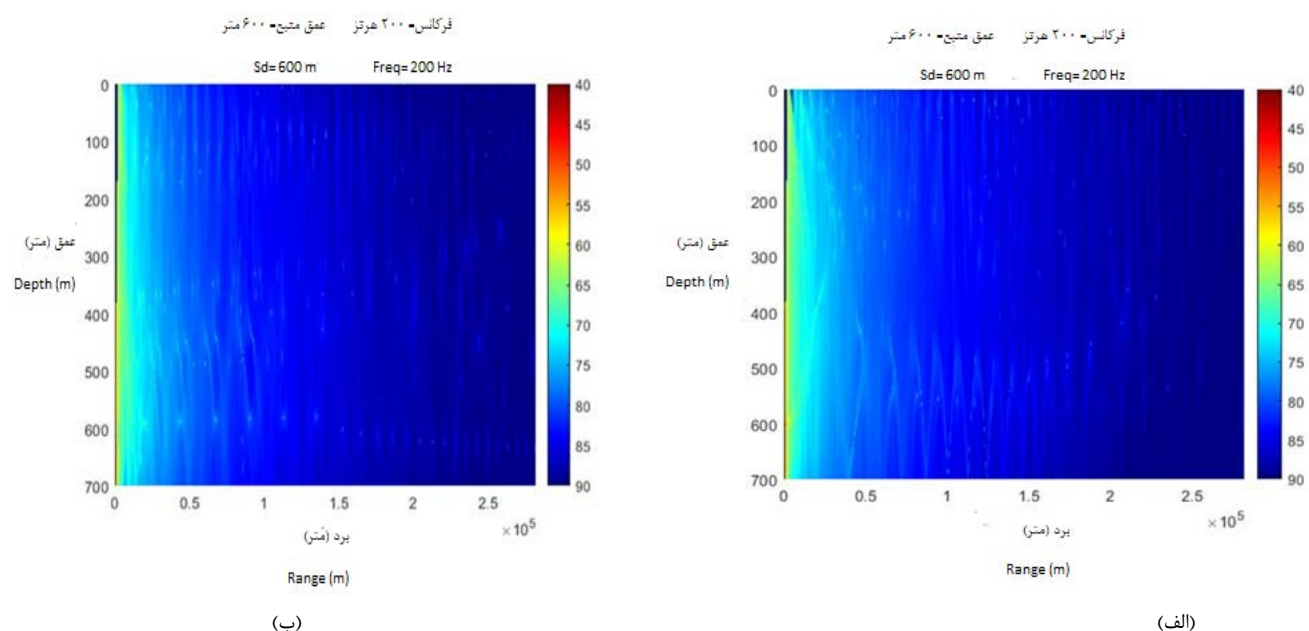


(ب)

(الف)

شکل ۲: میدان فشار آکوستیکی هنگامی که فرستنده در عمق ۱۰۰ متر در مقطع طولی AB (۱۱.۹°N و ۵۰°E تا ۴۴°E) و در نقطه A (۴۴°E و ۱۱.۹°N) باشد در دو فصل (الف) زمستان، (ب) تابستان

Figure 2: Acoustic pressure field when the source is at a depth of 100 m in the longitudinal section AB (11.9° N and 50° E to 44° E) and at point A (44° E and 11.9° N) in two seasons ((a) winter, (B) summer)



(ب)

(الف)

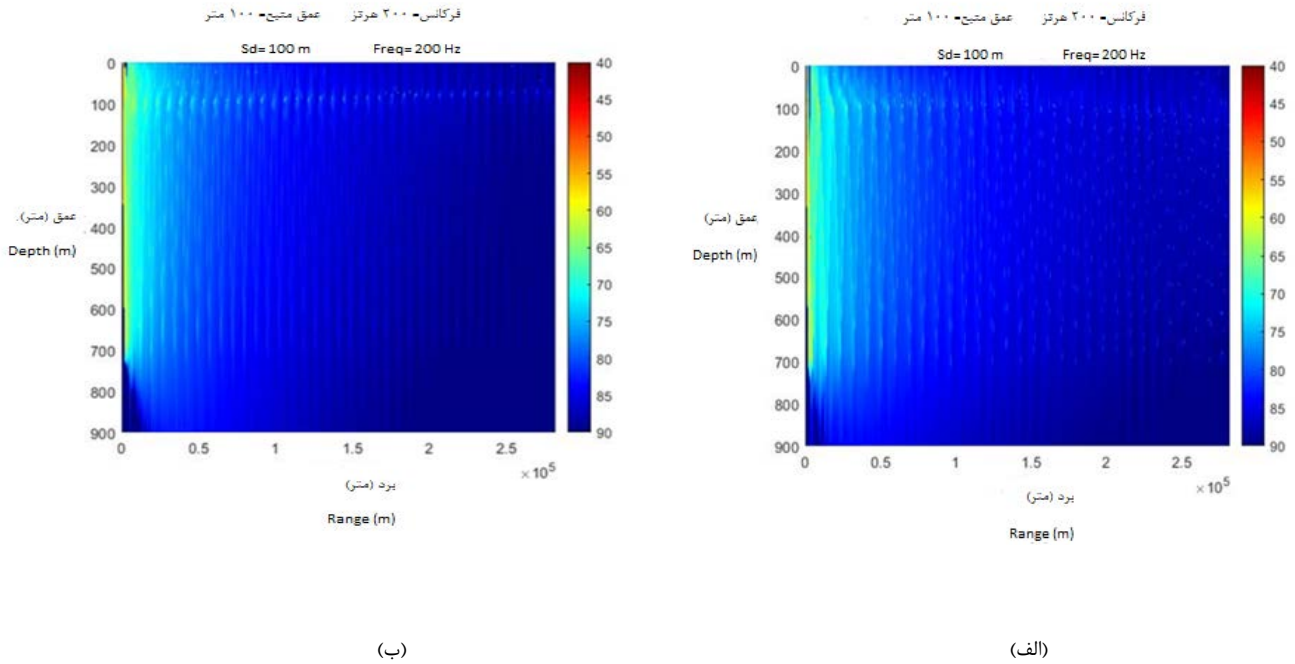
شکل ۳: میدان فشار آکوستیکی هنگامی که فرستنده در عمق ۶۰۰ متر در مقطع طولی AB (۱۱.۹°N و ۵۰°E تا ۴۴°E) و در نقطه A (۴۴°E و ۱۱.۹°N) باشد در دو فصل (الف) زمستان، (ب) تابستان

Figure 3: Acoustic pressure field when the source is at a depth of 600 m in the longitudinal section AB (11.9° N and 50° E to 44° E) and at point A (44° E and 11.9° N) in two seasons ((a) winter, (B) summer)

و در فصل تابستان تا ۱۰۰ کیلومتری مشاهده می‌شود. هنگامی که فرستنده در عمق ۶۰۰ متری واقع شده است، در دو فصل را نشان می‌دهد. در هر دو فصل در عمق ۶۰۰ متری نقاط همگرایی دیده می‌شود. در فصل زمستان یک خمیده‌گی در مسیر حرکت پرتوهای صوتی در ۱۵۰ کیلومتری از منبع مشاهده می‌شود که این خمیدگی به سمت بستر می‌باشد. در فصل‌های زمستان و تابستان در عمق‌های ۳۰۰ و ۵۰۰ متری نقاط همگرایی به صورت ضعیف دیده می‌شود.

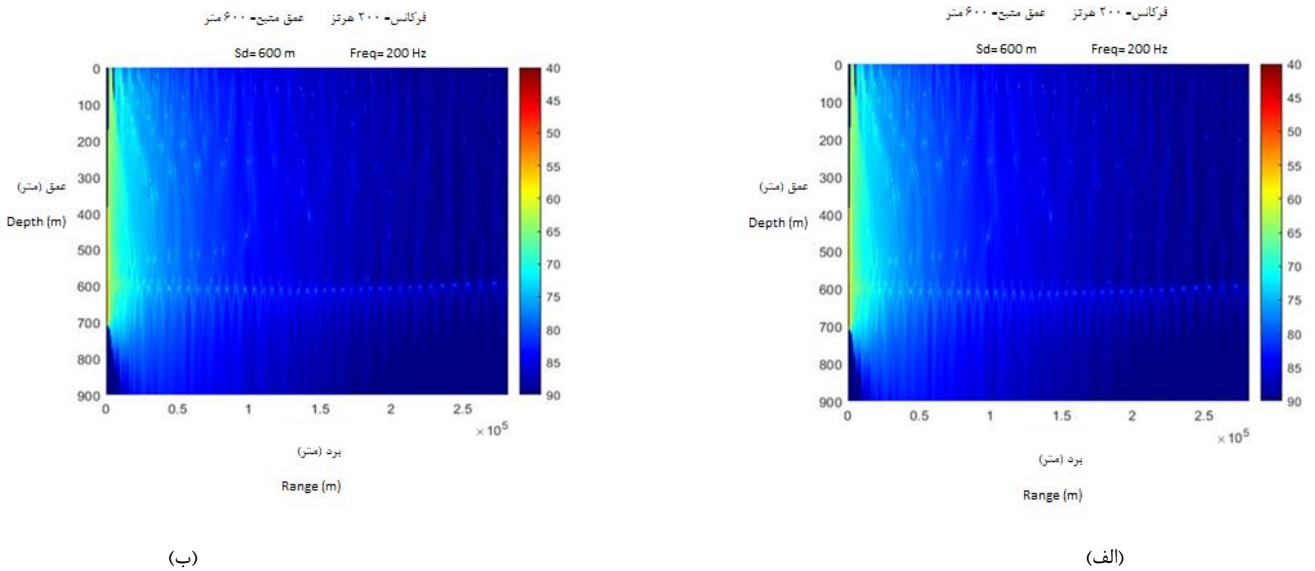
ب- فرستنده در نقطه B

شکل (۴) و (۵) میدان فشار صوتی هنگامی که فرستنده در مقطع طولی AB قرار دارد در موقعیت B، را در فصل‌های زمستان و تابستان نشان می‌دهد. هنگامی که فرستنده در عمق ۱۰۰ متری باشد، در هر دو فصل در عمق ۱۰۰ متری نقاط همگرایی دیده می‌شود با این تفاوت که در فصل زمستان نقاط همگرایی تا انتهای مسیر



شکل ۴: میدان فشار آکوستیکی هنگامی که فرستنده در عمق ۱۰۰ متر در مقطع طولی AB (۱۱٫۹°N و ۵۰°E تا ۴۴°E) و در نقطه B (۱۱٫۹°N و ۵۰°E) باشد در دو فصل (الف) زمستان، (ب) تابستان

Figure 4: Acoustic pressure field when the source is at a depth of 100 m in the Longitudinal section AB (11.9° N and 50° E to 44° E) and at point B (50° E and 11.9° N) in two seasons ((a) winter, (B) summer)



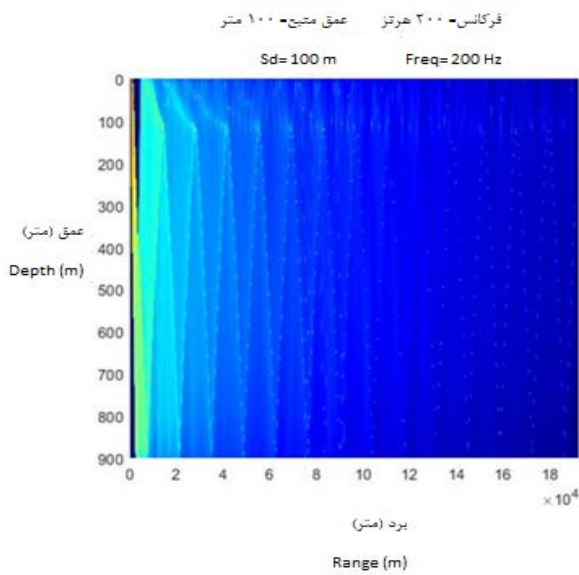
شکل ۵: میدان فشار آکوستیکی هنگامی که فرستنده در عمق ۶۰۰ متر در مقطع طولی AB (۱۱٫۹°N و ۵۰°E تا ۴۴°E) و در نقطه B (۱۱٫۹°N و ۵۰°E) باشد در دو فصل (الف) زمستان، (ب) تابستان

Figure 5: Acoustic pressure field when the source is at a depth of 600 m in the Longitudinal section AB (11.9° N and 50° E to 44° E) and at point B (50° E and 11.9° N) in two seasons ((a) winter, (B) summer)

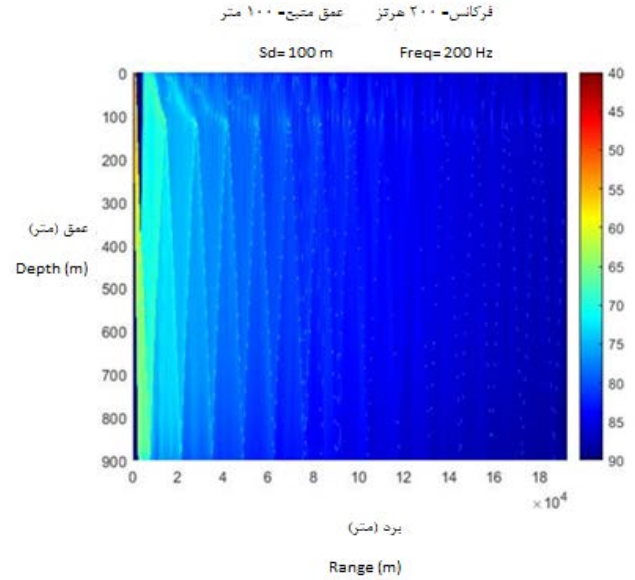
پ: فرستنده در نقطه C

مشاهده می‌شود. هنگامی که فرستنده در عمق ۶۰۰ متری قرار دارد در نقطه C (شکل ۷) در هر دو فصل از ۶۰ کیلومتری صوت به سمت سطح حرکت کرده است. در فصل زمستان در عمق ۱۰۰ متری نقاط همگرایی دیده می‌شود.

باتوجه به شکل (۶) هنگامی که فرستنده در عمق ۱۰۰ متر باشد در هر دو فصل نقاط همگرایی دیده می‌شود که در فصل زمستان قویتر از فصل تابستان است. نقاط همگرایی در تابستان تا ۶۰ کیلومتری



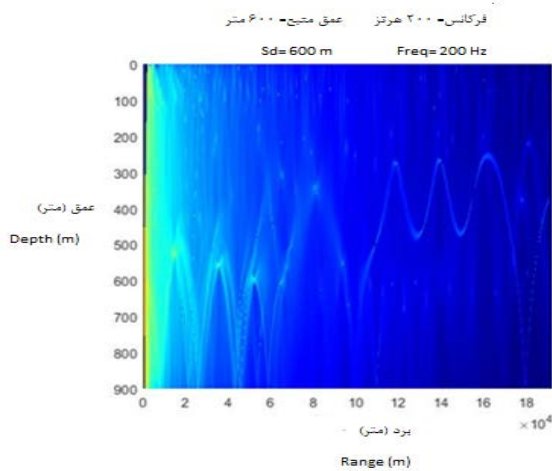
(ب)



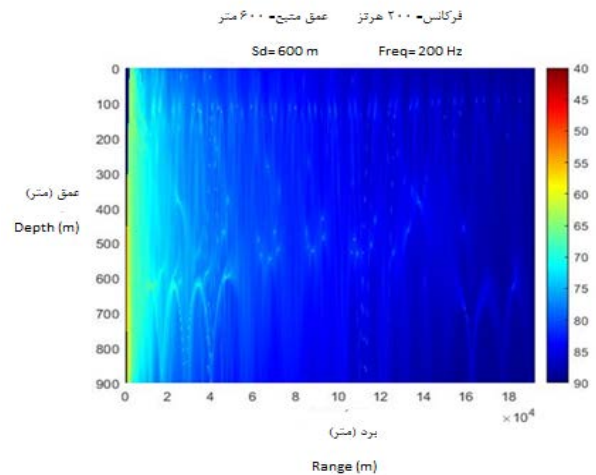
(الف)

شکل ۶: میدان فشار آکوستیکی هنگامی که فرستنده در عمق ۱۰۰ متر در مقطع عرضی CD ($E 45.8^\circ$ و $N 12.8^\circ$ تا $N 11^\circ$) و در نقطه C ($E 45.8^\circ$ و $N 11^\circ$) باشد در دو فصل ((الف) زمستان، (ب) تابستان)

Figure 6: Acoustic pressure field when the source is at a depth of 100 m in CD cross section ($E 45.8^\circ$ and $N 12.8^\circ$ to $N 11^\circ$) and at point C ($E 45.8^\circ$ and $N 11^\circ$)



(ب)



(الف)

in two seasons ((a) winter, (B) summer)

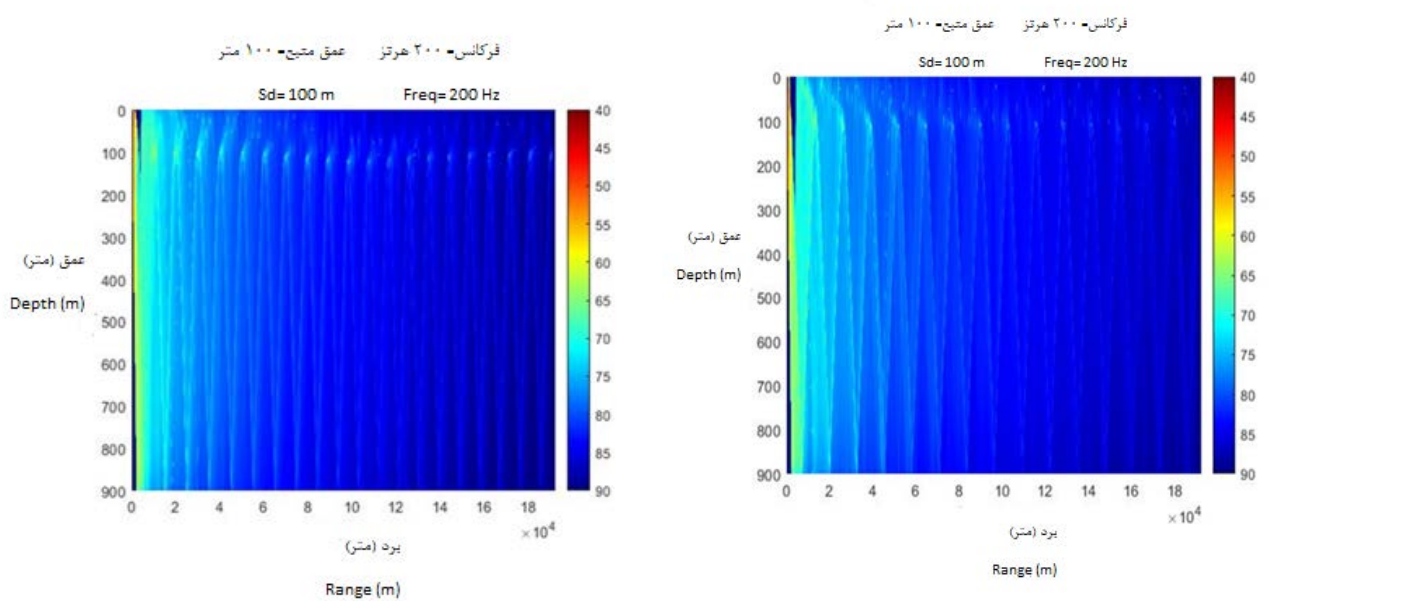
شکل ۷: میدان فشار آکوستیکی هنگامی که فرستنده در عمق ۶۰۰ متر در مقطع عرضی CD ($E 45.8^\circ$ و $N 12.8^\circ$ تا $N 11^\circ$) و در نقطه C ($E 45.8^\circ$ و $N 11^\circ$) باشد در دو فصل ((الف) زمستان، (ب) تابستان)

Figure 7: Acoustic pressure field when the source is at a depth of 600 m in CD cross section ($E 45.8^\circ$ and $12.8^\circ N$ to $11^\circ N$) and at point C ($45.8^\circ E$ and $11^\circ N$) in two seasons ((a) winter, (B) summer)

هنگامی که فرستنده در عمق ۶۰۰ متری قرار دارد (شکل ۹) نشان می دهد. در فصل زمستان صوت از ۶۰ کیلومتری به سمت سطح حرکت کرده و در انتهای مسیر به سمت بستر خم شده است. در فصل تابستان نقاط همگرایی دیده می شود که هرچه به سمت جلو حرکت می کند این نقاط ضعیف تر می شود و در این فصل یک کانال صوتی در بستر ایجاد شده است.

ت: فرستنده در نقطه D

شکل (۸) هنگامی که فرستنده در عمق ۱۰۰ متر قرار داشته باشد را نشان می دهد. در تمام فصل ها در عمق ۱۰۰ متری نقاط همگرایی دیده می شود. در فصل زمستان و بهار پرتوها نزدیک به هم مسیر را طی می کنند ولی در فصل تابستان و پاییز پرتوها پهن تر می شوند.

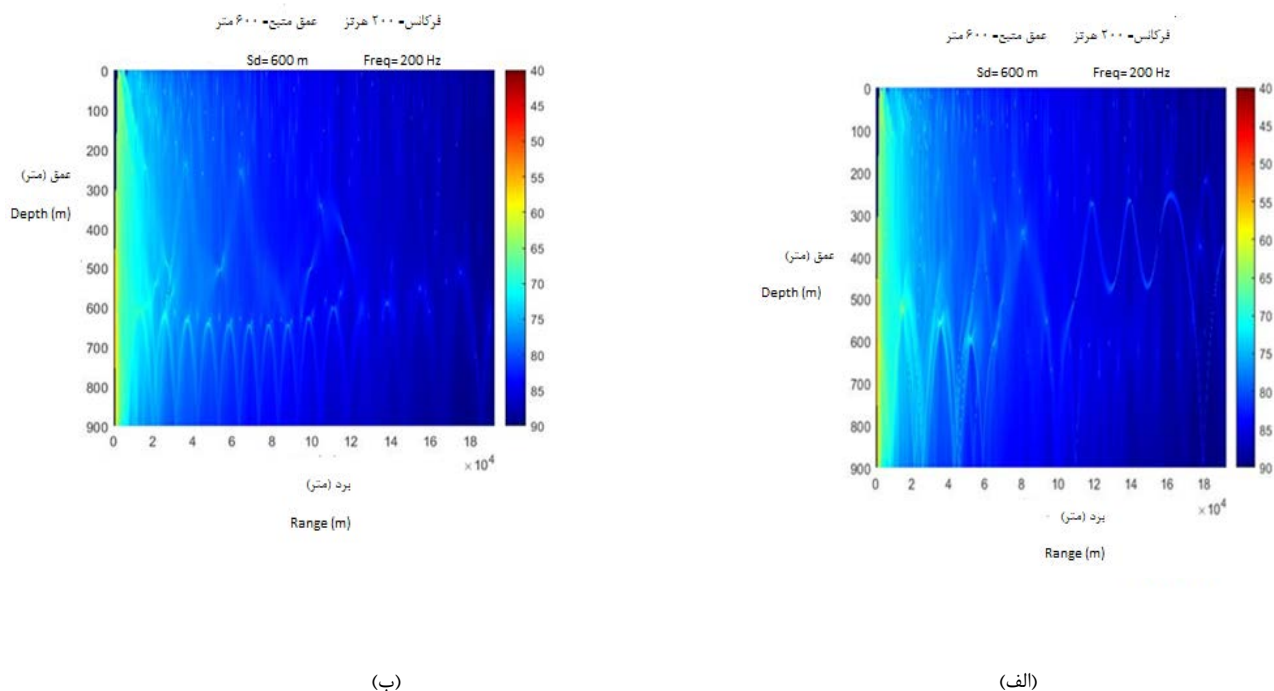


(ب)

(الف)

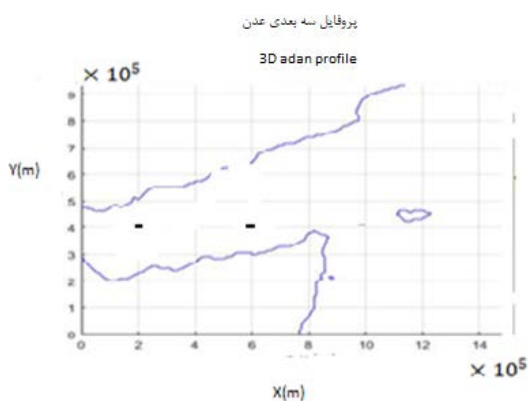
شکل ۸: میدان فشار آکوستیکی هنگامی که فرستنده در عمق ۱۰۰ متر در مقطع عرضی CD ($E 45.8^\circ$ و $N 12.8^\circ$ تا $N 11^\circ$) و در نقطه D ($E 45.8^\circ$ و $N 12.8^\circ$) باشد در دو فصل ((الف) زمستان، (ب) تابستان)

Figure 8: Acoustic pressure field when the source is at a depth of 100 m in CD cross section ($E 45.8^\circ$ and $12.8^\circ N$ to $11^\circ N$) and at point D ($45.8^\circ E$ and $12.8^\circ N$) in two seasons ((a) winter, (B) summer)



شکل ۹: میدان فشار آکوستیکی برای عمق منبع ۶۰۰ متر در مقطع عرضی CD (E45.8° و 12.8° N تا 11° N) زمانی که منبع در نقطه D (45.8° E و 12.8° N) باشد در دو فصل (الف) زمستان، (ب) تابستان)

Figure 8: Acoustic pressure field when the source is at a depth of 600 m in CD cross section (E45.8° and 12.8° N to 11° N) and at point D (45.8° E and 12.8° N) in two seasons ((a) winter, (B) summer)



۲-۲. شبیه سازی انتشار صوت به صورت سه بعدی

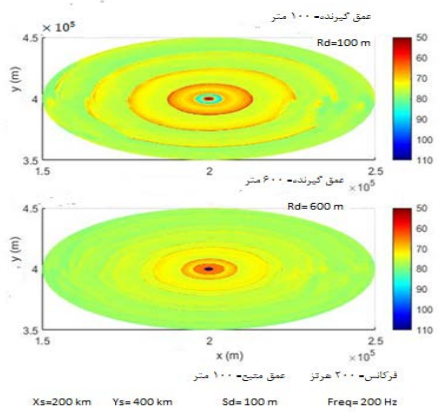
در این بخش تغییرات شعاعی، توزیع انرژی آکوستیکی برای دو مختصات (۲۰۰،۴۰۰) و (۶۰۰،۴۰۰) کیلومتر (شکل ۱۰) بررسی خواهد شد. فرستنده و گیرنده در هر یک از موقعیت ها در عمق های ۱۰۰ و ۶۰۰ متر با فرکانس ۲۰۰ هرتز قرار می گیرد.

در تمامی خروجی های، سناریوی اشکال فشار آکوستیکی، مقدار شدت انرژی صوتی در هر نقطه با شدت رنگ آن نشان داده شده است. نوار بار رنگی سمت راست اشکال، معرف میزان شدت توان (برحسب dB) متناظر با هر رنگ است. شدت فشار آکوستیکی بیشتر، با رنگ های سرخ و گرم نشان داده شده اند. به تدریج که در اثر اتلاف انتشار و جذب، از شدت انرژی صوتی کاسته می شود، از رنگ های سرد و متمایل به آبی استفاده شده است.

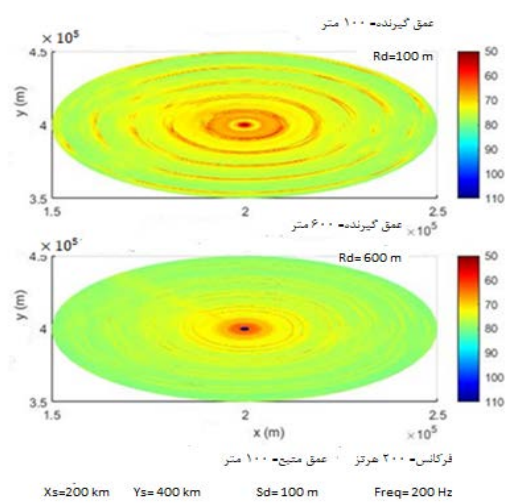
شکل ۱۰: دو نقطه مطالعاتی شبیه سازی سه بعدی. نقطه اول (۲۰۰،۴۰۰)، نقطه دوم (۶۰۰،۴۰۰)

Figure 10: study simulation 3D in Two points. First point (200,400), second point (600,400)

شکل (۱۱) فشار آکوستیکی را در دو فصل در نقطه اول (۲۰۰،۴۰۰) زمانی که منبع در عمق ۱۰۰ متری قرار دارد را نشان می دهد. در فصل زمستان (الف) زمانی که گیرنده در ۱۰۰ متر واقع شده است در تمام جهت نقاط تاریک و روشن مشاهده می شود که نشان دهنده نقاط همگرایی است. در فصل تابستان زمانی که گیرنده در ۱۰۰ متر واقع شده است، نقاط تاریک و روشن مشاهده شده و در جهت شرق تلفات بیشتر است. زمانی که گیرنده در ۶۰۰ متری قرار دارد در فصل زمستان پخش در جهت شمال غربی است ولی در فصل تابستان پخش یکنواخت است.



(ب)



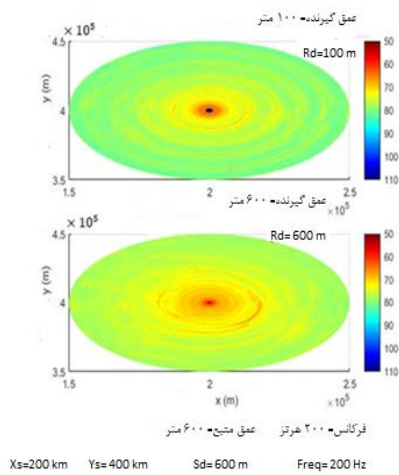
(الف)

شکل ۱۱: شبیه سازی سه بعدی فشار آکوستیکی در نقطه اول در عمق ۱۰۰ متر (شکل ۱۰) (الف=زمستان ، (ب)= تابستان)

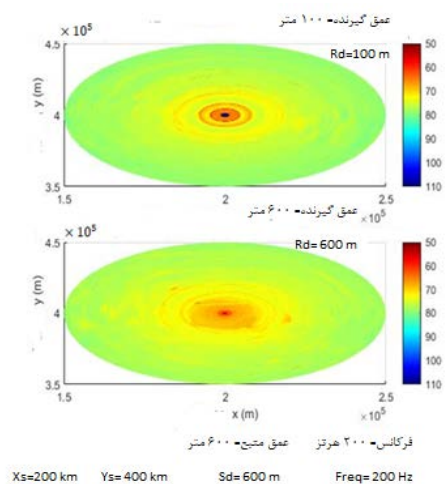
Figure 11: Three-dimensional simulation of acoustic pressure at the first point at a depth of 100 meters (Figure 10) ((a) = winter, (b) = summer)

کمتر از زمانی است که گیرنده در ۱۰۰ است. در فصل تابستان زمانی که گیرنده در ۶۰۰ متری باشد انتشار در جهت غرب و جنوب غربی است.

فرستنده در عمق ۶۰۰ متری در منطقه اول واقع شده است (شکل ۱۲)، در فصل زمستان هنگامی که گیرنده در ۶۰۰ متری است در نزدیک منبع نقاط تاریک و روشن دیده می شود که نشان دهنده نقاط همگرایی است. در هر دو فصل زمانی که گیرنده در ۶۰۰ متری است تلفات انتقال



(ب)



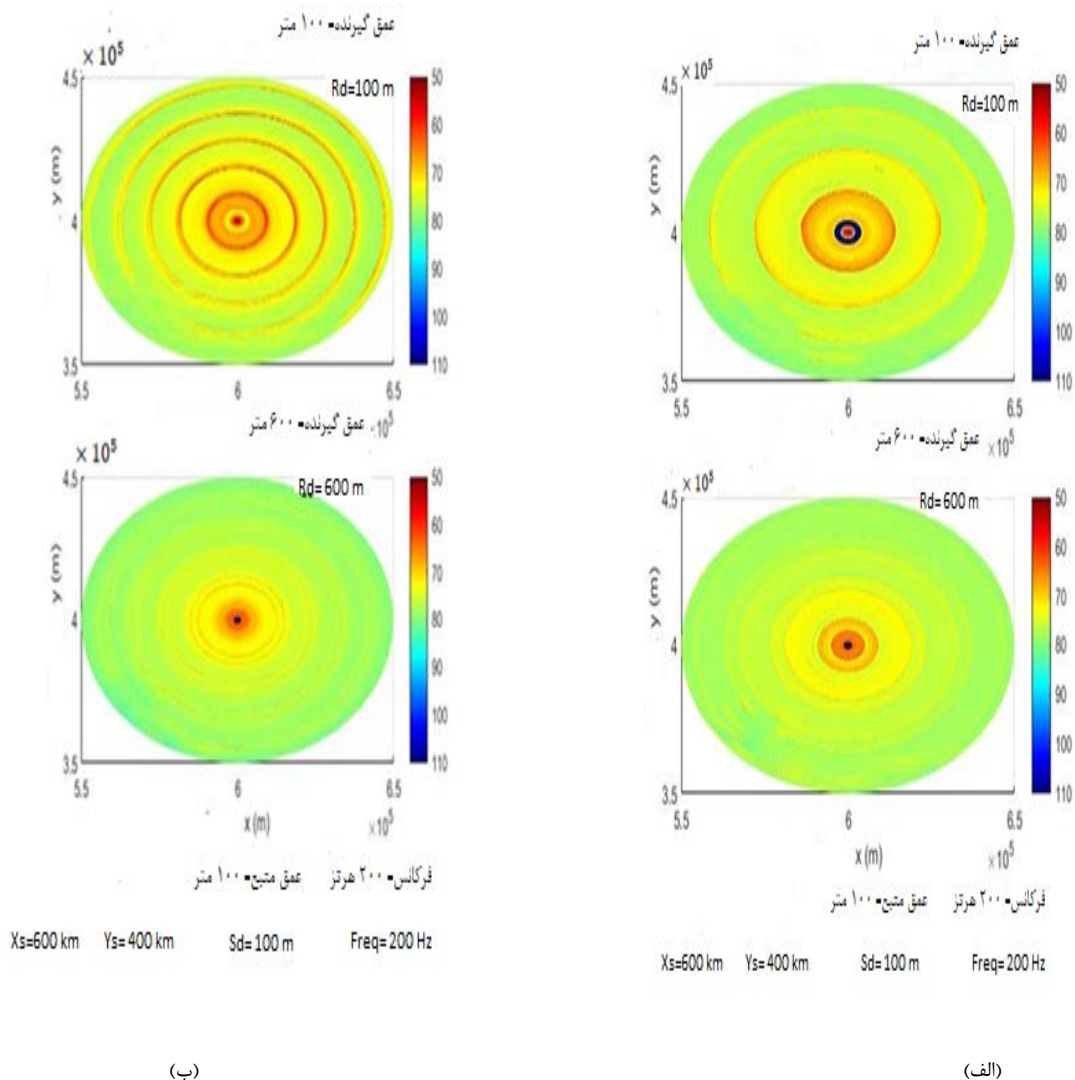
(الف)

شکل ۱۲: شبیه سازی سه بعدی فشار آکوستیکی در نقطه اول در عمق ۶۰۰ متر (شکل ۱۰) (الف=زمستان ، (ب)= تابستان)

Figure 12: Three-dimensional simulation of acoustic pressure at the first point at a depth of 600 meters (Figure 10) ((a) = winter, (b) = summer)

غربی صوت بیشتر تضعیف شده است. در فصل تابستان (ب) زمانی که گیرنده در ۶۰۰ متری قرار دارد پخش در راستای افقی است. زمانی که گیرنده در ۱۰۰ متری قرار دارد در فصل تابستان پخش بهتر از زمستان است.

شکل (۱۳) فشار آکوستیکی را در دو فصل در نقطه دوم (۶۰۰،۴۰۰) زمانی که فرستنده در عمق ۱۰۰ متری قرار دارد را نشان می‌دهد. زمانی که گیرنده در ۱۰۰ متری واقع شده است در تمام هر دو فصل نقاط تاریک و روشن دیده شده که نشان دهنده نقاط همگرایی است و در جهت جنوب

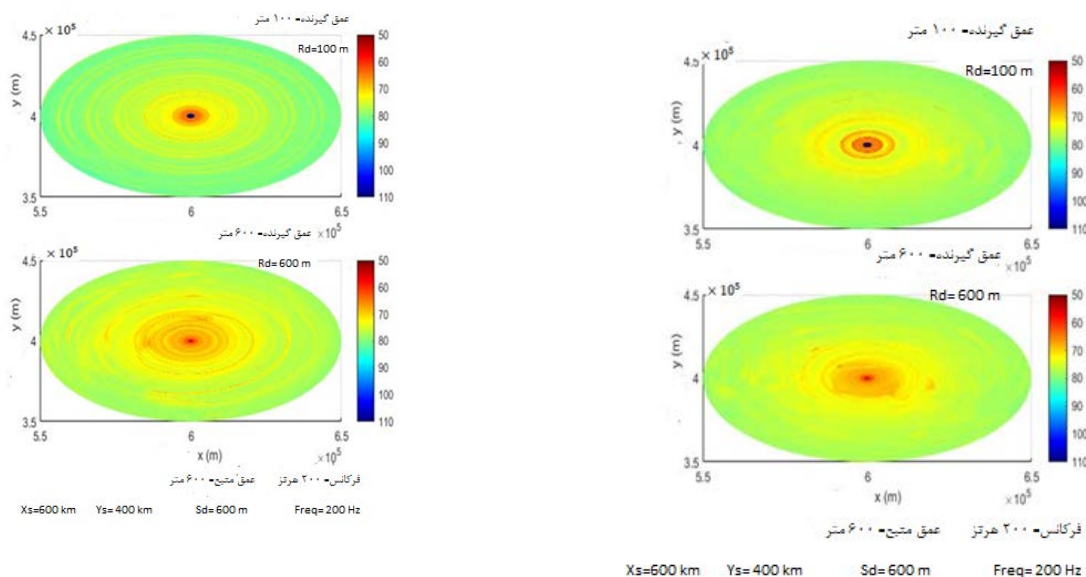


شکل ۱۳: شبیه سازی سه بعدی فشار آکوستیکی در منطقه دوم (شکل ۱۰) (۶۰۰،۴۰۰) زمانی که چشمه آکوستیکی در ۱۰۰ متری قرار دارد (الف=زمستان، ب=تابستان)

Figure 13: 3D simulation of acoustic pressure in the second region (Figure 10) (600,400) when the acoustic source is at 100 meters ((a) = winter, (b) = summer)

گیرنده در ۶۰۰ متری است صوت بیشتر در جهت شمال و شمال غربی منتشر شده است. در فصل تابستان صوت به صورت یکنواخت منتشر شده است.

هنگامی که فرستنده در عمق ۶۰۰ متری در مختصات دوم قرار دارد(شکل ۱۴)، در هر دو فصل بیشترین پخش در عمق ۶۰۰ متری و بیشترین تضعیف صوت در ۱۰۰ متری اتفاق افتاده است. در فصل زمستان زمانی که



(ب)

(الف)

شکل ۱۴: شبیه سازی سه بعدی فشار آکوستیکی در منطقه دوم (شکل ۱۰) (۶۰۰،۴۰۰) زمانی که چشمه آکوستیکی در ۶۰۰ متری قرار دارد (الف=زمستان، ب)= تابستان)

Figure 14: 3D simulation of acoustic pressure in the second region (Figure 10) (600,400) when the acoustic source is at 600 meters ((a) = winter, (b) = summer)

نتیجه گیری

بررسی انتشار صوت به صورت دو بعدی

توده آب دریای سرخ باتوجه به نتایج (Karimi et al.,2020) در عمق ۳۰۰-۸۰۰ متری قرار دارد. رفتار صوت در دو مقطع طولی AB و عرضی CD بررسی شد. دو فرستنده به ترتیب در عمق‌های ۱۰۰ و ۶۰۰ متری با فرکانس ۲۰۰ هرتز در چهار موقعیت A، B، C و D (شکل ۱) قرار داده شد. در مقطع CD در حضور آب دریای سرخ انتشار صوت در تابستان بهتر از زمستان است. زیرا تاثیر آب دریای سرخ بر سرعت صوت در تابستان کم تر از زمستان است. زمانی که منبع در ۶۰۰ متری و منبع در موقعیت A (شکل ۳) باشد، گیرنده‌ها در فاصله ۲۷۰ کیلومتری سیگنال به مراتب ضعیف‌تری نسبت به هنگامی که منبع در موقعیت B (شکل ۵) باشد دریافت می‌کند.

مشارکت نویسندگان :

در نوشتن این مقاله نویسندگان سهم یکسانی دارند.

بررسی توزیع انرژی به صورت سه بعدی

تغییرات شعاعی، توزیع انرژی آکوستیکی برای دو مختصات (۲۰۰،۴۰۰) و (۶۰۰،۴۰۰) کیلومتر (شکل ۱۰) بررسی شده است. هنگامی که منبع و گیرنده در عمق ۱۰۰ متری قرار داشته باشد در هر دو مختصات نقاط تاریک و روشن دیده می‌شود که نشان دهنده ی نقاط همگرایی است. هنگامی که گیرنده و فرستنده در ۶۰۰ متری باشد الگوی توزیع انرژی در راستای غرب و شرق می‌باشد. هنگامی که منبع در ۶۰۰ متری و گیرنده در ۱۰۰ متری باشد در مختصات دوم، توزیع شعاعی انرژی، نسبت به هنگامی که گیرنده در دیگر اعماق باشد، کم تر است.

تعارض منافع:

هیچگونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

References

1. Worcester PF, Dzieciuch MA, Mercer JA, Andrew RK, Dushaw BD, Baggeroer AB, et al. The North Pacific Acoustic Laboratory deep-water acoustic propagation experiments in the Philippine Sea. *J Acoust Soc Am*. 2013;**134**(4):3359-3375. doi: [10.1121/1.4818887](https://doi.org/10.1121/1.4818887) pmid: 24116529
2. Gazioğlu C, Müftüoğlu AE, Demir V, Aksu A, Okutan V. Connection between ocean acidification and sound propagation. *Int J Environ Geoinform*. 2015;**2**(2):16-26. doi: [10.30897/ijegeo.303538](https://doi.org/10.30897/ijegeo.303538)
3. Jian YJ, Zhang J, Liu QS, Wang YF. Effect of mesoscale eddies on underwater sound propagation. *Appl Acoustic*. 2009;**70**(3):432-440. doi: [10.1016/j.apacoust.2008.05.007](https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2008.05.007)
4. Abbot P, Celuzza S, Dyer I, Gomes B, Fulford J, Lynch J. Effects of East China Sea shallow-water environment on acoustic propagation. *IEEE J Oceanic Engineer*. 2003;**28**(2):192-211. doi: [10.1109/JOE.2003.811901](https://doi.org/10.1109/JOE.2003.811901)
5. Etter PC. Underwater Acoustic Modeling and Simulation. Third Edition. London & New York: Spon Press.2003.
6. Akbarinasab M, Sadrinasab M, Bidokhti AA, Chegini V. Investigation of the Effect of Outflow Intrusion the Persian Gulf to the Gulf of Oman on Sound Propagation. (Persian). *JOC*. 2015;**5**(20):11-17.
7. Hosseini SH, Akbarinasab M, Khalilabadi MR. [Numerical simulation of the effect internal tide on the propagation sound in the Oman Sea]. (Persian). *J Earth Space Physic*. 2018;**44**(1):215-225.
8. Shapiro G, Chen F, Thain R. The effect of ocean fronts on acoustic wave propagation in the Celtic Sea. *J Marine Sys*. 2014;**139**:217-226. doi: [10.1016/j.jmarsys.2014.06.007](https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2014.06.007)
9. Chen F. Effect of mesoscale variability of water masses on acoustic wave propagation in a shallow sea. [dissertation].2015.
10. Nasser GA. Seasonal changes in the water characteristics of upper 1000 m in the northern Gulf of Aden. Scientific Investigation of the Gulf of Aden. Marine Science and Resources Reserch1992. 2 p.
11. Piechura J, Sobaih OAG. Oceanographic conditions of the Gulf of Aden. Science Investigation Gulf Aden. Series A: Oceanography1986. 2 p.
12. Al Saafani MA, Shenoi SSC. Water masses in the Gulf of Aden. *J Oceanograph*. 2007;**63**(1):1-14. doi: [10.1007/s10872-007-0001-1](https://doi.org/10.1007/s10872-007-0001-1)
13. Khimitsa VA. The hydrological structure of the waters of the Gulf of Aden. *J Oceanol*. 1968;**8**:318-322.
14. Mohammed EEE. On the variability, potential energy, potential temperature, salinity and currents in NW Indian Ocean and Gulf of Aden. *JKAU Marine Montgom*. 1997;**8**:47-65. doi: [10.4197/mar.8-1.3](https://doi.org/10.4197/mar.8-1.3)
15. Shafiee Sarvestani R, Sadrinasab M, Akbarinasab M. Tracing Water Masses in the Gulf of Aden Using a Passive Tracer. (Persian). *J Oceanograph*. 2018;**9**(35):49-60. doi: [10.29252/JOC.2018.9.1317](https://doi.org/10.29252/JOC.2018.9.1317)
16. Morcos SA, Abdallah AM. Oceanography of the Gulf of Aden: John Murray-Mabahiss Expedition 1933-1934 Revisited. *Egypt J Aquatic Res*. 2012;**38**(2):77-91. doi: [10.1016/j.ejar.2012.12.001](https://doi.org/10.1016/j.ejar.2012.12.001)
17. Beal LM, Ffield A, Gordon AL. Spreading of Red Sea overflow waters in the Indian Ocean. *J Geophysic Res Ocean*. 2000;**105**(C4):8549-8564. doi: [10.1029/1999JC900306](https://doi.org/10.1029/1999JC900306)
18. Saafani A, Yahya MA. Physical oceanography of the Gulf of Aden (Doctoral dissertation, Goa University)2008.
19. Mackenzie KV. Nine-term equation for sound speed in the oceans. *J Acoustic Soc America*. 1981;**70**(3):807-812. doi: [10.1121/1.386920](https://doi.org/10.1121/1.386920)
20. Porter MB. The bellhop manual and user's guide: Preliminary draft. Heat, Light, and Sound Research, Inc., La Jolla, CA, USA, Tech. Rep2011.
21. Karimi L, Akbari Nasab M, Shafiee Sarvestani R, Morteza Ghorbanzadeh Ahangari M. Structure of sound speed in the Gulf of Aden. *J Persian Gulf*. 2017;**8**(30):61-75.

معرفی نویسندگان:



محمد اکبری نسب دانشیار گروه فیزیک دریا دانشگاه مازندران می باشد. ایشان مدرک فیزیک دریا را در سال ۱۳۹۱ از دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر و مدرک کارشناسی ارشد را در سال ۱۳۸۲ از دانشگاه هرمزگان دریافت نموده اند. از سال ۱۳۹۳ در دانشگاه مازندران به عنوان مدرس مشغول به کار می باشد. ایشان بیش از ده ها مقاله علمی در مجلات و کنفرانس های علمی ارائه نموده و داوری بیش از صدها مقاله را در کمیته های علمی کنفرانس های ملی و بین المللی بر عهده گرفته اند. ایشان چندین پروژه در حوزه آکوستیک زیر آب، راه اندازی سامانه های هوشمند جهت اندازه گیری پرامتر های دریایی بر اساس اینترنت اشیا، مطالعات انتقال آب انجام داده است. زمینه های تخصصی ایشان عبارت اند از: اقیانوس شناسی ساحلی، مدلسازی پدیده های



دریایی، راه اندازی سامانه های هوشمند

را حله شفیعی سروستانی مدیر بخش فیزیک پژوهشکده معلم فارس می باشد. ایشان مدرک دکترای فیزیک دریا را در سال ۱۳۹۷ از دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر و مدرک کارشناسی ارشد را در سال ۱۳۸۵ از دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر دریافت نموده اند. از سال ۱۳۹۵ در پژوهشکده معلم فارس به عنوان مدرس مشغول به کار می باشد. ایشان دارای چند مقاله علمی در مجلات و کنفرانس های علمی بوده و داوری چندین مقاله را در مجلات علمی بر عهده گرفته اند. بعلاوه مشاوره چندین پایان نامه کارشناسی ارشد را بر عهده داشته است. زمینه تخصصی ایشان عبارت است از: مدلسازی پدیده های دریایی

AUTHOR(S) BIOSKETCHES

Karimi, L., M.Sc. in Marine Physics, Faculty of Marine and Oceanic Sciences, University of Mazandaran, leilakarimi8648@gmail.com

✉ leilakarimi8648@gmail.com



Akbari Nasab, M., Assistant Professor of Marine Physics, Faculty of Marine and Oceanic Sciences, University of Mazandaran

✉ m.akbarinasab@umz.ac.ir



Shafiee Sarvestani, R.Sc., Doctor of Marine Physics, Faculty of Marine and Oceanic Sciences, Institute teacher Fars, shiraz

✉ rahele_shafiee@yahoo.com



این قسمت توسط نشریه تکمیل می گردد:

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Citation (Vancouver) Karimi L, Akbari Nasab M, Shafiee Sarvestani R. Acoustic Propagation Analysis in the front of Saline Water Mass in the Gulf of Aden. *Joc*. 2022. 13(50): 49-64

<http://doi.org/10.12345/joc.11.44.1>

<http://joc.inio.ac.ir/article-1-1586-fa.html>

<https://orcid.org/0000-0002-8311-5238>





COPYRIGHTS

©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.