

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه اصفهان

دانشکده علوم

گروه فیزیک

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی فیزیک دریا

بررسی امواج داخلی در تنگه هرمز

استاد راهنما:

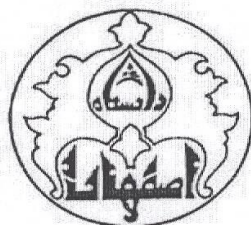
دکتر فهیمه حسینی بالام

پژوهشگر:

حسن عابدی

خرداد ۱۳۹۰

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات
و نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه
متعلق به دانشگاه اصفهان است.



دانشگاه اصفهان




دانشکده علوم

گروه فیزیک

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی فیزیک دریا آقای حسن عابدی
تحت عنوان

بررسی امواج داخلی در تنگه هرمز

در تاریخ ۱۳۹۰/۳/۲۲ توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه عالی به تصویب نهایی رسید.

	امضا	با مرتبه‌ی علمی استادیار	دکتر فهیمه حسینی بالام	۱- استاد راهنمای پایان نامه
	امضا	با مرتبه‌ی علمی دانشیار	دکتر اسماعیل حسن‌زاده	۲- استاد داور داخل گروه
	امضا	با مرتبه‌ی علمی دانشیار	دکتر عبدالله صداقت‌کردار	۳- استاد داور خارج از گروه

امضای مدیر گروه



سپاس‌گزاری

خدای را سپاس که به من عنایت فرمود تا این تحقیق را به سرانجام رسانم.

از زحمات بی‌شائبه جناب آقای دکتر اسماعیل حسن‌زاده و سرکار خانم دکتر فهیمه

حسینی بالام که با راهنمایی‌های بی‌دریغ خود مرا در تکمیل این پایان‌نامه یاری نمودند،

سپاس‌گزارم.

حسن عابدی

خرداد ۹۰

تقدیم بہ ہمسرم

کہ باوجودش مرثیہ نمود

چکیده

امواج داخلی در سطح مشترک بین دو شماره با چگالی‌های مختلف تولید می‌شوند که این اختلاف دانسیته ناشی از تفاوت دما و شوری آب در اعماق مختلف است. تحقیقاتی که در زمینه‌ی امواج داخلی صورت گرفته است نشان می‌دهد که جریان‌های جزرومدی مهم‌ترین عامل تولیدکننده‌ی این امواج هستند.

امواج داخلی فاکتور مهمی در اختلاط عمودی اقیانوس‌ها هستند. این امواج بر روی توزیع صوت و سرعت عمودی انتشار صوت تاثیرگذارند و این امر پژوهش‌گران آکوستیک اقیانوسی را به بررسی این امواج علاقه‌مند کرده است. همچنین امواج داخلی که بر شیب سواحل و نزدیکی لبه ساحل ایجاد می‌شوند، سبب تغییر شکل در لایه پیکنوکلاين، که در محدوده وسیعی از دریا وجود دارد، می‌شوند. زاویه انتشار امواج داخلی بر رسوب‌گذاری و شیب کف موثر است. همچنین این امواج بر حرکت ماهی‌ها در آب نیز تاثیرگذار است و لذا به دلیل آن که امواج داخلی تاثیر به‌سزایی بر فرآیندهای اقیانوسی دارند، مطالعه این نوع امواج از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

این پایان‌نامه به منظور بررسی امواج داخلی و ساختار فیزیکی تنگه هرمز انجام شده است. در دوره ماه‌های دسامبر ۹۶ تا مارس ۹۸ یک سری آزمایشات و اندازه‌گیری‌ها توسط دانشمندان آمریکایی در تنگه هرمز انجام شد. در این پایان‌نامه با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده در طی دوره‌ی فوق و به کمک معادلات مربوطه، چگالی و سپس فرکانس شناوری و سرعت صوت محاسبه و نمایه قائم آن‌ها رسم و تغییرات این پارامترها در ایستگاه‌های مختلف در جنوب تنگه هرمز بررسی می‌شود.

به طوریکه ملاحظه می‌شود دما در یک عمق ثابت به سمت ساحل جنوبی افزایش می‌یابد که این موضوع می‌تواند به این دلیل باشد که آب‌های گرم خلیج از قسمت جنوبی تنگه خارج و آب‌های سرد دریای عمان و اقیانوس هند از قسمت شمالی وارد خلیج می‌شوند. در ماه دسامبر در تنگه هرمز یک وارونگی دما روی می‌دهد که می‌توان آن را به جریانات ترموهالاین خلیج فارس نسبت داد که از لایه زیرین از طریق تنگه هرمز خارج می‌گردد.

بدین ترتیب سرعت صوت در اکثر ماه‌ها شبیه دما تغییر می‌کند و وابستگی آن به دما بیش‌تر از شوری است ولی در برخی ماه‌ها مانند ماه‌های فوریه و مارس وابستگی سرعت صوت به شوری افزایش می‌یابد و مانند شوری تغییر می‌کند.

از روی همین نمایه‌ها می‌توان نتیجه گرفت چینه لایه‌ها در تنگه هرمز کاملاً پایدار است. از آنجائیکه برای ایجاد امواج داخلی یک محیط چینه بندی و یک جریان تلاطمی لازم است، در تنگه هرمز هر دو شرط وجود دارد. پس با انتخاب یک فرکانس خاص، البته فرکانس مورد نظر باید در محدوده فرکانس مجاز امواج داخلی قرار داشته باشد، مدهای عمودی امواج داخلی را برای منطقه به دست می‌آوریم. ساختار کیفی مدها از نظر ارتباطات دریایی و سایر فعالیت‌های اقتصادی اقیانوسی مانند صنعت ماهیگیری و یا طراحی سکوهای نفتی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد.

واژگان کلیدی: امواج داخلی، تنگه هرمز، فرکانس شناوری، مدهای قائم امواج داخلی.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
فصل اول - مقدمه	
۱	۱- ۱ امواج داخلی.....
۲	۲- ۱ پیشینه
۳	۳- ۱ آشفتگی درونی اقیانوس.....
۴	۳- ۱ نیروهای بازگرداننده.....
۴	۱- ۴- ۱ لایه بندی اقیانوس.....
۶	۱- ۴- ۲ گردش روزانه زمین.....
۸	۱- ۵ چشمه امواج داخلی.....
فصل دوم - معادلات حرکت	
۱۰	مقدمه
۱۱	۲- ۱ مکانیک سیالات.....
۱۳	۲- ۲ مجموعه‌ی کامل معادلات حاکم.....
۱۴	۲- ۳ فرکانس برانت و ایسلا یا فرکانس شناوری.....
۱۵	۲- ۴ فرکانس شناوری بر حسب چگالی.....
۱۶	۲- ۵ فرکانس شناوری بر حسب دما و شوری.....
فصل سوم - تقریب‌ها	
۱۸	مقدمه
۱۹	۳- ۱ شبه تراکم ناپذیری.....
۱۹	۳- ۱- ۱ معادلات تکانه.....
۲۰	۳- ۱- ۲ معادلات جرم و انرژی.....

۲۳	..... ۳-۱-۳ معادلات حاصل
۲۴	..... ۳-۲ تقریب کلاسیک
۲۴	..... ۳-۳ خطی سازی

فصل چهارم - انتشار امواج داخلی

۲۷	..... مقدمه
۲۷	..... ۴-۱ فرمول بندی عمومی
۲۹	..... ۴-۱-۱ رفتار نوسانی در مقابل رفتار نمایی
۲۹	..... ۴-۱-۲ تعامد
۳۰	..... ۴-۱-۳ تقریب هیدروستاتیک
۳۱	..... ۴-۲ لایه بندی یکنواخت
۳۲	..... ۴-۲-۱ رابطه ی پاشندگی
۳۶	..... ۴-۲-۲ ساختار کیفی
۳۶	..... ۴-۳ لایه بندی متغیر
۳۷	..... ۴-۴ روابط کاربردی برای کار با داده ها

فصل پنجم - بحث و نتیجه گیری

۴۰	..... مقدمه
۴۰	..... ۵-۱ منابع داده
۴۱	..... ۵-۱-۱ داده های گشت دریایی
۴۲	..... ۵-۱-۲ داده های CTD
۴۲	..... ۵-۲ نتایج
۴۳	..... ۵-۲-۱ نتایج حاصل از پردازش داده های گشت های دریایی
۷۰	..... ۵-۲-۲ نتایج پردازش داده های CTD

فصل ششم - نتایج

۹۴	.....	مقدمه
۹۵	.....	۶-۱ نتایج
۹۷	.....	۶-۲ پیشنهادات

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
فصل اول	
۴	شکل ۱-۱ جابجایی خطوط هم‌چگال در اثر عبور امواج داخلی در تنگه لومبوک
۵	شکل ۱-۲ لایه‌بندی N به دست آمده از پروفایل شوری و دما در اقیانوس آرام
۷	شکل ۱-۳ تجزیه بردار چرخش زمین
فصل دوم	
۱۵	شکل ۱-۲ یک بسته شاره جابجاشده
فصل چهارم	
۳۳	شکل ۴-۱ نمودار فرکانس موج، سرعت گروه و سرعت فاز
۳۵	شکل ۴-۲ سرعت فاز و گروه به صورت تابعی از فرکانس موج
۳۶	شکل ۴-۳ سه مد عمودی اول W_n برای $H = 4000m$
فصل پنجم	
۴۱	شکل ۵-۱ محل ایستگاه‌های اندازه‌گیری گشت‌های دریایی
۴۲	شکل ۵-۲ محل ایستگاه اندازه‌گیری CTD
۴۳	شکل ۵-۳ پربند دمای جولای ۹۷ در ۶ ایستگاه گشت دریایی
۴۴	شکل ۵-۴ پربند شوری جولای ۹۷ در ۶ ایستگاه گشت دریایی
۴۵	شکل ۵-۵ پربند سیگماتی جولای ۹۷ در ۶ ایستگاه گشت دریایی
۴۵	شکل ۵-۶ پربند سرعت صوت جولای ۹۷ در ۶ ایستگاه گشت دریایی
۴۶	شکل ۵-۷ پربند فرکانس شناوری جولای ۹۷ در ۶ ایستگاه گشت دریایی
۴۷	شکل ۵-۸ پربند دمای مارس ۹۸ در ۶ ایستگاه گشت دریایی
۴۷	شکل ۵-۹ پربند شوری مارس ۹۸ در ۶ ایستگاه گشت دریایی
۴۸	شکل ۵-۱۰ پربند سیگماتی مارس ۹۸ در ۶ ایستگاه گشت دریایی

شکل ۵- ۱۱	پربند سرعت صوت مارس ۹۸ در ۶ ایستگاه گشت دریایی.....	۴۸
شکل ۵- ۱۲	پربند فرکانس شناوری مارس ۹۸ در ۶ ایستگاه گشت دریایی.....	۴۹
شکل ۵- ۱۳	پروفایل دمای جولای ۹۷ در ایستگاه ۱.....	۵۰
شکل ۵- ۱۴	پروفایل شوری جولای ۹۷ در ایستگاه ۱.....	۵۰
شکل ۵- ۱۵	پروفایل سیگما- تی و فرکانس شناوری جولای ۹۷ در ایستگاه ۱.....	۵۱
شکل ۵- ۱۶	پروفایل سرعت صوت جولای ۹۷ در ایستگاه ۱.....	۵۱
شکل ۵- ۱۷	پروفایل های جولای ۹۷ در ایستگاه ۲.....	۵۲
شکل ۵- ۱۸	پروفایل های جولای ۹۷ در ایستگاه ۳.....	۵۳
شکل ۵- ۱۹	پروفایل های جولای ۹۷ در ایستگاه ۴.....	۵۴
شکل ۵- ۲۰	پروفایل های جولای ۹۷ در ایستگاه ۵.....	۵۵
شکل ۵- ۲۱	پروفایل های جولای ۹۷ در ایستگاه ۶.....	۵۶
شکل ۵- ۲۲	پروفایل های مارس ۹۸ در ایستگاه ۱.....	۵۷
شکل ۵- ۲۳	پروفایل های مارس ۹۸ در ایستگاه ۲.....	۵۸
شکل ۵- ۲۴	پروفایل های مارس ۹۸ در ایستگاه ۳.....	۵۹
شکل ۵- ۲۵	پروفایل های مارس ۹۸ در ایستگاه ۴.....	۶۰
شکل ۵- ۲۶	پروفایل های مارس ۹۸ در ایستگاه ۵.....	۶۱
شکل ۵- ۲۷	پروفایل های مارس ۹۸ در ایستگاه ۶.....	۶۲
شکل ۵- ۲۸	سه مد اول سرعت قائم امواج داخلی جولای ۹۷ در ایستگاه ۱.....	۶۴
شکل ۵- ۲۹	سه مد اول سرعت قائم امواج داخلی جولای ۹۷ در ایستگاه ۲.....	۶۴
شکل ۵- ۳۰	سه مد اول سرعت قائم امواج داخلی جولای ۹۷ در ایستگاه ۳.....	۶۵
شکل ۵- ۳۱	سه مد اول سرعت قائم امواج داخلی جولای ۹۷ در ایستگاه ۴.....	۶۵
شکل ۵- ۳۲	سه مد اول سرعت قائم امواج داخلی جولای ۹۷ در ایستگاه ۵.....	۶۶
شکل ۵- ۳۳	سه مد اول سرعت قائم امواج داخلی جولای ۹۷ در ایستگاه ۶.....	۶۶
شکل ۵- ۳۴	سه مد اول سرعت قائم امواج داخلی مارس ۹۸ در ایستگاه ۱.....	۶۷

شکل ۵- ۳۵	سه مد اول سرعت قائم امواج داخلی مارس ۹۸ در ایستگاه ۲	۶۷
شکل ۵- ۳۶	سه مد اول سرعت قائم امواج داخلی مارس ۹۸ در ایستگاه ۳	۶۸
شکل ۵- ۳۷	سه مد اول سرعت قائم امواج داخلی مارس ۹۸ در ایستگاه ۴	۶۸
شکل ۵- ۳۸	سه مد اول سرعت قائم امواج داخلی مارس ۹۸ در ایستگاه ۵	۶۹
شکل ۵- ۳۹	سه مد اول سرعت قائم امواج داخلی مارس ۹۸ در ایستگاه ۶	۶۹
شکل ۵- ۴۰	پریند سری زمانی دما مربوط به داده‌های CTD	۷۰
شکل ۵- ۴۱	پریند سری زمانی شوری مربوط به داده‌های CTD	۷۱
شکل ۵- ۴۲	پریند سری زمانی فرکانس شناوری مربوط به داده‌های CTD	۷۲
شکل ۵- ۴۳	پریند سری زمانی سرعت صوت مربوط به داده‌های CTD	۷۲
شکل ۵- ۴۴	پروفایل‌های مربوط به دسامبر ۹۶	۷۳
شکل ۵- ۴۵	پروفایل‌های مربوط به ژانویه ۹۷	۷۴
شکل ۵- ۴۶	پروفایل‌های مربوط به فوریه ۹۷	۷۵
شکل ۵- ۴۷	پروفایل‌های مربوط به مارس ۹۷	۷۶
شکل ۵- ۴۸	پروفایل‌های مربوط به آوریل ۹۷	۷۷
شکل ۵- ۴۹	پروفایل‌های مربوط به می ۹۷	۷۸
شکل ۵- ۵۰	پروفایل‌های مربوط به ژوئن ۹۷	۷۹
شکل ۵- ۵۱	پروفایل‌های مربوط به جولای ۹۷	۸۰
شکل ۵- ۵۲	پروفایل‌های مربوط به اگوست ۹۷	۸۱
شکل ۵- ۵۳	پروفایل‌های مربوط به سپتامبر ۹۷	۸۲
شکل ۵- ۵۴	پروفایل‌های مربوط به اکتبر ۹۷	۸۳
شکل ۵- ۵۵	پروفایل‌های مربوط به نوامبر ۹۷	۸۴
شکل ۵- ۵۶	پروفایل‌های مربوط به دسامبر ۹۷	۸۵
شکل ۵- ۵۷	پروفایل‌های مربوط به ژانویه ۹۸	۸۶
شکل ۵- ۵۸	پروفایل‌های مربوط به فوریه ۹۸	۸۷

شکل ۵- ۵۹	پروفایل‌های مربوط به مارس ۹۸	۸۸
شکل ۵- ۶۰	سه مد اول سرعت قائم دسامبر ۹۶، ژانویه، فوریه و مارس ۹۷	۸۹
شکل ۵- ۶۱	سه مد اول سرعت قائم آوریل، می، ژوئن و جولای ۹۷	۹۰
شکل ۵- ۶۲	سه مد اول سرعت قائم آگوست، سپتامبر، اکتبر و نوامبر ۹۷	۹۱
شکل ۵- ۶۳	سه مد اول سرعت قائم دسامبر ۹۷، ژانویه، فوریه و مارس ۹۸	۹۲

فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۱۹	جدول ۳-۱ تقریب‌های گوناگون، مفهوم آن‌ها.....
۳۹	جدول ۴-۱ ضرایب چند جمله‌ای سرعت صوت
۴۱	جدول ۵-۱ موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های اندازه‌گیری داده‌های گشت دریایی

فصل اول

مقدمه

۱- ۱ امواج داخلی

امواج داخلی در سطح مشترک بین دو شاره با دانسیته های مختلف تولید می شوند که این اختلاف دانسیته ناشی از تفاوت دما و شوری آب در اعماق مختلف است. تحقیقاتی که در زمینه ی امواج داخلی صورت گرفته نشان داده که جریان های جزرومدی مهم ترین عامل تولیدکننده ی این امواج هستند [۱].

امواج داخلی در تمام لایه های آب، چه در قسمت های عمیق اقیانوس و چه حاشیه های ساحل وجود دارند. ارتفاع آنها می تواند به بیش از ۵۰ متر برسد و طول آنها از حدود ۱۰۰ متر تا چندین کیلومتر است [۲].

امواج داخلی می توانند بر حسب توزیع قائم چگالی شاره ای که در آن انتشار می یابند، به شرح زیر طبقه بندی شوند:

۱- امواج مرزی: امواجی هستند که در حد فاصل دو شاره ی با چگالی های مختلف به وجود می آیند.

۲- امواج تخت: این امواج هنگامی به وجود می آیند که چگالی شاره به طور خطی با عمق افزایش یابد.

۳- امواج مختلط: شامل امواج داخلی درون یک شاره ای است که گرادیان قائم چگالی آن به طور مداوم با عمق تغییر می کنند، و لزوماً خطی نیستند. امواج اقیانوسی معمولاً از نوع امواج مختلط هستند.

اگر ذره آبی را داخل شاره‌ای در نظر بگیریم و آن را کمی جابه‌جا کنیم حول مکان تعادل خود نوسان می‌کند، مانند فتری که حرکت هماهنگ ساده انجام می‌دهد. اگر در منطقه‌ای از شاره افزایش سریع چگالی وجود داشته باشد و شاره کمی پریشیدگی پیدا کند، امواج داخلی به وجود می‌آیند.

امواج داخلی فاکتور مهمی در اختلاط عمودی اقیانوس‌ها هستند. این امواج بر روی حرکت صوت و سرعت عمودی انتشار صوت تاثیر گذارند و این امر پژوهش‌گران آکوستیک اقیانوسی را به بررسی این امواج علاقه‌مند کرده است. همچنین امواج داخلی که در روی شیب سواحل و نزدیکی لبه ساحل ایجاد می‌شوند، سبب تغییر شکل در لایه پیکنوکلاين، که در محدوده وسیعی از دریا وجود دارد، می‌شوند [۳]. به علت نوسانات امواج داخلی زیر آب، برای حمل و نقل دریایی، زیر دریایی‌ها و سکوها‌ی دور از ساحل خطراتی وجود دارد. لذا به دلیل آن که امواج داخلی تاثیر به‌سزایی بر فرآیندهای اقیانوسی دارند، مطالعه این نوع امواج از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

در گذشته برای شناخت امواج داخلی از اندازه‌گیری دمای آب، یا با به‌کارگیری حسگرهای شوری، جریان‌سنج و وسایل آکوستیکی استفاده می‌شد. امروزه برای شناخت امواج داخلی با توجه به این که امواج داخلی در یک فضای بزرگ مقیاس توزیع می‌شوند، از ماهواره‌ها استفاده می‌کنند.

۱-۲ پیشینه تحقیق

اخیرا نقش امواج داخلی در ایجاد ساختارهای لایه‌ای در اقیانوس مطرح شده است، که البته در گذشته نیز به آن اشاره شده است. تحقیق روی تلاطم و امواج داخلی دریا، از حدود یک قرن پیش شروع شد. از کشورهای آمریکا و روسیه می‌توان به‌عنوان پیشگامان مطالعه ساختار تلاطمی و امواج داخلی نام برد. این مطالعات و تحقیقات از اواسط قرن بیستم آغاز شده‌اند. در این راستا اندازه‌گیری‌ها به‌طور مکرر و برای مدت زمان طولانی انجام می‌شود [۴]. در این مطالعه به برخی از تحقیقات انجام شده بر روی امواج داخلی که نسبتا جدید هستند اشاره می‌شود.

امواج داخلی در خلیج تهوانتیک^۱ در مکزیک توسط فیلونو^۲ و تراسوینا^۳ (۲۰۰۰) بررسی شد [۱].

-
1. Tehuantepec
 2. Filonov
 3. Trasvina

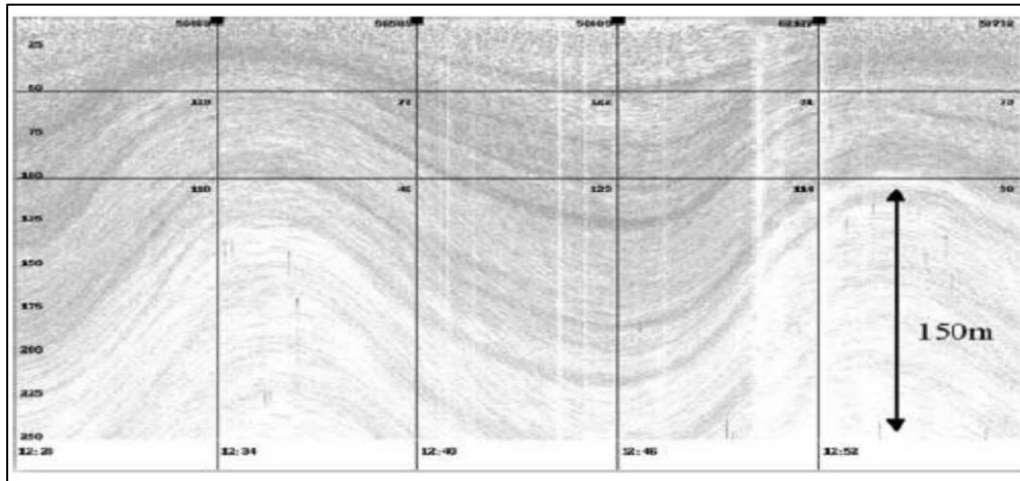
تأثیر باد بر روی حرکت امواج داخلی را در نزدیکی ناحیه شکست فلات قاره آدریانیک^۱ در سال ۲۰۰۲ توسط نناد لدر^۲ بررسی شد [۵].

جونز و همکاران^۳ (۲۰۰۳)، مبادله فصلی گرما و آب را در خلیج فارس از طریق تنگه هرمز مورد بحث قرار دادند. دویی سوسانتو و همکاران^۴ (۲۰۰۵) به مطالعه امواج داخلی مشاهده شده در تنگه لومبوک^۵ پرداختند [۶]. کریشنا کومار^۶ و بالاسورامانیان^۷ (۲۰۰۵)، یک مدل شبیه‌سازی اقیانوسی برای امواج داخلی ارائه کردند [۷]. همچنین تولید امواج داخلی در دریاچه‌ای با توپوگرافی شیب‌دار توسط بوگمن^۸ و همکاران (۲۰۰۵) مورد بررسی قرار گرفت. تغییرات موسمی امواج داخلی با مُدهای قائم، در یک کانال عمیق توسط ژاویر ویدال^۹ و همکاران (۲۰۰۷) مورد مطالعه قرار گرفت.

۱-۳ آشفستگی درونی اقیانوس

این تحقیق با آن دسته از امواج داخلی که در زیر سطح انتشار می‌یابد، سروکار دارد. هرچند ارتفاع امواج داخلی مانند امواج سطحی، در سطح آب افزایش نمی‌یابد، اما این امواج بر روی جریان‌های سطحی اثر گذارند. شکل (۱-۱) جابه‌جایی خطوط هم‌چگال را در اثر عبور امواج داخلی در تنگه لومبوک نشان می‌دهد. این که بلندترین دامنه عمودی امواج داخلی درون شاره رخ می‌دهد، یکی از مشخصه‌های امواج داخلی است. دانشمندان به وجود امواج داخلی بیش از یک قرن پیش پی بردند. اولین مشاهدات توسط هانسین و نانسین^{۱۰} انجام شد. آنها دریافتند که در یک دوره‌ی چند ساعته نمایه‌های دما ممکن است به صورت کلی تغییر کنند و این امر را به وجود یک موج عجیب نسبت دادند و بر اهمیت این پدیده تاکید کردند [۸]. گرچه امواج داخلی نشان داده شده در شکل (۱-۱) به طور غیر عادی بزرگ هستند ولیکن وقوع این امواج به هیچ وجه غیر عادی نیست.

-
1. Adriatic shelf break
 2. Nenad Leder
 3. Johns et al
 4. DwiI Susanto et al
 5. Lombok
 6. Krishna Kumar
 7. Balasubramanian
 8. Boegman
 9. Javier Vidal
 10. Hansen & Nansen



شکل ۱-۱ جابجایی خطوط هم‌چگال در اثر عبور امواج داخلی در تنگه لومبوک. محور افقی زمان را نشان می‌دهد و فاصله خطوط قائم حدود ۶ دقیقه است [۶].

۱-۴ نیروهای بازگرداننده

وجود امواج در شارها به دلیل وجود نیروهای بازگردان آنهاست. نیروهای بازگردان به جزئی از شاره که از مکان تعادل خود خارج شده است، وارد می‌شود و آن جزء را به تعادل برمی‌گرداند و بدین سان موجب نوسان می‌شود. به عنوان مثال امواج صوتی در اثر تراکم و انبساط مولکول‌های هوا یا آب (شاره) شکل می‌گیرند و در این جا گرادیان فشار به عنوان نیروی بازگردان عمل می‌کند. در امواج داخلی دو نیروی بازگردان موثرند:

- ۱- نیروی شناوری، نیروی گرانی کاهش یافته در درون اقیانوس، در اثر لایه‌بندی اقیانوس
- ۲- نیروی کوریولیس، در اثر چرخش روزانه زمین

۱-۴-۱ لایه‌بندی اقیانوس

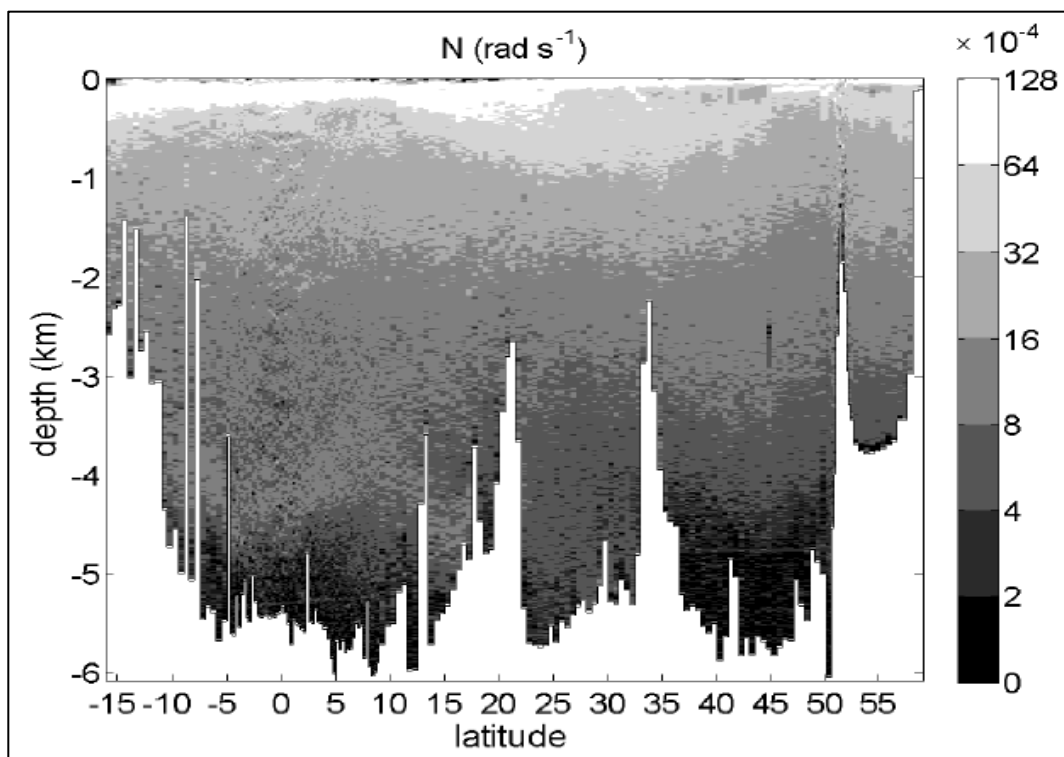
محیط‌های دریایی عمدتاً دارای چینش چگالی هستند که به صورت پیوسته و یا پله‌ای می‌باشند. کمیت مهم در مورد لایه‌بندی اقیانوس فرکانس پایداری است که به صورت تغییر نسبی چگالی با عمق مطابق رابطه زیر تعریف می‌شود.

$$N^2(z) \equiv -\frac{g}{\bar{\rho}} \frac{d\bar{\rho}}{dz} \quad (1-1)$$

هنگامی که $N^2 > 0$ باشد ستون آب پایدار است و با افزایش عمق چگالی افزایش می‌یابد. حالت دیگر حالتی است که عکس این حالت اتفاق افتد و $N^2 < 0$ شود که ستون آب ناپایدار است. حالت سومی هم وجود دارد که در آن $N^2 = 0$ و در اصطلاح لایه‌بندی خنثی است.

کمیت N را فرکانس برانت-وایسلا^۱ یا فرکانس شناوری یا فرکانس پایداری می‌نامند؛ که یکای آن رادیان بر ثانیه است (دور بر ساعت و دور بر روز نیز متداول است).

به‌طور نمونه توزیع فرکانس شناوری در اقیانوس در شکل (۱-۲) نشان داده شده‌است و نشان می‌دهد که N بسیار متغیر، از مرتبه 10^{-4} در پایین‌ترین لایه‌ها تا مرتبه 10^{-2} (rads^{-1}) در بالاتر از 200m ، است [۸]. در نقاطی که تغییر چگالی با عمق بیشتر باشد فرکانس شناوری افزایش می‌یابد.



شکل ۱-۲ لایه‌بندی N (بر حسب rad/s) به‌دست آمده از پروفایل شوری و دما در اقیانوس آرام [۸].