

## شبیه‌سازی عددی اثر امواج درونی ناشی از جزر و مد بر روی انتشار صوت در دریای عمان

سید حبیب‌اله حسینی<sup>۱</sup>، محمد اکبری‌نسب<sup>۲\*</sup> و محمدرضا خلیل‌آبادی<sup>۳</sup>

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه فیزیک دریا، دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی، دانشگاه مازندران، ایران

۲. استادیار، گروه فیزیک دریا، دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی، دانشگاه مازندران، ایران

۳. استادیار، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، شیراز، ایران

(دریافت: ۹۵/۱۱/۱۲، پذیرش نهایی: ۹۶/۱۱/۱۷)

### چکیده

محیط دریا، محیطی تلاطمی است. پدیده‌های مختلفی همچون امواج درونی، جبهه‌ها و جزر و مد و غیره که باعث تغییراتی در سرعت شاره در محیط می‌شوند در نتیجه باعث ایجاد تغییرات در انتشار صوت می‌شوند. در این مطالعه، با استفاده از مدل MITgcm به صورت دو بعدی، در شرایط غیرهیدرواستاتیک و کاملاً غیرخطی شکل‌گیری این امواج داخلی به واسطه جزر و مد داخلی در حضور تپه در خلیج عمان بررسی شد. سپس با استفاده از خروجی هیدرو فیزیکی مدل (دما و شوری)، در یک دوره جزر و مدی، پارامتر سرعت صوت (رابطه مکنزی) محاسبه گردید. نتایج تأثیر پرتوهای موج داخلی منتشر شده و بازتابیده شده بر پروفایل سرعت صوت را می‌توان به صورت اغتشاشات بین لایه‌ای در امتداد این پرتوها نشان داد. برای بررسی اثر فرکانس‌های مختلف در یک سیکل جزر و مدی، تلفات انتقال آکوستیکی مدل‌سازی شد و نتایج نشان داد که در فرکانس پایین، انرژی صوتی بیشتر در محیط نفوذ می‌کند و در فرکانس بالا اثرات زیادی مشاهده نمی‌شود. نتایج نشان داد که حضور جزر و مد داخلی باعث فشرده‌گی و باز شدگی پرتوهای صوتی در محیط و افزایش برد امواج آکوستیکی در منطقه در برخی زمان‌ها جزر و مدی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: امواج درونی ناشی از جزر و مد، تلفات انتقال، دریای عمان، مدل MITgcm.

### ۱. مقدمه

سوناری حاصل از این امواج است (به‌عنوان مثال می‌توان به مطالعات مانک و همکاران در مرکز تحقیقات دفاعی آمریکا اشاره کرد که از دهه‌ی اواخر قرن بیستم شروع شد (فریتاس، ۲۰۰۸) و توسط افراد دیگر تاکنون ادامه پیدا کرده و توسعه یافته است و بدین منظور مدل‌های عددی مختلفی طراحی و توسعه داده شده است. با شکل‌گیری امواج داخلی در اعماق دریا و اقیانوس، پروفایل قائم مشخصه‌های فیزیکی ستون آب در عمقی که این امواج رخ می‌دهد دچار جابه‌جایی و اعوجاج می‌شود که یکی از نتایج بارز آن جابه‌جایی پروفایل سرعت صوت در ضخامتی از ستون آب که این امواج شکل گرفته‌اند، خواهد بود. این پدیده منجر به خطای سوناری قابل توجهی خواهد شد. یکی از خصوصیات بارز و مهم آب‌های خلیج عمان مشاهده جریان خروجی خلیج فارس در بخش جنوبی و نیز نیروی جزر و مدی از شرق این منطقه

دریا محیطی پویا و دائماً در حال تغییر است و هرکدام از پدیده‌های دریایی دارای خصوصیات منحصر به فردی هستند. برای مثال پدیده‌هایی همچون جریان‌ها، امواج داخلی و تلاطم‌های کوچک‌مقیاس، لایه‌بندی افقی، جریان‌های نفوذی و افت‌وخیزهای دما و شوری در راستای قائم باعث ایجاد تغییرات بر روی سیگنال صوتی می‌شوند. هرکدام از این پدیده‌ها باعث ایجاد اکو بر روی سیگنال خروجی می‌شوند. تنها خصوصیت فیزیکی اقیانوس که بر انتشار امواج صوتی تأثیر می‌گذارد، سرعت صوت است؛ بنابراین انتشار پرتوهای صوتی نیز تحت تأثیر پدیده‌های مختلف دریایی قرار می‌گیرند. امواج داخلی، توزیع چگالی سیال و در نتیجه مسیر پرتوهای امواج صوتی را تغییر می‌دهند و منجر به خطای سوناری می‌شوند. اهمیت اصلی مطالعه امواج داخلی توسط محققین فیزیک دریا در اکثر کشورها تعیین خطای

تحقیق، بررسی اثر امواج درونی ناشی از جزر و مد بر روی نحوه انتشار صوت در مقطع طولی از خلیج عمان است. به طور کل روند اجرای این مقاله به صورت زیر است:

- بررسی مشخصه‌های پارامترهای هیدرو فیزیکی ناشی از امواج درونی جزر و مدی در مقطع طولی خلیج عمان،  
- اجرای سناریو مدل‌سازی انتشار صوت در فرکانس‌های مختلف و در یک سیکل جزر و مد.

## ۲. مواد و روش‌ها

### ۲-۱. منطقه مورد مطالعه

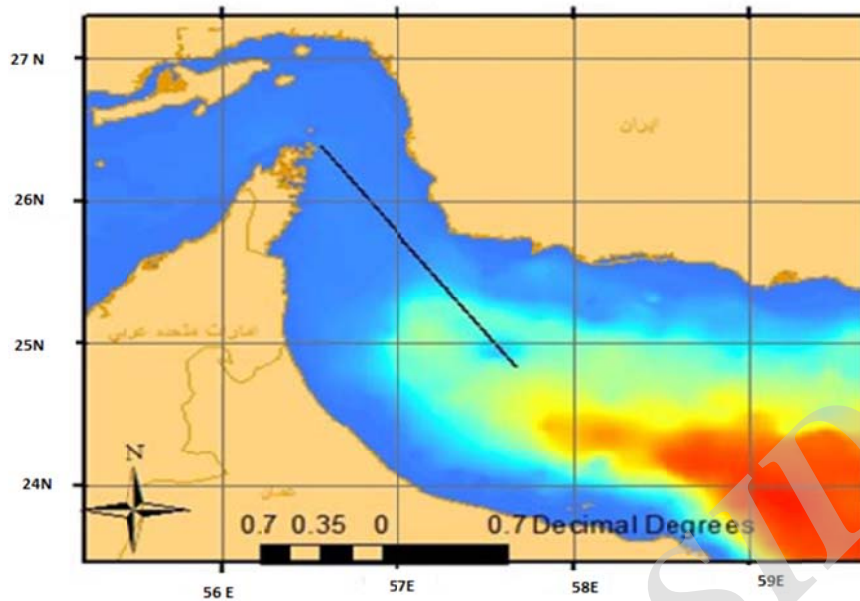
منطقه جغرافیایی مورد نظر برای این مطالعه محدوده‌ای از تنگه هرمز و خلیج عمان است که بین طول‌های جغرافیایی حدود ۵۶ تا ۵۹ درجه شرقی محصور است. خط مشکی در شکل ۱ معرف مسیر شبیه‌سازی انتشار صوت می‌باشد. در این شکل چشمه آکوستیکی در دریای عمان نصب می‌باشد و مسیر انتشار صوت به سمت تنگه هرمز است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود حضور تپه زیر آبی در این مقطع وجود دارد.

### ۲-۲. استخراج پارامترهای هیدرو فیزیکی حاصل از

#### اجرای مدل MITgcm

در این مطالعه، مدل MITgcm در حالت کاملاً غیرخطی و غیرهیدروستاتیکی و معادلات ناویر-استوکس در شرایط ضمنی به صورت دو بعدی بر مقطع طولی در خلیج عمان (شکل ۱) که دارای تپه زیر آبی است، اجرا شد (خلیل‌آبادی و همکاران، ۲۰۱۷). با استفاده از خروجی مدل، شامل پارامترهای هیدرو فیزیکی شامل دما و شوری از اجرای مدل MITgcm، تغییرات سرعت صوت به کمک فرمول مکنزی در منطقه محاسبه شد.

می‌باشد. جریان آب گرم و شور خلیج فارس باعث ایجاد وارونگی در اعماق بین ۱۵۰ تا ۳۵۰ متری در خلیج عمان می‌شود (اکبری نسب و همکاران، ۱۳۹۲). یکی دیگر از ویژگی‌های دریای عمان حضور تپه زیر آبی در منطقه می‌باشد. بر طبق پروفایل‌های فرکانس پایداری، لایه‌بندی چگالی خلیج عمان پایدار است که این خلیج را مستعد شکل‌گیری جزر و مد درونی می‌سازد. طول موج جزر و مد درونی از مرتبه ده‌ها کیلومتر است که وقتی به ناحیه کم‌عمق می‌رسد به مرتبه یک کیلومتر کاهش می‌یابد. این پدیده باعث تغییر در میدان دما و شوری منطقه خواهد شد. مطالعات زیادی در زمینه مدل‌سازی امواج داخلی و اثر آنها بر روی انتشار صوت انجام شده است. چین‌بینگ و همکاران (۱۹۹۴)، روند تشکیل ادی گرم و اثر آن را بر روی انتشار صوت مورد بررسی قرار دادند و نتایج نشان داد که این پدیده اقیانوسی از طریق شکل‌گیری جبهه‌های قطبی و برخورد آب گرم با یک جریان سرد تولید می‌شود و پروفایل سرعت صوت را به طور مکرر و تا عمق حدود ۳۰۰ متری واقع در نقاط مرکزی ادی گرم تحت تأثیر قرار می‌دهند. شو و همکاران (۲۰۰۸) اثر تغییرات مکانی و زمانی پارامترهای هیدرو فیزیکی داده‌برداری شده و مدل‌سازی شده توسط مدل MIT را بر روی انتشار صوت در خلیج دابوب به کمک روش مد نرمال بررسی نمودند. در این تحقیق اثر جزر و مد، تغییرات زمانی سرعت صوت و جنس بستر را بر روی تلفات انتقال صوت مورد بررسی و تجزیه تحلیل قرار دادند. سریدوی و همکاران (۲۰۱۰) اثر موج داخلی بر روی انتشار صوت در ساحل شرقی هند در بیمیلیاتام به کمک روش پرتو و مدل GM (Garrett Munk) با مکان‌های مختلف چشمه آکوستیکی در دو حالت مستقل از برد و وابسته به برد و نیز در بردهای مختلف بر روی دامنه و تأخیر زمانی سیگنال دریافتی بررسی کردند. هدف اصلی در این



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه و خط مشکی معرف محل شبیه‌سازی انتشار صوت.

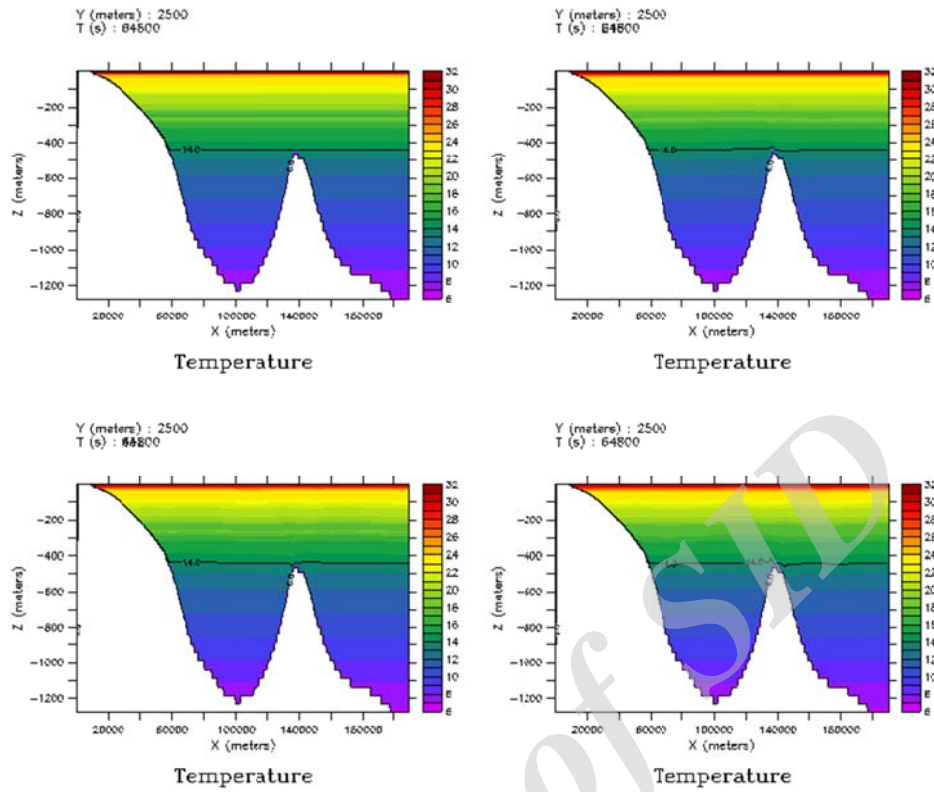
درحالی‌که در شرق تپه و در امتداد مسیر پرتو بازتابیده شده‌ی داخلی، سطح تماس لایه‌ها به سمت بالا کشیده شده است و یک تک موج با ارتفاع مثبت ایجاد کرده است. بنابراین شکل تک‌موج‌های داخلی که در امتداد پرتو بازتابیده شده‌ی شرقی شکل می‌گیرند در جریان‌های شرق سو و غرب سو مخالف یکدیگر است. همچنین شکل امواج داخلی که در بالای تپه شکل می‌گیرند نیز در جریان‌های شرق سو و غرب سو مخالف یکدیگر و همچنین مخالف تک‌موج‌هایی است که در هر حالت در شرق تپه شکل می‌گیرند (خلیل‌آبادی و همکاران، ۲۰۱۷). امواج روی تپه در جریان شرق سو (جریان جزر) دارای بیشینه‌ی ارتفاع حدود ۳۰+ متر است که تقریباً در عمق متوسط ۴۲۰ متر و در فاصله حدود ۲۰ متر از نوک تپه شکل می‌گیرد. در جریان غرب سو (جریان مد) نیز امواج روی تپه دارای بیشینه ارتفاع حدود ۲۰- متر است که تقریباً بین عمق‌های حدود ۳۸۰ تا ۴۰۰ متر شکل می‌گیرد. بنابراین امواج داخلی روی تپه در جریان شرق سو قوی‌ترند. ممکن است دلیل این پدیده، گسترده‌تر بودن محدوده‌ی آبی در شرق تپه باشد. شکل‌های ۴ و ۵ نیز روند الگوی موج درونی را نشان می‌دهد.

## ۲-۲-۱. تأثیر پرتوهای موج داخلی بر پروفایل

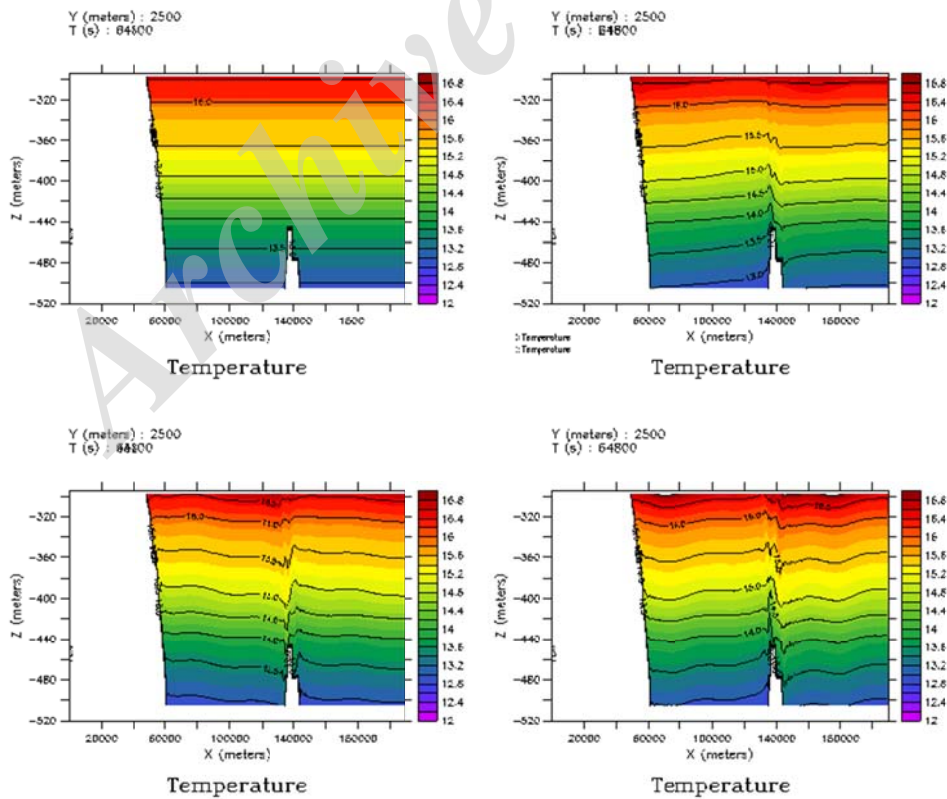
### مشخصه‌های هیدرو فیزیکی

شکل ۲ روند شکل‌گیری امواج داخلی بین لایه‌ای را فازهای زمانی مختلف از یک دوره‌ی جزر و مدی نشان می‌دهد. برای بررسی دقیق‌تر این امواج، تغییرات دمای پتانسیل بالای تپه برای این دوره جزر و مدی رسم شده است (شکل ۳).

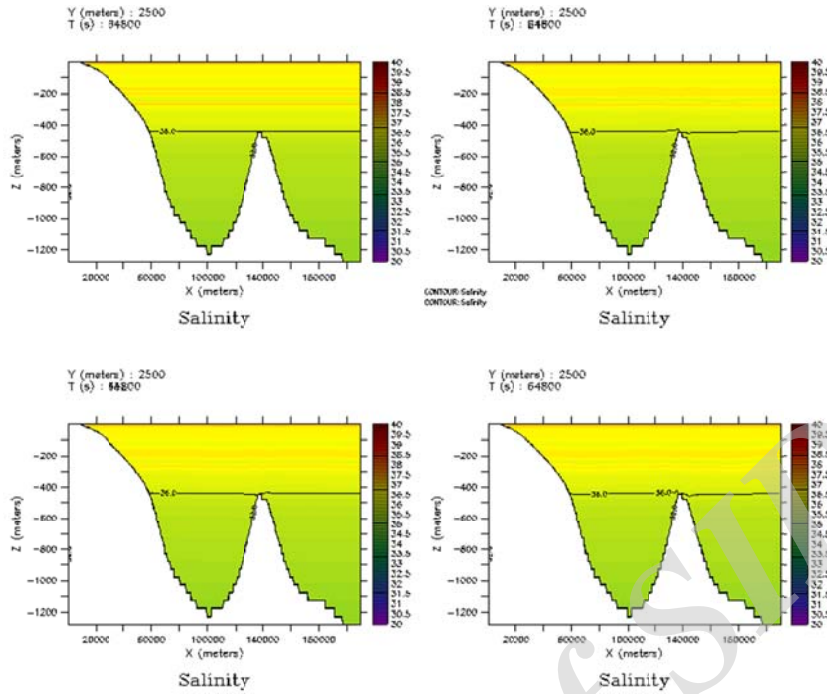
شکل‌گیری این امواج در امتداد مسیر پرتوهای جزر و مد داخلی دلیلی بر تابش شار انرژی است زیرا نوسانات داخلی بین لایه‌ای در محل تلاقی مرز لایه‌ها و مسیر پرتوها قوی‌تر بوده و امواجی با ارتفاع بیشتر را شکل می‌دهند. همان‌طور که این شکل نشان می‌دهد، وقتی جریان غرب سو است (جریان جزر)، مرز لایه‌ها در روی تپه به سمت بالا کشیده می‌شود و یک موج داخلی با ارتفاع مثبت را به وجود می‌آورد، درحالی‌که در شرق تپه و در امتداد مسیر پرتو بازتابیده شده‌ی شرقی، مرز لایه‌ها به سمت پایین کشیده شده است و یک تورفتگی یا تک موج داخلی با ارتفاع منفی در امتداد مسیر پرتو شرقی شکل می‌گیرد. در حالت جریان غرب سو (جریان مد) مرز لایه‌ها در روی تپه به سمت پایین کشیده شده است،



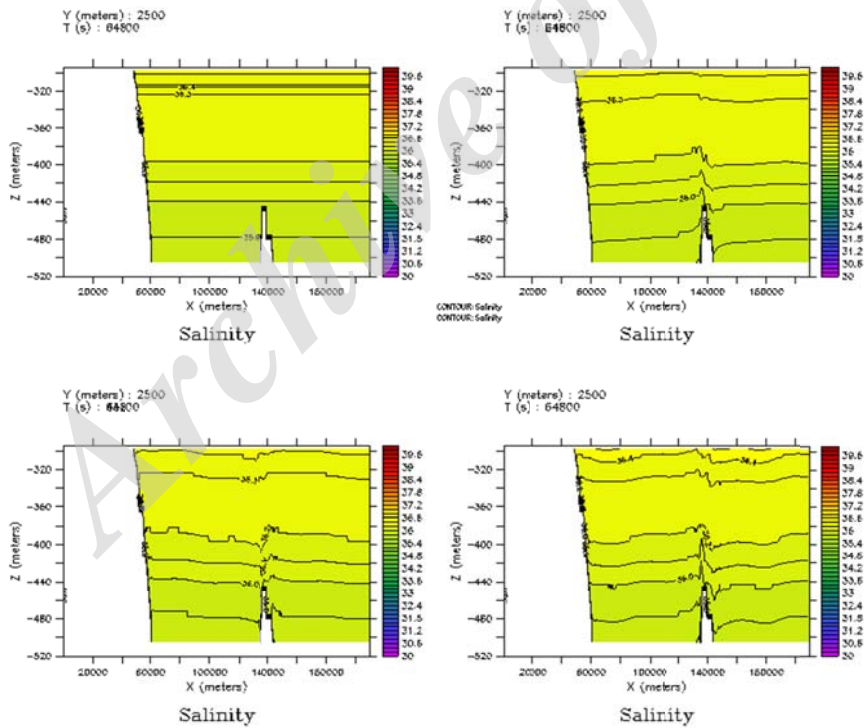
شکل ۲. تغییرات دمای پتانسیل در یک دوره‌ی جزر و مدی در مقطع مورد مطالعه.



شکل ۳. تغییرات دمای پتانسیل و کنتورهای امواج بین لایه‌ای در یک دوره‌ی جزر و مدی در بالای تپه.



شکل ۴. تغییرات شوری در یک دوره‌ی جزر و مدی در مقطع مورد مطالعه.



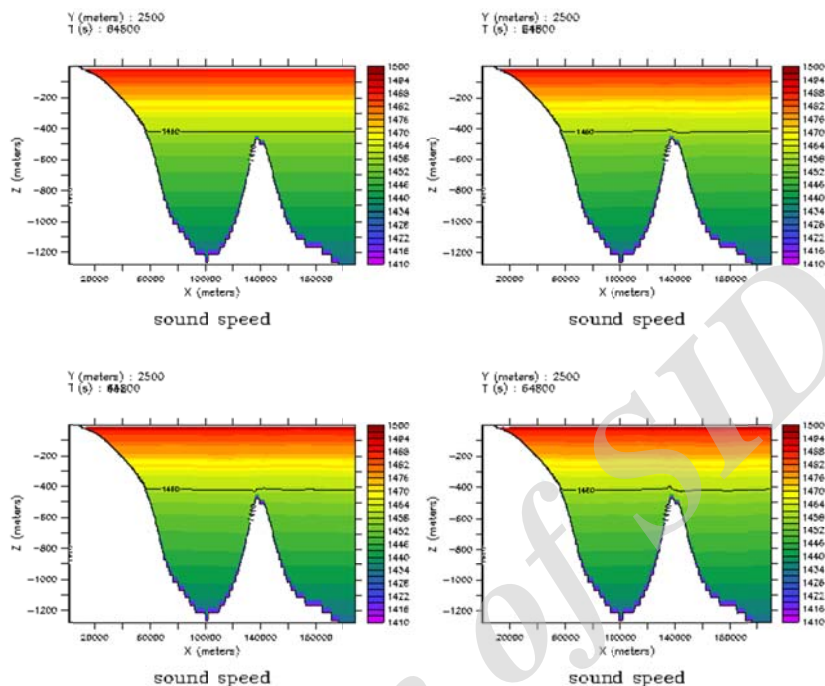
شکل ۵. تغییرات شوری و کنتورهای امواج بین لایه‌ای در یک دوره‌ی جزر و مدی در بالای تپه.

۷. شکل ۷، تغییرات پروفایل سرعت صوت را از بالای تپه تا سطح دریا برای یک دوره‌ی جزر و مدی نیمه روزانه نشان می‌دهد. در این شکل، اغتشاشات لایه‌های با سرعت

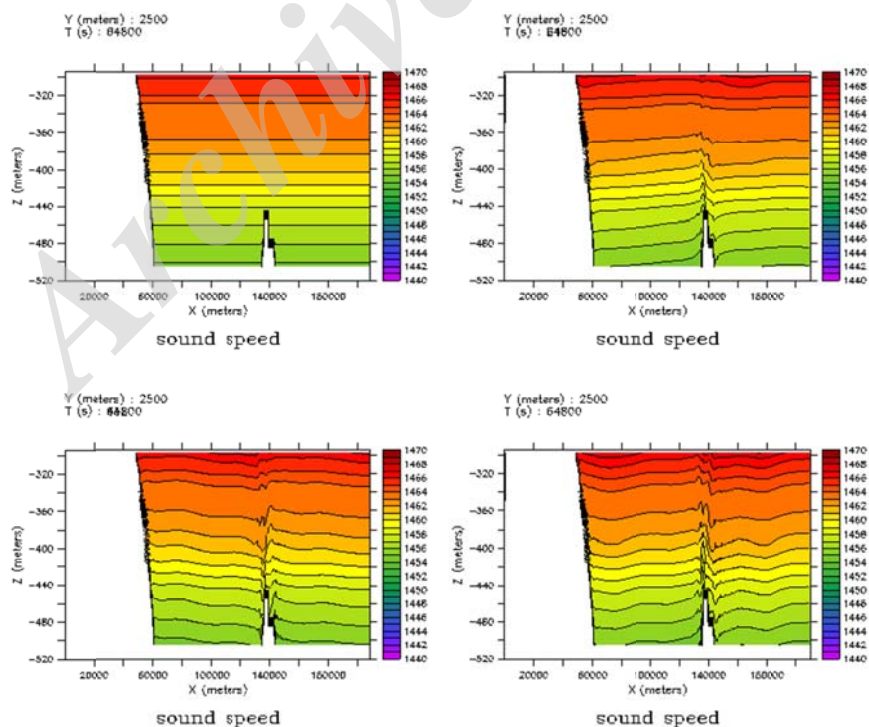
تأثیر پرتوهای موج داخلی منتشر شده و بازتابیده شده بر پروفایل سرعت صوت را می‌توان به صورت اغتشاشات بین لایه‌ای در امتداد این پرتوها مشاهده کرد (شکل‌های ۶ تا

می‌شود که سرعت صوت آن نسبت به لایه‌های بالا و پایین بیشتر است. این لایه در اثر خروجی آب خلیج فارس شکل گرفته است.

صوت مختلف در امتداد پرتوهای موج داخلی مشخص است. همچنین در این شکل، یک لایه وارونگی سرعت صوت بین عمق‌های ۱۵۰ متر تا حدود ۲۲۰ متر مشاهده



شکل ۶. تغییرات سرعت صوت در یک دوره‌ی جزر و مدی در مقطع مورد مطالعه.



شکل ۷. تغییرات سرعت صوت کنتورهای امواج بین لایه‌ای در یک دوره‌ی جزر و مدی در بالای تپه.

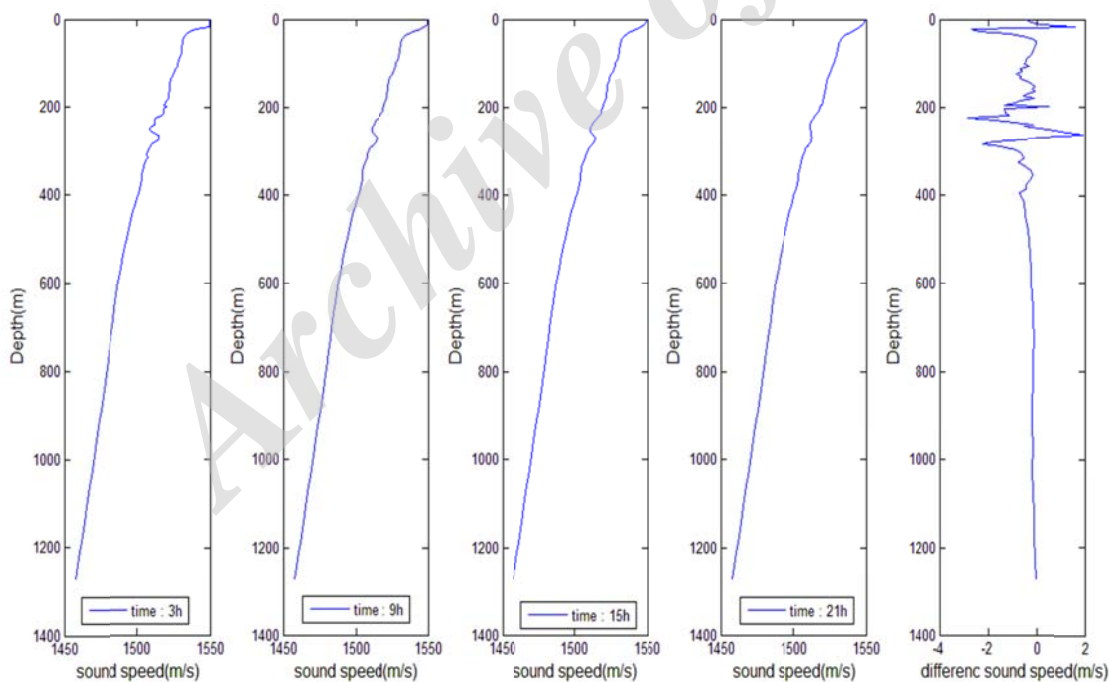


تمام مدل‌سازی در محیط Matlab و به کمک روش پرتو انجام شده است (اکبری‌نسب و همکاران، ۱۳۹۳).

۳-۲-۱. بررسی روند تغییرات میدان سرعت صوت به‌واسطه‌ی امواج درونی در یک سیکل دوره جزر و مد شکل ۸ تغییرات پروفایل قائم سرعت صوت بر حسب عمق در محل ایستگاه شبه‌سازی انتشار صوت در طول و عرض جغرافیایی در یک دوره‌ی جزر و مدی را نشان می‌دهد. نیمرخ آخری سمت راست، اختلاف سرعت صوت در زمان‌های مختلف جزر و مد را نشان می‌دهد. اختلاف این چهار نیمرخ قائم سرعت صوت، نوسانات ریزمقیاس سرعت صوت ناشی از امواج جزر و مد درونی است و مرتبه تغییرات سرعت صوت ناشی از امواج جزر و مد داخلی در این منطقه در حدود ۴ متر بر ثانیه مشاهده می‌شود.

۳-۲. ورودی مدل‌سازی انتشار صوت به کمک روش پرتو

روش‌های مختلف جهت حل معادله موج آکوستیکی ارائه شده است. در این مطالعه با توجه به فرکانس کاری استفاده شده از روش پرتو، جهت حل معادله موج استفاده گردید. جزئیات حل این روش در مقاله اکبری‌نسب و همکاران (۱۳۹۳) بیان شده است. ورودی‌های مدل پرتو عبارتند از توپوگرافی مقطع عرضی از دریای عمان تا تنگه هرمز (شکل ۱)، پروفایل سرعت صوت از سطح تا بستر در یک سیکل جزر و مدی در دریای عمان، چشمه آکوستیکی جهتی با فرکانس‌های مختلف، عمق چشمه آکوستیکی (۳۵۰ متری) و زاویه پرتو  $+10^\circ$  و  $-10^\circ$  درجه، تعداد آرایه قائم نصب شده در دهانه تنگه هرمز: ۵۰۱ عدد، برد سیگنال ارسالی ۲۰۶ کیلومتر با شرط مرزی خلأ در سطح و بستر دریا در نظر گرفته شده است. در ضمن



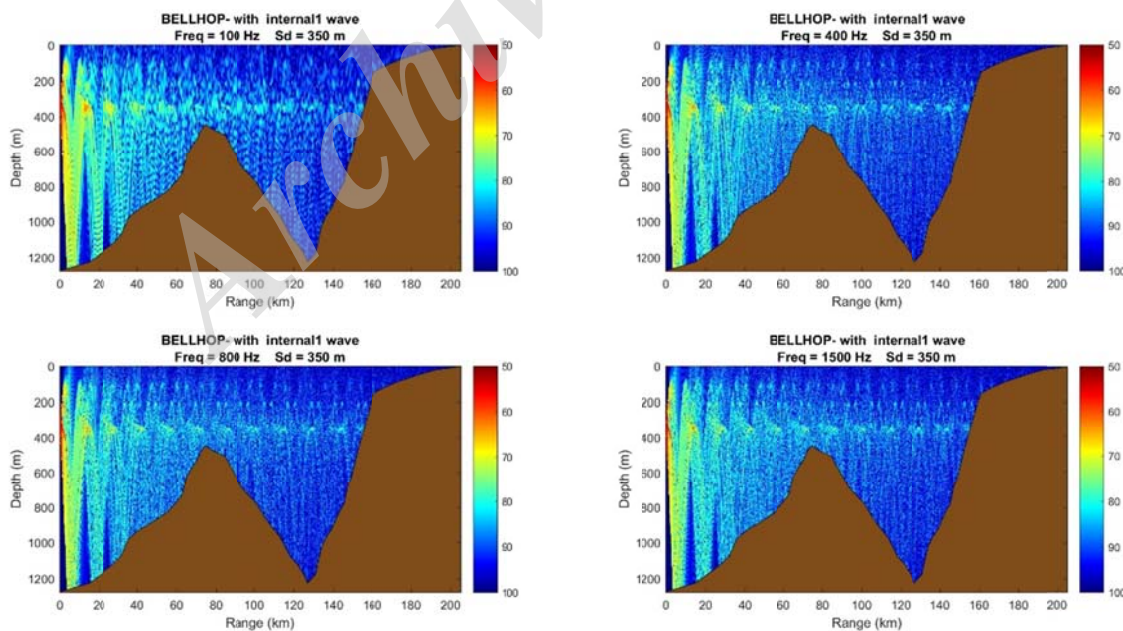
شکل ۸. از چپ به راست: تغییرات پروفایل قائم سرعت صوت بر حسب عمق در یک دوره‌ی جزر و مدی (۴ نمودار اول) و اختلاف افت و خیزهای سرعت صوت ناشی از جزر و مد داخلی.

انرژی صوتی در هر نقطه از دریا با شدت رنگ آن نشان داده شده است. میله‌ی رنگی سمت راست اشکال، معرف میزان شدت توان (برحسب dB) متناظر با هر رنگ است. شدت توان صوتی بیشتر، با رنگ‌های سرخ‌تر و گرم‌تر نشان داده شده‌اند. به تدریج که در اثر اتلاف انتشار و جذب، از شدت انرژی صوتی کاسته می‌شود، از رنگ‌های سرد و متمایل به آبی استفاده شده است. شکل ۹ بررسی تغییرات فشار آکوستیکی به ترتیب از بالا به پایین در فرکانس‌های ۱۵۰۰، ۴۰۰، ۸۰۰ و ۱۰۰ هرتز منبع صوتی در عمق ۳۵۰ متری در گام ۹ ساعت را نشان می‌دهد. همان‌طوری که در این شکل مشاهده می‌شود، در فرکانس پایین، انرژی صوتی در لایه‌ها نفوذ کرده است و در فرکانس‌های بالاتر، اثر نفوذ این انرژی‌ها کمتر می‌شود و در محیط پخش می‌شود. دلیل این پخش افزایش فرکانس باعث کاهش طول موج آکوستیکی شده و در نتیجه طول موج‌های آکوستیکی از مرتبه نوسانات سرعت صوت ناشی از جزر و مد شده و باعث پخش انرژی صوتی در محیط می‌شوند.

همان‌طوری که در این شکل مشاهده می‌کنید، بیشترین اختلاف سرعت صوت در عمق‌های ۵۰ متری و نیز بین ۲۰۰ تا ۳۵۰ متری اتفاق افتاده است و از عمق ۳۵۰ متر تا بستر روند تغییرات تقریباً صفر می‌باشد. با مشاهده این نیمرخ‌ها می‌توان دریافت که امواج درونی از سطح تا عمق ۳۵۰ متری تأثیر زیادی بر سرعت صوت می‌گذارد؛ بنابراین محل نصب حس‌گرهای آکوستیکی جهت شبیه‌سازی، بر این اساس در بالای ۳۵۰ متری در نظر گرفته می‌شود.

۲-۳-۲. اجرای سناریوی مدل‌سازی انتشار صوت در حضور جزر و مد درونی، بررسی میدان فشار آکوستیکی در فرکانس‌های مختلف در یک دوره جزر و مد

برای بررسی اثر فرکانس‌های مختلف بر روی انتشار صوت، میدان‌های فشار آکوستیکی برای گام ۹ ساعت در یک دوره جزر و مد مدل‌سازی گردید. در تمامی خروجی‌های این اشکال فشار آکوستیکی، مقدار شدت



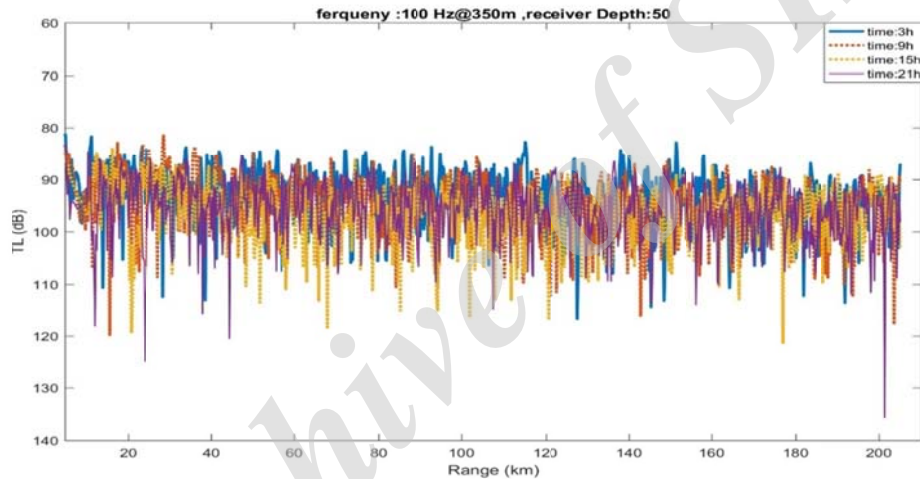
شکل ۹. بررسی تغییرات فشار آکوستیکی به ترتیب از بالا به پایین در فرکانس‌های ۱۵۰۰، ۴۰۰، ۸۰۰ و ۱۰۰ هرتز منبع صوتی در عمق ۳۵۰ متری.



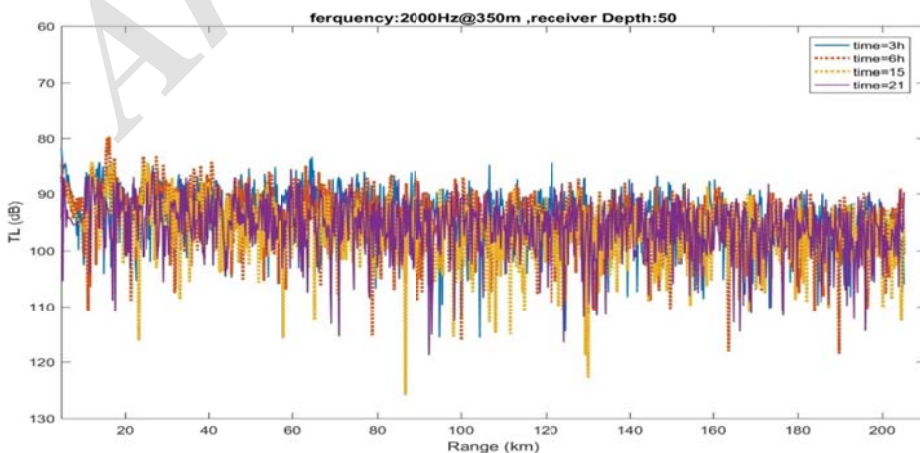
می‌شود پیکربندی دو شکل کمی با هم متفاوت است. برای فرکانس بالا (شکل ۱۱ در فرکانس ۲۰۰۰ هرتز)، اثرات جزر و مد درونی، خیلی به‌طور قابل ملاحظه‌ای بر روی تلفات انتقال صوت اثر ندارد ولی در فرکانس پایین (شکل ۱۰ در فرکانس ۱۰۰ هرتز)، اثرات جزر و مدی درونی به نظر می‌رسد باعث نفوذ انرژی صوتی خیلی بیشتر در محیط می‌شود. به‌طور مثال در فاصله ۱۸ کیلومتری از منبع در حدود ۲۰db اختلاف مابین ساعت ۹ و ۲۱ مشاهده می‌شود. این نتایج با مطالعات شو و همکاران (۲۰۰۸) هم‌خوانی دارد (شکل ۱۲).

### ۲-۳-۳. تغییرات تلفات انتشار صوت ناشی از اثرات امواج درونی جزر و مدی

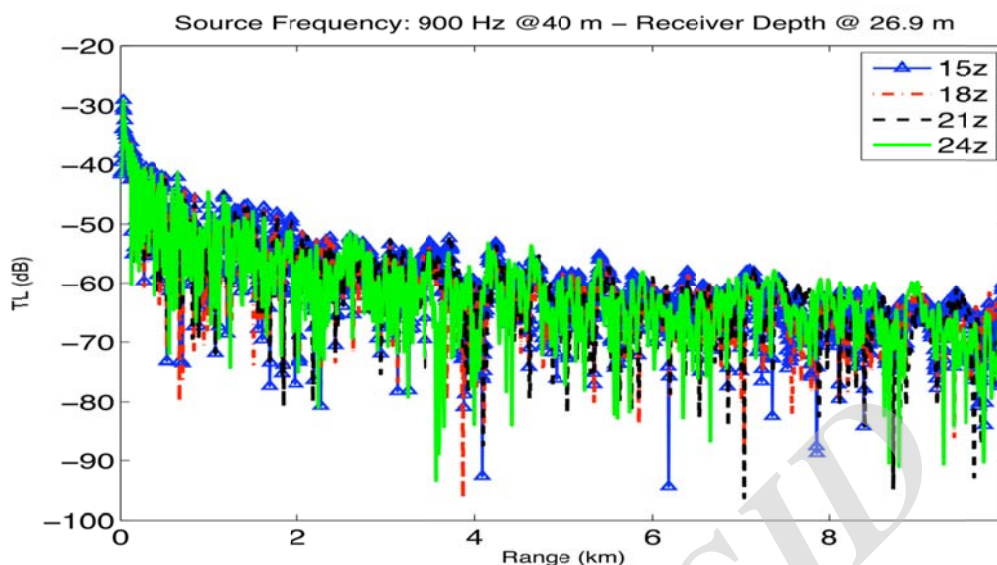
برای بررسی اثرات موج درونی ناشی از جزر و مد بر روی تلفات انتقال صوت، از خروجی پارامترهای هیدروفیزیکی مدل mitgcm با گام زمانی سه‌ساعته برای یک دوره ۲۴ ساعته استفاده شد (شکل ۶). تلفات انتقال آکوستیکی برای چهار دوره مختلف با گام سه‌ساعته بر روی یک دوره جزر و مد محاسبه شد. شکل‌های ۱۰ و ۱۱ به ترتیب برای فرکانس ۱۰۰ و ۲۰۰۰ هرتز و عمق منبع ۳۵۰ متری در گیرنده در عمق ۵۰ متری را نشان می‌دهد. همان‌طوری که در این شکل‌ها ملاحظه



شکل ۹. پیش‌بینی تلفات انتقال برای ۴ مقطع زمانی متفاوت با گام ۳ ساعته روی یک دوره جزر و مد برای فرکانس ۱۰۰ هرتز، منبع در عمق ۳۵۰ متری و گیرنده در عمق ۵۰ متری.



شکل ۱۰. پیش‌بینی تلفات انتقال برای ۴ مقطع زمانی متفاوت با گام ۳ ساعته روی یک دوره جزر و مد برای فرکانس ۲۰۰۰ هرتز، منبع در عمق ۳۵۰ متری و گیرنده در عمق ۵۰ متری.



شکل ۱۱. پیش‌بینی تلفات انتقال برای ۴ مقطع زمانی متفاوت با گام ۳ ساعته روی یک دوره جزر و مد برای فرکانس ۹۰۰ هرتز، منبع در عمق ۴۰ متری و گیرنده در عمق ۲۶.۷ متری برای خلیج دابوب (شو و همکاران، ۲۰۰۸).

### ۳. نتیجه‌گیری

جزر و مد درونی یک پدیده‌ی بزرگ‌مقیاس و عمدتاً باروتروپیک است که باعث نوسان ستون آب با طول موج بلند می‌شود. با توجه به اینکه در خلیج عمان، این پدیده با استفاده از مدل‌سازی عددی شبیه‌سازی شد و با نتایج تصاویر ماهواره حضور این امواج مورد تأیید قرار گرفت (اسمال و مارتین، ۲۰۰۲) لذا مطالعه اثر این پدیده بر روی انتشار صوت در این مقاله مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج حاصل از مدل‌سازی انتشار صوت و تأثیر امواج داخلی غیرخطی بر روی فشار آکوستیکی، در ناحیه‌ی تپه دریایی به صورت زیر است (فریتاس، ۲۰۰۸):

- در یک دوره‌ی جزر و مدی در یک محیط چینه‌بندی شده (قبل از ایجاد جزر و مد)، انرژی صوتی در کانال به شدت کاهش می‌یابد و پخش انرژی صوتی کمتری در محیط اتفاق می‌افتد اما امواج داخلی جزر و مدی باعث پخش پرتوهای صوتی در محیط می‌شود و هر چه فرکانس منبع زیادتر شود چون طول موج منبع از مرتبه مقیاس ساختار ریز قائم می‌شود، بنابراین پخش انرژی در محیط بیشتر می‌گردد. در نتیجه نقاط کور کمتری در

محیط مشاهده می‌شود.

- در یک سیکل جزر و مدی، در فرکانس پایین انرژی صوتی در برخی فواصل ثابت از منبع بیشتر از فرکانس بالا نفوذ می‌کنند.

- امواج داخلی جزر و مدی در ساعت‌های ۹، ۱۵ و ۲۱ بر روی تپه‌ی زیر آبی، شدت فشار آکوستیکی را نسبت به ساعت سوم پس از جزر و مد، افزایش می‌دهد و باعث همگرایی پرتوهای صوتی در این منطقه می‌شود.

### مراجع

- اکبری‌نسب، م.، صدری‌نسب، م.، علی‌اکبری بیدختی، ع. ع. و چگینی، و.، ۱۳۹۲، مطالعه ساختار لایه‌ای خلیج فارس به خلیج عمان و تأثیر آن بر روی انتشار صوت با چشمه‌های آکوستیکی نزدیک جریان نفوذی در فصل بهار، م. علوم و فنون دریایی، ۱۲(۴)، ۱۱۰-۱۲۰.
- اکبری‌نسب، م.، صدری‌نسب، م.، علی‌اکبری بیدختی، ع. ع. و چگینی، و.، ۱۳۹۳، مطالعه جریان نفوذی از خلیج فارس به دریای عمان و اثر آن بر روی نحوه انتشار صوت، م. اقیانوس‌شناسی، ۵(۲۰)، ۱۱-۱۷.

- Chin-Bing, S., King, D. and Boyd, J., 1994, The effects of ocean environmental variability on underwater acoustic propagation forecasting, *Oceanography and Acoustics: Prediction and Propagation Models*, J., 7-49.
- Freitas, K. M., 2008, Improving accuracy of acoustic prediction in the Philippine Sea through incorporation of mesoscale environmental effects, Monterey, California. Naval Postgraduate School.
- Khalilabadi, M. R., Sadrinasa, M. and Akbarinasa, M., 2017, Simulation of Internal Solitary Waves over a sill in the Gulf of Oman. Submitted in *Journal of Ocean University of China*.
- Small, J. and Martin, J., 2002, The generation of non-linear internal waves in the Gulf of Oman. *Continental Shelf Research*, J., 22(8), 1153-1182.
- Sridevi, B., Murty, T. R., Sadhuram, Y., Rao, M., Maneesha, K., Kumar, S. S. and Prasanna, P., 2010, Impact of internal waves on sound propagation off Bhimilipatnam, east coast of India. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, J., 88(2), 249-259.
- Xu, J., Lermusiaux, P. F., Haley Jr., P. J., Leslie, W. G. and Logutov, O. G., 2008, Spatial and temporal variations in acoustic propagation during the PLUSNet'07 exercise in Dabob Bay. *Proceedings of Meetings on Acoustics* (Vol. 4, No. 1, p. 070001). Acoustical Society of America.

Archive of SID

## Numerical simulation of the effect internal tide on the propagation sound in the Oman Sea

Hosseini, S. H.<sup>1</sup>, Akbarinasab, M.<sup>2\*</sup> and Khalilabadi, M. R.<sup>3</sup>

1. M.Sc. Graduated, Department of Marine Physic, Faculty of Marine and Oceanic Sciences, University of Mazandaran, Iran

2. Assistant Professor, Department of Marine Physic, Faculty of Marine and Oceanic Sciences, University of Mazandaran, Iran

3. Assistant Professor, Malek-Ashtar University of Technology, Shiraz, Iran

(Received: 31 Jan 2017, Accepted: 6 Feb 2018)

### Summary

The ocean is a random medium having both deterministic and nondeterministic characteristics. This behavior often leads to the difficulty in performing such underwater applications as telemetry and tomography. Propagation of acoustic rays in the ocean depends on temperature, salinity and density (Frosch 1964). While pressure is primarily controlled by depth, temperature and salinity variations in the ocean due to currents, the surface mixed layer, eddies, internal waves and other oceanographic features. These features affect the structure of the temperature and salinity fields, which in turn determines the sound velocity fields. Furthermore, these features change both in time and space, modifying the temperature, salinity and sound velocity fields. Other oceanographic features which affect acoustic propagation are internal tides and waves. Internal tides are internal waves in the ocean with tidal frequencies. As they propagate they alter the temperature structure and consequently the sound velocity fields. A primitive-equation model (MIT General Circulation Model (MITgcm)) with tidal forcing provided the temperature and salinity fields, from which the horizontal and vertical dependence of sound speed fields of the Oman Gulf were generated. This model solves the fully nonlinear, non-hydrostatic Navier-Stokes equations under the Boussinesq approximation for an incompressible fluid with a spatial finite volume discretization on an orthogonal computational grid. The model formulation includes implicit free surface and partial step topography. The Makenzi formula for sound velocity was used to calculate the sound speed from the potential temperature, salinity and pressure fields. Using these sound speed fields and the Bellhop acoustic ray tracing software, the effect of internal tide on sound propagation was investigated. Both ray paths and Transmission Loss (TL) were analyzed for dependencies on the tidal cycles. This program traces acoustic rays along a 2-D sound speed field, which varies both horizontally and vertically. It was designed to “achieve fast, accurate wavefront, and eigenray travel time predictions” and is based on Bowlin’s RAY program (Dushaw and Colosi 1998). In the sill region, the topography is supercritical with respect to the M2 internal tides. The calculations of the sound field were performed for a harmonic source operating at frequencies of 100, 400, 800 and 1500 Hz at a depth of 350m. In the different scenarios of simulations of propagation sound, the calculations were performed during a period tide cycle (at hours 3, 9, 15 and 21).

The results of the modeling of sound propagation with nonlinear internal waves impact on the sound propagation during the period tide is as follows (Freitas, 2008):

- 1- Propagation of the sound during a period of internal tide leads to energy of sound being expanded and compressed at some points. At a frequency of 300 Hz, the sound scattering occurs intensively in the environment, due to fact that the wavelength source of acoustic is order of wavelength of internal tide (fine structure). As a result, fewer blind spots are seen in the environment.
- 2- During a period of the internal tide, the basic structure of the sound velocity profile is not similar for all hours.
- 3- Internal tidal waves in the hours of 9, 15 and 21 over the hill lead to the, intensity of acoustic pressure increase and leading to the convergence of sound beams in this region.

**Keywords:** internal tide, Transmission Loss, Oman sea, model of MITgcm.

\*Corresponding author:

m.akbarinasab@umz.ac.ir