

## بررسی انتشار و تغییرات صوت در بندر دیر

افشین محسنی آراسته<sup>(۱)</sup> - محمدرضا بنازاده ماهانی<sup>(۲)</sup> و عباسعلی عبیدی<sup>(۳)</sup>

۱ و ۳ - دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران صندوق پستی: ۱۸۱-۱۹۵۸۵

۲ - انجمن علوم و فنون دریایی ایران، تهران صندوق پستی: ۳۳۸۴-۱۹۳۹۵

تاریخ دریافت: بهمن ۱۳۷۸ تاریخ پذیرش: بهمن ۱۳۷۹

### چکیده

استفاده‌های شیلاتی آکوستیک چه از نظر تجاری و چه تحقیقاتی در یافتن توده ماهیها، و سایر آبریزان حائز اهمیت است ولی استفاده از این روش و تعیین اطلاعات دقیق در مورد کلیه خصوصیات موجودات زنده، اطلاع کافی از تغییرات سرعت صوت، نحوه انتشار پرتوها و میزان جذب و تضعیف آنها را طلب می‌کند. این تحقیق به بررسی نحوه تغییرات سرعت صوت نسبت به عمق برحسب خصوصیات فیزیکی آبهای منطقه بندر دیر در شمال شرقی جزیره فارسی و حدود ۵۰ کیلومتری جنوب دلووار (عرض جغرافیایی ۲۸°۲ شمالی و طول جغرافیایی ۵۸°۵۰ شرقی) و همچنین محاسبه میزان جذب در این آبها پرداخته شده است. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که با افزایش عمق و کاهش دما تا ژرفایی حدود ۱۱ متر، سرعت صوت تقریباً ثابت می‌ماند لیکن از این عمق به بعد کاهش می‌یابد و در عمق ۱۹ متری کاهش شدیدتری ملاحظه می‌گردد که به کاهش دما نسبت داده می‌شود و دلیل آن جریان آب سردتر در آن عمق است. با بررسی منحنی‌های جذب صوت در منطقه، مشاهده می‌شود که بیشترین میزان تضعیف، در محدوده عمقی ۱۷ تا ۲۷ متری وجود دارد.

**کلمات کلیدی:** صوت - فاکتورهای محیطی - بندر دیر - خلیج فارس - ایران

## مقدمه

آکوستیک، کاربردهای زیستی زیادی خصوصاً در فعالیتهای شیلاتی نظیر برآورد توده ماهیان و سایر آبزیان، شمارش گونه‌های خاص، تعیین نوع، اندازه، چگالی، مقدار و بررسی رفتار ماهیان و مشاهده حرکت آنها در نزدیکی سدهای مخصوص تولید برق، دام‌گذاری و ... دارد. ماهیان نه تنها بعنوان یک پراکنده‌کننده و جاذب پرتوهای صوتی بشمار می‌روند بلکه خود نیز می‌توانند بعنوان یک منبع تولید صوت عمل کنند. این آبزیان بعنوان یک پراکنده‌کننده، عموماً بواسطه خصوصیات یا ساختار علامت پژواکی مرتبط با نوفه برگشتی خود تشخیص داده می‌شوند و فاصله آنها از زمان رسیدن پژواک اندازه‌گیری می‌گردد که لازمه آن دانستن منحنی تغییرات سرعت صوت می‌باشد. حالت خاصی که باید در نظر گرفته شود، وقتی است که انتشار پرتوها در نزدیکی سطوح مرزی صورت می‌گیرد. در خلیج فارس بعنوان یک منطقه کم عمق، از آنجائیکه مرزهای حوضه نسبت به توده آبی وسیع می‌باشند لذا سطح آب، بستر و توپوگرافی آن سبب انعکاسهای مکرر می‌گردند. بنابراین برای بدست آوردن اطلاعات دقیق از تمامی خصوصیات توده‌های زیستی که به تعدادی از آنها اشاره گردید، لازم است اطلاعات دقیقی از نحوه تغییرات سرعت صوت با عمق برحسب خصوصیات فیزیکی آب و همچنین نحوه انتشار پرتوهای صوتی و میزان تضعیف آنها داشته باشیم. مقاله حاضر به بررسی این موارد برای منطقه ساحلی دیر می‌پردازد. لازم بذکر است که در این رابطه، علی‌رغم بررسیهای گوناگون در حوضه‌های آبی مختلف دنیا، تاکنون هیچ تحقیقی در حوضه‌های آبی ایران انجام نگرفته است.

ابزارهای مختلف آکوستیکی که در کاربردهای متعدد شیلاتی استفاده می‌شوند معمولاً در محدوده فرکانسی ۲۰ هرتز تا ۲۰۰ کیلو هرتز قرار دارند لیکن فرکانسهای کمتر یا بیشتر نیز در کاربردهای خاص دیگر استفاده می‌شوند (Dowling & Williams ; Clay & Mcdwin, 1979). (1983).

خلیج فارس محیطی بسیار ناهمگن است. این ناهمگنیها بر دو دسته‌اند:

(۱) ناهمگنیهای منظم (۲) ناهمگنیهای اتفاقی

عامل اصلی ناهمگنیهای منظم، ارتباط سرعت صوت با مکان است. عملاً بدلیل این ساختار

ناهمگن، سرعت صوت (ضریب انکسار) در خلیج فارس همانند یک عدسی متمرکز کننده برای انتشار میدان آکوستیک عمل می‌نماید (Dowling & Williams, 1983).

متوسط سرعت صوت در آبهای خلیج فارس، حدود ۱۵۰۰ متر بر ثانیه است و می‌تواند به اندازه ۵۰ ± متر بر ثانیه تغییر کند (محسنی آراسته، ۱۳۷۷). حتی اگر تغییرات از حالت متوسط، کوچک باشند، قادرند بنحوی کاملاً مشخص انتشار صوت را در طول مسافتهای طولانی متأثر سازند.

در ناهماهنگیهای اتفاقی، خلیج فارس بصورت محیطی طبقه‌بندی شده از نظر دانسیته در نظر گرفته می‌شود. جابجایی ذره‌ای از سیال از حال تعادل و عمل یک نیروی بازگرداننده (ثقل) روی ذره، امواج داخلی ایجاد می‌نماید که بزرگترین منبع اختلال در سرعت صوت است. امواج داخلی بر تغییرات طیف فرکانس دریا تسلط دارند، که این تغییرات از چند سیکل بر ساعت (فرکانس شناوری) تا تقریباً یک سیکل در روز (فرکانس اینرسی) متغیرند (Tielburger *et al.*, 1997 ; Hassan, 1993).

برای بسیاری از مقاصد لازم است خلیج فارس را بصورت محیطی لایه‌ای در نظر بگیریم. بعنوان مثال، پروفیل‌های عمودی دما، شوری یا دانسیته همگی ساختاری تقریباً پله‌ای دارند که ضخامت لایه‌ها در آنها از دهها سانتیمتر تا چندین متر بوده و گستردگی افقی آنها در حد کیلومتر است. این ریز ساختارهای دریایی انتشارات آکوستیکی را متأثر می‌سازند زیرا گرادیانهای لایه عمودی قادر به تغییر سرعت صوت هستند و در نتیجه مسیر پرتوهای آکوستیک در اثر این گرادیانها تغییر خواهند نمود. جریانات دریایی نیز در این اثرات سهمیناند (Hassan, 1993).

سرعت صوت در بسترهای کم عمق، حدود سرعت صوت در کف آب است (تقریباً ۱۵۰۰ متر بر ثانیه) و می‌تواند کمتر (برای خاک رس، تقریباً ۱۵۳۰ متر بر ثانیه) و یا بیشتر (برای ماسه‌های رسی، تقریباً ۱۷۰۰ متر بر ثانیه) و یا خیلی بیشتر (برای رسوبات کم تخلخل، تقریباً ۱۸۰۰ متر بر ثانیه) باشد. سرعت امواج فشار در زیر بستر، ۳ تا ۴ برابر بیشتر از درون آب است و سرعت امواج برشی حدوداً ۲ مرتبه (۳۰۰۰ متر بر ثانیه) می‌باشد (McIeroy & Loach, 1968; Hamilton, 1980).

جذب صوت در بستر، تقریباً با فرکانس متناسب است. در فرکانسهای پایین، خصوصیات مواد بستر بر انعکاس صوت تسلط دارند در حالیکه بالاتر از چند کیلو هرتز، توپوگرافی نقش مهمی ایفاء می‌نماید.

## مواد و روشها

انتقال صوت در ناحیه مورد مطالعه، به عوامل محیطی متعددی بستگی دارد که مهمترین آنها عبارتند از: عمق و ساختار بستر، خصوصیات فیزیکی مواد تشکیل دهنده بستر، ساختار سرعت صوت در آب، توزیع و نحوه پراکنده کننده‌های صوتی درون آب و شکل سطح آب. در این تحقیق برای بررسی دقیق نحوه انتشار صوت، منطقه مورد مطالعه به سه بخش سطحی، محیط آبی و بستر تقسیم گردید. سپس نحوه انتشار و تغییرات سرعت صوت و میزان تضعیف پرتوهای صوتی در منطقه بندر دیر (شمال شرقی جزیره فارسی و حدود ۵۰ کیلومتری جنوب دلوار) محاسبه شد. برای اینکار از اطلاعات مربوط به خلیج فارس که توسط شناور تحقیقاتی Mt. Mitchell در گشت صد روزه از بهمن ماه ۱۳۷۰ تا اردیبهشت ماه ۱۳۷۱ انجام شده بعنوان داده‌ها و از یک برنامه رایانه‌ای به زبان بیسیک برای محاسبات مربوط به سرعت و تضعیف صوت استفاده گردیده است. اطلاعات مربوط به منطقه مورد مطالعه در تاریخ ۲۷ فروردین ماه ۱۳۷۱ در دور سوم، ناحیه اول و در ایستگاههای ۱۰۳۳ الی ۱۰۴۸ برداشت گردیده است. عمق منطقه از ۳۶/۶ متر در بخش دور از ساحل ناحیه اول، تا ۱۴/۳ متر در بخش نزدیک ساحل آن متغیر است. حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد رسوبات این منطقه کربناته می‌باشند. توده رسوبی این منطقه ماسه‌ای و ماسه‌ای گلی است و بیش از ۲۱ درصد رسوبات، نامحلولند (Purser, 1973). اندازه این رسوبات نیز با افزایش فاصله از ساحل افزایش می‌یابد.

اساس برنامه‌نویسی رایانه‌ای نیز فرمولهای مورد تأیید یونسکو برای سرعت صوت است (UNESCO, 1991).

برای برداشت اطلاعات با استفاده از دستگاه CTD به عملیات CTD متری پرداخته شده است. این دستگاه شامل یک محفظه فشاری مرکزی، ساخته شده از شیشه اکریل با کیفیت بالا می‌باشد.

در این محفظه، پیش‌پردازنده قیاسی (آنالوگ)، جمع‌کننده اطلاعات، کنترل مرکزی، حافظه، صفحه نمایش، دکمه‌های نشانی مغناطیسی و منبع تغذیه قرار دارند. انتهای پایینی دستگاه شامل حسگر فشار، دما و هدایت است. در کاربردهای مختلف از ابزار زیر نیز استفاده می‌گردد:

- رابط مناسب همراه با خروجی اطلاعات برای ارتباط با کامپیوتر

- کامپیوتر Labtop با چاپگر و بسته نرم‌افزاری مناسب برای پردازش و تحلیل میدانی

## نتایج

مناطق اطراف بندر دیر، ناحیه‌ای با تغییرات شدید خصوصیات فیزیکی آب است که بر میزان سرعت و تضعیف صوت اثر می‌گذارد و در عمق‌های مختلف صورت می‌گیرد. با در نظر گرفتن منطقه مورد بررسی بصورت یک محیط چینه‌بندی شده و فرض اینکه تغییر پیوسته سرعت صوت با متغیری مثل  $Z$  دارای  $N$  بخش باشد، یعنی این محیط را که در آن سرعت صوت بطور پیوسته تغییر می‌کند به  $N$  بخش تقسیم کنیم، سرعت صوت در هر بخش ثابت بوده و هنگام عبور از مرز هر بخش تغییر می‌کند.

در اعماق زیاد، فشار با عمق افزایش می‌یابد که سبب افزایش تقریباً خطی سرعت صوت با عمق می‌گردد. شکل مسیر پرتوها را در این حالت می‌توان با رابطه زیر ارائه نمود:

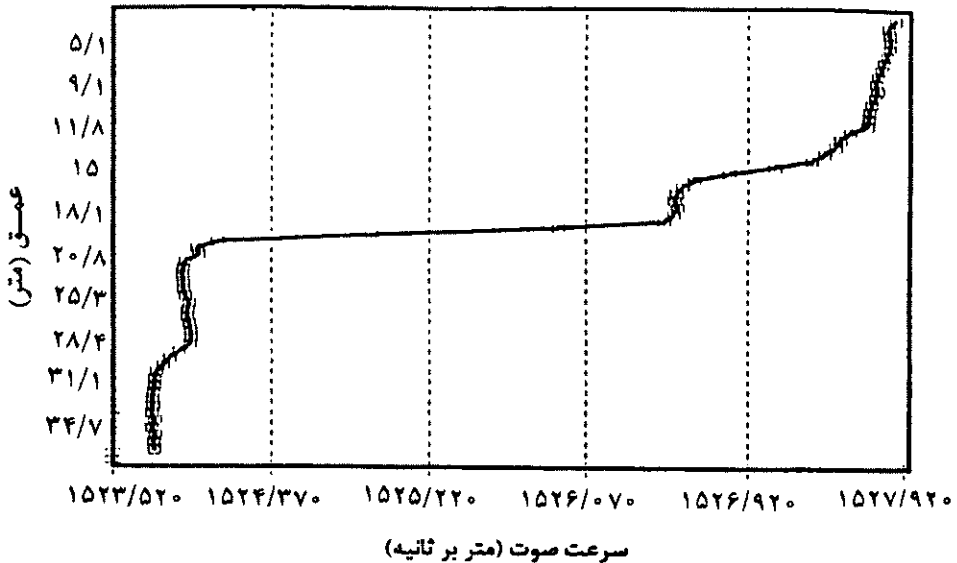
$$(y - \cotg \theta/a)^2 + (Z + 1/a)^2 = \operatorname{cosec}^2 \theta/a^2 \quad (1)$$

رابطه فوق بیان می‌دارد که مسیر پرتوها کمانی از دایره‌ای بشعاع  $\operatorname{cosec} \theta/a$  است که مرکز آن در  $(\cotg \theta/a$  و  $-1)$  است. بیشترین مقدار  $Z$  عبارت است از  $(\operatorname{cosec} \theta - 1)/a$  که به ازای آن تمامی پرتوها بسمت بالا برمی‌گردند. در رابطه فوق  $\theta$  زاویه پرتو نسبت به خط عمود بر صفحه و  $a$  پایای انتشار صوت است.

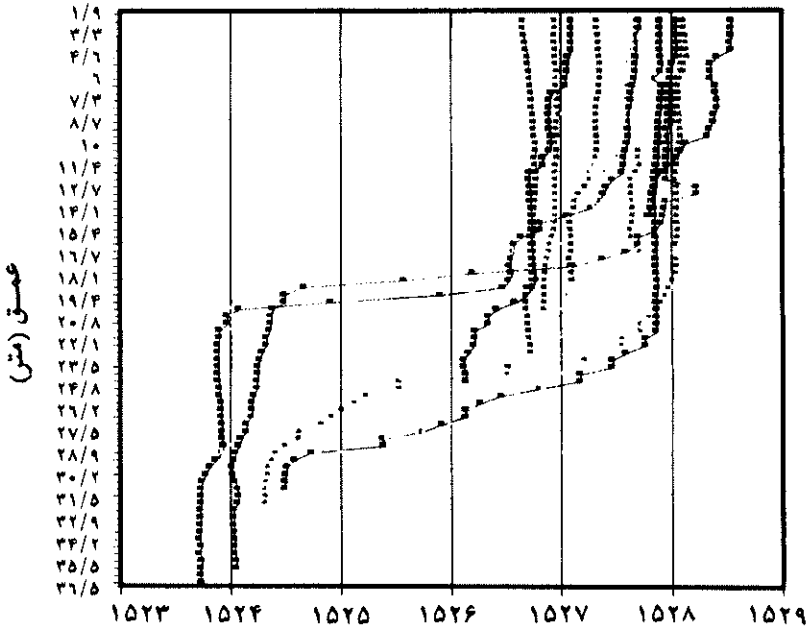
اصولاً در خلیج فارس (بندر دیر)، منحنی سرعت، نامنظم و غیرقابل پیش بینی است و بسیار تحت تأثیر سرد و گرم شدنهای سطحی، تغییرات شوری و جریانات آبی است. این منحنی بواسطه اثر تغییرات شوری که ناشی از منابع ورودی آب شیرین که ممکن است در بردارنده چندین لایه با پایداری موقتی باشند، پیچیده‌تر می‌گردد. در بخش کم عمق منطقه، سرعت صوت در عمق‌های

مختلف تقریباً ثابت است بجز در مناطقی که شار ورودی رودخانه‌ها یا جریانات زیرآبی وجود دارد. در چند متر اول لایه سطحی، میزان سرعت صوت تقریباً ثابت است لیکن ناگهان دارای تغییرات شدید می‌گردد. یک منحنی نمونه از میزان تغییرات سرعت صوت با عمق برای منطقه بندر دیر در شکل ۱ آورده شده است. شکل ۲ نیز تغییرات سرعت را با عمق در چند نقطه در همان منطقه نشان می‌دهد.

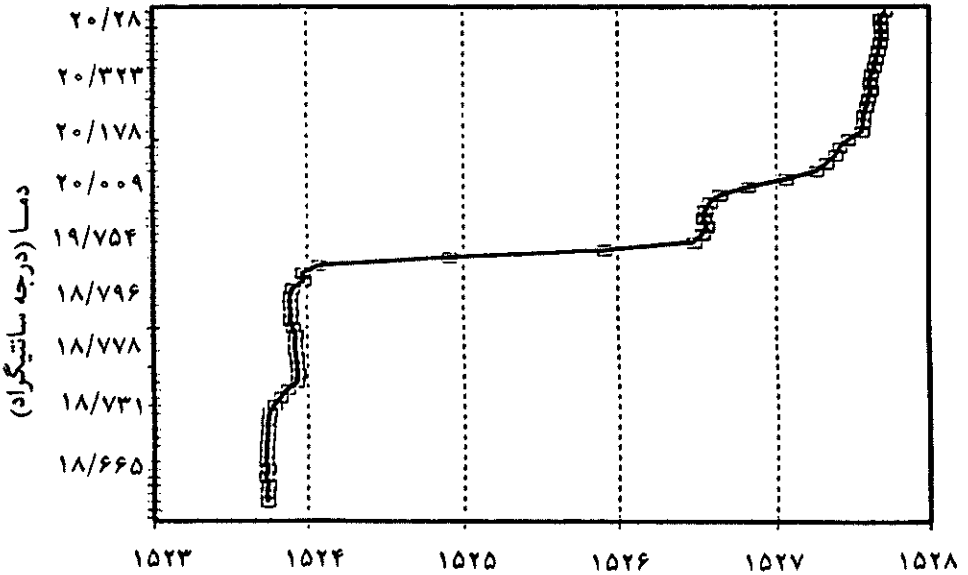
با بررسی منحنی نمونه سرعت صوت بر حسب دما (شکل ۳) در می‌یابیم که با افزایش عمق و کاهش دما تا ژرفایی حدود ۱۱ متر، سرعت تقریباً ثابت می‌ماند لیکن از این عمق به بعد، شاهد کاهش سرعت می‌باشیم و در عمق ۱۹ متری کاهش شدیدتر سرعت را داریم که نشان دهنده کاهش شدیدتر دما است و بیانگر وجود آب با دمای پایینتر در آن عمق است. تغییرات خصوصیات فیزیکی آب، تأثیر چشمگیری روی میزان جذب صوت در آبهای این منطقه دارد.



شکل ۱: تغییرات سرعت صوت با عمق در ایستگاه ۱۰۳۳ بندر دیر



شکل ۲: سرعت صوت بر حسب عمق در ایستگاههای مختلف بندر دیر



شکل ۳: تغییرات سرعت صوت با دما در ایستگاه ۱۰۳۳ بندر دیر

علت اصلی جذب در فرکانسهای کمتر از ۱۰۰ کیلوهرتز، واهلش یونی (Ionic relaxation) مولکولهای سولفات منیزیم است که فرآیندی از نوع تجزیه-بازترکیب است و دارای زمان محدود واهلش است. در این فرآیند یونهای سولفات منیزیم تحت فشار امواج صوتی در محلول تجزیه می‌شوند. اگر چه مقدار سولفات منیزیم تنها ۴/۷ درصد از وزن کل نمکهای محلول در آب دریا است لیکن تحقیقات مشخص نمود که سولفات منیزیم از نظر جذب بین نمکهای تشکیل دهنده آب دریا غالب است. بررسی داده‌های بدست آمده بوضوح نشان می‌دهد که در فرکانسهای کمتر از ۱ کیلوهرتز، ثابت تضعیف حدود ۱۰ برابر بزرگتر از مقداری است که از طریق تخمین مقادیر فرکانس بالا بدست می‌آید. علت این امر، فرآیند واهلش بور-بورات است. در این فرآیند، اسید بوریک عامل این افزایش تضعیف است. یونهای دیگر که با مقادیر کمتر یا بیشتر وجود دارند نیز فرآیند را تحت تأثیر قرار می‌دهند و در نتیجه ثابت جذب نیز تحت تأثیر قرار خواهد گرفت. نتیجه آنکه در فرآیند بورات، pH یا عامل اسیدی دریا ایفای نقش می‌نماید بنابراین با در نظر گرفتن تمامی اثرات، میزان تضعیف را می‌توانیم بصورت زیر بنویسیم:

$$\alpha_s = \frac{1/71 \times 10^4 \left( \frac{\mu_{Fe}}{4} + \mu_F \right) f^2}{P_F C_F^2} + \frac{SA^- f_{rm} f^2}{f^2 + f_{rm}^2} (1 - 1/23 \times 10^{-3} P_A) \quad (2)$$

که در آن:

$$f_{rm} = 21/9 \times 10^{[6 - 1520/(1 + 273)]} \text{ kHz} \quad \text{فرکانس واهلش سولفات منیزیم}$$

$$f_{rb} = 0/9 (1/5)^{1/18} \text{ kHz} \quad \text{فرکانس واهلش اسید بوریک}$$

$$A^- = 1/2 \times 10^{-4} \text{ dB/(kHz.m)} \quad \text{و} \quad A^+ = 2/03 \times 10^{-5} \text{ dB/(kHz.ppt.m)}$$

S شوری برحسب ppt،  $P_A$  فشار محیط برحسب اتمسفر و T دما برحسب درجه سانتیگراد است. تغییر فشار نیز بر میزان جذب در آب، هم از نظر تئوری و هم از نظر تجربی اثر دارد لیکن بدلیل عمق کم منطقه، از این اثر صرف‌نظر می‌گردد. با بررسی تغییرات جذب صوت در ایستگاههای مختلف بندر دیر مشخص گردید که بیشترین میزان تضعیف در محدوده عمقی ۱۷ تا ۲۷ متر وجود دارد لذا سیگنالهای برگشتی از ماهیان موجود در آن عمق، تفاوت مشخصی را با سیگنالهای برگشتی در اعماق دیگر نشان می‌دهند. بنابراین برای استفاده مفید از این علائم، لازم



است که طیف این علائم در هر منطقه بدقت بررسی و آنالیز شده و فرکانسهای ارسالی، مناسب با هر منطقه، تنظیم گردد، خصوصاً در مناطقی که عمق آب افزایش می‌یابد. پیشنهاد می‌گردد برای آشکارسازی و قابلیت تفکیک بالاتر در محدوده عمقی مذکور در منطقه مورد مطالعه، از فرکانسهای پایینتر استفاده نمود تا توان تضعیف کاهش یافته و قابلیت نفوذپذیری آکوستیک افزایش یابد.

روی بستر شنی خلیج فارس که معمولاً هموار است، هم دانسیته و هم سرعت صوت نسبت به آب بیشتر است. برای شنهای درشت، دانسیته تقریباً دو برابر آب و سرعت صوت حدود  $1830$  متر بر ثانیه است. آزمایشات انجام شده با انواع مختلف بستر، نشان می‌دهد که انتقال روی بستر ماسه‌ای بخوبی صورت می‌گیرد، یعنی بسترهای ماسه‌ای قدرت انعکاس بالایی دارند. بسترهای صخره‌ای و ماسه‌ای - گلی، بسیار شبیه بستر ماسه‌ای رفتار می‌کنند لیکن انتقال، بخوبی بستر ماسه‌ای نیست. نهایتاً اینکه بستر گلی، پرتوهای صوتی زیادی را منعکس نمی‌نماید.

در فرکانسهای کم، تضعیف در رسوبات متناسب با  $f^2$  و در فرکانسهای بالا متناسب با  $f^{1/2}$  تغییر می‌کند. همچنین مکانیسمهای دیگر اتلاف علاوه بر چسبندگی، در این تضعیف نقش دارند که یکی از آنها مالش ذرات به یکدیگر یا اصطکاک است. لذا اتلاف متناسب با جابجایی ذرات خواهد بود نه سرعت آنها، بنابراین میتوان تضعیف را در رسوبات منطقه، بصورت زیر بیان کرد:

$$a = bf^m \quad (3)$$

که در آن  $b$  ثابت بوده و  $a$  برحسب دسی بل بر واحد فاصله است.

صلابت رسوبات به تخلخل بستگی دارد و از آنجائیکه به تماسهای بین ذره‌ای نیز بستگی دارد لذا هنگامیکه صلابت زیاد باشد، اتلاف ناشی از اصطکاک بیشتر خواهد بود. اتلاف ناشی از تضعیف در رسوبات، ثابت انعکاس را برای علائم منعکس شده در مرز رسوب - آب نسبت به حالت بدون اتلاف کاهش می‌دهد.

بستگی سرعت صوت بصورت تابعی از زمان سیر یکسویه  $T$  برای آن عمق  $(T)$  از مرز رسوب (آب) نیز بصورت زیر است:

$$c(T) = V_0 + KT \quad (4)$$

که در آن  $V_0$  و  $K$  نتایج اندازه‌گیریهای تجربی سرعت در رسوبات هستند. مقادیر  $K$  بین  $0/9$  تا  $3/9$  کیلومتر بر مجذور ثانیه تغییر می‌کند،  $V_0$  نیز بین  $1/2$  تا  $1/8$  کیلومتر بر ثانیه تغییر می‌نماید.

## بحث

علاوه بر دما دو عامل دیگر شامل شوری و فشار نیز روی سرعت صوت اثر می‌گذارند و افزایش هر یک از این عوامل سبب افزایش سرعت صوت می‌گردد که اثر ترکیبی از آنها را می‌توان بصورت زیر تعریف کرد:

$$C = \Delta C_{v,35,0} + \Delta C_T + \Delta C_S + \Delta C_P + \Delta C_{STP} \quad (5)$$

که در آن  $C_{v,35,0}$  سرعت در صفر درجه سانتیگراد، شوری  $35$  قسمت در هزار و فشار اتمسفر است (Lovett, 1978 & UNESCO, 1991). در رابطه فوق ترتیب جملات برحسب درجه اثرگذاری آنها است. جملات بعدی، بترتیب جملات تصحیح برای دما، شوری، فشار و تغییر لحظه‌ای هر سه خصوصیت با یکدیگر است.

دمای آب در نزدیکی سطح، گرمتر بوده و با عمق کاهش می‌یابد. این تغییر دما بدین معنا است که سرعت صوت نیز کاهش خواهد یافت.

اثر تغییرات شوری روی سرعت صوت عموماً از کمترین اهمیت برخوردار است مگر در مناطقی که شاری (Flux) از آب تازه بسمت آب بسیار شورتر وجود داشته باشد در چنین حالتی تغییرات شدید شوری با عمق خواهد بود.

اصولاً اتلاف انرژی صوتی در آبهای منطقه مورد مطالعه همانند دیگر مناطق جهان، ناشی از سه اثر است که عبارتند از: چسبندگی برشی (Shear viscosity)، چسبندگی حجمی (Volume viscosity) و واهلشهای مولکولی (Molecular relaxation). چسبندگی برشی ناشی از نیروهای اصطکاکی در مدت حرکت نسبی بین لایه‌های مجاور توده آب است. چسبندگی حجمی ناشی از ترتیب مجدد مولکولی است که در مدت یک سیکل موج صوتی در آب صورت می‌گیرد. واهلشهای مولکولی نیز جایگزینی مجدد مولکولها در اثر تغییر فشار است. اتلاف انرژی آکوستیکی به زمان واهلش فرآیند بستگی دارد که با تناوب موج صوتی مقایسه می‌گردد. وقتی که زمان

واهلش با تناوب صوت خیلی اختلاف داشته باشد، اتلاف بر سیکل کوچک است. لیکن وقتی که هر دو تقریباً برابر باشند، اتلاف بر سیکل حداکثر است. زمان واهلش برای سه فرآیند مولکولی شناخته شده در آب دریا تقریباً برابر است با  $10^{-11}$  برای جزء آب تازه،  $10^{-5}$  برای سولفات منیزیم و  $10^{-3}$  برای اسید بوریک (Clay & Medwin, 1979). میزان جذب صوت ناشی از تمامی اثرات با رابطه ۲ داده شده است.

در حالات خاص، تضعیف توده آب ممکن است در مدت چند دقیقه تغییر کند. چنانچه آب ناهمگن باشد مثلاً در آن ذرات معلق یا میکروسولولهای با دمای مختلف قرار گرفته باشند یا در ناحیه‌ای از آن اغتشاش برپا باشد، تضعیفی علاوه بر تضعیفهای دیگر در آن ایجاد می‌گردد که دو علت اولیه آن فرآیند اضافه جذب و پراکندگی است (Dupis & Weill, 1993). در آبی که حبابهای معلق گاز وجود داشته باشد تضعیف بسیار زیادی برای صوت پیدا می‌شود. مثلاً اتلاف مربوط به نیروهای چسبندگی و رسانش گرمایی توأم با تراکم و انبساط حبابهای کوچک هوا، موجب می‌گردند که انرژی صوتی تلف گردد. همانطوری که گفته شد اثر دیگر ناهمگنی، پراکندگی است و مقصود از آن برداشت مقدار کمی انرژی بوسیله هر حباب از تابه مستقیم و تابش آن به اطراف است.

وجود حبابهای گاز ماهیت محیطی را که در آن تابه‌های صوتی انتشار می‌یابند تغییر می‌دهد زیرا چگالی و تراکم‌پذیری (مدل کپ‌های) محیط را تغییر داده و در نتیجه سرعت انتشار صوت در آن محیط تغییر می‌کند. پس اگر مقدار زیادی حباب گاز در آب وجود داشته باشد، تابه صوتی بواسطه بازتاب، شکست، جذب و پراکندگی تضعیف خواهد شد. در صورت تجمع تعداد زیادی حباب با شعاعهای کوچک نسبت به طول موجی که باید از آنها عبور کند، تضعیف قابل ملاحظه‌ای در صوت پدید می‌آید. اجتماع عظیم موجودات دریایی نیز در یک محل قادر به ایجاد تضعیفی قابل ملاحظه در تابه‌های صوتی است (Chan, 1989).

در بررسیهای آکوستیک خلیج فارس، بستر دریا از توجه زیادتری خصوصاً در فرکانسهای پایین برخوردار است که به دلیل نقش دوگانه بستر دریا در انتشار آکوستیک است (Hassan, 1993). اندرکنشهای (Interaction) زیاد بستر می‌تواند انتشار از راه آب را شدیداً

كاهش دهد و از طرف ديگر، بستر خليج فارس (و زير بستر) قادر به ايجاد يك مسير زمينى است كه نه تنها نسبتاً پايدار است بلكه حتى در شرايط محيطى كه در آن، از انتقال از راه آب جلوگيرى مى‌شود نيز بوجود مى‌آيد. به دو دليل شكست صوت از بستر بسيار پيچيده‌تر از سطح آب بوده و پيش‌بيني اتلاف شكست، دشوارتر خواهد بود. اول اينكه خصوصيات آكوستيكي بستر متغيرتر است زيرا ساختار آن از سنگهائى سخت تا ماسه‌هاى نرم متفاوت مى‌باشد و دوم اينكه بستر، لايه لايه بوده و در نتيجه دانسيته و سرعت صوت در آن با عمق تغيير خواهد كرد.

در خليج فارس خصوصيات بستر دريا كه در انتقال صوت نقش دارند از يك منطقه به منطقه ديگر متفاوت است. مكانى ممكن است يافت شود كه دريا در آنجا توسط صخره‌هاى بلورى يا صخره‌هاى پوشيده شده از رسوبات، تپه‌ها يا باقىمانده آنها، سنگريزه، شن و ماسه، شن و ماسه و گل يا رسوبات گلى احاطه شده باشد. ولى بيشتر، نواحى با ساختار ماسه‌اى (كمتر از ۱۰ درصد ذرات با قطرى كمتر از ۰/۰۶۲ ميليومتر و حداقل ۹۰ درصد ذرات با قطرى كمتر از ۲ ميليومتر)، ماسه و گل (۱۰ تا ۵۰ درصد ذرات با قطرى كمتر از ۰/۰۶۲ ميليومتر) و يا گل (۹۰ درصد ذرات با بيشتر با قطرى كمتر از ۰/۰۶۲ ميليومتر) ديده مى‌شوند. مناطقى كه شامل ذراتى به اندازه گل مى‌باشند از نظر فشردگى از مناطقى با ساختار رسي سخت تا مناطقى با ذرات معلق كه اجسام مى‌توانند تا عمق خاصى در آنها فرو روند تغيير مى‌كنند (Purser, 1973).

Weston در سال ۱۹۶۳ نشان داد كه مناطق كم‌عمق نظير خليج فارس به دو نوع تقسيم مى‌شوند: مناطق با اتلاف بستر كم و مناطق با اتلاف بستر زياد كه هر دو داراى اتلاف انتشار مشابه در فرکانسهاى بالا هستند ليكن اين اتلاف در فرکانسهاى كم متفاوت است.

مناطق با اتلاف بالا عموماً بسترى صخره‌اى دارند كه يا پوششى ندارند و يا بيشتر آنها با لايه‌اى نازك از رسوبات پوشيده شده‌اند. مناطق با اتلاف پايين نيز با لايه‌اى ضخيم از رسوباتى نظير ماسه يا گل پوشيده شده‌اند. اتلاف ناشى از توليد امواج برشى در بستر صخره‌اى يكي از اختلافات مهم بين اين دو ناحيه است. حتى اگر بستر خليج كاملاً صاف باشد، بخشى از انرژى آكوستيكي تابيده شده، بداخل مواد تشكيل دهنده آن انتقال يافته و بخشى نيز منعكس مى‌گردد. انرژى انتقال يافته بداخل بستر، از لايه‌هاى با مواد مختلف عبور مى‌كند و در مرز هر لايه نيز

انعکاس و انتقال رخ می‌دهد. انرژی منعکس شده درون بستر نیز بداخل آب بازگشته و نهایتاً با موج آکوستیکی که از مرز بستر - آب انعکاس پیدا کرده ادغام می‌شود.

از آنجائیکه منطقه مورد مطالعه دارای عمق کم (۱۴ تا ۳۶ متر) بوده و دارای رسوبات از نوع گلی می‌باشد لذا پرتوهای زیادی را منعکس نمی‌نماید و میزان جذب رسوبی در این منطقه بالا است که با افزایش فرکانس اصوات ارسالی، میزان تضعیف نیز افزایش می‌یابد. بنابراین استفاده از سیگنالهای کم فرکانس در این منطقه بیشترین استفاده را خواهد داشت.

استفاده از سیگنالهای کم فرکانس، دو اثر مهم دارد، اولاً میزان نوفه (Noise) حاصل از آنرا کاهش داده و ثانیاً با افزایش برد انتشار و عمق نفوذ قادر خواهد بود اطلاعات لازم در مورد خصوصیات شیلاتی مورد نظر را بدست دهد.

## منابع

محسنی آراسته، ا.، ۱۳۷۷. بررسی انتشار امواج صوتی در منطقه خلیج فارس. پایان‌نامه دکترا، واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی. ۲۱۴ صفحه.

**Chan, Y.T. , 1989.** Underwater acoustic data processing, Kluwer Academic Pub. Netherland. 674 P.

**Clay, C.S. and Medwin, H. , 1979.** Acoustical oceanography, John Wiley & Sons. U.S.A. 543 P.

**Dowling, A.P. and Efowes Williams, J.E. , 1983.** Sound and sources of sound. Ellis Horwood. U.K. 321 P.

**Dupis, H. and Weill, A. , 1993.** A model to estimate the density, characteristic surface, and coverage of Whitecaps using underwater sound. J. Geophys. Res. Vol. 98, No. C10, 18213 P.

**Hamilton, E.L. , 1980.** Geoacoustic modeling of the sea floor. J. Acoust. Soc. Amer., Vol. 68, No. 5, 1313 P.

- 
- Hassan B.A. , 1993.** Oceanographic variability in shallow water acoustics and the dual role of the sea bottom. IEEE J. Oceanic Eng. Vol. 18, No. 1, 31 P.
- Lovett, J.R. , 1978.** Merged seawater sound-speed equations. J. Acoust. Soc. Amer., Vol. 63, No. 6, 1713 P.
- Mcleroy, E.G. and De Loach, A. , 1968.** Sound speed and attenuation, from 15 to 1500 kHz, measured in natural sea floor sediments. J. Acoust. Soc. Amer., Vol. 44, 1148 P.
- Purser, B.H. , 1973.** The Persian Gulf, Springer-Verlag. U.K. 321 P.
- Tielburger, D. ; Finette, S. and Wolf, S. , 1997.** Acoustic propagation through an internal wave field in a shallow water waveguide, J. Acoust. Soc. Amer., Vol. 101, No. 2, 789 P.
- UNESCO, 1991.** Processing of oceanographic station data. U.S.A. 75 P.
- Weston, D.E. , 1963.** Propagation of sound in shallow water. J. British Institute of radio Eng., 26 P.