

بررسی توزیع کلروفیل آ و دمای سطح دریا در دریای عمان با روش دورسنجی تصاویر ماهواره‌ای مودیس برای دوره ۲۰۲۰-۲۰۰۰

ابراهیم شکری^۱، سیده نسترن هاشمی^۲ و مریم سیوف جهرمی^{۳*}

^۱ کارشناسی ارشد، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

^۲ دانشجوی دکتری، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

^۳ دانشیار، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

(دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۲۰، پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۲۴)

چکیده

دمای سطح دریا، یکی از مهمترین پارامترها در اقیانوس‌شناسی و اندازه‌گیری‌های دریایی است. همچنین کلروفیل آ از پارامترهای مهمی است که ویژگی‌های زیستی و غیرزیستی مناطق دریایی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. مطالعه حاضر با هدف بررسی تغییرات دمای سطح دریا، در رابطه با ایجاد، پراکندگی و توزیع کلروفیل آ در محدوده بندر جاسک انجام شده است. جهت نیل به هدف مذکور از تصاویر ماهواره‌ای مربوط به سنجنده مودیس در طول یک دوره ۲۱ ساله (۲۰۲۰ - ۲۰۰۰) و به تفکیک فصول مختلف استفاده گردید. سپس، مقادیر میانگین هر دو پارامتر برای ۲۱ سال به صورت فصلی، سالیانه و کل منطقه، از طریق ضریب همبستگی پیرسون محاسبه شدند. با توجه به نقشه‌های دمای سطح دریا، قسمت‌های نزدیک به ساحل و مناطق غربی منطقه مورد مطالعه از دمای بیشتری نسبت به سایر مناطق برخوردارند. یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد که میانگین دمای سطح دریا از نظر زمانی دارای تغییراتی است. از سوی دیگر بر اساس نقشه‌های استخراج شده از غلظت کلروفیل آ، به لحاظ توزیع مکانی، بیشترین میزان کلروفیل آ در مناطق ساحلی و مجاور آن می‌باشد به طوری که در سواحل جنوبی استان سیستان و بلوچستان، منطقه چابهار و همچنین بخش‌های غربی استان هرمزگان بیشترین میزان آن وجود دارد. نتایج مربوط به کلروفیل آ به خوبی وجود فراجوشی ساحلی را در بخش شمالی سواحل مکران نشان می‌دهد. به طور کلی پراکندگی کلروفیل آ در منطقه مورد مطالعه در فصل‌های سرد نسبت به فصل‌های گرم و نیمه گرم بیشتر می‌باشد. رابطه همبستگی بین تغییرات دمای سطح دریا و میزان غلظت کلروفیل آ بیانگر آن است که در فصل پائیز و زمستان همبستگی از نوع منفی و در تابستان و بهار از نوع مثبت وجود دارد.

کلمه‌های کلیدی: بندر جاسک، دریای عمان، دمای سطح دریا، سنجنده مودیس، کلروفیل آ

۱ مقدمه

حدود ۷۰ درصد از سطح کره زمین توسط اقیانوس‌ها احاطه شده است به همین دلیل اقیانوس‌ها یک اکوسیستم مهم محسوب می‌شوند. از سوی دیگر ۲۵ درصد از مساحت کل پوشش گیاهی موجود در کره زمین، در اقیانوس‌ها وجود دارد که بخش زیادی از آنها در مناطق ساحلی واقع شده‌اند (جفری و همکاران، ۱۹۹۷). نیاز به نظارت موثرتر زیست محیطی از اقیانوس‌ها و سواحل، اخیراً منجر به پیشرفت‌های قابل توجهی در فناوری رنگ اقیانوس‌ها و الگوریتم شناسایی آن‌ها شده است (بلوندو و همکاران، ۲۰۱۴).

دمای سطح دریا و کلروفیل، که از تصاویر ماهواره‌ای به دست می‌آیند، برای تخمین تولیدات اولیه اقیانوسی، تبادل دمای هوا-دریا و الگوهای فضایی و فصلی از نظر تنوع ارزشمند هستند (جانسون و همکاران، ۲۰۲۳). دمای سطح دریا می‌تواند بر روی فیتوپلانکتون‌ها و میزان غلظت کلروفیل سطح دریا تأثیر بگذارد و نقش مهمی در مطالعه تغییرات آب و هوا و فرآیندهای اقیانوسی ایفا کند (السهی، ۲۰۲۳ و هی و همکاران، ۲۰۲۱). در اقیانوس‌های آزاد، لایه‌بندی قائم، عامل فیزیکی اصلی مؤثر در رشد فیتوپلانکتون است و دمای سطح دریا می‌تواند بر این نوع لایه‌بندی و همچنین تبادل مواد مغذی بین آب‌های سطحی و آب‌های عمیق‌تر تأثیر بگذارد (ون دی پل و همکاران، ۲۰۱۳). در نتیجه تغییرات دمای سطح دریا، یک محرک مهم برای فراوانی گونه‌های دریایی در اکوسیستم‌های دریایی بزرگ به شمار می‌رود (کسلر و همکاران، ۲۰۲۲). کلروفیل آ نمایانگر میزان تراکم فیتوپلانکتون به عنوان تولید اولیه است که تغییرات آن گویای وضعیت اکوسیستم است به عبارت دیگر کلروفیل آ رنگدانه اصلی در فیتوپلانکتون است و غلظت آن (برحسب میکروگرم بر لیتر یا برحسب میلی گرم بر متر مکعب) معمولاً به عنوان نماینده زی‌توده و تولید اولیه است (بویس و همکاران،

۲۰۱۰ و ربانی‌ها و همکاران، ۱۴۰۱). از آنجایی که انعکاس نور سبز از گیاهان به دلیل وجود کلروفیل در آنها است، کلروفیل آ از جمله مولفه‌هایی می‌باشد که بر روی کیفیت منابع آب و اکوسیستم‌های آبی تغییر ایجاد نموده و به دلیل نقش با اهمیتی که با حضور خود در فیتوپلانکتون‌ها به عنوان زنجیره غذایی اولیه دارند، بررسی تغییرات آن حائز اهمیت می‌باشد (دیسو و واکهام، ۱۹۸۶).

کلروفیل‌ها به دلیل داشتن رنگ سبز و همچنین جذب طول موج‌های آبی و قرمز امواج الکترومغناطیس از طریق تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های سنجنش از دور قابل شناسایی و مطالعه هستند. بنابراین بهره‌گیری از تکنیک سنجنش از دور جهت مطالعه غلظت کلروفیل‌های موجود در سطوح آبی به عنوان روش و راه‌حلی جایگزین روش‌های سنتی، موجود می‌باشد. به طوری که بهره‌گیری از فناوری سنجنش از دور و تصاویر ماهواره‌ای در شناخت دریاها از نظر بیولوژیکی، صیدگونه‌های آبی و همچنین پیش‌بینی بلایای طبیعی مؤثر و مفید می‌باشد (جلال زاده و همکاران، ۱۳۸۷). بعلاوه پایش مداوم آب‌های ساحلی در راستای توسعه پایدار دریا محور در گسترش طرح‌های آبی‌پروری در قفس، اکوتوریسم دریایی، صنایع شیرین‌سازی آب دریا و هم چنین جهت حفاظت از اکوسیستم‌های حساس منطقه از جمله مناطق مرجانی الزامی است (ارشادی فر و همکاران، ۱۴۰۲).

ادب و همکاران (۱۳۸۹) در جنوب دریای خزر به پایش زمانی دمای سطح دریا و کلروفیل آ با استفاده از تحلیل تصاویر دورسنجی پرداختند. در این مطالعه از تصاویر سنجنده مودیس بر روی ماهواره آکوا استفاده شده است. به منظور استخراج مقدار غلظت کلروفیل آ، از الگوریتم تجربی ضریب جذب مواد آلی رنگی محلول در آب استفاده شد. نحوه توزیع فصلی کلروفیل آ در دوره مطالعاتی آنان نشان داد که فصل زمستان از حداقل غلظت و فصل تابستان از حداکثر غلظت کلروفیل برخوردار است. نتایج

از تاریخ ژانویه ۲۰۰۳ تا دسامبر ۲۰۱۸ از سنجنده مودیس - آکوا و از مدل وی جی پی ام (VGPM) به منظور برآورد تولیدات اولیه در محدوده مطالعاتی استفاده شد. سپس از انجام پیش پردازش و استخراج الگوریتم سری زمانی با استفاده از رویه‌های من کندال و تایل سین روند تغییرات مشخص گردید. سپس با استفاده از تصاویر رنگی کاذب، بلوم‌های جلبکی در منطقه خلیج فارس و دریای عمان شناسایی و مقدار غلظت کلروفیل آ در محدوده ی جلبکی و خارج از این محدوده مشخص گردید. نتایج حاصل از تحلیل روند با رویه تایل سین نشان داد که نرخ تغییرات برای کلروفیل در همه مناطق به استثنای منطقه پنج (بوشهر) کاهش یافته است.

خدام و همکاران (۱۴۰۰)، به مطالعه میانگین بلندمدت غلظت کلروفیل و ارتباط آن با تغییرات دمای سطح دریا و عمق نوری هواویزها روی دریای عمان و خلیج فارس طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۰، با استفاده از محصولات روزانه مودیس پرداختند. در نواحی ساحلی که عمق آب کمتر است، همبستگی بیشتر است. بیشترین میزان همبستگی در نواحی جنوبی خلیج فارس که کم عمق‌ترین منطقه در خلیج فارس و دریای عمان است، مشاهده شد. به علاوه، رفتار کلروفیل با تغییر دمای سطح دریا و عمق نوری هواویزها، طی رخداد گردوخاک در تاریخ ۳۰ ژوئیه ۲۰۱۸ نیز تعیین شد. نتایج نشان داد، تاخیر زمانی در همبستگی دمای سطح دریا و عمق نوری هواویز با غلظت کلروفیل نیز وجود دارد.

اویوپین و همکاران (۲۰۱۲)، به پایش اثر فراجوشی را بر روی توزیع کلروفیل در خلیج فنلاند (دریای بالتیک) با استفاده از سنجنش از دور و داده‌های اندازه‌گیری پرداختند. تغییرپذیری مکانی-زمانی کلروفیل آ، ناشی از ترتیب وقوع فراجوشی در خلیج فنلاند در ژوئیه تا آگوست ۲۰۰۶ با استفاده از داده‌های سنجنش از دور و اندازه‌گیری‌های میدانی مورد مطالعه قرار گرفت. توزیع فضایی دمای سطح

تحلیل رگرسیونی نشان داده است که دمای سطح دریا خزر بر میزان غلظت کلروفیل موثر است.

شهری و همکاران (۱۴۰۰)، به پایش میزان کلروفیل آ، کربن آلی، شوری و دمای سطح آب در سواحل سیستان و بلوچستان با استفاده از داده‌های سنجنش از دور پرداختند. برای بررسی وضعیت کلروفیل آ از الگوریتم‌های بیوپتیکی تری اکسید کربن در انوی (ENVI) و همچنین قابلیت پلت فرم گوگل ارث انجین استفاده شد. پارامتر شوری از ماهواره اسموس (SMOS) سنجنده میراس (MIRAS) در نرم‌افزار اسنپ (SNAP)، بررسی شد و پارامترهای کلروفیل، دما و کربن آلی با استفاده از تصاویر ماهواره مودیس سنجنده ترآ تعیین شد. نتایج نشان داد در کنار سواحل میزان کلروفیل-آ بیشتر است و ایستگاه‌های کنارک، جود و خورمیدانی دارای غلظت بالاتری از کلروفیل آ هستند.

مهدوی فرد و همکاران (۱۳۹۹)، در تحقیقی به تخمین غلظت کلروفیل آ با استفاده از داده‌های میدانی و پردازش تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ و لندست ۸ در خور تیاب پرداختند. در این تحقیق با استفاده از الگوریتم‌های بیوپتیکی تری اکسید کربن و دی اکسید کربن و داده‌های ماهواره‌ای سنتینل ۲ و لندست ۸ در فروردین سال ۱۳۹۸، تخمین غلظت کلروفیل آ در منطقه خور تیاب انجام شد. نتایج تحقیق نشان داد که الگوریتم دی اکسید کربن در تصاویر ماهواره‌ای از دقت بالایی برخوردار است.

غلامعلی فرد و همکاران (۱۳۹۹)، در مطالعه‌ای به پایش سنجنش از دوری تغییرپذیری دمای سطحی آب و کلروفیل آ در خلیج فارس و دریای عمان (عوامل موثر در تولید خالص اولیه) پرداختند. برای درک و پایش این تغییرات، مهمترین پارامترهای تاثیرگذار بر مولفه از جمله، دمای سطحی آب، و شکوفایی جلبکی و تغییرات آن‌ها طی سری زمانی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. داده‌های مربوط به کلروفیل آ، دمای سطحی آب و تولید خالص اولیه

هند مرتبط است (شکل ۱). وزش بادهای موسمی یا مونسون از ویژگی‌های بارز منطقه است که تاثیر عمده‌ای بر خصوصیات محیطی و اکولوژیک دریای عمان دارد. جریان‌ها و بادهای موسمی اقیانوس هند که به‌ویژه در شمال غربی هند رخ می‌دهد، بر روی دریای عمان اثر می‌گذارد (سنجرانی و همکاران، ۱۳۸۹).

توده‌های آب بسیار شور و گرم که در اثر تبخیر بر روی خلیج فارس تشکیل می‌شوند به پایین فرو می‌روند، از طریق تنگه هرمز به عنوان آب خلیج فارس به خلیج عمان می‌ریزند. این منطقه با سطوح شوری بالاتر از ۳۷ psu و دمای بیش از ۲۰ درجه سانتیگراد مشخص شده است، بنابراین امکان شناسایی توده‌های آب خروجی خلیج فارس (Persian Gulf Water) به دریای عرب فراهم می‌شود (محمدپور و همکاران، ۱۴۰۱، لشکری و همکاران، ۱۴۰۲، رامک و همکاران، ۱۴۰۱، ۱۴۰۰ (الف و ب)، ۲۰۲۳). در بخش شرقی خلیج عمان، گردش منطقه‌ای

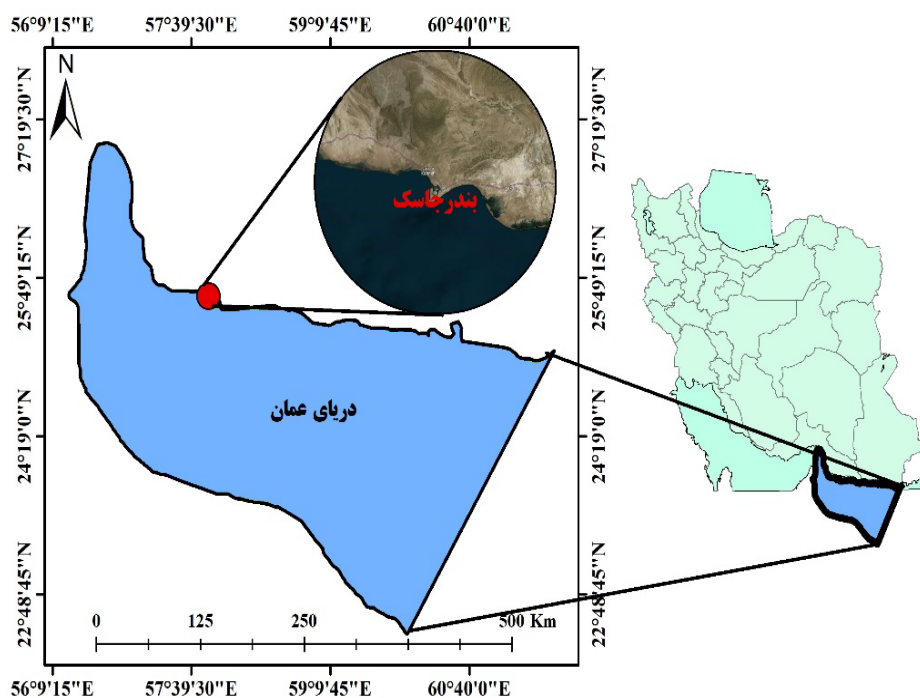
دریا و غلظت کلروفیل آ به ترتیب با استفاده از داده‌های مودیس و مریس مورد بررسی قرار گرفت. تغییرپذیری مکانی-زمانی تاثیر روشن وقایع فراجوشی و رشته‌های مرتبط را بر توزیع کلروفیل در خلیج‌های غربی و مرکزی نشان داد.

مطالعه کنونی تلاش دارد به صورت کلی به بررسی دمای سطح دریا و تغییرات کلروفیل آ و ارتباط بین این دو کمیت در محدوده دریای عمان پردازد. بررسی انجام شده می‌تواند در شناسایی موقعیت مکانی مواد مغذی در این حوضه آبی، در راستای کمک به صنعت شیلات کمک شایانی کند.

۲-۲ روش پژوهش

۱-۲ منطقه مورد مطالعه

دریای عمان در جنوب ایران و در محدوده آب‌های سیستان و بلوچستان واقع شده است و از جنوب به اقیانوس



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه، دریای عمان، که در محیط نرم‌افزار ArcMap ترسیم شده است.

در این ناحیه می‌گردد. پدیده مذکور در نتیجه تحت تأثیر قرار دادن دریای عمان، موجب به وجود آمدن شرایط آب و هوایی متفاوت دریای عمان با خلیج فارس می‌گردد، به این ترتیب خلیج فارس به طور کلی به وسیله سامانه آب و هوایی نیمه حاره از سمت شمال غرب تحت تأثیر قرار می‌گیرد در صورتی که دریای عمان در مرز شمالی سامانه آب و هوای حاره‌ای که بر شمال غرب اقیانوس هند حاکم است. در دریای عمان جهت وزش بادهای همراه با واژگونی فصلی بوده و هماهنگ با سامانه مونسون اقیانوس هند می‌باشد، به طوری که جهت وزش بادهای در زمان مونسون زمستانی به صورت شمال غربی و در زمان مونسون تابستانی به صورت جنوب شرقی می‌باشد (یاو و جانز، ۲۰۱۰). در زمان مونسون تابستانی میزان سرعت باد در دریای عمان در قیاس با ناحیه شمال غرب اقیانوس هند به میزان قابل توجهی کمتر می‌باشد (مورتی و الصبح، ۱۹۸۴). دریای عمان شدیداً متأثر از چرخه مانسون فصلی بوده که فراجوشی و شکوفایی جلبکی را به دنبال دارد. جابجایی آب در زمان وقوع فراجوشی می‌تواند باعث تغییر در پراکنش مکانی پلانکتون باشد (جلیلی و همکاران، ۱۴۰۰). اقلیم عمان متأثر از مونسون است و الگوی جریان آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد (چایچی تهرانی و الله دادی، ۲۰۱۸). در جدول ۱، دوره‌های فصلی مانسون در اقیانوس هند تعیین شده است.

آب‌های سطحی به صورت جابر سیکلونی (cyclonic gyre) است. چرخش در بخش غربی خلیج پیچیده‌تر است، که به علت خروج آب خلیج فارس و جریان‌های جنوب شرقی (در ارتفاع ۲۵۰ متری) در نزدیکی ساحل عمانی و چرخش مجدد آب‌هایی که از طریق فراجوشی در نزدیکی سواحل ایرانی ایجاد شده‌اند، می‌باشد (پوز و همکاران، ۲۰۰۴). دریای عمان به عنوان بخشی از شمال غرب دریای عرب، به دلیل وقوع پدیده‌های مختلف بیوژئوشیمیایی مانند فراجوشی آب‌های غنی از مواد مغذی، کمبود نیترات و تثبیت نیتروژن و همچنین کمبود اکسیژن در مناطق ساحلی و فراساحلی، دارای این پتانسیل می‌باشد که در سطح جهانی به عنوان شاخص حساس تغییر اقلیم جهانی در مقیاس اقیانوسی در نظر گرفته شود (فازی و همکاران، ۱۹۹۳).

میزان شوری سطحی دریای عمان در مقایسه با قسمت‌های جنوبی و مرکزی خلیج فارس کمتر بوده و دمای سطحی آن در فصل زمستان بیشتر و در فصل تابستان کمتر از دمای سطحی خلیج فارس می‌باشد (رینولدز، ۱۹۹۳).

از پدیده‌های طبیعی مناطق حاره‌ای و جنب حاره‌ای، مونسون است که در قسمت شمال غرب اقیانوس هند فعالیت داشته و موجب ایجاد جریان‌ها و بادهای موسمی

جدول ۱. دوره‌های فصلی مانسون در اقیانوس هند (نیتو و همکاران، ۲۰۰۶ و ابوبکر و همکاران، ۲۰۱۱).

فصل	ماه میلادی	ماه شمسی	جهت باد غالب
پیش مانسون	فوریه - می	بهمن - اردیبهشت	-
مانسون	ژوئن - سپتامبر	خرداد - شهریور	جنوب غربی
گذر از مانسون	اکتبر - ژانویه	مهر - دی	-

شدند. این داده‌ها به فرمت Net-CDF بودند که از تارنمای سازمان ملی اقیانوس‌شناسی و جو ایالات متحده آمریکا (ناسا) دریافت شدند. مدلی که جهت برآورد و محاسبه

۲-۲ داده‌های مورد استفاده

داده‌های دمای سطح دریا مربوط به ماهواره ترآ (سنجنده مودیس) در طی یک دوره ۲۱ ساله (۲۰۲۰ - ۲۰۰۰) تهیه

$$\begin{aligned}
 \text{Modis} - \text{SST} = & C1 \quad (1) \\
 & + C2 \times T31 \\
 & + C3 \times T3132 \\
 & + c4 \\
 & \times (\sec(\theta) - 1) \\
 & \times T3132
 \end{aligned}$$

در این رابطه، T31، دمای روشنایی (Brightness Temperature) مربوط به باندهای ۳۱ و T3132، اختلاف دمای روشنایی مربوط به دو باند ۳۱ و ۳۲ می‌باشند. باندهای ۳۱ و ۳۲ هر دو باندهای گرمایی هستند. همچنین، θ ، زاویه زینت (اوج) ماهواره می‌باشد. جهت محاسبه ضرایب مدل ام سی اس تی از ضرایب مربوط به مدل ای سی ام دبلیو اف (ECMWF) استفاده می‌شود که این ضرایب در دو حالت اختلاف بین دماهای ظاهری در باندهای ۳۱ و ۳۲ و بزرگتر از ۰/۷ و یا کوچکتر مساوی ۰/۷ می‌باشد. در جدول ۲، مقدار این ضرایب آورده شده است (براون و همکاران، ۱۹۹۹).

میزان دمای سطح دریا با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس مورد استفاده قرار می‌گیرد، مدل ام سی اس تی (MCSST) است که خود از سری الگوریتم‌های موسوم به پنجره مجزا (Split Window) می‌باشد که در آن به دلیل مدنظر قرار دادن زاویه زینتی ماهواره و همچنین انجام تصحیح جوی دارای دقت بالایی می‌باشد. الگوریتم پنجره مجزا از جمله روش‌های قابل اعتماد و مشهور در برآوردهای سطح زمین در مناطق مختلف می‌باشد که توسط تلفیق باندهای حرارتی سعی در کاهش تأثیرات جوی دارد. الگوریتم مذکور بر اساس اختلاف جذب بین دو باند گرمایی مجاور در محدوده گرمایی ۱۰ تا ۱۲/۵ میکرومتر بر اساس خطی‌سازی معادله انتقال تابشی بر حسب دما یا طول موج عمل می‌کند (جیمنز و سوپرینو، ۲۰۰۸ و براون و همکاران، ۱۹۹۹). مدل ام سی اس تی به صورت رابطه ۱ می‌باشد (براون و همکاران، ۱۹۹۹).

جدول ۲. ضرایب مربوط به مدل ام سی اس تی.

T31-T32 > 0.7	T31-T32 ≤ 0.7	ضریب
۱/۶۹۲۵۲۱	۱/۲۲۸۵۵۲	C1
۱/۹۵۵۸۴۱۹	۰/۹۵۷۶۵۵۵	C2
۰/۰۸۳۳۵۷۴	۰/۱۱۸۲۱۹۶	C3
۱/۱۹۹۵۸۴	۱/۷۷۴۶۳۱	C4

۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲ می‌باشد، مورد استفاده قرار می‌گیرند (مویسان و همکاران، ۲۰۱۲). قابل ذکر است در مطالعه حاضر نیز از مقادیر رادیانس چهارباند مذکور جهت برآورد مقدار غلظت کلروفیل آ استفاده شد. تصاویر مربوطه از تارنمای سازمان ملی اقیانوس‌شناسی و جو آمریکا (ناسا) دریافت گردید. از آنجایی که پیش پردازش‌های رادیومتریکی بر روی این سطح از تصاویر انجام شده است، بنابراین فقط عملیات زمین مرجع کردن

به علاوه، از تصاویر و محصولات سنجنده مودیس ماهواره آکوا با کد MYD09GA Level 1B calibrated که دارای قدرت تفکیک مکانی یک کیلومتر است، در دوره آماری ۲۱ ساله (۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰) استفاده شد. تصاویری که در سطح Level 1B هستند در بسیاری از مطالعات سنجش از دوری از جمله مطالعات و بررسی‌های دریایی مانند بررسی تغییرات کلروفیل آ در محدوده بازتابی و طول موج‌های ۴۴۳ تا ۵۵۱ یعنی باندهای

۳ نتایج

۳-۱ دمای سطحی آب دریا

شکل ۲، متوسط ۲۱ ساله میانگین دمای سطح دریا به صورت فصلی و شکل ۳ متوسط ۲۱ ساله را به صورت سالیانه نشان می‌دهد. مطابق شکل ۲، نواحی سردتر در نزدیکی مرز ایران و پاکستان به ویژه در فصول بهار و پاییز با دمای کمتر از ۲۸ درجه سانی گراد قابل رویت است. نواحی گرمتر در نزدیکی سواحل مسقط در همه فصول دیده می‌شود. قسمت‌های نزدیک به ساحل و مناطق غربی محدوده مورد مطالعه از دمای بیشتری نسبت به سایر مناطق برخوردار می‌باشند.

در دوره مورد مطالعه، میانگین دمای سطح دریا دارای تغییراتی زمانی است به طوری که فصل زمستان با مقدار ۲۳/۷۹ درجه سلسیوس، فصل پائیز با مقدار ۲۷/۴۳ درجه سلسیوس، فصل بهار با مقدار ۲۸/۷۹ درجه سلسیوس و فصل تابستان با مقدار ۲۹/۴۰ درجه سلسیوس به ترتیب کمترین و بیشترین دمای میانگین سطح دریا را در منطقه مورد مطالعه داشته‌اند. به عبارتی، فصل زمستان حداقل دما و فصل تابستان دارای حداکثر دماست. ضمناً در شکل ۲، فصل زمستان، تا حدی می‌توان پیچک اقیانوسی را مشاهده کرد. الگوی غالب در دریای عمان نشان می‌دهد که یک پیچک بزرگ در محل اتصال دریای عمان به اقیانوس هند در فصل زمستان وجود دارد.

طبق شکل ۳، منحنی‌های رنگی هم دما از سمت شمال شرقی به سمت جنوب غربی امتداد یافته است. تغییرات دمایی در سمت ساحل ایران به موازات خط ساحلی است. همچنین در قسمت‌های نزدیک به ساحل و مناطق غربی منطقه مورد مطالعه یعنی حوالی بندر جاسک و همچنین تنگه هرمز از دمای کمتری نسبت به سایر مناطق برخوردار می‌باشند. در محدوده تنگه هرمز که محل اتصال دریای عمان و خلیج فارس می‌باشد، در دوره مورد بررسی (شکل

به عنوان پیش پردازش هندسی بر روی آن‌ها مورد نیاز بود که این امر در محیط نرم افزار انوی (ENVI 5.3.1) بر روی تصاویر مورد استفاده صورت گرفت.

تعیین غلظت کلروفیل از الگوریتم کرنات (OC4) تبعیت می‌کند. این الگوریتم از یک نسبت انعکاسی با چهار باند بازتابی آبی-سبز استفاده می‌کند، و به صورت رابطه ۲ است (بروین و همکاران، ۲۰۱۵):

$$c = 10^{\sum_{i=0}^n a_i x^i}, \quad (2)$$

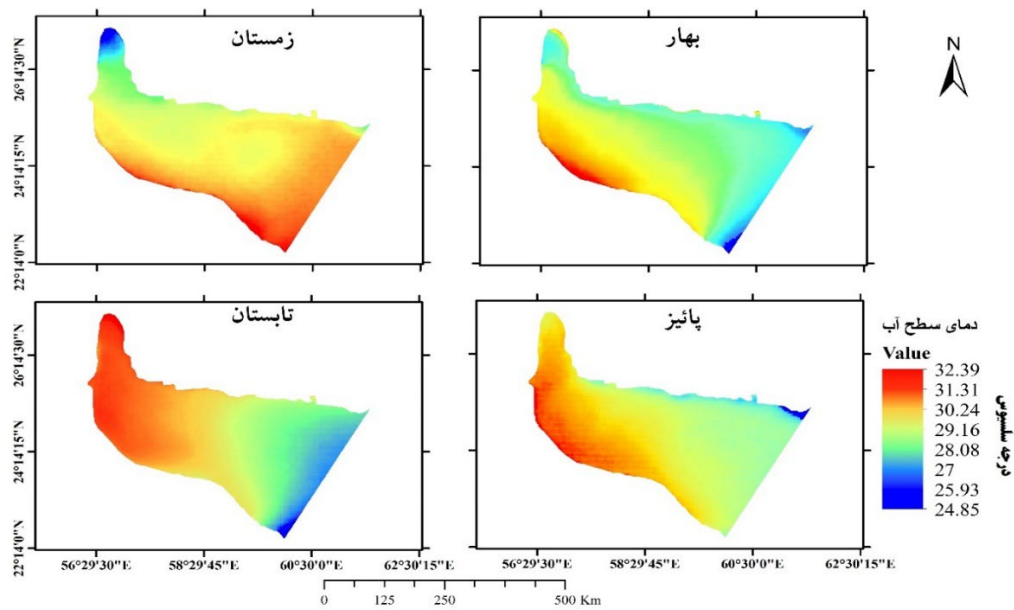
$$= \log_{10} \frac{\text{MAX}\{\text{Rrs}(443) \text{ or } \text{Rrs}(490) \text{ or } \text{Rrs}(510)\}}{\text{Rrs}(555)}$$

الگوریتم فوق میزان کلروفیل را بر حسب میلی گرم بر متر مکعب بیان می‌کند. در اینجا c معرف غلظت کلروفیل و Rrs همان میزان انعکاس در طول موج مورد نظر یعنی λ می‌باشد (سان و همکاران، ۲۰۱۴)، ۴۴۳ باند شماره ۹ و عدد ۵۵۵ باند شماره ۱۲ سنجنده مودیس می‌باشد.

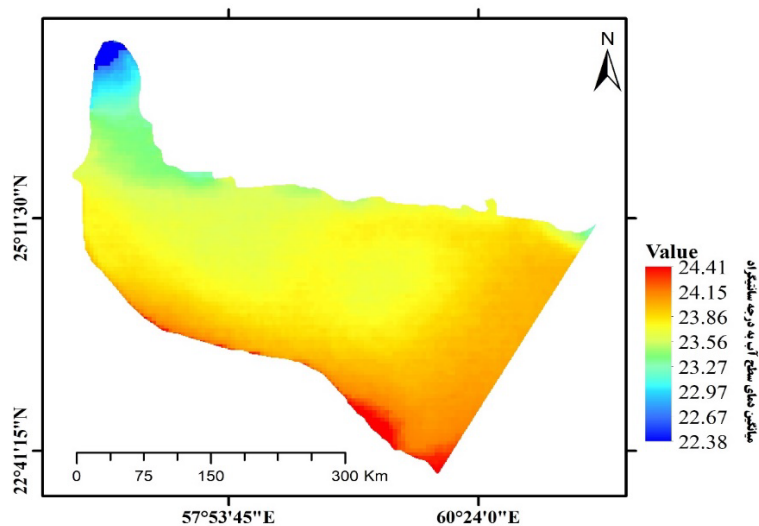
۳-۲ تحلیل داده‌ها

بعد از اینکه تصاویر مربوط به دمای سطح دریا و غلظت کلروفیل آ در بازه زمانی مورد بررسی (۲۰۲۰-۲۰۰۰) تهیه شد، ابتدادهای دمای سطح دریا و کلروفیل آ در محیط نرم افزار آرک‌مپ (ArcMap) زمین مرجع شدند تا نتایج به صورت محیط واقعی قابل ترسیم باشند. سپس، با استخراج مقادیر میانگین هر دو پارامتر مذکور برای ۲۱ سال به صورت فصلی و سالیانه و در کل محدوده مورد مطالعه، از طریق ضریب همبستگی پیرسون با سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد به بررسی میزان رابطه بین آنها در فصل‌های مختلف در محیط نرم افزار اس‌پی‌اس نسخه ۲۰۲۲، اقدام شد. رابطه ۳، معادله همبستگی پیرسون را نشان می‌دهد که در آن، X_i متغیر اول، \bar{X} مقدار میانگین متغیر اول، Y_i متغیر دوم و \bar{Y} مقدار میانگین متغیر دوم می‌باشند.

$$r = \frac{\sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X_i - \bar{X})^2 \sum(Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (3)$$



شکل ۲. تغییرات فصلی دمای سطح دریا منطقه مورد مطالعه برای ۲۱ سال متوالی (۲۰۰۰-۲۰۲۰).



شکل ۳. میانگین ۲۱ ساله دمای سطح آب منطقه مورد مطالعه.

۳) و بویژه در فصل زمستان (شکل ۲) دمای سطح دریا کمتر از سایر مناطق می باشد. قسمت های شرقی دریای عمان به دلیل ارتباطی که با سایر آب های آزاد دارند، احتمالاً موجب کاهش دمای سطح دریا آن نواحی نسبت به سایر مناطق گردیده است. حلقه ای که در شکل ۳ با رنگ سبز کم رنگ وجود دارد، نشان دهنده پیچک است که در بخش بحث به آن پرداخته

خواهد شد.

جدول ۳، نتایج حاصل از همبستگی درون سالانه را برای دمای سطح دریا، بین فصول مختلف نشان می دهد. همان گونه که دیده می شود بین فصول مختلف همبستگی وجود دارد. بین فصل زمستان با تابستان همبستگی از نوع منفی است. به علاوه، همبستگی دمایی بین بهار و پاییز با فصل زمستان مثبت است.

جدول ۳. مقادیر حاصل از همبستگی پیرسون بین مقادیر فصلی دمای سطح دریا در دریای عمان، طی دوره مورد بررسی ۲۱ ساله (N=21).

		SST				
		زمستان	بهار	تابستان	پائیز	
SST	زمستان	Pearson Correlation	۱	۰/۰۵۶	-۰/۰۵۶	۰/۰۲۴
		Sig. (2-tailed)		۰/۸۱۰	۰/۸۱۰	۰/۹۱۹
	بهار	Pearson Correlation	۰/۰۵۶	۱	۰/۷۱۱**	۰/۰۷۰
		Sig. (2-tailed)	۰/۸۱۰		۰/۰۰۰	۰/۷۶۴
	تابستان	Pearson Correlation	-۰/۲۵۶	۰/۷۱۱**	۱	۰/۲۴۸
		Sig. (2-tailed)	۰/۸۱۰	۰/۰۰۰		۰/۲۷۸
	پائیز	Pearson Correlation	۰/۰۲۴	۰/۰۷۰	۰/۲۴۸	۱
		Sig. (2-tailed)	۰/۹۱۹	۰/۷۶۴	۰/۲۷۸	

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که پراکندگی کلروفیل آ در منطقه مورد مطالعه در فصل‌های سرد نسبت به فصل‌های گرم و نیمه گرم بیشتر می‌باشد. براساس شکل ۴، در زمستان، سمت سواحل کشور عمان (مسقط)، به طور ناگهانی غلظت کلروفیل آ زیاد شده است. مطابق با شکل ۵، به لحاظ توزیع مکانی، بیشترین میزان کلروفیل آ در مناطق ساحلی و مجاور آن می‌باشد به طوری که در سواحل جنوبی استان سیستان و بلوچستان و منطقه چابهار و همچنین بخش‌های غربی استان هرمزگان و همچنین منطقه تنگه هرمز، بیشترین میزان توزیع کلروفیل آ را در نوار ساحلی در مقایسه با کل منطقه دارند. این امر می‌تواند به دلیل فراجوشی ساحلی در سواحل شمالی دریای عمان باشد.

جدول ۴، مقادیر همبستگی درون سالیانه کلروفیل آ را نشان می‌دهد. از نظر میزان کلروفیل آ رصد شده با ماهواره مودیس، همبستگی در همه فصول مثبت است. اما میزان آن تغییر می‌کند. بیشترین میزان همبستگی بین فصلی کلروفیل آ مربوط به فصل بهار و تابستان است. سپس فصل پاییز با دو فصل بهار و تابستان از نظر میزان کلروفیل آ در رتبه بعدی قرار می‌گیرد.

۳-۲ غلظت کلروفیل آ

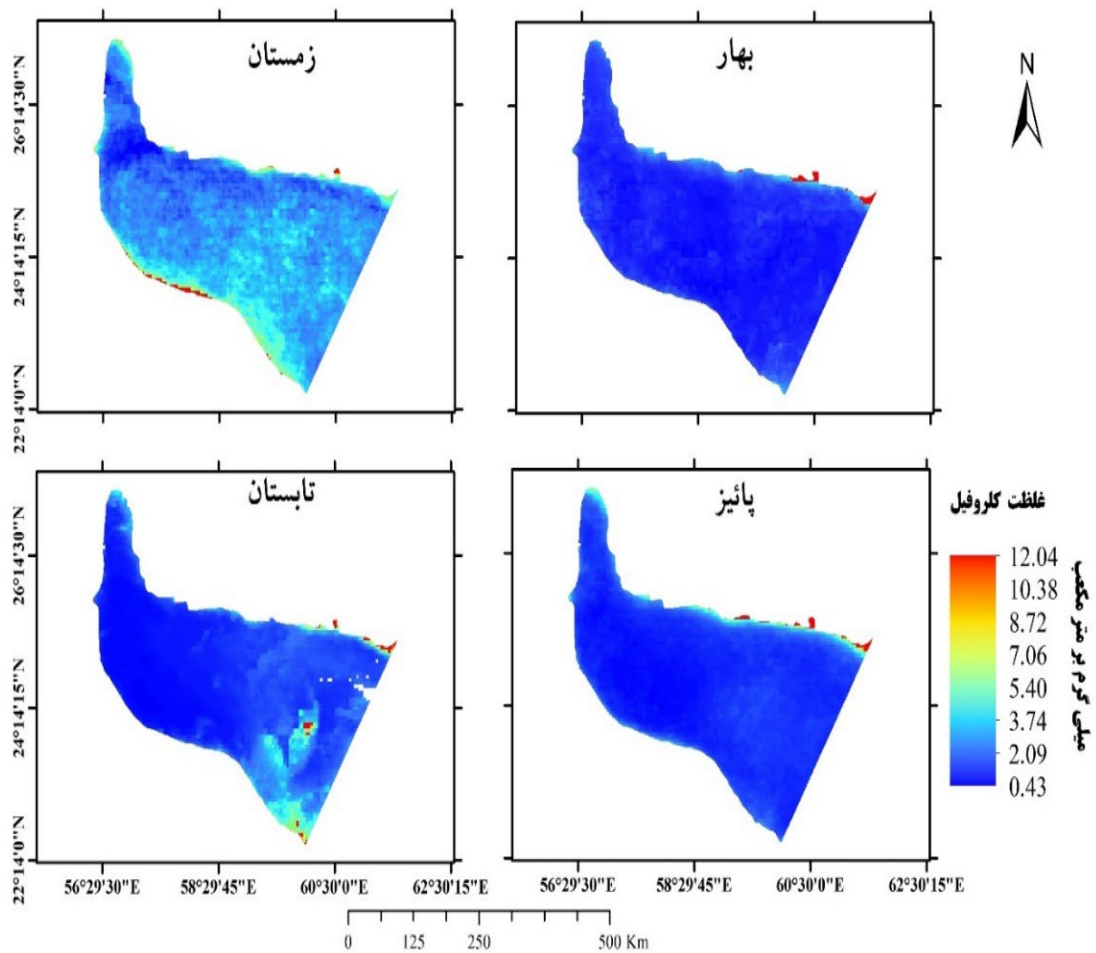
توزیع غلظت کلروفیل آ به تفکیک فصول مختلف در منطقه مورد مطالعه در شکل ۴ نشان داده شده است، بعلاوه در شکل ۵ میانگین ۲۱ ساله غلظت کلروفیل آ منطقه مورد مطالعه ترسیم شده است. براساس شکل ۴، دیده می‌شود که در فصل زمستان که هوا طبق شکل ۲، سردتر است، غلظت کلروفیل آ زیادتر است و در فصل تابستان میزان غلظت کمتر شده است. به علاوه در تحقیق فوق‌الذکر بیان می‌شود که تراکم مواد مغذی از شرق به غرب از طرف تنگه هرمز به طرف دریای عمان و از دریا به سمت ساحل افزایش می‌یابد. علت افزایش مواد مغذی در اواخر پاییز و اوایل زمستان تأثیر مانسون تابستانی است که موجب بارندگی‌های شدید و آوردن مواد مغذی از خشکی به دریا و به خصوص در مناطق ساحلی می‌شود. از طرفی، پس از مانسون تابستانی، فراچاهی به وجود می‌آید، مواد مغذی به سطح آورده می‌شوند و مواد مغذی لایه‌های سطحی افزایش می‌یابد.

مطابق با شکل ۴، بیشترین میزان و پراکندگی کلروفیل آ در فصل زمستان و سپس فصل پاییز وجود دارد و بعد از آن فصل‌های بهار و تابستان در مرتبه بعدی قرار دارند.

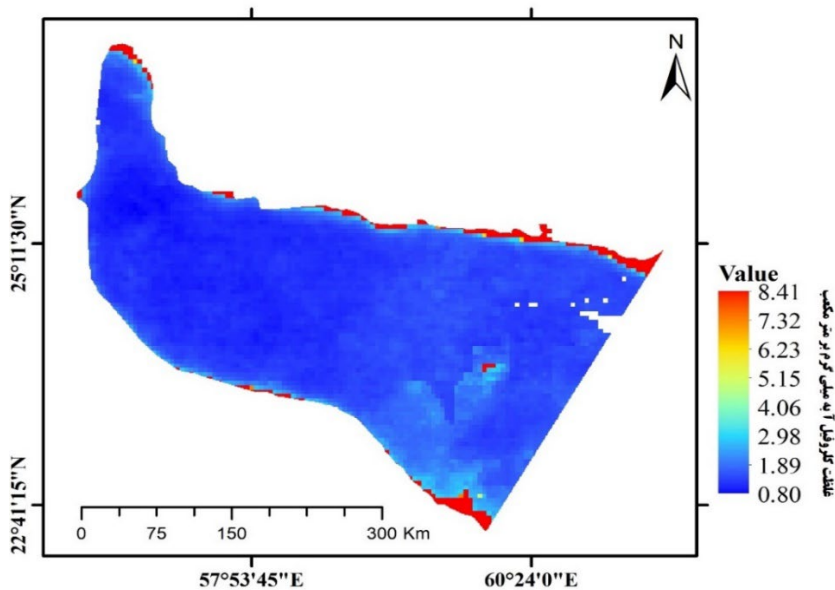
جدول ۴. مقادیر حاصل از همبستگی پیرسون بین مقادیر فصلی کلروفیل آ در دریای عمان، طی دوره مورد بررسی ۲۱ ساله (N=21).

		کلروفیل				
		زمستان	بهار	تابستان	پائیز	
کلروفیل	زمستان	Pearson Correlation	۱	۰/۴۹۶*	۰/۵۶۱**	۰/۳۲۷
		Sig. (2-tailed)		۰/۰۲۲	۰/۰۰۸	۰/۱۴۸
	بهار	Pearson Correlation	۰/۴۹۶*	۱	۰/۷۲۸**	۰/۶۲۸**
		Sig. (2-tailed)	۰/۰۲۲		۰/۰۰۰	۰/۰۰۲
	تابستان	Pearson Correlation	۰/۵۶۱**	۰/۷۲۸**	۱	۰/۶۴۵**
		Sig. (2-tailed)	۰/۰۰۸	۰/۰۰۰		۰/۰۰۲
	پائیز	Pearson Correlation	۰/۳۲۷	۰/۶۲۸**	۰/۶۴۵**	۱
		Sig. (2-tailed)	۰/۱۴۸	۰/۰۲۰	۰/۰۰۲	

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).



شکل ۴. تغییرات فصلی غلظت کلروفیل منطقه مورد مطالعه برای ۲۱ سال متوالی (۲۰۰۰-۲۰۲۰).

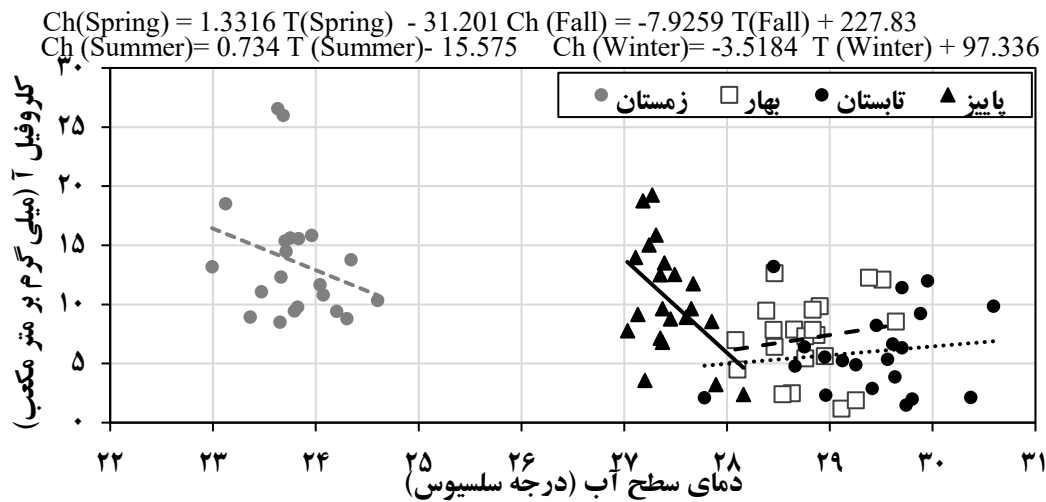


شکل ۵. نقشه میانگین ۲۱ ساله غلظت کلروفیل منطقه مورد مطالعه.

اگرچه با توجه به شکل ۶، در دسته‌بندی تغییرات دما-کلروفیل، فصل زمستان از بهار و تابستان و پاییز جدا شده است، اما طبق جدول ۳، همبستگی دمایی بین بهار و پاییز با فصل زمستان مثبت بود. جدول ۵، همبستگی دو کمیت دما و کلروفیل را نشان می‌دهد. طبق جدول ۵، افزایش و یا کاهش دمای سطح دریا تأثیر کمی بر روی میزان تغییرات غلظت کلروفیل آ دارد. تغییرات دمای سطح دریا در زمستان می‌تواند غلظت کلروفیل را در زمستان یا بهار به صورت اثر معکوس، تحت تأثیر قرار دهد. در سایر فصول تغییرات دمای سطح دریا می‌تواند غلظت کلروفیل را به صورت اثر مستقیم (البته اندک)، تحت تأثیر قرار دهد. نکته حائز اهمیت دیگر فصل پاییز است که همبستگی از نوع منفی بین دمای سطح دریا در فصل پاییز و تغییرات کلروفیل در فصول بهار و تابستان و پاییز مشاهده می‌شود. به عبارتی افزایش دمای سطح دریا در فصل پاییز، اثر معکوسی روی غلظت کلروفیل در سه فصل مطرح شده (بهار و تابستان و پاییز) دارد و موجب کاهش میزان غلظت کلروفیل می‌گردد.

۳-۳ همبستگی غلظت کلروفیل آ و دمای سطح دریا

همان گونه که در شکل ۶ نشان داده شده است، ارتباط میان غلظت کلروفیل آ و دمای سطح دریا در فصول مختلف، متفاوت می‌باشد. شیب نمودار دما-کلروفیل در فصل بهار ($T_{\text{بهار}} = 31/201 - Ch_{\text{بهار}} = 1/3316$) و تابستان ($T_{\text{تابستان}} = 0/734 - Ch_{\text{تابستان}} = 15/575$) مثبت و در فصل پاییز ($T_{\text{پاییز}} = 227/83 - Ch_{\text{پاییز}} = -7/9259$) و زمستان ($T_{\text{زمستان}} = 97/336 - Ch_{\text{زمستان}} = -3/5184$) این شیب منفی می‌باشد. به عبارت دیگر، براساس نتایج حاصل شده، وضعیت رابطه همبستگی بین دمای سطح دریا و کلروفیل آ در فصل‌های زمستان و پاییز هم جهت و به صورت روند کاهشی یعنی با افزایش میزان دمای سطح دریا میزان کلروفیل نیز کاهش می‌یابد و در فصل‌های بهار و تابستان نیز دارای روند افزایشی است یعنی با افزایش میزان دما میزان کلروفیل آ نیز افزایش می‌یابد. به علاوه این شکل دسته‌بندی شدن داده‌ها را نشان می‌دهد که از نظر مقدار سه فصل بهار، تابستان و پاییز یک گستره مشابه دارند، اما فصل زمستان از این مجموعه از نظر دمایی جدا می‌شود.



شکل ۶. نمودار پراکنش تغییرات میانگین غلظت کلروفیل آ و SST در فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان در محدوده مورد مطالعه در طی دوره مورد بررسی (۲۰۲۰ - ۲۰۰۰).

جدول ۵. مقادیر حاصل از همبستگی پیرسون بین مقادیر کلروفیل آ و دمای سطح دریا در دریای عمان، طی دوره مورد بررسی ۲۱ ساله (N=21).

		کلروفیل				
		زمستان	بهار	تابستان	پائیز	
SST	زمستان	Pearson Correlation	-۰/۲۷۰	-۰/۳۰	۰/۱۵۷	۰/۲۲۴
		Sig. (2-tailed)	۰/۲۳۶	۰/۸۹۹	۰/۴۹۸	۰/۳۳۰
	بهار	Pearson Correlation	۰/۴۶۷*	۰/۱۶۸	۰/۴۰۷	۰/۱۲۰
		Sig. (2-tailed)	۰/۰۳۳	۰/۴۶۷	۰/۰۶۷	۰/۶۰۴
	تابستان	Pearson Correlation	۰/۳۵۸	-۰/۰۸۳	۰/۱۳۶	-۰/۲۶۴
		Sig. (2-tailed)	۰/۱۱۲	۰/۷۲۱	۰/۵۵۶	۰/۲۴۸
	پائیز	Pearson Correlation	۰/۰۷۴	-۰/۵۰۹*	-۰/۳۸۸	-۰/۴۸۳*
		Sig. (2-tailed)	۰/۷۵۰	۰/۰۱۹	۰/۰۸۲	۰/۰۲۶

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

۴ بحث و نتیجه‌گیری

یافته‌های تحقیق حاضر به خوبی نشان می‌دهد که میانگین دمای سطح دریا از نظر زمانی دارای تغییرات فصلی و مکانی است. فصل زمستان حداقل دما و فصل تابستان دارای حداکثر دماست. بر اساس شکل ۲، نواحی سردتر در نزدیکی مرز ایران و پاکستان به ویژه در فصول بهار و پاییز با دمای کمتر از ۲۸ درجه سانی گراد قابل رویت بود. نواحی

گرمتر در نزدیکی سواحل مسقط در همه فصول دیده می‌شود، که این موضوع در مطالعه بهزادی و همکاران (۱۴۰۳) و بحری و خسروی (۱۳۹۹) نیز اشاره شده است. همچنین در شکل ۲، در فصل زمستان، تا حدی می‌توان پیچک اقیانوسی را مشاهده کرد، که در توافق با مطالعه‌ی لایقی و همکاران (۱۳۹۸) می‌باشد. الگوی غالب در دریای عمان نشان می‌دهد که یک پیچک بزرگ در محل اتصال

بر اساس تحقیق گشت رایچی (۲۰۱۲) در فصل زمستان، دمای سطح دریا در محدوده بندر جاسک بیشتر از تنگه هرمز و شرق خلیج فارس گزارش شده بود که با شکل ۲ این پژوهش مطابقت را نشان می‌دهد.

حلقه‌ای که در شکل ۳ با رنگ سبز کم‌رنگ، نشان‌دهنده پیچک بود، در مطالعه ثمنی و همکاران (۱۴۰۰) تصدیق کرده است که پخش پیچکی در اثر اختلاط تلاطمی دما و شوری در ستون آب ایجاد می‌شود.

بررسی توزیع و تغییرات غلظت کلروفیل آ در سواحل مکران نشان داد که از نظر توزیع مکانی بیشترین میزان کلروفیل آ در مناطق ساحلی و مجاور آن می‌باشد به طوری که در سواحل مکران و بندر جاسک همچنین بخش‌های غربی استان هرمزگان و منطقه تنگه هرمز، بیشترین میزان توزیع و پراکنش را دارد، که ممکن است این امر به دلیل عمق نسبتاً کم مناطق ساحلی، بالا بودن میزان رسوبات معلق موجود در آب و همچنین کدورت منابع آبی نسبت به مناطق دور از ساحل باشد. از نظر توزیع زمانی بر اساس نقشه‌های هرساله نشان‌دهنده کلروفیل آ، بیشترین میزان آن در فصل زمستان و سپس فصل پائیز وجود دارد و بعد از آن فصل‌های بهار و تابستان در مرتبه بعدی تمرکز و توزیع در محدوده مورد مطالعه قرار دارند. مطابق با شکل ۵، می‌توان گفت غلظت کلروفیل آ در مناطق در امتداد ساحل بیشتر از مناطق دور از ساحل است. که این دستاورد با نتایج تحقیقات غلامعلی‌فرد و همکاران (۱۳۹۹) و نیز کریمیان و همکاران (۱۴۰۱) مطابقت دارد.

پراکنش جغرافیایی غلظت کلروفیل آ، نشان می‌دهد که طی این ۲۱ سال، توزیع مکانی بیشترین میزان کلروفیل آ در مناطق ساحلی و مجاور آن می‌باشد به طوری که در سواحل جنوبی استان سیستان و بلوچستان و منطقه چابهار و همچنین بخش‌های غربی استان هرمزگان و همچنین منطقه تنگه هرمز، بیشترین میزان توزیع را در نوار ساحلی مشاهده می‌شود. این مطلب در تحقیق حمزه‌ئی و همکاران (۲۰۱۲)،

دریای عمان به اقیانوس هند در فصل زمستان وجود دارد. در تحقیق کارمی (۱۴۰۰) نیز به وجود پیچک پادساعتگرد بزرگ و قوی عمان در ماه ژانویه اشاره شده است که در توافق با این مطالعه است.

بر اساس شکل ۳، وضعیت دمای سطح دریا در حوالی بندر جاسک بیشتر از تنگه هرمز می‌باشد به علاوه انجام فعالیت‌های صنعتی و ورود پساب‌های گرم و با دمای زیاد به بخش شمالی دریای عمان می‌تواند عامل تاثیرگذار دیگری در مقایسه با تنگه هرمز به حساب آید. در مطالعات غلامعلی‌فرد و همکاران (۱۳۹۹) و اکبرزاده و همکاران (۱۳۹۵) به این موارد اشاره شده است.

بر اساس نتایج، در محدوده تنگه هرمز که محل اتصال دریای عمان و خلیج فارس می‌باشد، در اکثر سال‌ها، بویژه در فصل زمستان، میزان دمای سطح دریا از سایر مناطق و نواحی بالاتر می‌باشد، که نتایج تحقیق شهری و همکاران (۱۴۰۰) این موضوع را تایید می‌کند. بر اساس مقاله رینولدز (۱۹۹۳) هم، دمای سطحی دریای عمان در مقایسه با قسمت‌های جنوبی و مرکزی خلیج فارس کمتر بوده و دمای سطحی دریای عمان در فصل زمستان بیشتر از قسمت‌های جنوبی و مرکزی خلیج فارس است و در فصل تابستان دمای سطحی دریای عمان کمتر از دمای سطحی خلیج فارس می‌باشد. بر اساس شکل ۲، به خوبی اثبات می‌شود که در زمستان، دمای سطحی کمتری در سمت تنگه هرمز وجود دارد که در فصل تابستان این مساله برعکس است. به عبارتی در سمت تنگه هرمز دمای بیشتری نسبت به دریای عمان وجود دارد. این مساله می‌تواند بیانگر یک دو قطبی مکانی بین سمت شمال غربی و سایر بخش‌ها باشد که فصل زمستان با دمای کمتر در شمال غربی در فاز منفی است و سایر بخش‌ها فاز مثبت منطقه را تشکیل می‌دهند. فصل تابستان قطبین عوض می‌شود و فاز مثبت دمای سطحی شمال غربی منطقه می‌شود. لازم به ذکر است،

ایجاد رخداد پدیده فراجوشی در امتداد سواحل بندر جاسک می‌شود. طبق جدول ۱ (نیتو و همکاران، ۲۰۰۶ و ابوبکر و همکاران، ۲۰۱۱)، ماه‌های گذر از مانسون، مهر الی دی‌ماه است که محدوده فصل پاییز این مطالعه می‌باشد. از نکات دیگر آن است براساس شکل ۴، دیده می‌شود که غلظت کلروفیل زیادتر است و در فصل تابستان میزان غلظت کمتر شده است. این در حالی است که در فصل زمستان که هوا طبق شکل ۲، سردتر از فصل تابستان است. در تحقیق ثمنی و همکاران (۱۴۰۰) نیز اشاره شده است که در دریای عمان نیز یک پیچک میان‌مقیاس باعث حرکت توده کلروفیل از جنوب به شمال دریای عمان می‌شود. در قسمت شرقی دریای عمان گردش‌های محلی شامل پیچک‌های سیلکونی است، اما در بخش غربی دریای عمان این گردش‌ها بسیار پیچیده‌ترند که همراه با یک جریان خروجی از آب‌های خلیج فارس و جریان‌های جنوب شرقی در اعماق بالاتر از ۲۵۰ متری (پوز و همکاران، ۲۰۰۴) در امتداد سواحل عمانی و در بالای ۳۰۰ متری (لشکری و همکاران، ۱۴۰۲) در میانه دریای عمان گزارش شده‌اند.

بررسی همبستگی‌ها نشان داد که اگرچه ممکن است بین دمای سطح دریا یا کلروفیل همبستگی بین فصول وجود داشته باشد، اما همبستگی معکوس موجود در فصل پاییز، حائز اهمیت است که می‌تواند در مطالعات ارزیابی ذخایر آبزیان و تولیدات اولیه آن‌ها مورد توجه قرار گیرد. این رو مطالعه بر روی گونه‌های موثر بر کلروفیل و ارتباط آن‌ها با تنش‌های محیطی از جمله دما و تغییرات آب و هوایی به ویژه فصول مانسون و گذر از مانسون پیشنهاد می‌شود.

منابع

آصف‌جاه، ندا، صدری‌نسب، مسعود، اشتری لرکی، امیر و اکبری‌نسب، محمد. (۱۳۹۷). مطالعه پدیده فراجوشی

تصدیق شده است که بیشترین پراکندگی جلبک و کلروفیل آرا می‌توان در آب‌های سطحی شمال تنگه هرمز و جنوب و شرق بندرعباس مشاهده کرد. بعلاوه تحقیق ربانی‌ها و همکاران (۱۴۰۱) نشان‌دهنده افزایش میزان کلروفیل آ در آب‌های ایرانی خلیج فارس و خلیج عمان نسبت به سال‌های گذشته بوده است که می‌توان آن را حاصل از افزایش ورودی‌های مواد مغذی به منطقه می‌باشد که در شکل ۴ این پژوهش نشان داده شده است. از طرف دیگر، محمدپور و همکاران (۱۴۰۱)، لشکری و همکاران (۱۴۰۲)، رامک و همکاران (۱۴۰۱)، الف و ب)، ثمنی و همکاران (۱۴۰۰)، آصف‌جاه و همکاران (۱۳۹۷)، و رینولدز (۱۹۹۳) نشان دادند که در سواحل ایرانی خلیج عمان فراجوشی رخ می‌دهد. در تحقیق مطالعه‌ی لایقی و همکاران (۲۰۱۹) نیز اشاره شده است که در نزدیکی سواحل شمالی دریای عمان، فراجوشی دیده می‌شود. پس در نتیجه می‌توان انتظار داشت وجود ماده مغذی مانند کلروفیل آ، حداقل می‌تواند در منطقه مکران بیانگر رخداد فراجوشی باشد. هرچند عمق نسبتاً کم منطقه در نوار ساحلی، بالا بودن میزان رسوبات معلق موجود در آب و همچنین کدورت می‌تواند به صورت شاخصی تاثیرگذار در نوار ساحلی نسبت به مناطق دور از ساحل باشد. پدیده فراجوشی ساحلی، به علت وزش باد و تغییر دمای آب به علت انتقال اکمن رخ می‌دهد. در نتیجه تغییر دمای سطح آب یا تغییر سطح تراز دریا می‌تواند یک علت ثانویه از وجود پدیده فراجوشی باشد. از آنجایی که کار کردن با یک کمیت اسکالر مانند دما راحت‌تر از کمیتی برداری مانند جریان یا باد است، لذا از کمیت‌های اسکالری مانند دما، شوری، چگالی و کلروفیل استفاده می‌شود تا الگوی آب شناسایی شود. مطالعات انجام شده در این زمینه نشان می‌دهد که، الگوی باد غالب در مرحله گذر از مانسون در قسمت شمال غربی دریای عمان به سوی شرق - جنوب شرقی به موازات سواحل جاسک می‌وزد و این مسئله باعث

- و ساختار جامعه فیتوپلانکتون خلیج چابهار (در مانسون تابستانه، زمستانه، پیش و پس مانسون). مجله محیط زیست و توسعه فرابخشی. ۶(۷۴). ۹۱-۱۰۵.
- خدام، نوشین، عطارچی، سارا، رهنما، مهدی، صحت کاشانی، ساویز و تاج بخش، سحر. (۱۴۰۰). مطالعه میانگین بلندمدت غلظت کلروفیل و ارتباط آن با تغییرات دمای سطح دریا و عمق نوری هواویزها روی دریای عمان و خلیج فارس (۲۰۲۰-۲۰۰۳). مجله نیوار. ۴۵(۱۱۴-۱۱۵). ۱۱۷-۱۲۵.
- رامک، حسین، سیوف جهرمی، مریم، اکبری، پرستو. (۱۴۰۰ الف). ردیابی توده آب خلیج فارس با استفاده از ویژگی‌های دما و شوری سطحی. اقیانوس شناسی. ۱۲(۴۸). ۲۸-۱۳.
- رامک، حسین، سیوف جهرمی، مریم، اکبری، پرستو. (۱۴۰۰ ب). استفاده از داده‌های دمای سطحی آب دریای عمان جهت شناسایی آب زیرسطحی خلیج فارس. دوفصلنامه هیدروفیزیک. ۷(۲). ۹۳-۷۹.
- رامک، حسین، سیوف جهرمی، مریم، اکبری، پرستو. (۱۴۰۱). بررسی شوری و دمای توده آب خلیج فارس با استفاده از مدل FVCOM. اقیانوس شناسی. ۱۳(۵۲). ۱۰۶-۱۲۰.
- ربانی‌ها، مهناز، آیین جمشید، خسرو و نیامیندی، نصیر. مطالعه تغییرات کلروفیل-a در آبهای خلیج فارس و خلیج عمان. (۱۴۰۱). مجله علمی شیلات ایران. ۲(۳۱). ۱۳-۲۵.
- شهری، الهام، صیادی، محمدحسین و یوسفی، الهام. (۱۴۰۰). پایش میزان کلروفیل-آ، کربن آلی، شوری و دمای سطح آب در سواحل سیستان و بلوچستان با استفاده از داده‌های سنجش از دور. مجله سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی. ۱۲(۴). ۱۱۹-۱۳۴.
- غلامعلی فرد، مهدی، احمدی، بنیاد، نوری، پریسا، رنج‌روزی، فاطمه، مظلومی، سهراب و صابر، علی. (۱۳۹۹). پایش سنجش از دوری تغییرپذیری دمای سطحی آب و کلروفیل ساحلی در سواحل ایرانی خلیج عمان با استفاده از داده‌های سنجش از راه دور. دوفصلنامه هیدروفیزیک. ۴(۲). ۱-۱۳.
- ادب، حامد، عتباتی، آزاده، امیراحمدی، ابوالقاسم و اسماعیلی، رضا. (۱۳۸۹). پایش زمانی دمای سطح دریا و کلروفیل a با استفاده از تحلیل تصاویر دورسنجی در دریای خزر. مجله زیست شناسی دریا. ۲(۴). ۳-۱۲.
- ارشادی فر، حمید، کر، کمال‌الدین، قاضی لو، امیر، کوچک نژاد، عماد و بسکله، غلام‌رسول. (۱۴۰۲). ارزیابی پارامترهای هیدروشیمی در آب‌های ساحلی چابهار: تغییرات فصلی و نوسانات روزانه. مجله مطالعات علوم محیط زیست. ۸(۲). ۶۴۵۶-۶۴۶۸.
- اکبرزاده، غلامعلی، دهقانی، رضا، محبی نوذر، لیلی و سراجی، فرشته. (۱۳۹۵). بررسی کیفیت آبهای ساحلی استان هرمزگان با استفاده از روشهای آماری چند متغیره. مجله اقیانوس شناسی، ۷(۲۸)، ۵۷-۶۵.
- بحری، علی و خسروی، یونس. (۱۳۹۹). بررسی روند بلندمدت تغییرات زمانی-مکانی دمای سطح دریای عمان. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. ۲۰(۵۸). ۱۹۹-۲۱۷.
- بهزادی، مجتبی، قادری، دانیال و سیوف جهرمی، مریم. (۱۴۰۳). تغییرات فصلی ویژگی‌های فیزیکی حوضه آبی مکران. نیوار. پذیرش قطعی. انتشار آنلاین از ۱۱ اردیبهشت ۱۴۰۳.
- ثمینی، هاله، اکبری بیدختی، عباسعلی، عظام، مجتبی و ولی‌نسب، تورج. (۱۴۰۰). شبیه‌سازی عددی تغییرات فصلی پلانکتون‌ها و مواد مغذی در شمال دریای عمان با استفاده از مدل جفت‌شده RMOS-NPZD. مجله ژئوفیزیک ایران. ۱۵(۲). ۷۱-۹۲.
- جلالزاده، زهره، ترابی، مسعود و دالکی، احمد. (۱۳۸۷). مقایسه دمای سطحی حاصل از داده‌های میدانی و ماهواره ای در خزر جنوبی. مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. ۰(۰). ۱۱۰-۱۲۱.
- جلیلی، مهشید، صالح، ابوالفضل، فلاحی، مریم، ماشینیان مرادی، علی و فاطمی، محمدرضا. (۱۴۰۰). بررسی پویایی

- دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی. (۱)۱۱. ۷۲-۸۳
- Aboobacker V. M., R. Rashmi, P. Vethamony and H. B. Menon,. "On the dominance of preexisting swells over wind seas along the west coast of India". *Continental Shelf Research*, 31, 1701-1712, 2011a.
- Al-Shehhi, Maryam R. (2022). "Uncertainty in satellite sea surface temperature with respect to air temperature, dust level, wind speed and solar position." *Regional Studies in Marine Science* 53 , 102385.
- Blondeau-Patissier, D., Gower, J. F., Dekker, A. G., Phinn, S. R., & Brando, V. E. (2014). A review of ocean color remote sensing methods and statistical techniques for the detection, mapping and analysis of phytoplankton blooms in coastal and open oceans. *Progress in oceanography*, 123, 123-144.
- Boyce, D. G., Lewis, M. R., & Worm, B. (2010). Global phytoplankton decline over the past century. *Nature*, 466(7306), 591-596.
- Brown, O. B., Minnett, P. J., Evans, R., Kearns, E., Kilpatrick, K., Kumar, A., and Závody, A. (1999). MODIS infrared sea surface temperature algorithm algorithm theoretical basis document version 2.0. *University of Miami*, 31, 098-33.
- Brewin, R. J., Sathyendranath, S., Müller, D., Brockmann, C., Deschamps, P. Y., Devred, E., ... & White III, G. N. (2015). The Ocean Colour Climate Change Initiative: III. A round-robin comparison on in-water bio-optical algorithms. *Remote Sensing of Environment*, 162, 271-294.
- Chaichitehrani N., Allahdadi MN. (2018). Overview of Wind Climatology for Gulf of Oman and Northern Arabian Sea. *American Journal of Fluid Dynamics*, 8(1), 1-9.
- Dacey, J. W., & Wakeham, S. G. (1986). Oceanic dimethylsulfide: production during zooplankton grazing on phytoplankton. *Science*, 233(4770), 1314-1316.
- Fauzi, R., Mantoura, C., Law, C. S., Owens, N. J., Burkill, P. H., Woodward, E. M. S., ... & Llewellyn, C. A. (1993). Nitrogen biogeochemical cycling in the northwestern Indian Ocean. *Deep Sea Research Part II*: a در خلیج فارس و دریای عمان: عوامل موثر در تولید خالص اولیه. مجله علوم و فنون شیلات. ۹(۴). ۳۰۵-۳۳۳.
- کارمی، هاجر. (۱۴۰۰). مطالعه جریانهای سطحی در دریای عمان با استفاده از داده‌های HYCOM. دوفصلنامه هیدروفیزیک. ۷(۱). ۵۹-۶۹.
- سنجرانی، الهه، احمدی، محمدرضا، کامرانی، احسان، ابراهیمی، محمود و سنجرانی، ملیحه. (۱۳۸۹). شناسایی ژئوپلانکتون‌های سواحل ایرانی دریای عمان و تنگه هرمز و مقایسه آنها در قبل و بعد از مانسون تابستانه با یکدیگر. مجله آیزیان و شیلات. ۱۱(۱). ۴۳-۵۴.
- کریمیان، مریم، بیرق‌دار کشکولی، امید، مدرس، رضا و پورمنافی، سعید. (۱۴۰۱). تحلیل روند و تغییرات مکانی و زمانی غلظت کلروفیل a در خلیج فارس و دریای عمان (۲۰۰۳-۲۰۱۸). مجله علوم و فنون شیلات. ۱۱(۳). ۲۱۸-۲۳۹.
- لایقی، بهزاد، علی اکبری بیدختی، عباسعلی، قادر، سرمد و آزادی، مجید. (۱۳۹۸). شبیه‌سازی عددی مشخصه‌های اقیانوس‌شناسی و هواشناسی دریایی خلیج فارس و دریای عمان با استفاده از مدل جفت شده WRF و RMOS. مجله نیوار. ۴۳(۱۰۷-۱۰۶). ۵۰-۵۳.
- لشکری، شکیلا، سیوف جهرمی، مریم، حمزه‌ئی، صمد. (۱۴۰۲). تغییرات فصلی توده آب خلیج فارس در خلیج عمان. اقیانوس‌شناسی. ۱۴(۵۳). ۱۰۳-۱۲۲.
- محمدپور، فرزانه، حمزه‌ئی، صمد، سیوف جهرمی، مریم، (۱۴۰۱). مطالعه زمستانه پایداری و همرفت پخش دوگانه در شرق تنگه هرمز. دوفصلنامه هیدروفیزیک. ۸(۲). ۳۳-۴۶.
- مهدوی فرد، مصطفی، ولی زاده کامران، خلیل و عطازاده، احسان. (۱۳۹۹). تخمین غلظت کلروفیل-آ با استفاده از داده‌های میدانی و پردازش تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ و لندست-۸ (مطالعه موردی: خور تباب). مجله سنجش از

- Neetu, S., Shetye, S.R., & Chandramohan, P. (2006). Impact of sea-breeze on wind-seas off Goa, west coast of India. *Journal of Earth System Science*, 115 (2), 229–234.
- Pous, S. P., Carton, X., & Lazure, P. (2004). Hydrology and circulation in the Strait of Hormuz and the Gulf of Oman—Results from the GOGP99 Experiment: 2. Gulf of Oman. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 109(C12).
- Ramak, H., Soyuf Jahromi, M., & Akbari, P. (2023). Investigating the downwelling of Persian Gulf Water in the Gulf of Oman. *International Journal Of Coastal, Offshore And Environmental Engineering(ijcoe)*, 8(1), 1-9.
- Reynolds, R. M. (1993). Physical oceanography of the Gulf, Strait of Hormuz, and the Gulf of Oman—Results from the Mt Mitchell expedition. *Marine pollution bulletin*, 27, 35-59.
- ROPME. 2012. Oceanographic Cruise – winter 2006. Technical Report Series Technical Report: No. 4. Spatial Distribution of Chlorophyll-a in the ROPME Sea Area. Regional Organization for the Protection of the Marine Environment. 59.
- Sobrino, J. A., Julien, Y., Jiménez-Muñoz, J. C., Skokovic, D., & Sòria, G. (2020). Near real-time estimation of Sea and Land surface temperature for MSG SEVIRI sensors. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 89, 102096.
- Sun, D., Hu, C., Qiu, Z., Cannizzaro, J. P., & Barnes, B. B. (2014). Influence of a red band-based water classification approach on chlorophyll algorithms for optically complex estuaries. *Remote sensing of environment*, 155, 289-302.
- Uiboupin, R., Laanemets, J., Sipelgas, L., Raag, L., Lips, I., & Buhhalco, N. (2012). Monitoring the effect of upwelling on the chlorophyll a distribution in the Gulf of Finland (Baltic Sea) using remote sensing and in situ data. *Oceanologia*, 54(3), 395-419.
- Van De Poll, W. H., Kulk, G., Timmermans, K. R., Brussaard, C. P. D., Van Der Woerd, H. J., Kehoe, M. J., Mojica, K. D. A., Visser, R. J. W., Rozema, P. D., & Buma, A. G. J. (2013). Phytoplankton chlorophyll a biomass, composition, and productivity along a *Topical Studies in Oceanography*, 40(3), 651-671.
- Hamzehei, S., Bidokhti, A. A., Mortazavi, M. S., Gheiby, A., Ebrahimi, M., & Saraji, F. (2012). Field study of the 2008-2009 red tide in the northern Strait of Hormuz. *Life Science Journal*, 9(4).
- He, J., Christakos, G., Cazelles, B., Wu, J., & Leng, J. (2021). Spatiotemporal variation of the association between sea surface temperature and chlorophyll in global ocean during 2002–2019 based on a novel WCA-BME approach. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 105, 102620.
- Jeffrey, S. W., Mantoura, R. F., & Wright, S. W. (1997). Phytoplankton pigments in oceanography: guidelines to modern methods.
- Jiménez-Muñoz, J. C., & Sobrino, J. A. (2008). Split-window coefficients for land surface temperature retrieval from low-resolution thermal infrared sensors. *IEEE geoscience and remote sensing letters*, 5(4), 806-809.
- Jönsson, B. F., Salisbury, J., Atwood, E. C., Sathyendranath, S., & Mahadevan, A. (2023). Dominant timescales of variability in global satellite chlorophyll and SST revealed with a Moving Standard deviation Saturation (MOSS) approach. *Remote Sensing of Environment*, 286, 113404.
- Kessler, A., Goris, N., & Lauvset, S. K. (2022). Observation-based Sea surface temperature trends in Atlantic large marine ecosystems. *Progress in Oceanography*, 208, 102902.
- Layeghi, B., Bidokhti, A., Ghader, S., & Azadi, M. (2019). Numerical simulations of oceanographic characteristics of the Persian Gulf and Sea of Oman using ROMS model.
- Moisan, T. A., Sathyendranath, S., & Bouman, H. A. (2012). Ocean color remote sensing of phytoplankton functional types. *Remote sensing of biomass—principles and applications. Intech, Rijeka, Croatia*, 101-122.
- Murty, T., & El-Sabh, M. (1984). Cyclones and storm surges in the Arabian Sea: a brief review. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, 31(6-8), 665-670.

- temperature and stratification gradient in the northeast Atlantic Ocean. *Biogeosciences*, 10(6), 4227-4240.
- Yao, F., & Johns, W. E. (2010). A HYCOM modeling study of the Persian Gulf: 2. Formation and export of Persian Gulf Water. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 115(C11).

Investigation of chlorophyll-a and sea surface temperature distributions in Oman Sea using MODIS satellite images for the period (2000-2020)

Ebrahim Shokri¹, Seyedeh Nastaran Hashemi² and Maryam Soyuf Jahromi^{3*}

¹ M.Sc., Faculty of Marine Science and Technology, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

² Ph.D. Student, Faculty of Marine Science and Technology, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

³ Associate Professor, Faculty of Marine Science and Technology, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

(Received: 23 November 2023, Accepted: 13 May 2024)

Summary

Sea surface temperature is an important parameter in oceanography and marine measurements. Also, chlorophyll-a is another parameter that affect the biotic and abiotic characteristics of marine areas. The present study was carried out with the aim of investigating changes in sea surface temperature, in relation to the creation, dispersion and distribution of chlorophyll a in Jask port. In order to achieve the mentioned goal, the MODIS satellite images were used during a 21-year period (2000-2020) for different seasons. Average values of both parameters were calculated for 21 years seasonally and annually and for the whole region, and their relationship through Pearson's correlation coefficient. According to the sea surface temperature distribution, the parts near the coast and the western regions of the study area have higher temperatures than other regions, which is probably due to the human activities in the coastal areas. Results also show that the average sea surface temperature changes over time. On the other hand, based on the maps extracted from the chlorophyll a concentration, in terms of spatial distribution, the highest amount of chlorophyll-a is in the coastal and adjacent areas, so that the highest amount of chlorophyll-a is found in the southern coasts of Sistan and Baluchestan province, Chabahar region, and also the western parts of Hormozgan province. The results related to chlorophyll well show the presence of coastal upwelling in the northern part of Makran coast. In general, the distribution of chlorophyll-a in the studied area is higher in cold seasons than in hot and warm seasons. Correlation relationship between changes in sea surface temperature and chlorophyll-a concentration shows that there is negative correlation in autumn and winter and positive correlation in summer and spring. In this study, by examining the maps of chlorophyll-a concentration in different seasons, clockwise circulations of chlorophyll-a changes were observed in the studied area, which can be a proof of the occurrence of upwelling in this area. To investigate the phenomenon of coastal upwelling, it should be noted that the occurrence of this phenomenon is due to wind leading to Ekman transport, and hence, the change in surface water temperature. As a result, a change in sea surface temperature or a change in sea level can be a secondary cause of the upwelling phenomenon. The results showed that in the studied area, fluctuations related to the increase or decrease of SST do not have much effect on the amount of changes in the concentration of chlorophyll-a, and the only observed correlation between SST and chlorophyll-a was observed in the fall season, and this correlation was negative. So that in this season, following the increase in the average SST, the concentration of chlorophyll-a decreases.

Keywords: Jask Port, Oman Sea, sea surface temperature, MODIS sensor, chlorophyll a