

## مدل سازی عملکرد تجهیزات صوتی در دریای خزر در فصل بهار

افشین حسن زاده<sup>۱</sup>، محمد اکبری نسب<sup>۲</sup>، عباسعلی علی اکبری بیدختی<sup>۳</sup>

m.akbarinasb@umz.ac.ir

۱- دانش آموخته رشته فیزیک دریا، دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی، دانشگاه مازندران، بابلسر

۲- استادیار دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی، فیزیک دریا، دانشگاه مازندران، بابلسر

۳- استاد گروه آموزشی فیزیک فضا، دانشگاه تهران

### چکیده

در این تحقیق، نحوه عملکرد تجهیزات صوتی فعال با استفاده از حل معادلات سونار، برای دو حوزه شمالی و جنوبی دریای خزر در فصل بهار مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش، با حل معادله موج آکوستیکی با روش پرتو در فرکانس  $40\text{ Kh}$ ، تلفات انتقال محیط محاسبه گردید. سپس یک جسم فرضی با قدرت  $12\text{ dB}$  در فاصله ۹ کیلومتری از چشمه آکوستیکی در عمق ۵ متری نصب گردید، میزان اتلاف سیگنال برگشتی در گیرنده‌های که در محل چشمه آکوستیکی در اعماق ۵، ۵۰ و ۳۰۰ متری نصب شده بودند، محاسبه گردید، نتایج نشان داد که در ایستگاه شمالی، هنگامی که گیرنده در عمق ۵ متری در محل فرستندگی، نصب شده باشد، سیگنال برگشتی از جسم در حدود  $50\text{ db}$ - تلفات انتقال بیشتری نسبت به ایستگاه جنوبی نشان می‌دهد، ولی در اعماق پایین تر از ۵۰ متری، در حدود  $15\text{ db}$ - مشاهده گردید.

واژگان کلیدی: سیستم صوتی زیر آبی، تلفات انتقال، دریای خزر.

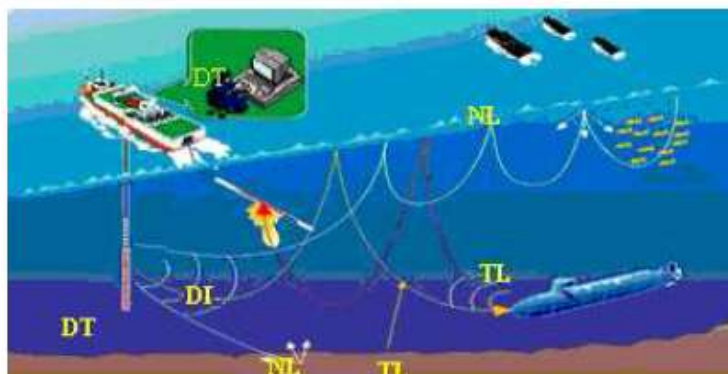
تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۰۹/۱۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۶/۰۳/۱۱

## ۱- مقدمه

نرم افزاری تشکیل شده است. عملکرد سیستم صوتی فعال به خصوصیات گوناگونی بستگی دارد، برخی از بخش‌های توسط سازنده سونار از قبل تعیین شده است ولی بخشی بایستی کاربر (فیزیک دریا)، برای شناسایی هدف در معادلات سونار براساس محیط عملیاتی تعیین کند. تحقیقات زیادی در زمینه شبیه سازی عملکرد سونار فعال و غیرفعال انجام شده است از جمله می‌توان به تحقیقات رابرت و همکاران (۲۰۰۸)، یانک و همکاران (۲۰۰۷)، دیوید (۲۰۰۲)، زهان و همکاران (۲۰۱۵)، اشلی (۲۰۰۴) (نحوه تغییرات شکل موج در یک محیط متغیر بررسی نمود)، والنٹی و همکاران (۲۰۱۷) (مقایسه ای بین مدل انتشار صوت و آزمایشگاهی انجام داد) اشاره کرد [۵-۹]. برخی از پارامترهای اصلی سیستم صوتی زیر آبی شامل: سطح منبع  $SL$ ، ضریب راستاوری  $DI$  آستانه آشکارش  $DT$  مشخصه‌های محیط انتشار: شامل تلفات انتقال  $TL$  طنین  $RL$  نویز محیط  $NL$  مشخصات هدف شامل: سطح قدرت هدف  $TS$  است. شکل (۱) این مشخصه‌های به صورت شماتیک نشان می‌دهد. عملکرد تجهیزات صوتی زیر آب بدین صورت است که، یک منبع صوتی با توان تولیدی  $SL$ ، هنگامی که انرژی صوتی به هدف ارسال می‌کند، مقدار منبع صوتی در اثر تلفات انتقال ناشی از جذب و تضعیف کاهش می‌یابد و مقدار آن در محل هدف برابر  $SL-TL$  خواهد بود. در اثر انعکاس و یا پراکندگی که به وسیله هدف ایجاد می‌شود، چنانچه سطح قدرت هدف را با  $TS$  نمایش دهیم، مقدار منبع انتشار در اثر انعکاس پراکندگی برابر  $SL-TL+TS$  خواهد شد. در سیستم صوتی فعال، چون سیگنال به صورت دو طرفه می‌باشد بنابراین هنگام برگشت به منبع، به اندازه  $TL$  در اثر تلفات انتقال مجدداً کاهش یافته و برابر  $SL-2TL+TS$  خواهد شد.

پدیده‌های دریایی همچون جریان‌ات دریایی، امواج داخلی، ادی‌ها و غیره به شدت بر روی پیش بینی و عملکرد سیستم سونار اثر دارند [۱-۴]. به علت انتشار خوب امواج صوتی در دریا (در مقایسه با امواج رادیویی) سونارهای مختلف از انرژی صوتی برای مقاصد خود بهره می‌گیرند. بنابراین، برای بهره‌برداری از خصوصیات مختلف محیط انتشاری که صوت از آن عبور می‌کند، و به منظور بهبود عملکرد سونارها، بایستی از محیط‌های نرم افزاری جهت شبیه سازی استفاده نماییم، که می‌توانند اثر عوامل محیطی را بررسی کرده و پیش‌بینی انتشار و پیش‌بینی کارایی سونار را در شرایط مختلف و در زمانها و مکانهای مختلف فراهم کنند. سونار فعال مانند یک رادار معمولی، سیگنال صوتی را (توسط پروژکتور) ارسال می‌کند، این انرژی صوتی به هدف برخورد نموده و موج انعکاسی به هیدروفون منعکس می‌شود. با پردازش سیگنال انعکاسی از هدف، امکان آشکارسازی و تخمین پارامترهای مجهول به وجود می‌آید. در سونار غیرفعال، آشکارسازی و تخمین براساس صداهایی است که از خود هدف منتشر می‌شود، مانند نویز ماشین آلات، نویز حرکتی و صدای تولیدی از سونار فعال هدف. این نوع سونار بدون اینکه صدایی تولید کند فقط به صداهای پیرامون خود گوش می‌دهد و آن‌ها را پردازش و تحلیل می‌کند تا اطلاعات مورد نظر را استخراج نماید. سونارهای غیرفعال به علت اینکه توسط دشمن فرضی قابل شناسایی نیستند، در سالهای اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. یکی دیگر از مزایای سیستم‌های غیرفعال این است که از لحاظ زیست محیطی، بهتر و بی‌خطر هستند. سونار از بخش‌های سخت افزاری و



شکل (۱) پارامترهای مختلف معادله سونار فعال [۱۰].

$$SNRAV = SL - 2TL + TS + NL + DI - RL \quad (۴)$$

از این رابطه می‌توان در طراحی و تحلیل کارکرد تجهیزات زیرآبی استفاده نمود.

### ۱-۲- نویز محیطی

مدل نویز ترکیبی از نویز رفت و آمد کشتی، حرارتی، تلاطم و وضعیت دریا می‌باشد. نویز حاصل از ترافیک کشتیرانی (۱۰-۳۰۰ Hz) بصورت

$$NL_{traffic} = 10 \cdot \log \left( \frac{3 \cdot 10^8}{(1 + 10^4 \cdot f)} \right) \text{ dB re } 1 \mu\text{Pa} \quad (۵)$$

و نویز آشفته‌گی (اغتشاش): آشفته‌گی در آب به صورت تصادفی، باعث ایجاد نویز در محیط می‌شود.

$$NL_{turbu} = 30 - 30 \cdot \log f \text{ dB re } 1 \mu\text{Pa} \quad (۶)$$

در سال ۱۹۵۲ ملن نشان داد که نویز گرمایی ناشی از مولکول‌های دریا محدودیتی برای حساسیت هیدروفون می‌باشد، که این محدودیت در فرکانس‌های بالا مؤثر می‌باشد. سطح طیف نویز معادل، برای دماهای معمولی به صورت رابطه (۷) می‌باشد.

$$NL_{therm} = -15 + 20 \log f \text{ dB re } 1 \mu\text{Pa} \quad (۷)$$

که در آن  $f$  فرکانس بر حسب کیلوهرتز می‌باشد.

نویز سطح دریا، تابعی از سرعت باد  $V_w$  بر حسب Kn و فرکانس  $f$  بر حسب کیلوهرتز بصورت رابطه زیر می‌باشد.

$$NL_{ss}(f, v_w) = 40 + 10 \cdot \log \left( \frac{v_w^2}{1 + f^{3/5}} \right) \text{ dB re } 1 \mu\text{Pa} \quad (۸)$$

جمع کل سطح نویز می‌توان توسط رابطه ذیل محاسبه نمود.

$$NL_{ss}(f, v_s, S, v_w) = 10 \cdot \log (10^{0.1NL_{traffic}} + 10^{0.1NL_{turbu}} + 10^{0.1NL_{ss}} + 10^{0.1NL_{therm}}) \quad (۹)$$

در این تحقیق از رابطه (۸) جهت محاسبه نویز ناشی از حالت دریا استفاده شده است [۱۱].

### ۱-۳- تلفات انتقال

هنگامی که سیگنال صوتی در میان محیط اقیانوس انتقال می‌یابد، تحت تأثیر مسیرهای انحرافی چندگانه قرار گرفته و به وسیله مکانیسم‌های مختلف اتلافی تضعیف می‌گردد. در اندازه‌گیری‌های استاندارد آکوستیک زیر آب، از تغییر قدرت سیگنال با برد به عنوان "اتلاف انتقال" تعبیر می‌شود. اتلاف انتقال به صورت نسبت شدت صوتی در یک نقطه از

چنانچه نویز محیطی با فرض اینکه همگرا باشد،  $NL$  در نظر گرفته شود، این مقدار به اندازه ضریب راستاوری  $DI$  که در اینجا به منزله یک گیرنده عمل می‌کند، کاهش یافته و در سر ورودی ترانسدیوسر قدرت نویز برابر با  $NL - DI$  خواهد بود. پس در سر پایانه‌های ترانسدیوسر مقدار نسبت سیگنال به نویز برابر با  $SL - 2TL + TS - (NL - DI)$  خواهد بود. هنگامی که نسبت سیگنال ورودی به نویز کمتر از حد آستانه  $DT$  باشد، فرض بر این است که هدف روی صفحه نمایش وجود ندارد و در صورتی که مقدار نسبت سیگنال ورودی به نویز بیشتر باشد، احتمال آشکار سازی هدف را در صفحه نمایشگر خواهیم داشت. حال در صورتی که فرمول اخیر را برابر  $DT$  قرار دهیم، معادله بوجود آمده را معادله سونار فعال گویند و خواهیم داشت [۱۱]:

$$SL - 2TL + TS - (NL - DI) = DT \quad (۱)$$

همچنین می‌توان نتیجه گرفت که فقط آن مقدار از پارازیت که بالای حد آستانه قرار دارد، روی سیگنال اثر می‌گذارد و می‌توان فرمول فوق را به صورت زیر نوشت:

$$SL - 2TL + TS = NL - DI + DT \quad (۲)$$

سمت راست معادله (۲) را سطح پوشش نویز یا به عبارتی سطح سیگنال آشکار سازی مینیمم گویند. سمت چپ این معادله برابر با سطح سیگنال اندازه‌گیری شده در هیدروفون می‌باشد. در این حالت معادله سونار را برای سوناری که در آن فرستنده و گیرنده در یک مجموعه واحد قرار گرفته‌اند که انرژی برگشته از هدف به طرف منبع انتشار هدایت می‌شود، در نظر می‌گیریم (سونار یک هنگامه). گاهی اوقات فرستنده و گیرنده سونار جدا از یکدیگر و در محل متفاوتی قرار گرفته‌اند به این سونارها، سونار دو هنگامه گفته می‌شود. در این حالت مقدار تلفات انتقال  $2TL$  در فرمول سونار فرق می‌کند. در حالتی که سطح صوت زمینه به جای نویز شامل طنین صوت باشد، معادله سونار را باید مقدار جزئی تغییر دهیم. برای سطح صوت زمینه شامل نویز عبارت  $NI - DI$  با سطح معادل طنین یک موج مسطح یعنی  $RL$  جایگزین می‌شود بنابراین معادله سونار به صوت زیر در می‌آید:

$$SL - 2TL + TS = (RL + DI) \quad (۳)$$

حاصل جمع  $RL + DI$  سطح پوشش نویز است. به طور کلی می‌توان مقدار مقدار بُرد عملیاتی یا فاصله کارکرد تجهیزات زیرآبی به کمک رابطه زیر محاسبه نمود.

فیزیکی در این تحقیق از اندازه‌گیری‌های دما و شوری در دریای خزر که در فصل بهار سال ۱۹۹۵ میلادی توسط آژانس بین‌المللی انرژی اتمی یونسکو به مدت ده روز اندازه‌گیری شده است، استفاده شد [۱۲].

به منظور شبیه‌سازی عملکرد سونار فعال در دو ایستگاه به طول جغرافیایی ۵۱/۱۵ و عرض جغرافیایی ۳۹/۶۷ در خزر جنوبی و ایستگاه بعدی به طول جغرافیایی ۴۲/۸۴ و عرض جغرافیایی ۴۹/۸۵ در خزر شمالی به عنوان دو ایستگاه نمونه برای دو حوزه مختلف شمالی و جنوبی انتخاب گردید. ابتدا با استفاده از فرمول منکزی برای دو ایستگاه سرعت صوت محاسبه گردید [۱۳] (اشکال (۲) و (۳)). همانطوری که در این اشکال مشاهده می‌کنید، در دو ایستگاه روند تغییرات سرعت صوت از دما پیروی می‌کند.

## ۲-۱- روند اجرای سناریو شبیه سازی صوت

برای بررسی نحوه عملکرد تجهیزات زیرآبی در حالت فعال در این دو ایستگاه مراحل ذیل انجام شد:

۱- محاسبه سرعت صوت در دو ایستگاه: با توجه به فرمول منکزی [۱۳] سرعت صوت در دو ایستگاه شمالی و جنوبی محاسبه شد و خروجی‌ها هر کدام در فایل جداگانه ذخیره و به عنوان ورودی گام بعدی استفاده گردید.

میدان  $I(r,z)$  به شدت در فاصله یک متری از منبع  $I$  به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$TL = -10 \log \frac{I(r,z)}{I_0} = -20 \log \frac{P(r,z)}{P_0} \quad (10)$$

## ۱-۴- قدرت جسم

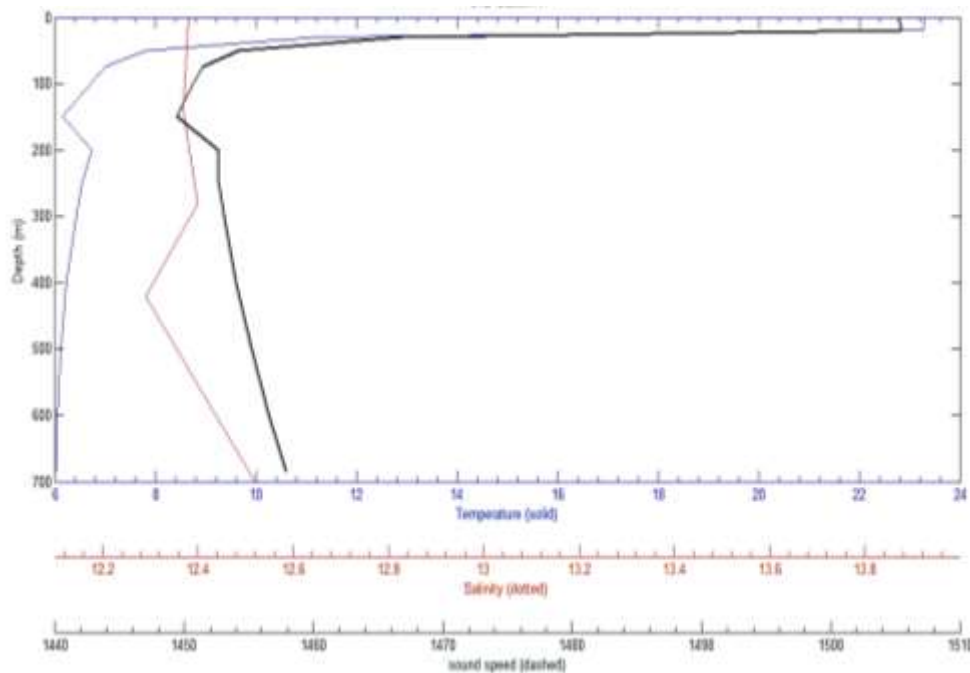
میزان TS اجسام با شکل هندسی منظم ساده برای اکثر اشکال با توجه به شکل هندسی آن‌ها قابل محاسبه است. در کتاب یوریک در جدول (۱) قدرت هدف برگشتی برای اکثر اجسام ارائه کرده است [۱۱]. هنگامی که سیگنال صوتی به یک هدف زیر آبی ارسال می‌شود با توجه به ابعاد جسم و نوع مواد بکار رفته، مقداری سیگنال منعکس می‌کند که این میزان به عنوان قدرت هدف معرفی می‌شود. به طور مثال برای یک هدف مستطیلی شکل به ابعاد  $a \times b$ ، در صورتی که زاویه تابش برابر با  $\theta$  باشد، به شرطی که  $r > \frac{a^2}{\lambda}$ ،  $kb \gg 1$  و  $a > b$  باشد، آنگاه قدرت هدف از رابطه (۱۱)، بدست می‌آید.

$$TS = \left(\frac{ab}{\lambda}\right)^2 \left(\frac{\sin \beta}{\beta}\right)^2 \cos^2 \theta \quad dB \quad (11)$$

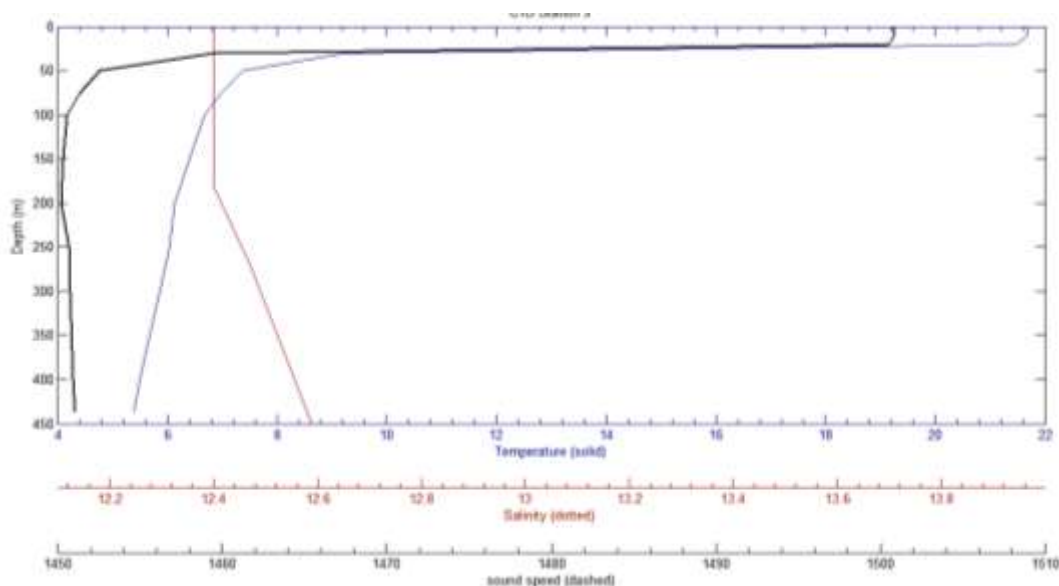
که در آن  $\beta = ka \sin \theta$  است.

## ۲- روش کار

منطقه مورد مطالعه و تجزیه و تحلیل پارامترهای هیدرو



شکل (۲) مقایسه پروفایل قائم دما، شوری و سرعت صوت در ایستگاه جنوبی.



شکل (۳) مقایسه پروفایل قائم دما، شوری و سرعت صوت در ایستگاه شمالی.

از رنگهای سرد و متمایل به آبی استفاده شده است. در این اشکال، محور افقی معرف فاصله، محور قائم معرف عمق آب می‌باشند.

#### ۲-۲-۱- محاسبه میدان فشار آکوستیکی

اشکال (۴) و (۵) روند تغییرات شدت فشار آکوستیکی در حالت مستقل از برد هنگامی که چشمه آکوستیکی در عمق ۵ متر، فرکانس ۴۰ کیلوهرتز در ایستگاههای جنوبی و ایستگاه شمالی را نشان می‌دهند.

جدول (۱) مشخصات ورودی پارامترهای محیطی سناریو شبیه‌سازی فشار آکوستیکی جهت اعمال در نرم‌افزار طراحی شده.

پارامتر محیطی	مشخصه پارامتر محیطی
سرعت موج تراکمی در بستر	۱۴۵۷/۸۰ m/s
سرعت موج برشی	۰ m/s
ضریب تضعیف موج تراکمی	۰/۲ dB/m/Hz
ضریب تضعیف موج برشی	۰ dB/m/Hz
چگالی بستر	۱/۵ g/cm
توپوگرافی	در حضور توپوگرافی
نیمرخ سرعت	در دو ایستگاه شمالی و جنوبی از سطح تا بستر
فصل شبیه‌سازی	بهار
شرط مرزی سطح	خلاء

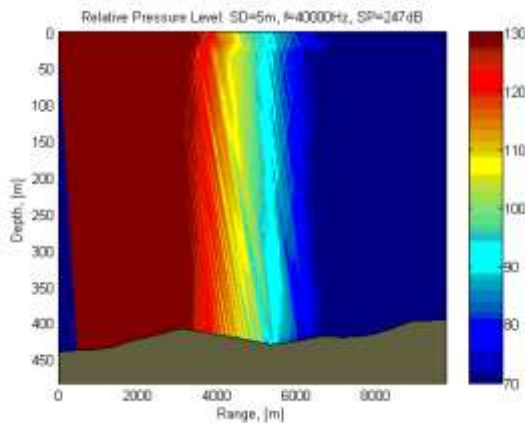
۲- محاسبه فشار آکوستیکی: برای محاسبه فشار آکوستیکی با توجه به فرکانس انتخابی (فرکانس بالا) از مدل‌های حل موج آکوستیکی، روش پرتو انتخاب گردید [۱۴] نتایج این بخش را در فایلی به فرمت مطلب ذخیره نموده تا در مرحله بعدی از این خروجی‌ها برای محاسبات فرمول سونار فعال استفاده شود.

۳- محاسبه تلفات انتقال: با توجه به اینکه هدف بررسی سونار فعال می‌باشد، بنابراین سیگنال ارسالی در دو مسیر دچار تلفات انتقال خواهد شد. با استفاده از خروجی گام دوم، با توجه به فرمول تلفات انتقال (۱۰) محاسبه گردید و عدد محاسبه شده در ۲ ضرب گردید.

۴- با استفاده از فرمول معادله سونار فعال، میزان سیگنال برگشتی از هدف براساس جداول (۱) و (۲) (مشخصات سیستم صوتی فعال و مشخصات محیط انتشار است) محاسبه شد و خروجی به صورت شدت رنگ که معرف میزان اتلاف سیگنال برگشتی است، نمایش داده شد.

#### ۲-۲-۲- بحث و نتیجه‌گیری

در تمام خروجی‌ها اشکال تلفات انتقال این تحقیق، مقدار شدت تلفات انتقال در هر نقطه از دریا با شدت رنگ نشان داده شده است. میله رنگی سمت راست در اشکال، معرف میزان شدت توان متناظر به هر رنگ است. شدت توان صوتی بیشتر با رنگهای سرخ تر و گرم نشان داده شده‌اند. به تدریج که اثر تلفات انتشار و جذب از شدت انرژی کاسته می‌شود



شکل (۵) روند تغییرات شدت فشار آکوستیکی در حالت مستقل از برد (چشمه آکوستیکی در عمق ۵ متر، فرکانس ۴۰ کیلوهرتز در ایستگاه شمالی).

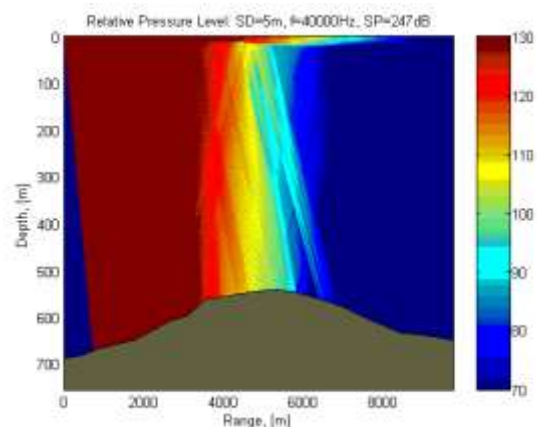
در ضمن در این اشکال مشاهده می‌کنید که پرتوها بیشتر به سمت پایین خمیده شده است (پرتوهای صوتی تمایل دارند به مکان‌های که سرعت صوت کمتر است، خمیده شوند)، بنابراین در این فصل خصوصیات بستر بر روی انتشار صوت خیلی موثرتر از سطح دریا هستند.

### ۲-۲-۲- بررسی نمودار تلفات انتقال سیگنال برگشتی از هدف

با استفاده معادله سونار (رابطه (۴)) و مشخصات پارامترهای ورودی که در جدول (۱) ارائه شده است، میزان تلفات انتقال سیگنال برگشتی از هدفی که هدف در عمق ۵ متری به صورت ساکن نصب شده باشد (قدرت هدف ۱۲db)، و گیرنده در سمت فرستنده ولی در اعماق ۵ (لایه آمیخته)، ۵۰ (لایه ترموکلاین) و ۳۰۰ متری (لایه همدم) نصب شده باشد، محاسبه گردید. اشکال (۶) و (۷) روند تغییرات میزان شدت فشار آکوستیکی بازگشتی از هدف برای گیرنده آکوستیکی در عمق ۵ متر، فرکانس ۴۰ کیلوهرتز در ایستگاه جنوبی و شمالی را نشان می‌دهد. در این اشکال مشاهده می‌کنید که میزان اتلاف سیگنال برگشتی از هدف ثابت، در ایستگاه شمالی بیشتر از ایستگاه جنوبی است. در ضمن سیگنال برگشتی تا فاصله‌ای ۵۰۰ متری از هدف در ایستگاه جنوبی مشاهده می‌شود ولی در ایستگاه شمالی تا حدود ۳ کیلومتری از هدف، سیگنال برگشت داده شده است. بنابراین با این شبیه سازی می‌توان نتیجه گرفت که این سیستم صوتی در آبهای خزر جنوبی عملکرد بهتری نسبت به ایستگاه شمالی دارد. برای اعماق ۵۰ و ۳۰۰ نیز شبیه‌سازی انجام شد که در این تحقیق ارائه نشده ولی نتایج در بخش بعدی برای یک عمق خاص، نشان داده شده است.

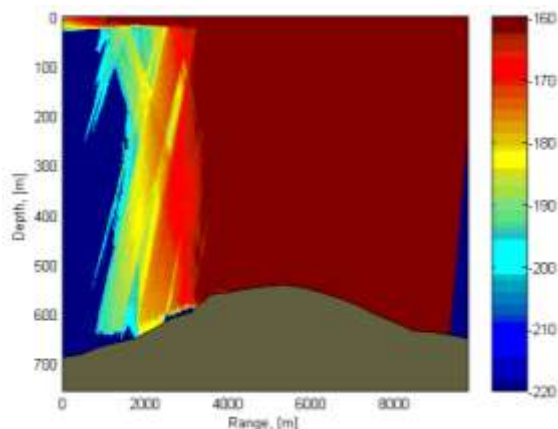
جدول (۲) مشخصات سیستم زیرآبی برای اعمال به نرم افزار طراحی شده.

نام پارامتر	مشخصه پارامتر
نوع چشمه آکوستیکی	نقطه ای
فرکانس منبع چشمه آکوستیکی	۴۰۰۰۰ هرتز
عمق منبع (چشمه آکوستیکی)	۵ متر
زاویه بین ترانسدوسر	(۴۰، -۴۰)
حداکثر عمق	ایستگاه شمالی ۴۸۳ و ایستگاه جنوبی ۶۸۶ متر
برد شبیه‌سازی	۱۰ کیلومتر
شدت توان منبع صوتی SL	۲۴۷dB
نویز محیطی NL	۴۲dB (نویز ناشی از حالت دریا با سرعت ۰٫۵ متر بر ثانیه) (رابطه ۸)
اعماق هدف	۵ (لایه آمیخته) - ۵۰ (لایه ترموکلاین) - ۳۰۰ (لایه همدم)
قدرت هدف TS	۱۲dB
اعماق دریافت سیگنال صوتی جهت محاسبه تلفات ناشی از بازتاب هدف در گیرنده	۵ (لایه آمیخته) - ۵۰ (لایه ترموکلاین) - ۳۰۰ (لایه همدم) متری
فاصله هدف از چشمه آکوستیکی	۹ کیلومتر
ضریب راستاوری ID	۴dB

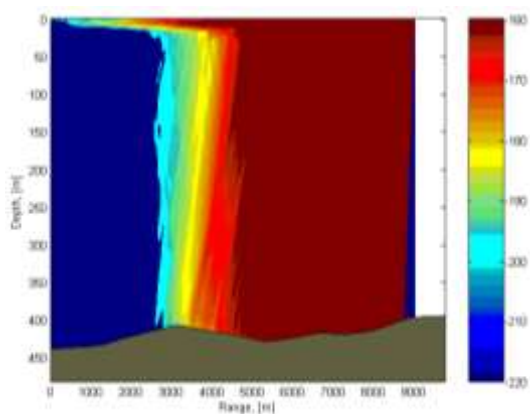


شکل (۴) روند تغییرات شدت فشار آکوستیکی در حالت مستقل از برد (چشمه آکوستیکی در عمق ۵ متر، فرکانس ۴۰ کیلوهرتز در ایستگاه جنوبی).

همانطوری که ملاحظه می‌کنید در هر دو شکل میزان فشار آکوستیکی که در فاصله ۱۰ کیلومتری دریافت می‌شود، در حدود ۷۰db می‌باشد. در خزر جنوبی کانال صوتی سطحی ایجاد می‌شود که باعث می‌شود، سیگنال صوتی تا برد ۹ کیلومتری منتشر شود.



شکل (۶) روند تغییرات میزان شدت فشار آکوستیکی بازگشتی از هدف، گیرنده آکوستیکی در عمق ۵ متر، فرکانس ۴۰ کیلوهرتز در ایستگاه جنوبی.



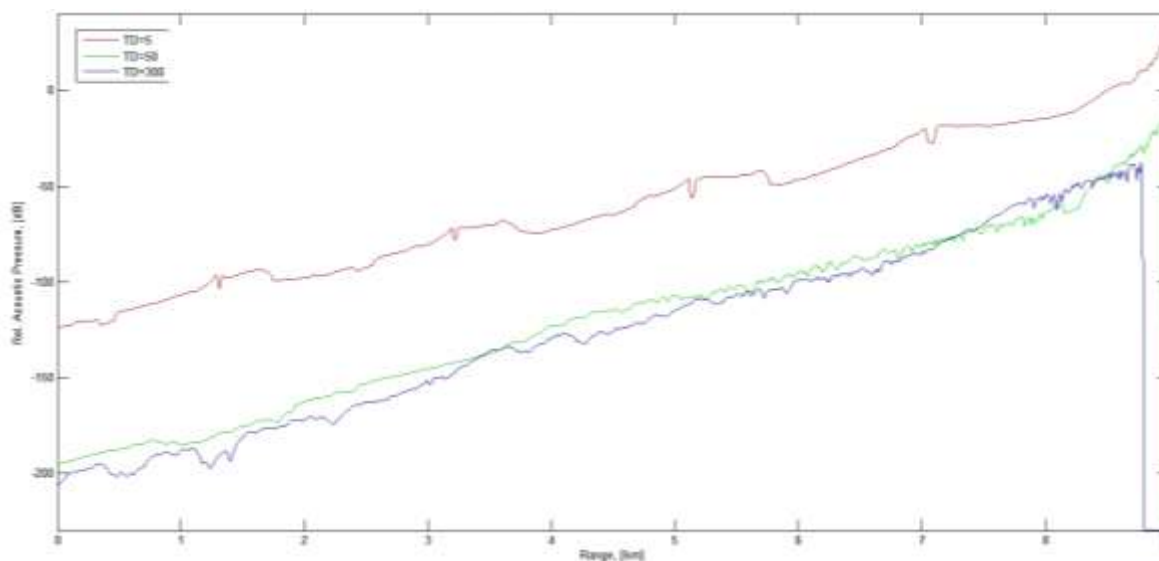
شکل (۷) روند تغییرات میزان شدت فشار آکوستیکی بازگشتی از هدف، گیرنده آکوستیکی در عمق ۵ متر، فرکانس ۴۰ کیلوهرتز در ایستگاه شمالی.

### ۲-۲-۳- میزان تلفات انتقال برگشتی از هدف

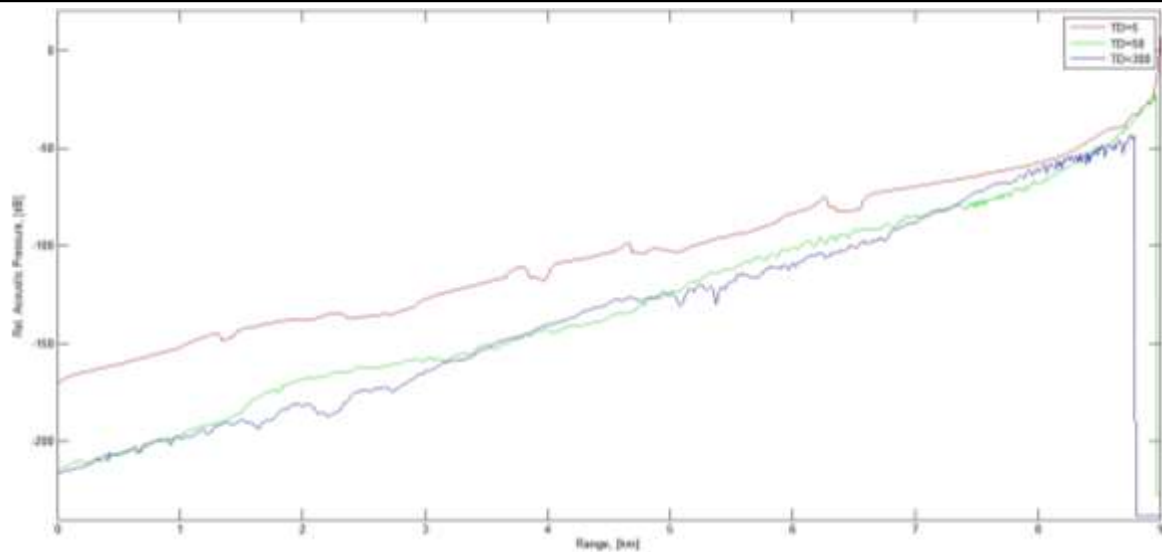
برای مقایسه بهتر، میزان اتلاف سیگنال برگشتی از هدف، برای یک عمق خاص، از اشکال (۶) و (۷) در یک نمودار نشان داده می‌شود. اشکال (۸) و (۹) روند تغییرات میزان شدت فشار آکوستیکی بازگشتی از هدف، هنگامی که چشمه آکوستیکی در اعماق ۵ (قرمز)، ۵۰ (سبز) و ۳۰۰ (آبی) متری برای ایستگاه جنوبی و شمالی نشان می‌دهد.

### ۴- نتایج

در این تحقیق، برای فصل بهار که روند تغییرات سرعت صوت از دما پیروی می‌کند، عملکرد یک سیستم صوتی زیر آبی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در این مطالعه، با حل معادله موج آکوستیکی برای فرکانس بالا با روش پرتو و با فرض اینکه برخی از پارامترهای سونار معلوم باشد، نحوه میزان اتلاف سیگنال برگشتی از هدفی (قدرت هدف ۱۲db) در عمق ۵ متری و گیرنده‌ها در سمت فرستنده و در اعماق ۵، ۵۰ و ۳۰۰ متری نصب شده باشد، بررسی شد. نتایج نشان داد که در ایستگاه شمالی، هنگامی که گیرنده در عمق ۵ متری در محل فرستنده‌گی، نصب شده باشد، سیگنال برگشتی از هدف در حدود ۵۰db- نسبت به ایستگاه جنوبی، بیشتر تلفات انتقال مشاهده می‌شود ولی در اعماق پایین تر از ۵۰ متری، در حدود ۱۵db- مشاهده می‌شود. بنابراین با توجه به خصوصیات این سیستم زیرآبی، این سیستم عملکرد بهتری در خزر جنوبی دارد.



شکل (۸) روند تغییرات میزان شدت فشار آکوستیکی بازگشتی از هدف در حالت مستقل از برد (چشمه آکوستیکی در عمق ۵ متر، فرکانس ۴۰ کیلوهرتز در ایستگاه جنوبی).



شکل (۹) روند تغییرات میزان شدت فشار آکوستیکی بازگشتی از هدف در حالت مستقل از برد (چشمه آکوستیکی در عمق ۵ متر، فرانکس ۴۰ کیلومتر در ایستگاه شمالی).

#### ۵- مراجع

- [8] Dowling, D. R. "Predicting Time Reversing Array Performance in Shallow Ocean Waters", Department of Mechanical Engineering, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan, pp.1-6, 2001.
- [9] Yang, S. K., Chiu, S. M. and Wei, R. C. "Study of Reverberation Pattern and its Cancellation Method in Shallow Water", Theoretical and Applied Mechanics, Vol.34, No.3, pp.173-195, 2007.
- [10] Zhang, L., Meng, C. X., and Na, J., "Simulation for Range Prediction of Active Sonar in Shallow Water", In Applied Mechanics and Materials, Vol.385, pp.514-517, 2013.
- [11] Urick, R. J., Principles of Underwater Sound, 3rd edition, McGraw-Hill, 1983.
- [12] UNESCO, IHP-IOC-IAEA, Workshop on Sea Level Rise and Multidisciplinary Studies of Environmental Processes in the Caspian Region 9-12 May. Paris, France IOC workshop No 108, 1995.
- [13] Jensen, F. B., Kuperman, W. A., and Porter, M. B., Computational Ocean Acoustics, Modern Acoustics and Signal Processing, Springer. P.813, 2011.
- [۱۴] اکبری نسب، محمد. صدری نسب، مسعود. بیدختی، عباسلی. علی اکبری. چگینی، وحید. "مطالعه جریان نفوذی از خلیج فارس به دریای عمان و اثر آن بر روی نحوه انتشار صوت"، نشریه اقیانوس شناسی، شماره ۲۰، صفحات ۱۱ تا ۱۷. زمستان ۱۳۹۳.
- [1] Calado, L., Gangopadhyay, A., and Da Silveira, I. C. A., "Feature-Oriented Regional Modeling and Simulations (FORMS) for the Western South Atlantic: Southeastern Brazil Region", Ocean Modelling, Vol.25, No.1, pp.48-64. 2008.
- [2] Calado, L., Da Silveira, I. C. A., Gangopadhyay, A., and De Castro, B. M., "Eddy-Induced Upwelling off Cape São Tomé (22 S, Brazil)", Continental Shelf Research, Vol.30, No.10, pp.1181-1188. 2010.
- [3] Calado, L., Gangopadhyay, A., and Silveira, I. C. A., "A Parametric Model for the Brazil Current Meanders and Eddies off Southeastern Brasil", Geophys. Res. Lett. 33, L12602. 2006.
- [4] Shaji, C., and Gangopadhyay, A., "Synoptic Modeling in the Eastern Arabian Sea during the Southwest Monsoon using upwelling Feature Models", Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, Vol.24, No.5, pp.877-893. 2007.
- [5] Bowen, J. I., and Mitnick, R. W., "A Multi static Performance Prediction Methodology", Johns Hopkins APL Technical Digest, Vol.20, No.3, p.425, 1999.
- [6] Larsson, A. I., and Gillard, C., "On Waveform Selection in a Time Varying Sonar Environment", Australian Acoustical Society Conference, pp.73-78, 2004.
- [7] He, Z., and Rijie, Y., "Analysis of Measured Data and its Effect on Active Sonar Working Depth in the Yellow Sea", International Conference on Electronic Science and Automation Control, pp.8-11, 2015.