

مطالعه‌ی تغییرات فصلی پیچک‌های اقیانوس هند شمالی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای

حسام الدین مهرفر

گروه فیزیک، دانشگاه آیت ... بروجردی، بروجرد، ایران
hmehrfar@gmail.com

مینا محمدی پسند

گروه فیزیک دریا، موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران
mina.mohammadi.p@ut.ac.ir

عباسعلی علی اکبری بیدختی

استاد، موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران
bidokhti@ut.ac.ir الکترونیکی

چکیده

با شناسایی جریان‌های سطحی به صورت ماهانه در یک حوزه‌ی اقیانوسی می‌توان به شناسایی نحوه‌ی تجمع آلاینده‌ها، جبهه‌های دریایی و نیز پیچک‌های دریایی دست یافت. مطالعه پیچک‌ها به عنوان عوامل موثر در اختلاط افقی در اقیانوس، نفوذ جمعیت بیولوژیکی دریا، انتقال و توزیع گرما و شوری و تبادل گرما با جو دارای اهمیت است. جریان‌های سطحی از ترکیب دو مولفه‌ی جریان اکمن (جریان ناشی از باد) و جریان زمینگرد (جریان ناشی از تغییر ارتفاع سطح آب)، به دست می‌آید. از آنجا که روش‌های اندازه‌گیری میدانی جریان‌های اقیانوسی مشکل و زمان‌بر است، در این مقاله از داده‌های ماهواره‌ای OSCAR به مدت سه سال به صورت ماهانه استفاده و بردارهای جریان در نرم‌افزار Arcmap ترسیم شده است. پیچک‌های شاخص هر فصل شناسایی و خصوصیات هر یک معرفی شد. نتایج حاصل نشان می‌دهد که پیچک‌هایی که در فصل تابستان و پاییز تشکیل شده‌اند دارای بیشینه سرعتی در حدود $1/3m/s$ در سواحل سومالی هستند اما پیچک‌های ایجاد شده در فصل زمستان دارای پهنه کوچک و سرعت بالا در حدود $1/5m/s$ می‌باشند. جریان‌های همراه با پیچک‌های میان‌مقیاس نیز سرعت $0/7m/s$ دارند.

کلمات کلیدی: پیچک‌های دریایی، اقیانوس هند شمالی، جریان سطحی، داده‌های OSCAR.

۱- مقدمه

مطالعه‌ی دوره‌ای منظم جریان‌های سطحی اقیانوسی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با مطالعه‌ی جریان‌های سطحی اقیانوس می‌توان به ردیابی توده‌های آلاینده شبیه شکوفایی‌های جلبکی، رسوبات ساحلی، توده‌های نفتی و شناسایی آلاینده‌های شناور دست یافت. شناسایی جریان‌های سطحی در هدایت کشتی‌ها در مسیرهای تعیین شده؛ نیز می‌تواند موثر واقع شود. یکی دیگر از اهمیت‌های پرداختن به این موضوع، شناسایی چگونگی توزیع گرما در طول مرزهای اقیانوسی است. جریان‌های سطحی دو اقیانوس آرام و اطلس، به طور معمول در اثر توپوگرافی‌های اقیانوسی شکل گرفته و جهت می‌یابند. اما جریان‌های سطحی اقیانوس هند شمالی به شدت تحت تاثیر موسمی هند قرار دارند. اقیانوس هند توسط کشورهای نظیر ایران، پاکستان، هند و بنگلادش در شمال، شبه جزیره‌ی مالایی، جزایر سوندا در اندونزی و استرالیا در شرق، قطب جنوب در جنوب، آفریقا و شبه جزیره‌ی عربستان در غرب احاطه شده است. خلیج عدن و دریای عمان در قسمت شمال غرب این اقیانوس قرار دارند. دریای سرخ و خلیج فارس به عنوان دو منبع آب شور در اقیانوس هند، به شمار می‌آیند. زیر لایه‌های سطحی آب در اقیانوس هند، خصوصا در شمال آن، دارای کمترین مقدار اکسیژن هستند. موسمی هند دارای یک چرخه‌ی سالانه است که طی آن جهت وزش بادهای معکوس می‌شود. این موسمی شبیه وزش‌های ساحلی (نسیم)، در یک مقیاس بسیار بزرگ تر هستند. موسمی تابستانی از جهت جنوب غرب

می‌وزد و مقادیر زیادی از رطوبت را که منجر به بارش می‌شوند، با خود به ارمغان می‌آورند. به‌عکس در زمستان جهت وزش این بادها از سمت شمال شرق است [۲و۱].

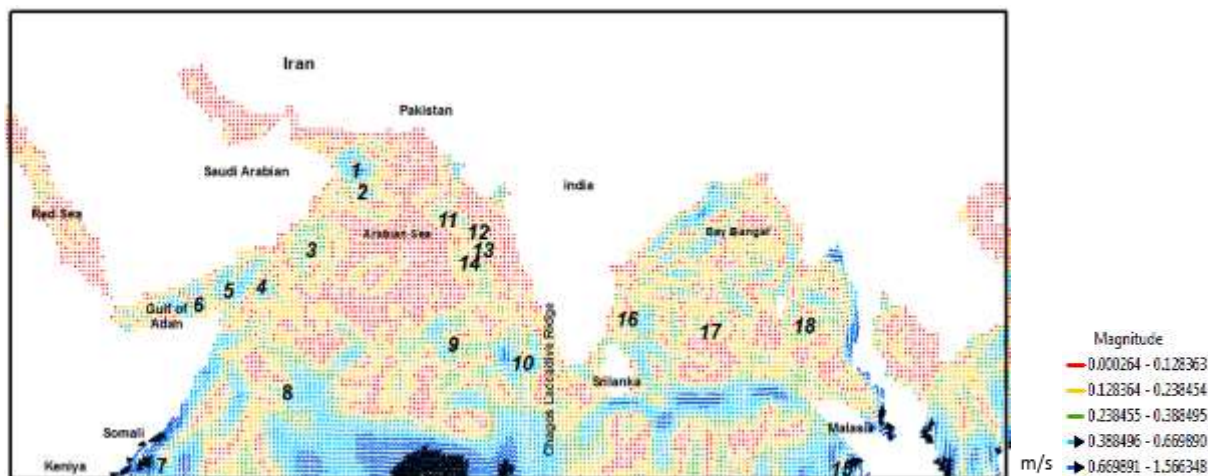
بانسال و همکاران (۲۰۱۴) گزارشی در مورد جریان‌های سطحی اقیانوس هند ارائه کردند. آن‌ها نشان دادند که این جریان‌ها به صورت ترکیبی از جریان‌های واداشته باد و عامل‌های دیگر، برآورد می‌شود. جریان سطحی اکمن با استفاده از داده‌های OSCAT^۱ و از میدان بادهای سطحی اقیانوسی آن به دست می‌آید. اجزای جریان سطحی زمینگرد نیز با استفاده از ارتفاع سطح دریا، تخمین زده می‌شوند. نقشه‌های شبکه بندی شده، با ارجاع به اثر کوریولیس محلی، برای تخمین جریان سطحی زمینگرد اقیانوس هند به کار می‌روند. اثر کوریولیس، تاثیر خود را در منطقه استوایی در پنج درجه از دو طرف خط استوا، تشدید می‌کند [۳]. شینودا و همکاران (۲۰۱۳) در هنگام عملیات میدانی CINDY/DYNAMO (پاییز/ زمستان ۲۰۱۱)، اندازه-گیری‌های فشرده از لابه بالایی اقیانوس هند انجام شد. در این مطالعه، نوسانات بالای اقیانوس در مقیاس بزرگ بر اساس آنالیز داده‌های استخراج شده از ماهواره، توصیف شده است. جریان‌های سطحی، ارتفاع سطح دریا، شوری سطح آب، بادهای سطحی و دمای سطح دریا در طول عملیات میدانی، به دست آمده از مشاهدات ماهواره تحلیل شده‌اند. بادهای سطحی غربی در نزدیکی استوا بویژه در حین رویدادهای اواخر نوامبر و اواخر دسامبر، از 10 m/s بیشتر می‌شود. این بادهای غربی، جت‌های قوی به سمت شرق (بزرگ‌تر از 1 m/s) بر روی خط استوا تولید می‌کند. [۴]. سانچز و همکاران (۲۰۱۲) جریان زمینگرد سطحی اقیانوس‌ها را با استفاده از داده‌های ارتفاع سنجی ماهواره‌ای مورد مطالعه قرار دادند. برای این منظور از اطلاعات ماهواره GOCE^۲ استفاده کردند و سپس نتایج را با مدل گردش عمومی اقیانوسی مقایسه کردند که از مطابقت خوبی برخوردار بود [۵]. شنویی و همکاران (۱۹۹۹) به بررسی گردش سطحی و انرژی جنبشی گردش جریان در اقیانوس هند شمالی با استفاده از داده‌های حاصل از شناورهای لاگرانژی پرداختند. در این پژوهش، ۴۱۲ عدد بویه شناور در اقیانوس هند شمالی برای بررسی گردش سطحی آب و میزان انرژی این جریان‌های سطحی به کار گرفته شد. این بویه‌ها برای تخمین سرعت جریان‌های سطحی در عمق ۱۵ متری حرکت می‌کردند. برخلاف مطالعات پیشین، این بررسی‌ها نشان دادند که جت استوایی در اقیانوس هند استوایی شرقی گسترش می‌یابد و در استوا در ماه‌های جولای تا آگوست در این سری داده‌ها ظاهر شده و به سمت غرب در جریان است. مقایسه داده‌های شناور با توپوگرافی دینامیکی میانگین فصلی نشان داد که الگوهای گردش سطحی استنباط شده از توپوگرافی دینامیکی را همیشه به عنوان جریان‌های سطحی در اقیانوس هند معرفی کرد. همچنین نتایج حاصل از داده‌های توپوگرافی و داده‌های شناورها در خلیج بنگال در طول موسمی جنوب غربی متفاوت بودند، اما همین نتایج در طول موسمی شمال شرقی مشابه بودند. [۶]. ویرتکی و همکارانش (۱۹۷۶) توزیع انرژی جنبشی را برای کل اقیانوس‌های جهان با استفاده از داده‌های شناور کشتی بررسی کردند و طی آن تخمین‌های مشابهی برای اقیانوس هند شمالی زدند [۷]. در تحقیقی که توسط پژوهشگاه علمی اقیانوسی حیدرآباد هند در سال ۲۰۱۴ صورت گرفت، جریان‌های سطحی اقیانوس هند شمالی تخمین زده شد. در این بررسی از داده‌های حاصل از مشاهدات ماهواره‌ی Oceansat-2 و داده‌های ارتفاع سطح دریای SARAL AltiKa استفاده شده است. این بررسی از مارس ۲۰۱۳ تا نوامبر ۲۰۱۴ صورت گرفت و نتایج حاصل از آن با نتایج بویه‌های شناور و نتایج جریان‌های OSCAR^۳ و جریان‌های زمینگرد AVISO^۴ مقایسه شد که از تطابق خوبی برخوردار بود [۸]. لاگروف و همکاران (۱۹۹۹) با استفاده از داده‌های توپوگرافی و تنش باد ماهواره‌ای و یک مدل آماری فیزیکی کالیبره شده و داده‌های حاصل از شناورهایی که در ۱۵ متری سطح آب تعبیه شده بودند، به تخمین جریان‌های سطحی استوایی اقیانوس آرام، پرداختند. [۹]. کاتلر و اسوالو (۱۹۸۴) داده‌هایی که توسط اداره‌ی هواشناسی انگلیس از دفتر ثبت روزانه‌ی کشتی‌های تجاری جمع‌آوری شده بود، را برای فراهم کردن اطلاعات جریان‌های سطحی استفاده کردند. بررسی‌های آن‌ها نشان داد که در طول سال، جریان‌ها در اقیانوس هند قوی‌تر از جریان‌ها در اقیانوس آرام و اطلس است و داده‌های حاصل از شناورها با تقریب خوبی، معتبر هستند. این اطلس بهترین منبع برای دستیابی به اطلاعات جریان‌های سطحی نزدیک استوا است [۱۰]. هدف این مطالعه بررسی پیچک‌های اقیانوس هند شمالی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای باد و داده‌های ارتفاع سطح دریا است. بعد از ترسیم بردارهای جریان‌ها، شاخص‌ترین پیچک‌ها در هر فصل و مناطقی که حضور دارند بررسی می‌شود.

۲- مواد و روش ها

با استفاده از داده‌های ماهواره می‌توان جریان‌های سطحی اقیانوسی را در دوره‌های منظمی تخمین زد. جریان‌های سطحی اقیانوس هند شمالی از ترکیب دو جریان سطحی اکمن و جریان سطحی زمینگرد حاصل می‌شود [۲]. برای محاسبه‌ی جریان اکمن در اقیانوس هند شمالی، می‌توان داده‌های باد را برای مدت زمان مشخصی از سایت ECMWF^۵ گرفت. و با نرم افزار GIS پردازش کرد. جریان‌های زمینگرد با استفاده از داده‌های ارتفاع سطح دریا و یا توپوگرافی دینامیکی کل^۶ نتیجه می‌شود. جریان زمینگرد نتیجه‌ای از نیروی گرادیان فشار افقی و نیروی کوریولیس است. برای محاسبه‌ی جریان زمینگرد با استفاده از داده‌های ارتفاع سنجی ماهواره‌ای، از سایت‌هایی چون AVISO و HYCOM^۷ می‌توان استفاده کرد. داده‌های هر یک از این دو سایت دارای معایب و مزایایی هستند. داده‌های ارتفاع سطح دریای سایت هایکام در برخی موارد کل منطقه اقیانوس هند شمالی را پوشش نمی‌دهد اما دارای قدرت تفکیک مکانی بالاتر در لایه آمیخته است. بررسی‌های زیادی نشان داده است که داده‌های هایکام تنها یک مدل است نه واقعیت. این داده‌ها سال‌ها توسط پژوهشگران مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که نتایج حاصل از این داده‌ها در موارد زیادی برخلاف اندازه‌گیری‌های محلی و تخمین‌های ماهواره‌ای است. گروه AVISO محصولات مختلفی از داده‌های ارتفاع سنجی ماهواره‌ای ارائه می‌دهد. قدرت تفکیک مکانی این داده‌ها یک چهارم درجه و گام زمانی آن‌ها یک روز است. به علت اعتبار داده‌های جریان OSCAR که عمدتاً از داده‌های اکمن و ارتفاع سنجی به دست آمده‌اند، در این تحقیق از داده‌های این سایت استفاده شده است. OSCAR یک پروژه‌ی تحقیقاتی به منظور شناسایی جریان‌های سطحی دریاها و اقیانوس‌های جهان در سازمان ناسا است. در این پروژه، سرعت‌های آب در لایه‌های آمیخته در سطح آب با استفاده از داده‌های ارتفاع سنجی، سرعت بادهای اقیانوسی و دمای سطح آب؛ و در نظر گرفتن قوانین دینامیکی بادهای دمای، اکمن و زمینگرد؛ محاسبه می‌شوند. هدف OSCAR، بهبود مستمر این محاسبات به کمک مدل‌سازی بهتر انتقال تکانه در درون و بین مرزهای لایه‌ی آمیخته‌ی اقیانوس، است. در این مطالعه داده‌های OSCAR در محیط GIS به صورت بردارهای جهت‌دار درآمد و مقدار محدوده‌ی هر بردار با رنگ خاصی مشخص و پیچک‌های اقیانوس هند شمالی به صورت میانگین فصلی در سه سال ۲۰۱۴، ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ بررسی شد.

۳- نتایج و بحث

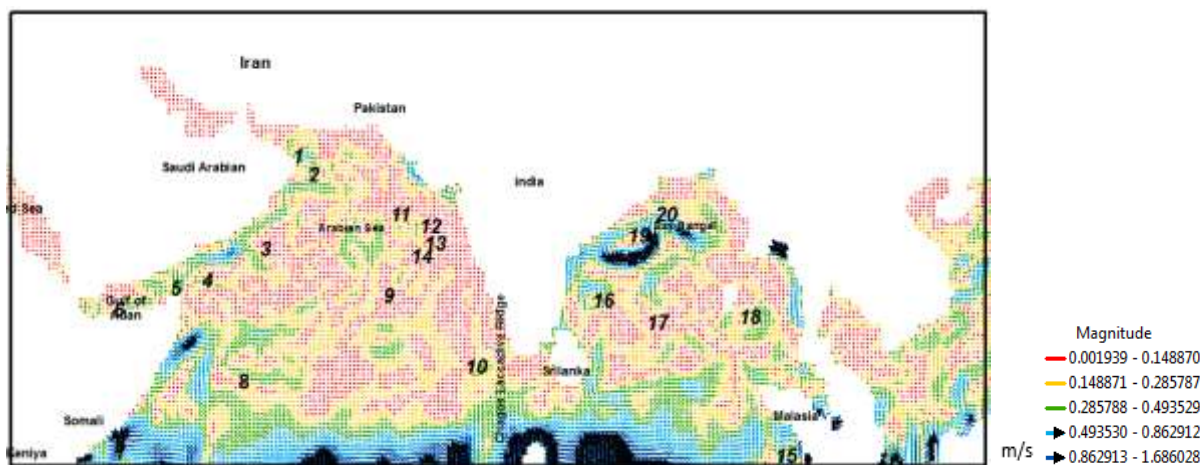
شکل ۱ پیچک‌های اقیانوس هند شمالی را در زمستان سال ۲۰۱۵ نشان می‌دهد. این روند برای دو سال دیگر نیز به طور مشابه تا حدود زیادی برقرار است، هرچند در برخی نقاط مکان این پیچک‌ها، تغییر مکانی و جهتی اندکی دارد.



شکل ۱- پیچک‌های اقیانوس هند شمالی در زمستان ۲۰۱۵.

در این تصویر ۱۸ پیچک شاخص در فصل زمستان شناسایی شده است. پیچک یک در خلاف جهت عقربه‌های ساعت و پیچک دو در جهت عقربه‌های ساعت است. سرعت پیچک دو بسیار کم‌تر از سرعت پیچک دیگر است. قطر متوسط پیچک یک در حدود ۲۸۹ کیلومتر است. پیچک‌های سه، چهار، پنج و شش همه در راستای خلیج عدن شکل گرفته‌اند. در بین این پیچک‌ها، تنها پیچک سه دارای سرعت محدود است. مقدار سرعت این جریان در محدوده‌ی رنگ سبز قرار دارد. پیچک شش با قطر حدود ۲۸۵ کیلومتر در جهت عقربه ساعت، پیچک پنج با قطر و سرعت کمتر در خلاف جهت عقربه ساعت، پیچک ضعیف‌تر چهار در جهت عقربه‌ی ساعت و پیچک سه در خلاف جهت عقربه ساعت حرکت دارند. منطقه هفت دارای پیچک قدرتمندی است که در مسیر پیچک بسیار بزرگ سومالی قرار گرفته است. قطر این پیچک پر سرعت، ۳۵۴ کیلومتر بوده و جهتی پادساعتگرد دارد. پیچک منطقه‌ی هشت، در مسیر جریان استوایی شمالی قرار دارد. جهت حرکت این پیچک پادساعتگرد است. این پیچک دارای سرعت‌های بالا در محدوده‌ی رنگ سورمه‌ای، در شرق، و دارای سرعت‌های پایین در محدوده‌ی رنگ سبز در غرب هسته‌ی خود است. در منطقه‌ی ۹ و ۱۰ پیچک‌های نسبتاً قوی در لاکادیو و دریای عمان، در جهت ساعتگرد جریان دارند. بین این دو پیچک، پیچک بسیار ضعیف دیگری دیده می‌شود که در خلاف جهت عقربه‌های ساعت حرکت دارد. در اکثر مواقع پیچک‌هایی که کنار هم شکل می‌گیرند، جهت‌های مخالف هم دارند. پیچک ۱۰ در نزدیکی، لاکادیو دارای قطر متوسطی در حدود ۴۰۲ کیلومتر است. پیچک‌های ۱۱، ۱۲، ۱۳ و ۱۴ پیچک‌های ضعیف با سرعت‌های اندک در دریای عربی هستند. جهت حرکت هر کدام از آن‌ها، خلاف جهت دیگری است. پیچک ۱۵ در مرز غربی مالزی دیده می‌شود. این پیچک بسیار پرسرعت بوده و جهت آن ساعتگرد است. پیچک‌های ۱۶، ۱۷ و ۱۸ در خلیج بنگال حضور دارند. این پیچک‌ها سرعت‌های متوسطی دارند.

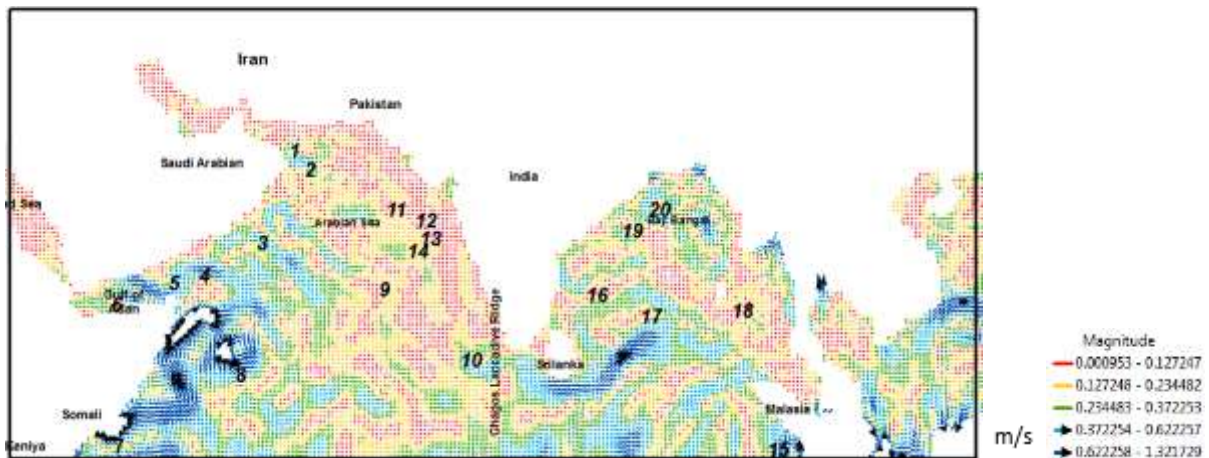
شکل ۲ پیچک‌های اقیانوس هند شمالی را در بهار سال ۲۰۱۶ نشان می‌دهد. این روند برای دو سال دیگر نیز به طور مشابه تا حدود زیادی برقرار است، هرچند در برخی نقاط مکان این پیچک‌ها، تغییر مکانی و جهتی اندکی دارد.



شکل ۲- پیچک‌های اقیانوس هند شمالی در بهار ۲۰۱۶.

از سرعت‌های پیچک‌های دریای عمان در فصل بهار کاسته می‌شود. پیچک سه در این فصل با سرعت کم‌تر از گذشته به سمت دریای عربی پیش رفته است. پیچک چهار در این فصل از بین رفته است. پیچک‌های پنج و شش دارای سرعت‌های پایینی هستند. پیچک هشت با سرعت بسیار کم‌تر از قبل به سمت دریای عربی پیشروی دارد و در این موقع سال در حال فروپاشی است. پیچک نه و ۱۰ در این فصل دیده نمی‌شوند. اما پیچک‌های دریای عربی، به سمت شمال حرکت کرده و همچنان پایدار هستند. پیچک‌های خلیج بنگال و سریلانکا با سرعت مسیر مارپیچی خود را ادامه می‌دهند. رنگ سورمه‌ای گویای سرعت بالای پیچک ۱۹ است. این پیچک در فصل گذشته حضور مستمر نداشت؛ اما در این فصل با قدرت به سمت خلیج بنگال پیش می‌رود. جهت حرکت این پیچک با قطر تقریبی ۵۹۶ کیلومتر، در خلاف عقربه‌های ساعت است. در منطقه‌ی ۱۵ پیچکی دیده نمی‌شود.

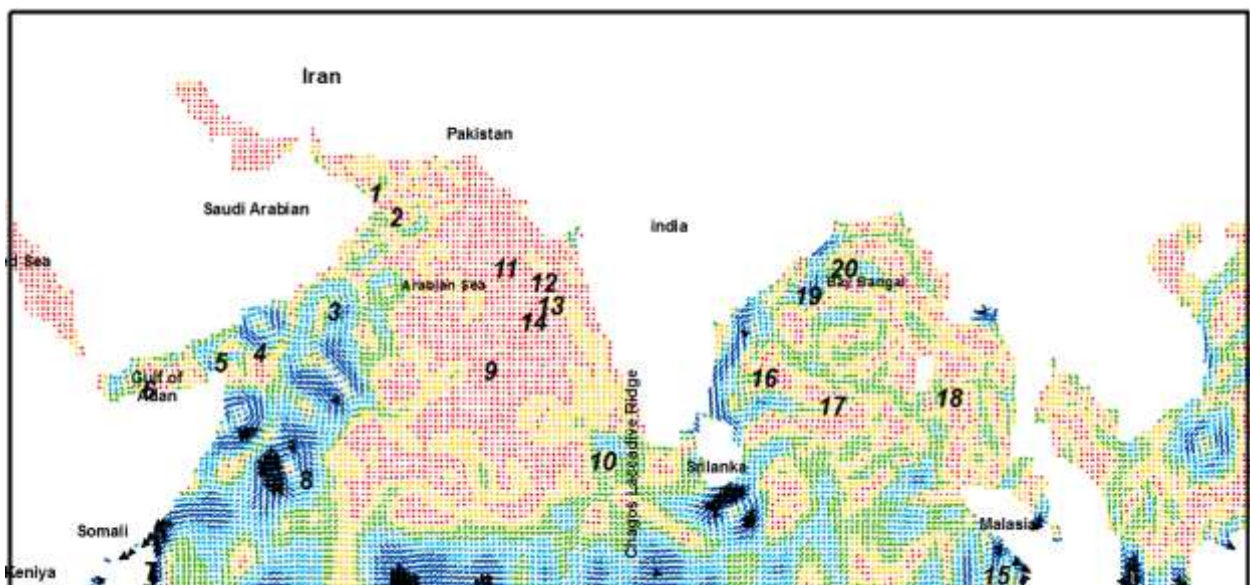
شکل ۳ پیچک‌های اقیانوس هند شمالی را در تابستان سال ۲۰۱۴ نشان می‌دهد. این روند برای دو سال دیگر نیز به طور مشابه تا حدود زیادی برقرار است، هرچند در برخی نقاط مکان این پیچک‌ها، تغییر مکانی و جهتی اندکی دارد.



شکل ۳- پیچک‌های اقیانوس هند شمالی در تابستان ۲۰۱۴.

در فصل تابستان بیشتر پیچک‌های فصل‌های گذشته از بین رفته‌اند. این روند در دریای عربی به وضوح دیده می‌شود. در خلیج عدن پیچک ۶ در جهت ساعتگرد در جریان است. در این فصل پیچک بزرگی پادساعتگرد در منطقه‌ی هشت دیده می‌شود. قطر این پیچک ۶۷۲ کیلومتر بوده و محدوده‌ی سرعت آن در رنگ آبی است. تمام پیچک‌های خلیج بنگال در این ماه از سال نیز رویت می‌شوند. در منطقه ۲۰ پیچکی با سرعت بالا، در جهت پادساعتگرد دیده می‌شود که قطر متوسطی در حدود ۳۷۶ کیلومتر دارد. سرعت این پیچک در محدوده‌ی آبی کم‌رنگ است. به طور کلی از سرعت این پیچک‌ها، در این وقت از سال کاسته شده است.

شکل ۴ پیچک‌های اقیانوس هند شمالی را در پاییز سال ۲۰۱۶ نشان می‌دهد. این روند برای دو سال دیگر نیز به طور مشابه تا حدود زیادی برقرار است، هرچند در برخی نقاط مکان این پیچک‌ها، تغییر مکانی و جهتی اندکی دارد.



شکل ۴- پیچک‌های اقیانوس هند شمالی در پاییز ۲۰۱۶.

در فصل پاییز بر تعداد پیچک‌های اقیانوس هند شمالی افزوده می‌شود. هر دو پیچک دریای عمان در این فصل حضور کم‌رنگی دارند. پیچک شش در خلیج عدن با سرعتی متوسط در خلاف جهت عقربه‌های ساعت دیده می‌شود. در نقطه‌ی ۴ پیچکی با سرعت بالا در خلاف جهت عقربه‌های ساعت در حرکت است. پیچک‌های زیاد با سرعت‌های بالا در امتداد جریان سوماتالی در این فصل از سال پدیدار می‌شوند. در منطقه‌ی ۸، سه پیچک با قطرهای زیاد، شکل گرفته‌اند. قطر پیچک ۸ در مکان قبل، ۵۷۰ کیلومتر است. در منطقه‌ی ۳ پیچکی منحنی شکل با قطر متوسط ۹۳۹ کیلومتر در خلاف جهت عقربه‌های ساعت شکل می‌گیرد. در این فصل در جنوب سریلانکا پیچکی با سرعت بالا و در جهت ساعتگرد به چشم می‌خورد. قطر متوسط این پیچک ۵۴۳ کیلومتر است. پیچک ۱۰ در این فصل با سرعت‌هایی در محدوده‌ی رنگ آبی روشن دیده می‌شود. در خلیج بنگال پیچک قوی و پیوسته‌ای دیده نمی‌شود. جدول ۱ مشخصات کلی پیچک‌های فصلی اقیانوس هند شمالی را در فصل‌های مختلف نشان می‌دهد.

جدول ۱: مشخصات کلی پیچک‌های فصلی اقیانوس هند شمالی در فصل‌های سه سال ۲۰۱۴، ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶.

فصل	تعداد پیچک	سیکلون	آنتی سیکلون	اندازه پیچک	نمونه سرعت
زمستان	۱۳	۱۰	۳	۳۸۷ km	۱/۵ms
بهار	۲۰	۹	۱۱	۴۱۸ km	۱/۳ms
تابستان	۱۷	۱۳	۴	۵۸۴km	۱/۳ms
پاییز	۱۸	۱۵	۳	۵۵۸km	۱/۰۸ms

۳- نتیجه‌گیری

قوی‌ترین جریان در شمال اقیانوس هند، جریان سوماتالی است. این جریان در تمام فصل‌های سال به شکلی قوی در جهتی به سمت بالا، دیده می‌شود؛ هرچند در پاییز سرعت پایین‌تری نسبت به فصل‌های دیگر دارد. پیچکی در جنوب این جریان در تمام ماه‌های سال به چشم می‌خورد. این پیچک سیکلونی قطر میانگینی در حدود ۴۵۰ کیلومتر دارد. جریان شرقی سریلانکا نیز جریانی قوی در این منطقه محسوب می‌شود. این جریان تنها در فصل بهار حضوری کم‌رنگ‌تر نسبت به فصل‌های دیگر دارد. در اکثر ماه‌های سال در مسیر این جریان پیچک‌های متعددی شکل می‌گیرد. پیچک‌های این جریان در ماه‌های مختلف جهت‌ها و مکان‌های مختلفی دارند. جریان استوایی شمالی در زمستان بیشترین سرعت خود را تجربه می‌کنند. این جریان عمدتاً موازی استوا حرکت کرده و پیچک پایداری در مسیر آن به چشم نمی‌خورد. پیچک‌های ایجاد شده در فصل تابستان و پاییز دارای پهنه بزرگ و نمونه سرعت $1/1 \text{ m/s}$ می‌باشند اما پیچک‌های ایجاد شده در فصل زمستان دارای پهنه کوچک و سرعت بالا در حدود $1/5 \text{ m/s}$ می‌باشند. جریان‌های همراه با پیچک‌های میان‌مقیاس نیز سرعت $0/7 \text{ m/s}$ دارند.

پیوست‌ها

۱. Oceansat Scatterometer
۲. Gravity field and Ocean Circulation Explorer
۳. Ocean Surface Current Analyses-Real Time
۴. Archiving Validation and Interpretation of Satellite Oceanography data
۵. Absolute Dynamic Topography
۶. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
۷. Hybrid Coordinate Ocean Model
۸. Chagos Laccadive

- [1] Puthethath AS.. Identification Of Thermal Fronts In The Arabian Sea Using MODIS-SST Data; 2014. (Doctoral Dissertation, Kerala University Of Fisheries And Ocean Studies).
- [2] Sikhakolli R, Sharma R, Basu S, Gohil BS, Sarkar A, Prasad K V S R. Evaluation of OSCAR Ocean Surface Current Product In The Tropical Indian Ocean Using In Situ Data. *Journal of Earth System Science*, 2013; 122(1); 187-199.
- [3] Bansal S, Sasamal S K., Rao K H, Dutt C B S. Indian Ocean Surface Current Using OSCAT And Saral-Altika. Ocean Sciences Group, ECSA, NRSC, Hyderabad. 2014.
- [4] Shinoda T, Jensen T G, Flatau M, Chen S, Weiqing Han W, Wang Ch. Large-Scale Oceanic Variability Associated With The Madden-Julian Oscillation During The CINDY/DYNAMO Field Campaign From Satellite Observations. *Remote Sensing*, 2013; 5, 2072-2092.
- [5] Sanchez-Reales J M, Vigo M I, Jin S, Cha B F. Global Surface Geostrophic Ocean Currents Derived From Satellite Altimetry And GOCE Geoid, *Marine Geodesy*. 2012 35(S1):175–189.
- [6] Shenoi S S, Saji P K. Almeida A M. Near-Surface Circulation And Kinetic Energy In The Tropical Indian Ocean Derived From Lagrangian Drifters. *Journal of Marine Research*, 1999 57, 885–907.
- [7] Wyrtki K. An Equatorial Jet in the Indian Ocean. *Science* 1976; 181, 262–264.
- [8] Lecture 8b, INCOIS, Hyderabad. Eddies and Frontal Systems Course on Modeling Indian Ocean Processes and Phenomena. 2015.
- [9] Lagerloef GSE, Mitchum GT, Lukas R, Niiler PP. Tropical Pacific Near Surface Currents Estimated From Altimeter, Wind And Drifter Data. *Journal of Geophys. Research*, 1999; 104, (23); 313-23,326.
- [10] Alvarez A, Chiggiato J, Schroeder K. Mapping Sub-Surface Geostrophic Currents From Altimetry And A Fleet Of Gliders. *Deep-Sea Research I*. 2010. Dio: Org/10.1016/J.Dsr.2012.10.014.