

بررسی تحلیلی طیفی متقابل جریانات زیرسطحی در تنگه‌ی هرمز

محمد اکبری نسب^{۱*}، عباسعلی علی اکبری بیدختی^۲ و مهدی جعفرزاده‌ی مایوان^۳

^۱ نویسنده مسئول، استادیار دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی، دانشگاه مازندران، بابلسر m.akbarinasab@umz.ac.ir

^۲ استاد موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران bidokhti@ut.ac.ir

^۳ کارشناسی ارشد فیزیک دریا، دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی، دانشگاه مازندران mahdimayvan@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۲/۱۱

تاریخ دریافت: ۹۴/۶/۲۲

چکیده

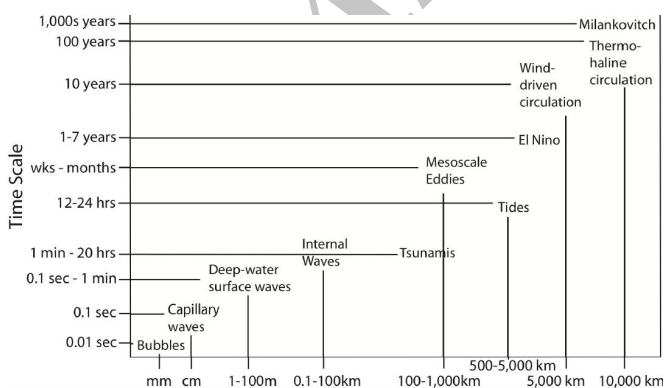
دریا محیطی پرتلاطم است و پدیده‌های زیادی در محیط دریا مشاهده می‌شود. شناخت این پدیده‌ها نیاز به داده‌برداری زمانی با گام مناسب آن پدیده است. در این مطالعه با استفاده از داده‌های مورینگ اندازه‌گیری شده جریان از دسامبر ۱۹۹۶ تا مارس ۱۹۹۸ توسط دانشگاه میامی در بخش جنوبی تنگه‌ی هرمز از سطح تا بستر، با روش‌های تحلیل طیفی متقابل و تحلیل طیف دوار، جریان‌های زیرسطحی برای مدت مذکور در اعماق مختلف تجزیه و تحلیل شده است. نتایج نشان داد که پدیده‌های غالب در این منطقه، در دوره‌های چهار ماهه، روزانه، نیمه روزانه و ۲۱ روزه مشاهده می‌شوند. با ترسیم نمودار طیف دوار برای اعماق مختلف، مشخص شد که از عمق ۵۰ متری تا بستر، مؤلفه ساعت‌گرد در پیک‌های روزانه، نیم‌روزانه، ۱۶ ساعته غالب می‌باشد. همچنین در نیمه‌ی اول سال، اندازه‌ی سرعت جریان‌ها از نیمه‌ی دوم سال بیش‌تر است.

واژه‌های کلیدی: آنالیز طیفی، جریان سطحی و زیرسطحی، تنگه‌ی هرمز.

۱. مقدمه

مختلف را شناسایی کردند [1]. در این تحقیق بر اساس این روش‌ها، تحلیل طیفی بر داده‌های جریان در اعماق مختلف انجام می‌شود و پدیده‌های غالب در منطقه تنگه‌ی هرمز شناسایی می‌شوند.

جو و اقیانوس سیستم‌های پیچیده‌ای هستند که می‌توانند در مقیاس‌های زمانی و مکانی، گسترده از انواع پدیده‌های مختلفی را داشته باشند. مقیاس زمانی بسیاری از فرایندهای فیزیکی همچون تلاطم در حد ثانیه و جزرومد روزانه و نیم‌روزانه در حد ساعت و جریان‌های ناشی از باد در حد روز و هفته و جریان‌های ناشی از اختلاف چگالی ماه و سال می‌باشد. برای شناسایی این پدیده‌ها با استفاده از تحلیل طیفی، به اندازه‌گیری یک سری زمانی با گام زمانی مناسب نیاز است. به‌طور مثال می‌توان برای مطالعه پدیده‌های کوتاه‌مدت در هواشناسی (۲/۵ تا ۶ روزه) از فیلتر فرکانس بالا استفاده کرد. برای مطالعات پدیده‌های میان‌مدت (۱۰ تا ۳۰ روزه) از صافی باند پهن استفاده نمود و نیز برای مطالعات نوسانات بلندمدت از فیلتر بالا گذر استفاده نمود. یان و همکاران، روش تحلیل طیفی و دوار بر داده‌های اندازه‌گیری شده، اعمال و انواع پدیده‌های منطقه و نوع حرکت در اعماق



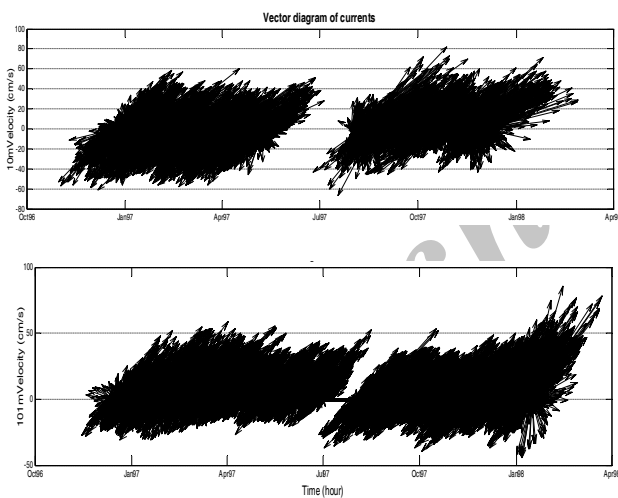
شکل ۱. مقیاس‌بندی انواع پدیده‌های مختلف در جو و اقیانوس بر اساس مقیاس طولی و زمانی [2].

برنامه‌نویسی در محیط متلب با استفاده از روش‌های تحلیل طیفی و طیف توان دوار [7] و نرم‌افزار Origin، نمودار تغییرات زمانی بردار سرعت، گل‌جریان‌ها و طیف‌های جریان‌ها در اعماق مختلف مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند.

۳. بحث و یافته‌ها

۳-۱. تحلیل داده‌های جریان

در ابتدا برای بررسی و تحلیل کلی جریان‌های تنگه‌ی هرمز، نمودار برداری سرعت برحسب زمان برای دوره‌ی داده‌برداری در اعماق مختلف ترسیم شد. شکل ۲، تغییرات زمانی سرعت برای دو عمق ۱۰ و ۱۰۱ متری را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که در نیمه‌ی اول سال، اندازه‌ی سرعت جریان‌ها از نیمه‌ی دوم سال بیش‌تر است و در کل می‌توان بیان کرد که سرعت جریان‌ها تا ۶۰ سانتیمتر بر ثانیه هم رسیده است. بیشینه سرعت آب خروجی در اعماق ۶۰-۷۰ متری مشاهده می‌شود و به سمت بستر کاهش می‌یابد. در عمق‌های پایین‌تر در حدود ۵۰ متر، بیش‌ترین میانگین جریان در حدود ۲۰-۲۵ سانتیمتر بر ثانیه مشاهده می‌شود [8].



شکل ۲. روند تغییرات زمانی برداری سرعت برای عمق ۱۰ و ۱۰۱ متری.

۳-۲. ترسیم گل‌جریان‌ها در عمق‌های مختلف

در این بخش مقاله، با استفاده از ترسیم گل‌جریان‌ها، در عمق‌های مختلف جهت غالب جریان‌ها شناسایی می‌شوند (شکل ۳). نتایج نشان داد که از عمق ۱۰ متری تا ۲۵ متری جهت جریان غالب به سمت شرق و شمال شرقی است، از ۲۵ متری تا ۴۵ متری، این جهت غالب به سمت شمال شرقی است، از ۴۵ متری تا ۸۵ متری و در ۸۵ متری دوباره، به سمت شرق تا شمال شرقی است و در ۱۰۱

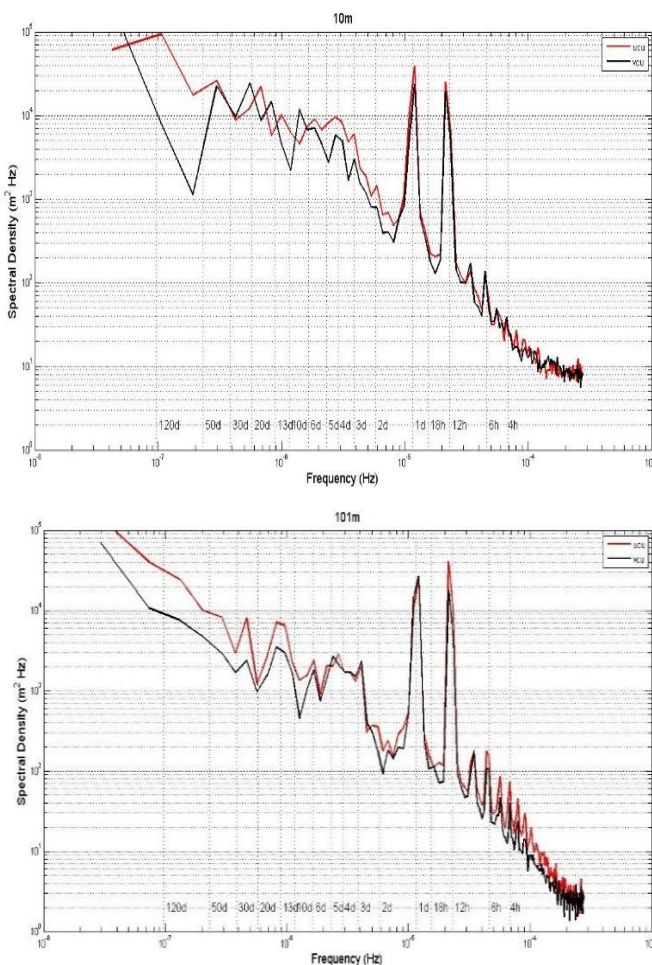
شکل ۱ پدیده‌های مختلفی را که در مقیاس‌های مختلف در هوا و دریا ایجاد می‌شوند، نشان می‌دهد.

ماتسویاما^۱ و همکاران، ساختار چگالی را در تنگه‌ی هرمز به عنوان یک جبهه‌ی کشندی که به وسیله‌ی جریانات کشندی قوی ایجاد شده‌اند، و تبادل آب خروجی بین خلیج فارس و دریای عمان بررسی کردند. نتایج نشان داد که اختلاط، به دلیل جریان کشندی قوی در دوره‌ی جزرومدی بهاری، یک جبهه شیب چگالی را تشکیل می‌دهد، اما در زمان‌های دیگر جبهه‌ی چگالی ناپدید می‌شود و یک تبادل فعال آب در طول تنگه اتفاق می‌افتد [3]. حمزه‌ئی به کمک اندازه‌گیری میدانی جریان سطحی در سه ایستگاه شمالی تنگه‌ی هرمز و در گذر زمانی دی ماه ۱۳۸۵ تا اردیبهشت ماه ۱۳۸۶ اندازه‌گیری نمود نتایج اندازه‌گیری نشان داد که جزرومد عامل اصلی در حرکت جریان‌های شمالی تنگه‌ی هرمز می‌باشد و سرعت جریان‌های عمقی ۳۰-۴۰ cm/s و سرعت جریان‌های سطحی ۱۱۲ cm/s به دست آمده است. با حذف فرکانس‌های روزانه و نیمه‌روزانه، سرعت جریان‌های ناشی از باد و اختلاف چگالی بین ۷/۶-۴/۵ cm/s به دست آمده است [4]. قاضی با استفاده از داده‌های گشت دریایی مونت میشل (۱۹۹۲)، سری‌های زمانی دما و شوری و نمودارهای T-S را از مارس تا می ۱۹۹۲، مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. پیرو مؤلفه‌های جزرومدی روزانه و نیمه‌روزانه در دوره‌های سری زمانی جریانات مشاهده و با حذف جزرومد توسط فیلتر پایین‌گذر، سرعت جریان باقیمانده را محاسبه نمود. نتایج نشان داد که در منطقه‌ی مورد مطالعه، گردش باروکلینیک آنتی سیکلونی هم‌زمان با ایجاد چینه‌بندی دمایی و شکل‌گیری ترموکلاین، شکل می‌گیرد [5].

۲. منطقه مورد مطالعه و روش کار

داده‌های جریان مورد استفاده این مطالعه توسط دانشگاه میامی از دسامبر ۱۹۹۶ تا مارس ۱۹۹۸ به وسیله دستگاه ADCP به صورت مورینگ از عمق ۱۰ متری تا ۸۵ متری و عمق ۱۰۱ متری با گام ۳۰ دقیقه در مکانی به طول جغرافیایی ۵۶/۰۸ شرقی و عرض جغرافیایی ۲۶/۲۶ شمالی در بخش جنوبی تنگه‌ی هرمز می‌باشد [6]. در این مقاله با استفاده از این داده‌ها و با استفاده از

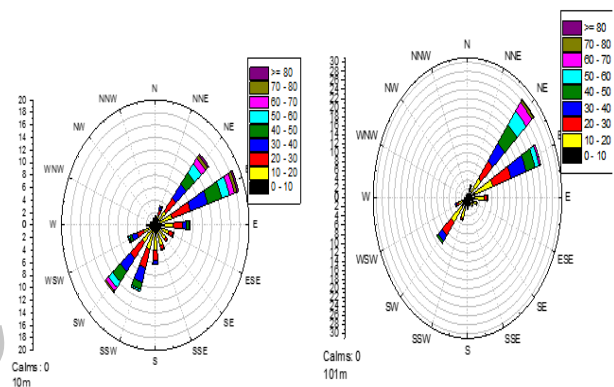
جریان را در اعماق ۱۰ و ۱۰۱ متری نشان می‌دهد. در این شکل مشاهده می‌شود، به دلیل عوامل جوی تأثیر گذار، انرژی در عمق‌های سطحی نسبت به عمق‌های میانی و بستر، بیش تر است. در عمق ۱۰ متری، ارتفاع پیک دوره‌ی روزانه و نیم‌روزانه مؤلفه افقی جریان از مؤلفه قائم سرعت بیش تر است. در فرکانس‌های بالاتر، ارتفاع پیک‌های غالب مؤلفه قائم سرعت از مؤلفه افقی سرعت بیش تر است.



شکل ۴. طیف متقابل جریان در عمق ۱۰ و ۱۰۱ متری. (نمودار قرمز رنگ مربوط به مؤلفه u و مشکی مربوط به مؤلفه v است.)

در تمام اعماق، پیک مؤلفه روزانه و نیم‌روزانه مؤلفه سرعت افقی از قائم بیش تر می‌باشد. همچنین در تمام این نمودارها مشاهده می‌شود که از سطح تا عمق ۶۰ متری ارتفاع پیک دوره‌ی روزانه از نیم‌روزانه بیش تر است ولی از عمق‌های ۶۵ تا ۷۵ متری ارتفاع این دو پیک برابر می‌شود و از عمق ۸۰ متری به بعد، ارتفاع پیک نیم‌روزانه غالب می‌شود [9].

متری، جهت جریان غالب به سمت شمال شرقی است. از ۱۰ متری تا لایه‌های میانی، سومین جهت غالب به سمت جنوب غربی است ولی جریان در این جهت در حال تضعیف شدن است، خصوصاً از عمق‌های میانی به بعد و این روند تا ۸۵ متری ادامه دارد. در ۱۰۱ متری جریان در این جهت، باز دوباره در حال افزایش است. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که به طور عمومی، جهت جریان غالب در منطقه‌ی مورد مطالعه، از سمت خلیج فارس به سمت دریای عمان است. در لایه‌های سطحی، جریان‌هایی هم از سمت دریای عمان به سمت خلیج فارس وجود دارد که می‌تواند ناشی از بادهای مشهور موسمی اقیانوس هند باشد. در جدول (۱) به طور خلاصه جهت غالب مربوط به هر عمق آورده شده است.



شکل ۳. گل جریان‌ها از دسامبر ۱۹۹۶ تا مارس ۱۹۹۸ و در عمق ۱۰ (سمت چپ) و ۱۰۱ متری (سمت راست)

جدول ۱. جهت جریان غالب در هر عمق در مدت یک سال.

عمق (متر)	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵
جهت	شرق و شمال شرقی	شرق و شمال شرقی	شرق و شمال شرقی	شمال شرقی	شمال شرقی	شمال شرقی	شمال شرقی	شرق تا شمال شرقی
عمق	۵۰	۵۵	۶۰	۶۵	۷۰	۷۵	۸۰	۸۵
جهت	شرق و شمال شرقی	شرق و شمال شرقی	شرق و شمال شرقی	شرق تا شمال شرقی	شرق تا شمال شرقی	شرق تا شمال شرقی	شرق تا شمال شرقی	شرق تا شمال شرقی

۳-۳. تحلیل طیفی متقابل جریان‌ها در عمق‌های مختلف

به منظور مطالعه مشخصات تغییرات لحظه‌ای جریان در بخش جنوبی تنگه‌ی هرمز، افت‌وخیزهای جریان‌های از عمق ۱۰ متری با گام ۵ متری تا عمق ۸۵ و نیز عمق ۱۰۱ متری با استفاده از روش تحلیل چگالی طیفی متقابل^۲ و اعمال پنجره‌ی کسینوسی taper محاسبه گردید. شکل ۴ نمودار طیف متقابل مؤلفه‌های u و v

در جدول ۲ فرکانس‌های غالب پیک‌های نمودار ۴ آورده شده است. همان‌طوری که در این جدول مشاهده می‌شود، در همه‌ی عمق‌ها دوره تناوب‌های مربوط به دو پیک اصلی متناسب با دوره تناوب‌های نیم‌روزانه ۱۲/۵ و روزانه ۲۳/۵ وجود دارد. همچنین دوره‌ی تناوب متناسب با ۴ ماهه هم در بیش‌تر عمق‌ها در مؤلفه‌ی u دیده می‌شود. در مؤلفه‌ی ll، از عمق ۳۰ تا ۶۰ متری، دوره‌ی تناوب متناسب با ۲۱ روزه نیز دیده می‌شود (این دوره‌ی تناوب می‌تواند مرتبط با تغییرات سینوپتیکی تأثیر جهت باد و امواج به دام افتاده‌ی ساحلی باشد) که این دوره‌ی تناوب، برای مؤلفه‌ی v، از سطح تا عمق ۷۰ متری وجود دارد. در مؤلفه‌ی ll، تقریباً تا عمق ۵۰ متری و در مؤلفه‌ی v هم از عمق ۲۰ متری تا ۵۰ متری دوره‌ی تناوب ۴۰ روزه هم دیده می‌شود. دوره‌ی تناوب ۱۸۰ ساعتی هم در این مؤلفه دیده می‌شود که در محدوده‌ی فرکانسی مربوط به پدیده‌های سینوپتیکی می‌باشد و تا عمق ۳۵ متری وجود دارد و مشخصه‌ی این پدیده این است که از سطح تا عمق، انرژی آن کاهش می‌یابد. همچنین دوره‌ی تناوب ۱۴ روزه هم در اعماق ۱۰ تا ۶۰ متری دیده می‌شود که در محدوده‌ی فرکانسی مهکشد (و احتمالاً سینوپتیکی باشد) است. در مؤلفه‌ی ll، در دو عمق ۱۵ و ۴۰ متری، دوره تناوب‌های ۵، ۶ و ۹ ساعتی هم دیده می‌شود (که می‌تواند ناشی از باد و یا نویز منطقه و یا سایر عوامل باشد) که این دو عمق را از اعماق دیگر متفاوت کرده است. در نمودار مربوط به طیف‌های این اعماق دوره‌ی تناوب‌های دیگری هم مشاهده می‌شود که احتمالاً ناشی از انعکاس امواج جزرومدی و غیره، با کناره‌ها و جزیره‌های منطقه (مثل جزیره‌ی قشم) است و سهم کوچکی از واریانس (که از جنس انرژی است) را به خود اختصاص می‌دهند. همان‌طور که در این نمودار دیده می‌شود، در مؤلفه‌ی عمودی، تغییرات در لایه‌ی سطحی بیش‌تر از لایه‌ی بستر است. بزرگ‌ترین پیک انرژی مربوط به مؤلفه‌های u و v این اعماق در جدول ۳ ارائه شده است. با توجه به این جدول در مؤلفه‌ی ll تا عمق ۴۵ متری، بجز در عمق‌های ۱۵ و ۴۰ متری پیک مربوط به دوره‌ی تناوب ۴ ماهه دارای بیش‌ترین انرژی است (پس می‌توان نتیجه گرفت که تقریباً تا عمق ۴۵ متری، جریان‌های تنگه‌ی هرمز تحت تاثیر بادهای موسمی قرار دارند). در عمق ۵۰

متری تا ۷۰ متری پیک انرژی پدیده روزانه غالب است و در عمق ۷۵ متری تا بستر پیک مربوط به پدیده نیم‌روزانه غالب می‌شود. در مورد مؤلفه‌ی v تقریباً تا عمق ۵۵ متری، پیک انرژی مربوط به دوره‌ی تناوب ۲۱ روزه غالب است (که چون فقط در عمق‌های سطحی و میانی است می‌توان نتیجه گرفت که ناشی از عوامل جوی است) و بعد از آن تا بستر پدیده روزانه غالب می‌شود. پس در کل چهار نوع پدیده در این محدوده‌ی زمانی و مکانی دارای بیش‌ترین پیک انرژی هستند، ۱- پدیده ۴ ماهه که تقریباً در عمق‌های سطحی تا ۴۵ متری در مؤلفه‌ی ll جریان وجود دارد ۲- پدیده روزانه که در مؤلفه‌ی ll در عمق‌های ۵۰ تا ۷۰ متری و در مؤلفه‌ی v جریان در عمق ۶۰ متری تا بستر وجود دارند ۳- پدیده نیم‌روزانه، فقط در مؤلفه‌ی ll، از ۷۵ متری تا بستر مشاهده می‌شود ۴- پدیده ۲۱ روزه که فقط در مؤلفه‌ی v جریان و تقریباً در عمق‌های سطحی تا ۵۵ متری وجود دارند. در مورد مؤلفه‌ی ll، بیش‌ترین انرژی مربوط به عمق ۲۰ متری ($140000 \text{ m}^2/\text{Hz}$)، دوره‌ی تناوب ۴ ماهه) و کمترین آن مربوط به عمق ۱۵ متری ($39000 \text{ m}^2/\text{Hz}$) است و در مورد مؤلفه‌ی v پدیده ۲۱ روزه) و کمترین آن مربوط به عمق ۷۵ متری با ($18000 \text{ m}^2/\text{Hz}$) پدیده روزانه) می‌باشد. با توجه به نمودار طیف‌ها و موارد بالا، تفاوت‌هایی بین عمق‌های ۱۵ و ۴۰ متری وجود دارد. در نمودار مربوط به این عمق‌ها، به‌سوی دوره‌ی تناوب‌های بالاتر از ۴ ماهه، شیب مؤلفه‌ی ll در حال افزایش است. این پدیده، دارای انرژی بیش‌تری از پدیده‌های است که در این عمق‌ها دیده می‌شود.

۴-۳. تحلیل طیف دوار جریان‌ها

در این قسمت با استفاده از روابط ریاضی تحلیل طیف دوار، مؤلفه غالب چرخشی از جنبه ساعت‌گرد و پادساعت‌گرد بررسی می‌شود [6]. شکل ۵ نمودار طیفی توان چرخشی از عمق ۱۰ متری تا عمق ۱۰۱ متری را نشان می‌دهد. در تمام خروجی‌ها در هر دو بخش $f > 0$ و $f < 0$ ارتفاع پیک روزانه از نیم‌روزانه بزرگ‌تر است. در عمق ۱۰ متری مشاهده می‌شود که ارتفاع پیک روزانه برای طیف $f > 0$ بزرگ‌تر از $f < 0$ است و این بیانگر این است که مؤلفه پادساعت‌گرد در این عمق برای این پدیده غالب است ولی ارتفاع پیک نیم‌روزانه و $16h$ برای طیف $f < 0$ بزرگ‌تر از $f > 0$ است این بیانگر این است که مؤلفه ساعت‌گرد در این عمق برای این پدیده‌ها غالب است. برای عمق‌های ۱۵، ۲۰، ۳۵، ۴۰ و ۴۵ متری به همین ترتیب می‌باشد. ولی در عمق ۳۰ متری ارتفاع پیک‌های روزانه، نیم‌روزانه و $16h$ برای طیف $f > 0$ بزرگ‌تر از $f < 0$ است. بنابراین در این عمق، همه پدیده‌ها دارای مؤلفه غالب پادساعت‌گرد می‌باشند. از عمق ۵۰ متری تا بستر، ارتفاع پیک دوره‌ی روزانه، نیم‌روزانه، $16h$ برای طیف $f < 0$ بزرگ‌تر از $f > 0$ است، بنابراین از عمق ۵۰ متری به بعد، مؤلفه ساعت‌گرد غالب می‌باشد. در ضمن در تمام این نمودار پدیده ۲۱ روز مشاهده می‌کنید که از سطح تا ۶۵ متری، ارتفاع پیک در سمت $f < 0$ بزرگ‌تر از $f > 0$ است ولی از ۷۰ تا بستر در بخش $f > 0$ بزرگ‌تر از $f < 0$ می‌باشد. و این بیانگر مؤلفه ساعت‌گرد غالب این پدیده تا عمق ۶۵ متری و از ۷۰ تا بستر مؤلفه غالب این پدیده پادساعت‌گرد می‌باشد.

جدول ۲. پیک فرکانس‌های غالب داده‌های جریان در عمق‌های مختلف.

عمق (متر)	فرکانس غالب مؤلفه u (ساعت)	فرکانس غالب مؤلفه v (ساعت)
۱۰	۲۶۴۰-۹۶۰-۲۳/۵-۱۲/۵	۲۶۴۰-۵۰۰-۳۳۶-۱۸۰-۲۳/۵-۱۲/۵
۱۵	۲۳/۵-۱۲/۵-۹-۶-۵	۵۰۰-۳۳۶-۱۸۰-۲۳/۵-۱۲/۵
۲۰	۲۶۴۰-۹۶۰-۲۳/۵-۱۲/۵	۲۶۴۰-۵۰۰-۳۳۶-۱۸۰-۲۳/۵-۱۲/۵
۲۵	۲۶۴۰-۹۶۰-۲۳/۵-۱۲/۵	۲۶۴۰-۵۰۰-۳۳۶-۱۸۰-۲۳/۵-۱۲/۵
۳۰	۲۶۴۰-۹۶۰-۵۰۰-۲۳/۵-۱۲/۵	۹۶۰-۳۳۶-۱۸۰-۲۳/۵-۱۲/۵
۳۵	۲۶۴۰-۹۶۰-۵۰۰-۲۳/۵-۱۲/۵	۹۶۰-۵۰۰-۳۳۶-۱۸۰-۲۳/۵-۱۲/۵
۴۰	۲۶۴۰-۹۶۰-۵۰۰-۲۳/۵-۱۲/۵-۹-۶-۵	۲۶۴۰-۹۶۰-۵۰۰-۳۳۶-۲۳/۵-۱۲/۵
۴۵	۲۶۴۰-۹۶۰-۵۰۰-۲۳/۵-۱۲/۵	۲۶۴۰-۹۶۰-۵۰۰-۳۳۶-۲۳/۵-۱۲/۵
۵۰	۲۶۴۰-۹۶۰-۵۰۰-۲۳/۵-۱۲/۵	۲۶۴۰-۹۶۰-۵۰۰-۳۳۶-۲۳/۵-۱۲/۵
۵۵	۵۰۰-۲۳/۵-۱۲/۵	۵۰۰-۳۳۶-۲۳/۵-۱۲/۵
۶۰	۵۰۰-۲۳/۵-۱۲/۵	۵۰۰-۳۳۶-۲۳/۵-۱۲/۵
۶۵	۲۶۴۰-۲۳/۵-۱۲/۵	۵۰۰-۲۳/۵-۱۲/۵
۷۰	۲۶۴۰-۲۳/۵-۱۲/۵	۵۰۰-۲۳/۵-۱۲/۵
۷۵	۲۶۴۰-۶۰۰-۲۳/۵-۱۲/۵	۶۰۰-۲۳/۵-۱۲/۵
۸۰	۲۶۴۰-۶۰۰-۲۳/۵-۱۲/۵	۶۰۰-۲۳/۵-۱۲/۵
۸۵	۲۶۴۰-۶۰۰-۲۳/۵-۱۲/۵	۶۰۰-۲۳/۵-۱۲/۵
۱۰۱	۲۶۴۰-۶۰۰-۳۶۰-۲۳/۵-۱۲/۵	۶۰۰-۲۳/۵-۱۲/۵

جدول ۳. پیک بزرگ‌ترین انرژی‌های مربوط به جریان عمق‌های مختلف

عمق (متر)	بالاترین انرژی u (m ² /Hz) × ۱۰۰۰	پدیده غالب	بالاترین انرژی v (m ² /Hz) × ۱۰۰۰	پدیده غالب
۱۰	۹۰	۴ ماهه	۲۴	روزانه
۱۵	۳۷	روزانه	۳۳	۴۰ روزه
۲۰	۱۴۰	۴ ماهه	۳۲	۲۱ روزه
۲۵	۱۲/۵	۴ ماهه	۳۶/۶	۲۱ روزه
۳۰	۱۰۰	۴ ماهه	۳۹	۲۱ روزه
۳۵	۹۵	۴ ماهه	۳۸	۲۱ روزه
۴۰	۴۰	روزانه	۳۶	۲۱ روزه
۴۵	۵۹	۴ ماهه	۳۱	روزانه
۵۰	۵۶	روزانه	۳۷	۲۱ روزه
۵۵	۵۶	روزانه	۳۴	۲۱ روزه
۶۰	۵۰	روزانه	۲۴	روزانه
۶۵	۴۹/۵	روزانه	۲۰	روزانه
۷۰	۴۴	روزانه	۱۸/۵	روزانه
۷۵	۴۶	نیم‌روزانه	۱۸	نیم‌روزانه
۸۰	۴۶	نیم‌روزانه	۱۸/۵	روزانه
۸۵	۴۶	نیم‌روزانه	۱۹	روزانه
۱۰۱	۴۰	نیم‌روزانه	۲۶/۵	روزانه

نیم‌روزانه بیش‌تر است ولی در عمق‌های ۶۵ تا ۷۵ متری ارتفاع این دو پیک برابر می‌شود و از عمق ۸۰ متری به بعد، ارتفاع پیک نیم‌روزانه غالب می‌شود.

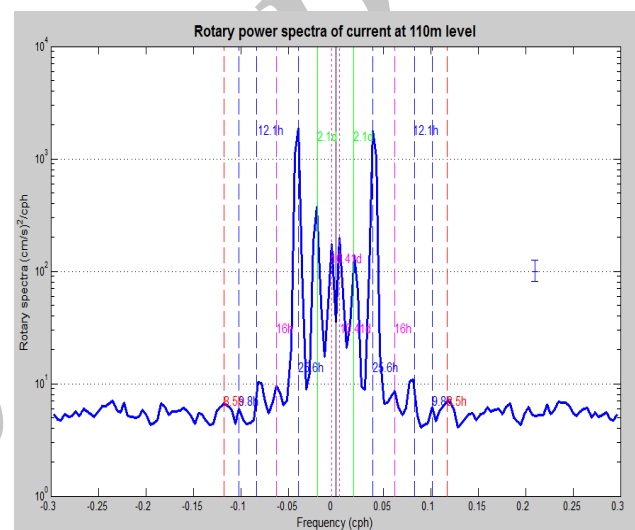
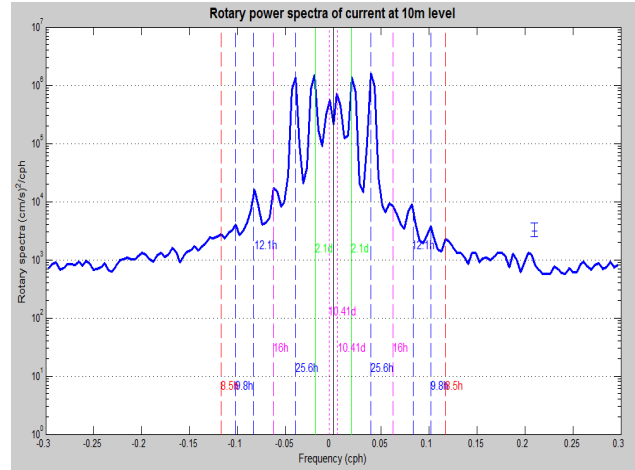
۴- چهار نوع حرکت در این محدوده زمانی و مکانی دارای بیشترین پیک انرژی هستند: ۱- حرکت در باندهای چهار ماهه که تقریباً در عمق‌های سطحی تا ۴۵ متری در مؤلفه افقی جریان وجود دارد. ۲- پدیده روزانه که در مؤلفه افقی در عمق‌های ۵۰ تا ۷۰ متری و در مؤلفه عمودی جریان در عمق ۶۰ متری تا بستر وجود دارند. ۳- پدیده نیم‌روزانه، فقط در مؤلفه u ، از ۷۵ متری تا بستر مشاهده می‌شود. ۴- حرکت در باند ۲۱ روزه که فقط در مؤلفه عمودی جریان و تقریباً در عمق‌های سطحی تا ۵۵ متری وجود دارند.

۵- از عمق ۵۰ متری تا بستر، مؤلفه غالب جریان، ساعت‌گرد می‌باشد و جریان‌ها در راستای خروجی آب خلیج فارس جهت می‌گیرند که با مشاهدات نیز همخوانی دارد.

۶- در عمق ۳۰ متری ارتفاع پیک‌های روزانه، نیم‌روزانه و $16h$ برای طیف $f > 0$ بزرگ‌تر از $f < 0$ است. بنابراین در این عمق، همه پدیده‌ها دارای مؤلفه غالب پادساعت‌گرد می‌باشند.

۵. مراجع

- [1] Yuan Y, Zhao J, Wang H, Lou R, Chen H, Wang K. Current measurements and spectral analyses in the upper 450 m and deep layers of the northeastern South China Sea. Science in China Series D: Earth Sciences. 2002;45(11):1008-26.
- [2] Cushman-Roisin B, Beckers J-M. Introduction to geophysical fluid dynamics: physical and numerical aspects: Academic Press; 2011.
- [3] Matsuyama M, Kitade Y, Senjyu T, Koike Y, Ishimaru T. Vertical structure of a current and density front in the Strait of Hormuz. Offshore Environments of the ROPME after the War related Oil-Spill. 1998:23-34.
- [4] حمزه‌ئی ماشاری، ص. مطالعه‌ی میدانی جریانهای تنگه‌ی هرمز. {پایان نامه کارشناسی ارشد}. تهران: واحد علوم و تحقیقات تهران؛ دانشگاه آزاد اسلامی؛ ۱۳۸۷.
- [5] ارم قاضی، ر. مطالعه تغییرات جریان‌های گذرا، دما و شوری



شکل ۵. طیف توان دوار در عمق ۱۰ متری و ۱۰۱ متری برای دوره‌ی اندازه‌گیری

۴. نتیجه‌گیری

در این تحقیق با استفاده داده‌های اندازه‌گیری شده، جریانات سطحی و زیرسطحی تنگه‌ی هرمز برای مدت یک سال، تجزیه و تحلیل گردید و نتایج زیر حاصل شد:

- ۱- به‌طور کلی جهت جریان در مدت یک سال و در نیمه جنوبی تنگه‌ی هرمز از طرف خلیج فارس به دریای عمان است.
- ۲- در همه عمق‌ها سرعت مؤلفه u از v بیشتر است و به‌طور عمومی سرعت در عمق ۷۰ متری، از همه عمق‌های دیگر بیشتر است.
- ۳- از سطح تا عمق ۶۰ متری ارتفاع پیک دوره‌ی روزانه از

در خلیج فارس، بر اساس داده‌های میدانی (پایان نامه کارشناسی ارشد). تهران: واحد علوم و تحقیقات تهران؛ دانشگاه آزاد اسلامی؛ ۱۳۸۷.

[6] Johns WE, Zantopp RJ. Data report for the Strait of Hormuz Experiment, December 1996-March 1998. RSMAS, University of Miami Technical Report 99. 1999;1:1999.

[7] Chen SJ, Ma JR. The Methods of the Oceanic Data Processing and Analysis and Their Application. Beijing: China OceanPress. 1991:1-660.

[8] Johns WE, Yao F, Olson DB, Josey SA, Grist JP, Smeed DA. Observations of seasonal exchange through the Straits of Hormuz and the inferred heat and freshwater budgets of the Persian Gulf. Journal of Geophysical Research: Oceans. 2003 Dec 1;108(C12).

[9] Ghaffari P, Chegini V. Acoustic Doppler Current Profiler observations in the southern Caspian Sea: shelf currents and flow field off Freidoonkenar Bay, Iran. Ocean Science Discussions. 2009;6(4).

۶. پی نوشت:

¹ Matsuyama

² cross spectral density