



پایش میزان کلروفیل-آ، کربن آلی، شوری و دمای سطح آب در سواحل سیستان و بلوچستان با استفاده از داده‌های سنگش از دور

مقاله پژوهشی

الهام شهری، محمدحسین صیادی، الهام یوسفی

دریافت: ۱۸ خرداد ۱۴۰۰ / پذیرش: ۲ شهریور ۱۴۰۰

دسترسی اینترنتی: ۱۵ دی ۱۴۰۰

چکیده

مواد و روش‌ها در این مطالعه از قابلیت روش‌های سنگش از دور در بررسی وضعیت ویژگی‌های کیفی آب‌های ساحلی استان سیستان و بلوچستان استفاده شده است. بدین منظور برای بررسی وضعیت کلروفیل-آ با استفاده از الگوریتم‌های بیوپتیک OC3 در ENVI و همچنین قابلیت‌های پلت فرم گوگل ارث انجین استفاده شده است. گوگل ارث انجین یک پلت فرم تحلیل مکانی و متن‌باز است که کاربران را قادر می‌سازد تصاویر ماهواره‌ای سیاره زمین را تجسم و تجزیه و تحلیل کنند. با استفاده از این سامانه می‌توان انواع پردازش‌های طیفی را بر روی پدیده‌های مختلف سطح زمین با داده‌های ماهواره‌ای متفاوت انجام داد. همچنین می‌توان بر روی حجم زیادی از داده‌ها بدون نیاز به سامانه‌های پر قدرت، محاسبات را انجام داد. پارامتر شوری از ماهواره SMOS سنجنده MIRAS در نرم‌افزار SNAP، بررسی پارامترهای کلروفیل، دما و کربن آلی با استفاده از تصاویر ماهواره مودیس سنجنده Terra استفاده شد. زمان مطالعه در تصاویر مورد استفاده و نمونه برداری میدانی اردیبهشت‌ماه سال ۱۳۹۹ است. به منظور استخراج غلظت کلروفیل-آ از الگوریتم‌های بیوپتیک مبتنی بر باندهای آبی و سبز (OC3) در نرم‌افزار ENVI استفاده شد. مدل‌های بیوپتیک اندازه‌گیری‌های نوری بازتاب یا تابش را با پارامترهای بیولوژیکی مانند غلظت کلروفیل، کیفیت آب و سایر موارد به هم پیوند می‌دهند. دمای آب یکی از مهم‌ترین عوامل حاکم بر وضعیت زندگی درون دریا است،

پیشینه و هدف دریاها و اقیانوس‌ها نقش به‌سزایی در شرایط آب و هوایی و همچنین تغییرات اقلیم ایفا می‌کنند. علاوه بر این پدیده‌های فیزیکی و زیستی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر شیمی و محیط‌زیست دریا هستند. از همین رو شناخت فرآیندهای فیزیکی حاکم بر دریاها و اقیانوس‌ها و همچنین همبستگی بین این خصوصیات با خصوصیات زیستی از اهمیت بالایی برخوردار است. الگوریتم‌های سنگش‌ازدور از محدوده آبی، سبز، زرد، قرمز و مادون‌قرمز نزدیک استفاده می‌کنند و بنابراین نظارت بر کلروفیل-آ که رنگدانه فیتوپلانکتون آب‌های اقیانوسی و ساحلی است می‌تواند با استفاده از فناوری نوین سنگش‌ازدور اندازه‌گیری و ارزیابی شود.

الهام شهری^۱، محمدحسین صیادی^۲ (✉)، الهام یوسفی^۳

۱. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و

محیط‌زیست، دانشگاه بیرجند، ایران

۲. دانشیار گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه

بیرجند، بیرجند، ایران

۳. استادیار گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه

بیرجند، بیرجند، ایران

پست الکترونیکی مسئول مکاتبات : mh_sayadi@birjand.ac.ir

<http://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1400.12.4.6.3>

کم، بالا بودن کدورت و رسوبات معلق نسبت به مناطق دور از ساحل دارای مقدار بیشتری است. چون در این منطقه تخلیه رودخانه‌ای وجود ندارد، این مناطق بیشتر تحت تأثیر فرآیندهای هیدروپنایمیکی مانند جهت وزش باد و جریان‌های دریایی هستند. حداقل میزان غلظت کلروفیل-آ در منطقه در ماه می تا سپتامبر مشاهده شد که این تغییرات مخالف نوسانات دمای سطحی آب بود، که می‌تواند به دلیل جریانات بالارونده باشد. میزان کربن آلی از مهم‌ترین عوامل کلیدی برای ارزیابی کارکرد بوم‌سازگان آبی محسوب می‌شود که موجب تعیین توان پتانسیل بوم‌سازگان برای فرآورده‌های شیلاتی می‌شود؛ نتایج حاصل از بررسی میزان کربن آلی نشان داد که مقدار کربن آلی همانند کلروفیل-آ در دو فصل پاییز و زمستان بیشتر از بهار و تابستان بود به طوری که، روند تغییرات کربن آلی نیز از روند تغییرات کلروفیل-آ تبعیت داشت. بین نوسانات دما و میزان کلروفیل-آ همبستگی وجود دارد، این همبستگی نشان‌دهنده اهمیت دمای سطح آب در تغییرات میزان رشد فیتوپلانکتون‌ها به‌عنوان یکی از عوامل اقلیمی است و باعث شده است مهم‌ترین پارامتر تأثیرگذار روی کلروفیل-آ، دمای سطحی آب باشد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده روند تغییرات دما در ده سال اخیر افزایشی و گرم‌ترین ایستگاه‌ها ایستگاه‌های چابهار و کنارک هستند. از لحاظ شوری نیز مناطقی که شوری کمتری را داشتند دارای میزان کلروفیل-آ بالاتری بودند. مقایسه داده‌های حاصل از این تحقیق با موارد فوق گویای آن است که دامنه نوسانات ثبت‌شده پارامترهای کیفی مورد بررسی در محدوده طبیعی آب‌های منطقه با مطالعات مشابه در منطقه مورد مطالعه توسط سایر متخصصین مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری نتایج این پژوهش نشان‌دهنده دقت قابل‌قبول نتایج حاصل در مقایسه با داده‌های پژوهش‌های مشابه برکنار سرعت و سهولت روش کار است. بنابراین می‌توان با کمک گرفتن از علم سنجش از دور با پیش به‌موقع پارامترهای کیفی پهنه‌های آبی از ایجاد بحران‌های بزرگ پیشگیری و در هزینه و زمان صرفه‌جویی کرد، مشکلاتی که ممکن است در صورت وقوع برگشت‌ناپذیر باشند.

واژه‌های کلیدی: تصاویر ماهواره‌ای، گوگل ارث انجین، مودیس، دریای عمان

به طوری که جانوران دریایی تنها در یک بازه مشخصی از دمای آب می‌توانند زنده بمانند و تولیدمثل کنند. به همین دلیل فیتوپلانکتون‌ها بسیار به تغییرات دمای آب حساس بوده و واکنش نشان می‌دهند و دمای سطح آب می‌تواند تعیین‌کننده فراوانی و پراکنش آن‌ها باشد. در این پژوهش پروداکت MIR_OSUDP2 ماهواره SMOS سنجنده MIRAS در تاریخ ۳ می ۲۰۲۰ برای منطقه مورد مطالعه از سایت <https://smos-diss.eo.esa.int> استفاده شد.

نتایج و بحث در کنار سواحل میزان کلروفیل-آ بیشتر است و ایستگاه‌های کنارک جود و خور میدانی دارای غلظت بالاتری از کلروفیل-آ هستند. خروجی‌های حاصل از دو روش متفاوت در تخمین میزان کلروفیل-آ در منطقه مورد مطالعه مشابهت دارد. نتایج نشان داد که در ایستگاه‌های چابهار، کنارک، جود و گوآتر در سال‌های اخیر میزان کلروفیل-آ افزایش یافته است. در مناطق چابهار و کنارک در طول ده سال این افزایش چشمگیر بوده و افزایش ناگهانی کلروفیل در سال اخیر در ایستگاه‌های جود و خور میدانی نیاز به مطالعات بیشتری جهت شناخت علل دارد و باید مورد توجه قرار گیرد. نمودار میزان تغییرات کلروفیل-آ در طی سال ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۰ نشان می‌دهد که میزان کربن آلی از میزان کلروفیل-آ پیروی می‌کند و در مناطقی مانند چابهار و کنارک میزان کربن آلی بالاتری را شاهد هستیم. بیشترین افزایش دما در تمامی سه دوره مورد بررسی در بخش‌های بندر چابهار و کنارک بوده است، که فعالیت‌های انسانی یکی از عوامل اصلی آن است. با بررسی روند ده‌ساله تغییرات افزایشی دما در بندرهای خور میدانی و جود نیز قابل مشاهده است. روند کلی دما همان‌گونه که انتظار می‌رود به سمت شرق کاهش یافته است زیرا به آب‌های آزاد نزدیک‌تر است. فصلی که دمای آب کمتر است میزان کلروفیل-آ بالاتر بوده است. نتایج نقشه‌های کلروفیل-آ توسط نرم‌افزارهای ENVI و پلت فرم گوگل ارث انجین، غلظت کلروفیل-آ در فصل پاییز و زمستان نسبت به بهار و تابستان بیشتر بوده است، بالا بودن مقدار غلظت کلروفیل-آ در فصول سرد آب‌های گرمسیری و نیمه گرمسیری رایج است. همچنین غلظت کلروفیل-آ در مناطق مورد بررسی در امتداد ساحل بیشتر از مناطق دور از ساحل است که این ویژگی در ارتباط با الگوریتم برداشت کلروفیل-آ در آب‌های نوع یک است؛ به عبارت دیگر، مناطق ساحلی به دلیل عمق

متداول پارامترهای کیفی آب همچون تخمین میزان کلروفیل-آ و مواد محلول در آب نیازمند نمونه‌برداری‌های میدانی، تجزیه و تحلیل و اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی است. این فن‌ها بسیار هزینه‌بر و زمان‌بر هستند. فن‌های سنجش‌ازدور یک مشاهده کلی از مناطق مطالعاتی بزرگ را در زمان واقعی ارائه می‌دهند (۱۸). الگوریتم‌های سنجش‌ازدور از محدوده آبی، سبز، زرد، قرمز و مادون قرمز نزدیک استفاده می‌کنند و بنابراین نظارت بر کلروفیل-آ که رنگ‌دانه فیتوپلانکتون آب‌های اقیانوسی و ساحلی است می‌تواند با استفاده از فناوری نوین سنجش‌ازدور اندازه‌گیری و ارزیابی شود. در پژوهشی با استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل و لندست-۸ و همچنین داده‌های میدانی به تخمین میزان کلروفیل-آ پرداخته شده است و میزان کلروفیل-آ بر اساس الگوریتم‌های بیوپلانتیک OC2 و OC3 تعیین شد (۱۶). همچنین کدورت و غلظت کلروفیل-آ در دریای خزر از طریق آنالیز چند زمانه تصاویر ماهواره‌ای مودیس و شبکه‌های عصبی موجکی تخمین زده شد (۸). در پژوهشی دیگر، برای نخستین بار از تصاویر ماهواره سنتینل-۲ برای نقشه‌برداری پارامترهای کیفی آب استفاده شد و نتایج این تحقیق نشان داد که داده‌های میدانی با تصاویر سنتینل-۲ همبستگی خوبی در این زمینه دارد (۲۹). در پژوهش‌های دیگر نیز مانند آنچه در ادامه آمده است به این موضوع پرداخته شده است؛ با استفاده از داده‌های تصحیح اتمسفری شده لندست ۸ متغیر زمانی و مکانی فیتوپلانکتون در دریاچه سیوان را ارزیابی شد (۲۸). عملکرد الگوریتم‌های بانندی در برآورد غلظت کلروفیل-آ با استفاده از داده‌های لندست-۸ و سنتینل-۲ مورد بررسی قرار گرفت (۳۱). عملکرد الگوریتم OC2 و OC3 در خلیج بنگال را با استفاده از داده‌های مودیس، لندست-۸ و سنتینل-۲ بررسی شد، نتایج نشان داد که در فصل قبل از موسمی و پس از موسمی غلظت کلروفیل بازیابی شده از سنتینل-۲ بیش از لندست-۸ بوده است (۲۴). تغییرات پارامترهای کیفی آب از جمله کلروفیل-آ، کدورت، درجه حرارت، عمق آب، غلظت مواد آلی محلول، رنگ و مواد

دریاها و اقیانوس‌ها نقش به‌سزایی در شرایط آب و هوایی و همچنین تغییرات اقلیم ایفا می‌کنند. علاوه بر این پدیده‌های فیزیکی و زیستی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر شیمی و محیط‌زیست دریا هستند. از همین رو شناخت فرآیندهای فیزیکی حاکم بر دریاها و اقیانوس‌ها و همچنین همبستگی بین این خصوصیات با خصوصیات زیستی از اهمیت بالایی برخوردار است (۲۷).

ساختار قائم آب که مستقیماً تحت تأثیر عواملی نظیر شوری، چگالی و دما است. با توجه به وسعت منابع آبی در سراسر جهان، اندازه‌گیری‌های میدانی از پارامترهای کیفیت آب بسیار پرهزینه و زمان‌بر است. همچنین، امکان اندازه‌گیری میدانی در مناطقی که دسترسی به آن‌ها دشوار است امکان‌پذیر نیست. در همین زمینه، فناوری سنجش‌ازدور، با ظهور سنجنده‌های نوین ماهواره‌ای، امکان نظارت پویا و دقیقی را بر منابع آب فراهم کرده است. فیتوپلانکتون‌های دریایی اساس اکوسیستم‌های اقیانوس هستند، به طوری که حدود نیمی از فعالیت فتوسنتز در سطح کره زمین و تولید بیش از ۹۰ درصد ماده آلی محلول در آب به فعالیت این موجودات وابسته است. در سطح جهان فیتوپلانکتون‌ها حداقل دو نقش اساسی را ایفا می‌کنند، اول، فیتوپلانکتون‌ها پایه و اساس شبکه غذایی دریایی محسوب می‌شوند و دوم اینکه فیتوپلانکتون‌ها در چرخه جهانی کربن نقش دارند (۱۷). کلروفیل-آ به‌عنوان شاخص فراوانی فیتوپلانکتون زیست‌توده آب در نظر گرفته می‌شود. یکی از دلایل مهم سنجش میزان کلروفیل-آ تخمین شدت تولید اولیه دریاهاست باز است. در سطح جهان غلظت کلروفیل-آ نقش مهمی را به‌عنوان شاخص کیفی پهنه‌های آبی ایفا می‌کند و از آن‌ها به‌عنوان نماینده‌ای برای شناسایی شکوفایی مضر جلبک نام می‌برند (۱). بنابراین، به‌عنوان نماینده‌ای از فیتوپلانکتون برای بررسی شرایط کیفی آب و وضعیت زیست‌شیمیایی استفاده می‌شود. غلظت کلروفیل-آ به‌شدت با فراوانی فیتوپلانکتون آبی و زیست‌توده مرتبط است. اندازه‌گیری‌های

و کربن آلی با استفاده از تصاویر ماهواره مودیس سنجنده Terra صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

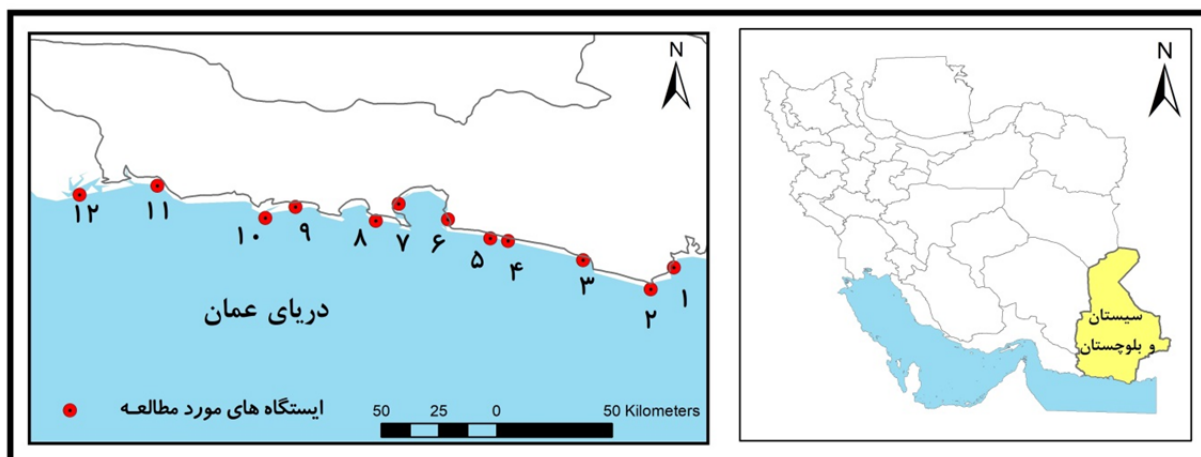
در این پژوهش سواحل شمالی دریای عمان برای بررسی انتخاب شدند. سواحل دریای عمان در محدوده جغرافیایی با مختصات $۲۵^{\circ} ۰۹'$ تا $۲۷^{\circ} ۰۴'$ عرض شمالی و $۵۶^{\circ} ۴۸'$ تا $۶۱^{\circ} ۳۴'$ طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده است (شکل ۱). دریای عمان از سمت غرب توسط تنگه هرمز به خلیج فارس و از سمت شرق و جنوب شرقی به دریای عرب و اقیانوس هند وصل می‌شود. دریای عمان با شکل مثلثی بین کشورهای ایران، عمان و پاکستان قرار دارد. حداکثر طول آن از شمال غرب تا جنوب شرق ۹۵۰ کیلومتر و حداکثر پهنا آن از شمال شرق به جنوب غرب حدود ۳۴۰ کیلومتر است (۲۶). منطقه مورد مطالعه در این پژوهش سواحل سیستان و بلوچستان در دریای عمان به طول ۳۰۰ کیلومتر و ۱۲ ایستگاه است (جدول ۱).

جامد معلق کل را با استفاده از روش سنجش از دور بررسی شد (۳۰). در نتیجه بر اساس گزارش محققین مقرون به صرفه‌ترین روش نظارت، بهبود مدیریتی محیط‌زیست و پیگیری چرخه مواد مغذی موجود در آب استفاده از این روش است که در چهار دهه گذشته مدام به آن رجوع شده است. در این پژوهش نیز از قابلیت روش‌های سنجش از راه دور در بررسی وضعیت ویژگی‌های کیفی آب‌های ساحلی استان سیستان و بلوچستان استفاده شده است. بدین منظور برای بررسی وضعیت کلروفیل - آ با استفاده از الگوریتم‌های بی‌اوپتیکی OC3 در ENVI و همچنین قابلیت‌های پلت فرم گوگل ارث انجین استفاده شده است. گوگل ارث انجین یک پلت فرم تحلیل مکانی و متن‌باز است که کاربران را قادر می‌سازد تصاویر ماهواره‌ای سیاره زمین را تجزیه و تحلیل کنند. با استفاده از این سامانه می‌توان انواع پردازش‌های طیفی را بر روی پدیده‌های مختلف سطح زمین با داده‌های ماهواره‌ای متفاوت انجام داد. همچنین می‌توان بر روی حجم زیادی از داده‌ها بدون نیاز به سامانه‌های پر قدرت، محاسبات را انجام داد. در این پژوهش جهت بررسی پارامتر شوری از ماهواره SMOS سنجنده MIRAS در نرم‌افزار SNAP استفاده شد، همچنین بررسی پارامترهای کلروفیل، دما

جدول ۱. مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه برداری در سواحل سیستان و بلوچستان

Table 1. Geographical coordinates of sampling stations on the coasts of Sistan and Baluchestan

شماره	نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی
۱	گواتر	61°34'10.65"E	25°10'38.24"N
۲	پسابندر	61°28'52.81"E	25° 5'55.92"N
۳	بریس	61°17'23.52"E	25° 5'44.74"N
۴	کاچو	60°56'33.66"E	25°13'14.77"N
۵	رمین	60°46'54.59"E	25°15'16.32"N
۶	چابهار	60°35'40.38"E	25°20'22.18"N
۷	کنارک	60°24'56.00"E	25°22'30.45"N
۸	پوزم	60°16'25.14"E	25°20'43.92"N
۹	گوردیم	60° 4'42.64"E	25°22'23.19"N
۱۰	تنگ	59°53'39.20"E	25°20'21.45"N
۱۱	جود	59°28'6.39"E	25°28'3.96"N
۱۲	خور میدانی	59°10'14.65"E	25°25'1.16"N



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری در دریای عمان
Fig. 1. Geographical location of sampling stations in the Oman Sea

روش تحقیق

برای تعیین ویژگی‌های کیفی آب‌های سواحل سیستان از داده‌های ماهواره‌ای و محیط‌های کاری مختلفی (گوگل ارث انجین، ENVI، و SNAP) استفاده شده است.

محیط گوگل ارث انجین و پارامترهای کلروفیل-آ، کربن آلی و دمای سطح آب

در این پژوهش از داده‌های سنجنده Terra از ماهواره MODIS استفاده شده است. این مجموعه داده می‌تواند برای

مطالعه زیست‌شناسی و هیدرولوژی مناطق ساحلی، تغییر در تنوع و توزیع جغرافیایی زیستگاه‌های دریایی ساحلی، شارهای بیوژئوشیمیایی و تأثیر آنها در اقیانوس‌های کره زمین و آب‌وهوا با گذشت زمان و در نهایت تأثیر آب‌وهوا و تنوع محیطی و تغییر در اکوسیستم‌های اقیانوس و تنوع زیستی موردحمایت آنها استفاده شود. رزولوشن این داده‌ها برابر ۵۰۰ متر است و از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ در دسترس است. جدول ۲ مشخصات باندهایی است که از سنجنده Terra ماهواره MODIS در این پژوهش استفاده شده است.

جدول ۲. مشخصات باندهای مورد استفاده از سنجنده Terra ماهواره MODIS

Table 2. Specifications of the bands used by the TERRA sensor and MODIS satellite

نام پارامتر	واحد اندازه‌گیری	کمینه	بیشینه
غلظت کلروفیل-آ	میلی‌گرم بر مترمکعب	۰	۹۹/۹۹
غلظت کربن آلی	میلی‌گرم بر مترمکعب	۴	۱۲۹۵۳/۴
دمای سطح آب	سانتی‌گراد	-۲	۴۵

داده‌های کلروفیل، دما و کربن آلی سنجنده MODIS در آب با استفاده از سامانه گوگل ارث انجین استفاده شد و نقشه‌های مربوط به وضعیت کلروفیل-آ، دما و کربن آلی تهیه شدند. روش کار با داده‌های تخصصی سنجنده مودیس در منابع آبی با استفاده از سامانه گوگل ارث انجین بر اساس کد

نویسی تحت جاوا انجام شده است. این پروداکت به صورت روزانه و با جزییات مکانی ۵۰۰ متری از سال ۲۰۰۰ میلادی تاکنون در دسترس است. در این پژوهش انواع روش‌های پردازش سری‌های زمانی داده‌ها در گوگل ارث انجین انجام شد و تغییرات مکانی خصوصیات کیفی آب در سواحل

به منظور استخراج غلظت کلروفیل-آ از الگوریتم‌های بیوپتیک مبتنی بر باندهای آبی و سبز (OC3) در نرم‌افزار ENVI استفاده شد. مدل‌های بیوپتیک اندازه‌گیری‌های نوری بازتاب یا تابش را با پارامترهای بیولوژیکی مانند غلظت کلروفیل، کیفیت آب و سایر موارد به هم پیوند می‌دهند. در این مطالعه از بین الگوریتم‌های بیوپتیکال از الگوریتم OC3 به منظور تخمین غلظت کلروفیل-آ، آب‌های ساحلی استفاده شد. مطالعه‌ای در خلیج فارس با استفاده از اعمال الگوریتم‌های مختلف بر روی لندست-۸ نشان می‌دهد که الگوریتم تجربی OC3 مناسب‌تر از دیگر الگوریتم‌های مورد استفاده است (۲۱).

در این پژوهش از تصاویر ماهواره مودیس سنجنده Terra پردازش MODIS v006 از سایت USGS با مشخصات MODIS/Terra Ocean Reflectance Daily L2G-Lite فنی Global 1 km SIN Grid با ویژگی‌هایی مثل روزانه و یک کیلومتری بودن که به‌عنوان یکی از پردازش‌های مختص اقیانوس است، استفاده شد. برای افزایش میزان دقت تعداد ۳۰ تصویر از تاریخ ۲۰۲۰ می تا ۲۰۲۰ می ۲۰۲۰ دانلود و با استفاده از نرم‌افزار ENVI بر روی تمامی تصاویر تصحیحات هندسی اعمال شد. سپس بروی تک‌تک تصاویر الگوریتم OC3 رابطه ۲ با استفاده از بخش فرمول نویسی نرم‌افزار ENVI (ابزار BAND MATH) پیاده‌سازی شد (۲۵).

$$\text{chl } \alpha \text{ (}\mu\text{g/L)} = 10^{(a+a_1R+a_2R^2+a_3R^3+a_4R^4)}$$

$$R = \log \left[\frac{\max(\text{Rrs443} \times \text{Rrs488})}{\text{Rrs551}} \right]$$

$$a = [0.283 \times -2.753 \times 1.457 \times 0.659 \times -1.403]$$

سیستان و بلوچستان در طول دوره‌های زمانی مختلف به صورت نقشه تهیه شد. این پردازش الگوریتم غلظت کلروفیل-آ نزدیک به سطح را در واحد میلی‌گرم بر مترمکعب به دست می‌آورد، که با استفاده از روابط تجربی و رابطه حاصل از بازتاب‌های سنجش‌ازدور در محدوده آبی به سبز طیف مرئی به دست می‌آید. اجرای این امر به سه باند یا بیش از سه باند سنجنده در محدوده طیفی ۴۴۰ - ۶۷۰ نانومتر بستگی دارد. همچنین در این پردازش غلظت ذرات کربن آلی برحسب میلی‌گرم بر مترمکعب با استفاده از یک رابطه تجربی حاصل از اندازه‌گیری‌های درجا از غلظت کربن آلی و نسبت‌های باند آبی به سبز از بازتاب‌های سنجش‌ازدور محاسبه شده است. پشتیبانی از این الگوریتم منوط به در دسترس بودن باندهایی است که در محدوده ۴۴۳ نانومتر در منطقه آبی و بین ۵۴۷ تا ۵۶۵ نانومتر در منطقه سبز قرار دارند و برای تصاویر مودیس از باندهایی در محدوده ۴۴۳ و ۵۴۷ نانومتر استفاده می‌کند. غلظت ذرات کربن آلی برحسب میلی‌گرم بر مترمکعب است.

$$\text{poc} = a \times \left(\frac{\text{Rrs}(443)}{\text{Rrs}(555)} \right)^b \quad [1]$$

در این رابطه؛ مقدار a برابر ۲/۰۳ و b برابر ۱/۰۳۴- است.

تعیین غلظت کلروفیل-آ در محیط نرم‌افزار ENVI

$$\text{OC3} \quad \text{نسبت باند} \quad [2]$$

$$\text{ضرایب } a$$

تعیین پارامترهای شوری و دما در محیط نرم‌افزار SNAP

دمای آب یکی از مهم‌ترین عوامل حاکم بر وضعیت زندگی درون دریا است، به طوری که جانوران دریایی تنها در یک بازه مشخص دمایی می‌توانند زنده بمانند و تولیدمثل کنند. به همین دلیل فیتوپلانکتون‌ها بسیار به تغییرات دمای آب حساس بوده و واکنش نشان می‌دهند و دمای سطح آب

در این رابطه؛ عدد ۴۴۳ همان باند ۹ و ۴۸۸ باند ۱۰ و ۵۵۱ باند ۱۲ پردازش مورد استفاده است. در نهایت از ۳۰ خروجی به دست آمده میانگین گرفته شد و یک خروجی با واحد میلی‌گرم به مترمکعب mg/m^3 حاصل شد. در نهایت خروجی با فرمت (.tif) به نرم‌افزار ArcGIS وارد و سیمبولژی مناسب بر روی آن اعمال شد.

استفاده از خروجی حاصل از محیط گوگل ارث انجین را نمایش می‌دهد.

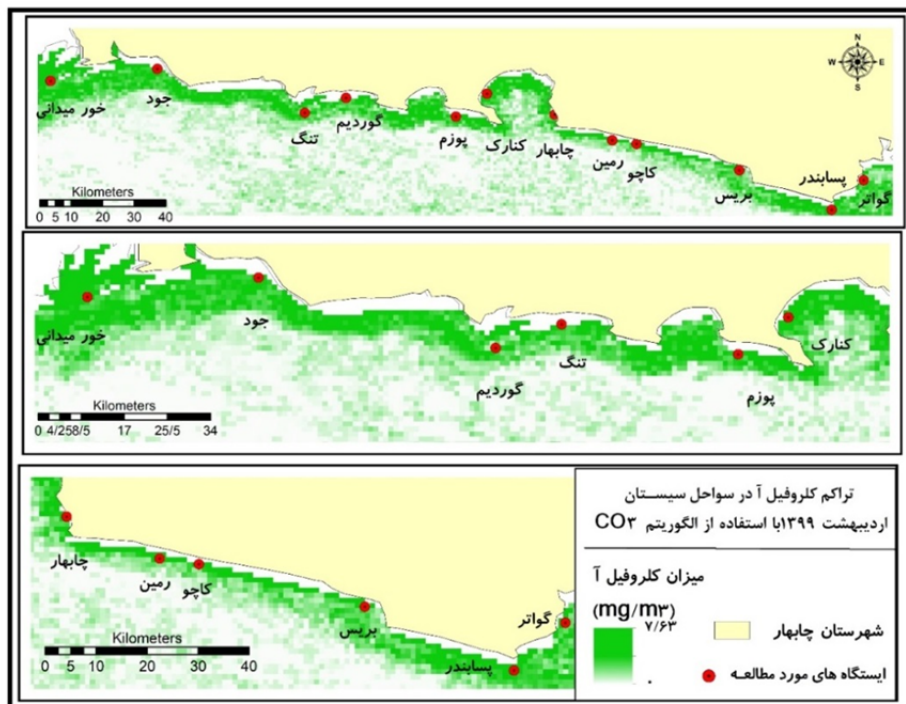
نتایج نشان می‌دهد که در کنار سواحل میزان کلروفیل-آ بیشتر است و ایستگاه‌های کنارک جود و خور میدانی دارای غلظت بالاتری از کلروفیل-آ هستند (شکل ۱). شکل‌های ۲ و ۳ مشابهت خروجی‌های حاصل از دو روش متفاوت در تخمین میزان کلروفیل-آ در منطقه مورد مطالعه را دارد. همچنین با توجه به شکل ۳ مشخص است در ایستگاه‌های چابهار، کنارک، جود و گوآتر در سال‌های اخیر میزان کلروفیل-آ افزایش یافته است. در مناطق چابهار و کنارک در طول ده سال این افزایش چشمگیر بوده و افزایش ناگهانی کلروفیل در سال اخیر در ایستگاه‌های جود و خور میدانی نیاز به مطالعات بیشتری جهت شناخت علل این پدیده دارد و باید مورد توجه قرار گیرد. شکل ۴ میزان تغییرات کلروفیل-آ در طی سال ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۰ را نشان می‌دهد. در این شکل کمترین غلظت کلروفیل مربوط به بهار و تابستان و بیشترین میزان مربوط به پاییز و زمستان می‌شود.

می‌تواند تعیین‌کننده فراوانی و پراکنش آن‌ها باشد (۲۰). در این پژوهش پروداکت MIR_OSUDP2 ماهواره SMOS سنجنده MIRAS در تاریخ ۳ می ۲۰۲۰ برای منطقه مورد مطالعه از سایت <https://smos-diss.eo.esa.int> دانلود شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار SNAP برای تصاویر تصحیحات هندسی اعمال و منطقه مورد مطالعه برش زده شد سپس داده‌های SSS که مربوط به شوری آب است، استخراج شد و تبدیل به فرمت (TIF). گردید و به نرم‌افزار ArcGIS وارد و سیمبولوژی مناسب بر روی آن اعمال شد.

نتایج

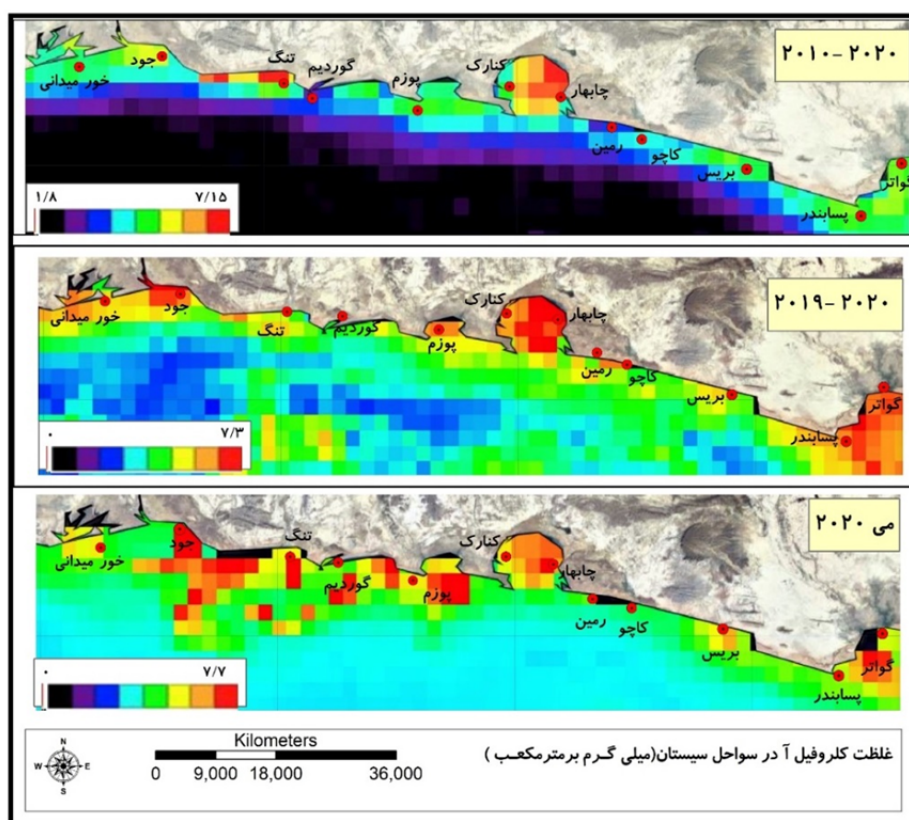
بررسی غلظت کلروفیل-آ با استفاده از نرم‌افزار ENVI

همان‌طور که در بخش قبل توضیح داده شد میزان کلروفیل-آ با استفاده از دو روش به دست آمد شکل ۲ خروجی نقشه غلظت کلروفیل-آ را با استفاده از الگوریتم بیوپاتیکی OC3 و شکل ۳ نقشه غلظت کلروفیل-آ را با



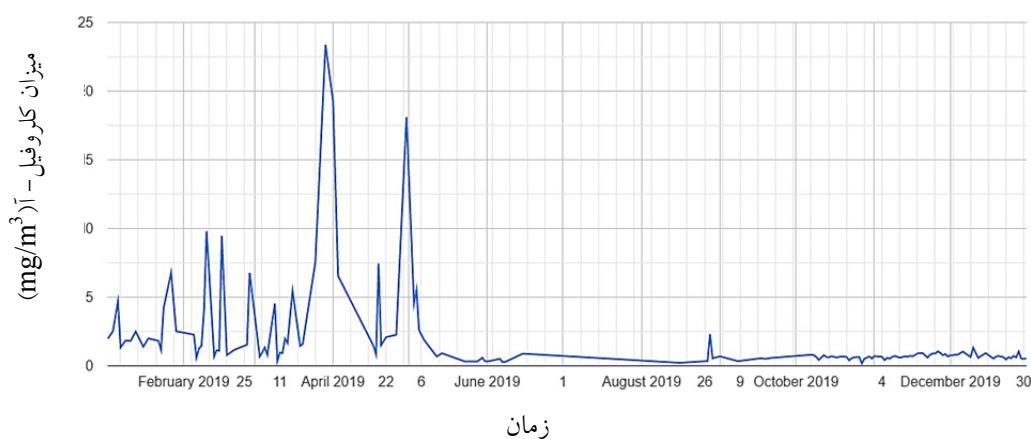
شکل ۲. غلظت کلروفیل-آ در ماه می ۲۰۲۰ با استفاده از تصاویر ماهواره مودیس و الگوریتم OC3

Fig. 2. Chlorophyll A concentration in May 2020 using MODIS satellite imagery and OC3 algorithm



شکل ۳. میزان غلظت کلروفیل آ در سواحل سیستان با استفاده از تصاویر مودیس با استفاده از گوگل ارث انجین

Fig. 3. Chlorophyll A concentration in the coasts of Sistan and Baluchestan using MODIS images using Google Earth Engine



شکل ۴. نمودار تغییرات میزان کلروفیل آ (mg/m^3) در سال ۲۰۲۰-۲۰۱۹

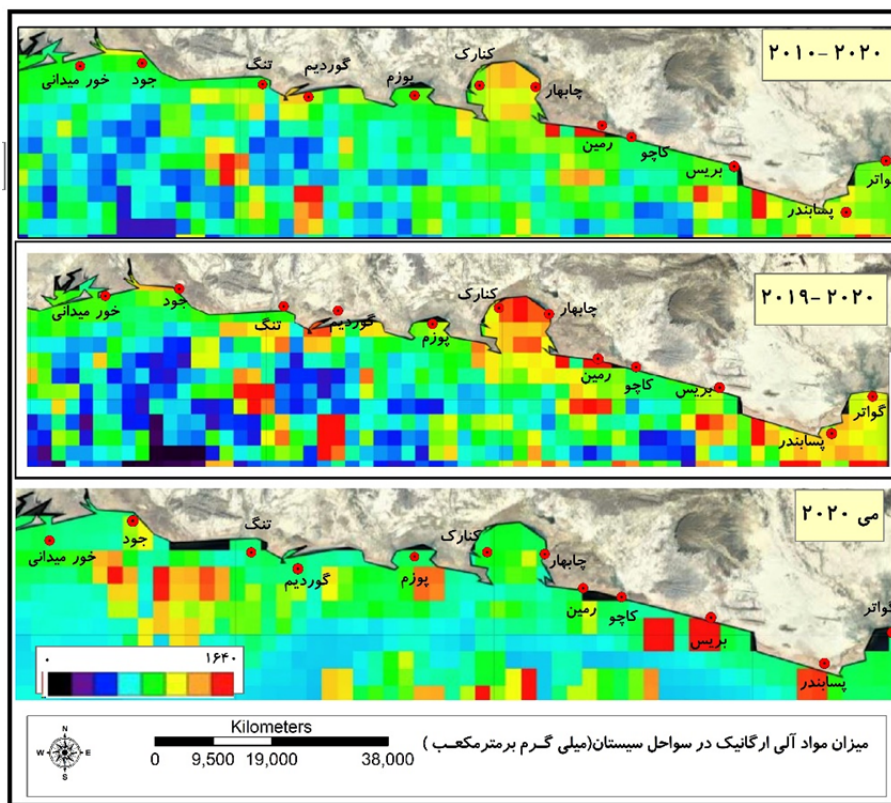
Fig. 4. Graph of changes in chlorophyll A (mg / m^3) in 2019-2020

می‌دهد. با توجه به شکل ۶ میزان کربن آلی از میزان کلروفیل آ پیروی می‌کند و در مناطقی مانند چابهار و کنارک میزان کربن آلی بالاتری را شاهد هستیم. همچنین نمودار زیر میزان

پایش کربن آلی در سواحل سیستان و بلوچستان در محیط GEE شکل ۵ تغییرات کربن آلی در سواحل سیستان با استفاده از تصاویر مودیس در محیط گوگل ارث انجین را نشان

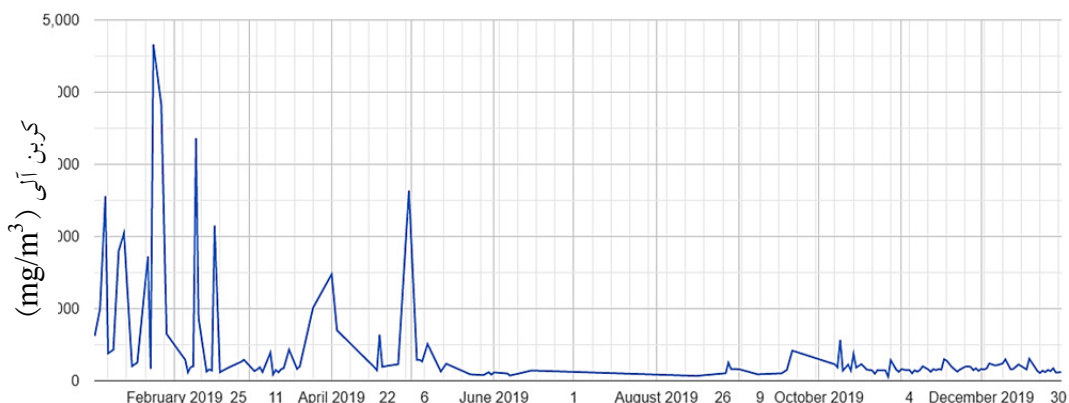
آلی مربوط به بهار و تابستان و بیشترین میزان مربوط به پاییز و زمستان می‌شود.

تغییرات کربن آلی در طی سال ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۰ را نشان می‌دهد. همان‌طور که از روند تغییرات کلروفیل-آ در شکل ۵ انتظار می‌رود در شکل ۶ غلظت کربن آلی نیز کمترین غلظت مواد



شکل ۵. تغییرات کربن آلی در سواحل سیستان و بلوچستان با استفاده از تصاویر مودیس در محیط گوگل ارث انجین

Fig. 5. Organic carbon changes off the coast of Sistan and Baluchestan using MODIS images in Google Earth Engine



زمان

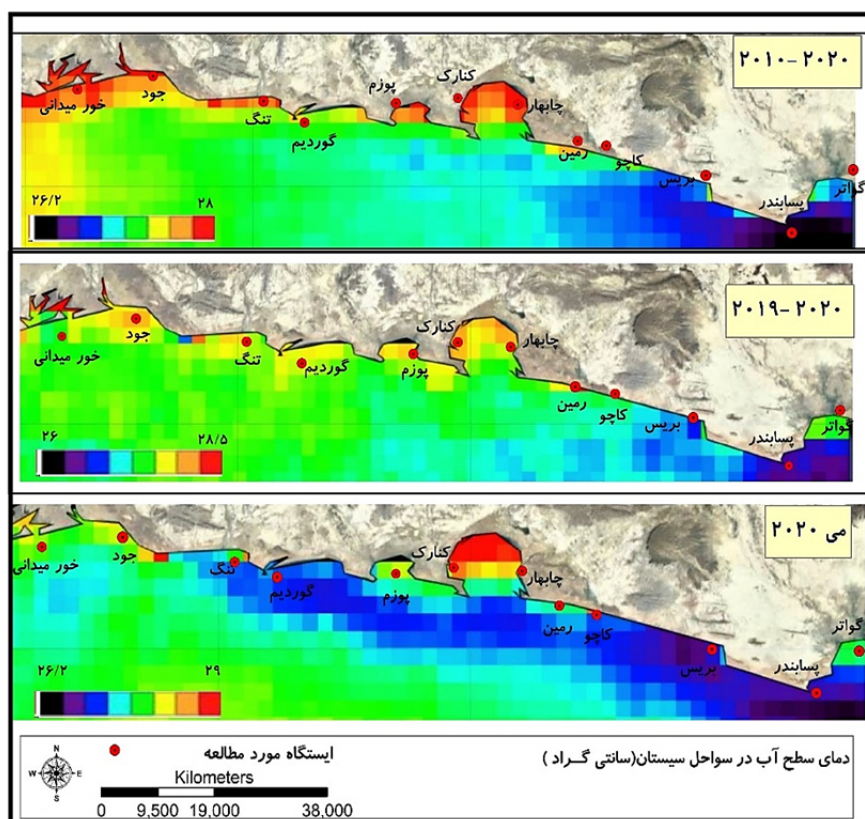
شکل ۶. تغییرات میزان کربن آلی (mg/m^3) در سال ۲۰۱۹-۲۰۲۰

Fig 6. Changes in the amount of organic carbon (mg / m^3) in 2019-2020

پایش دمای آب در سواحل سیستان در محیط GEE

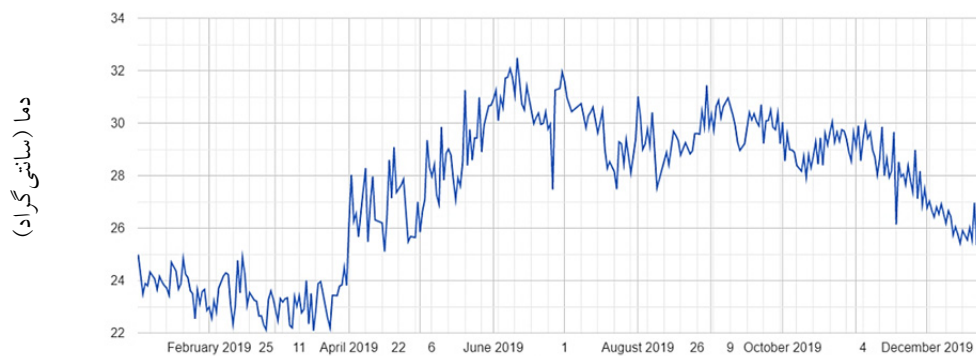
با استفاده از سنجنده Terra ماهواره MODIS در محیط گوگل ارث انجین شکل ۷ در رابطه با دمای سطح آب در دوره‌های زمانی مختلف به دست آمد. با توجه به خروجی‌ها بیشترین افزایش دما در تمامی سه دوره مورد بررسی در بخش‌های بندر چابهار و کنارک بوده است، که فعالیت‌های انسانی یکی از عوامل اصلی آن است. همچنین با بررسی روند

ده‌ساله تغییرات افزایشی دما در بندرهای خور میدانی و جود نیز قابل مشاهده است. روند کلی دما همان‌گونه که انتظار می‌رود به سمت شرق کاهش است زیرا به آب‌های آزاد نزدیک‌تر است. شکل ۸ تغییرات دمایی سطح آب را در سال ۲۰۱۹-۲۰۲۰ نشان می‌دهد. با مقایسه این نمودار و نمودار تغییرات کلروفیل-آ به این نتیجه می‌توان رسید که در فصولی که دمای آب کمتر است میزان کلروفیل-آ بالاتر بوده است.



شکل ۷. تغییرات دمای سطح آب در سواحل سیستان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مودیس در محیط گوگل ارث انجین

Fig. 7. Changes in water surface temperature off the coast of Sistan using MODIS satellite imagery in Google Earth Engine



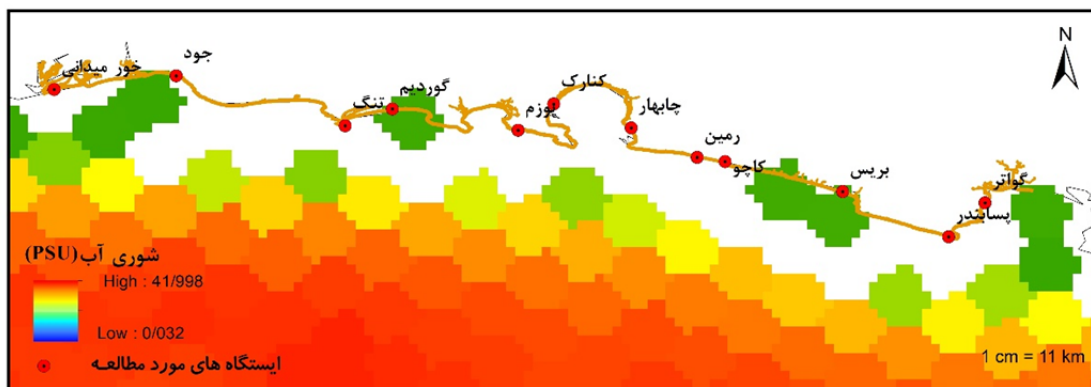
زمان

شکل ۸. تغییرات دمایی سطح آب در سال ۲۰۲۰-۲۰۱۹

Fig. 8. Water level temperature changes in 2019-2020

میزان شوری پایین تری وجود دارد. در نتیجه بین میزان کلروفیل-آ با شوری آب رابطه عکس وجود دارد طوری که مشاهده می شد در مناطقی که میزان کلروفیل-آ، بالاتر است شوری آب نیز کمتر است.

نقشه شوری با استفاده از نرم افزار تحت دسکتاپ SNAP داده های شوری در مناطق نزدیک به ساحل به دلیل مشکلات خطاهای سنجنده در شناخت عوارض با خطا مواجه بود ولی در مواردی که داده ها موجود بودند، مشخص است در محل هایی که میزان کلروفیل-آ بیشتر است (نواحی ساحلی)،



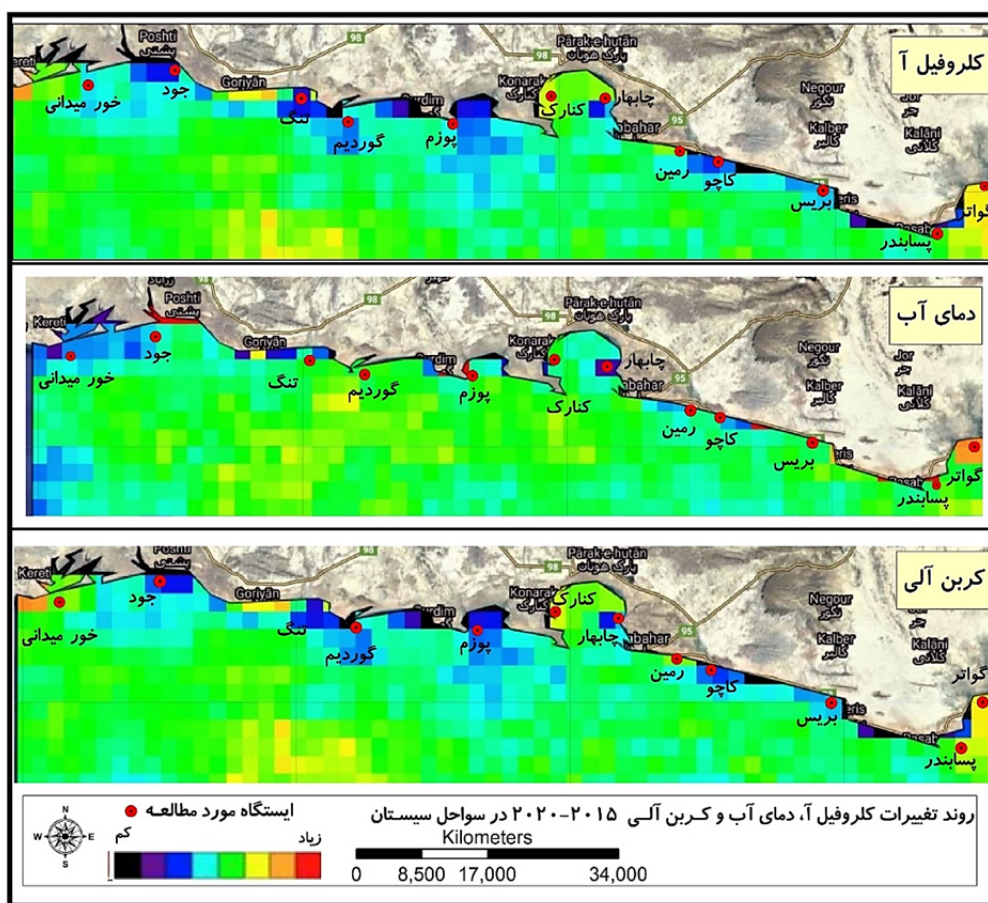
شکل ۹. نقشه شوری آب منتج از ماهواره SMOS سنجنده MIRAS در تاریخ ۳ می ۲۰۲۰

Fig. 9. Salinity map of water resulting from SMOS satellite MIRAS on 3rd May, 2020

در طول سال (۲۰۱۵-۲۰۲۰) در آن بیشتر و هر چه رنگ پیکسل ها تیره تر می شود نشان از تغییرات کمتر میزان پارامتر مورد بررسی در طول سال در آن مکان را دارد. با توجه به شکل ۱۰ بیشترین میزان تغییرات در پارامترهای مورد بررسی در ایستگاه گواتر بوده است.

میزان تغییرات کلروفیل-آ، دما و کربن آلی در طول زمان به صورت مکانی

شکل ۱۰ به صورت مکانی میزان تغییرات در طول بازه زمانی پنج ساله را نشان می دهد، در این شکل هر چه رنگ پیکسل ها روشن تر می شود یعنی تغییرات پارامتر مورد بررسی



شکل ۱۰. روند تغییرات کلروفیل-آ، دمای آب و کربن آلی ۲۰۱۵-۲۰۲۰ در سواحل سیستان و بلوچستان

Fig. 10. Trend of changes in chlorophyll A, water temperature and organic carbon 2015-2020 off the coast of Sistan and Baluchestan

بحث و نتیجه گیری

محاسبه میزان این پارامتر مهم در مطالعات روز دنیا جهت سنجش پارامترهای کیفی آب مورد بررسی قرار گرفته است (۴)، (۱۰ و ۲۳). با توجه به نتایج به دست آمده از خروجی های نقشه های کلروفیل-آ توسط نرم افزارهای تحت دسکتاپ ENVI و پلت فرم گوگل ارث انجین، غلظت کلروفیل-آ در فصل پاییز و زمستان نسبت به بهار و تابستان بیشتر بوده است، بالا بودن مقدار غلظت کلروفیل-آ در فصول سرد آب های گرمسیری و نیمه گرمسیری رایج است (۲۲). همچنین غلظت کلروفیل-آ در مناطق مورد بررسی در امتداد ساحل بیشتر از مناطق دور از ساحل است که این ویژگی در ارتباط با الگوریتم برداشت کلروفیل-آ در آب های نوع یک است؛ به عبارت دیگر، مناطق ساحلی به دلیل عمق کم، بالا بودن کدورت و رسوبات معلق نسبت به مناطق دور از ساحل دارای مقدار بیشتری است

در این مطالعه با استفاده از داده های ماهواره ای پارامترهای کلروفیل-آ، دما، کربن آلی و شوری در سواحل سیستان مورد بررسی قرار گرفت. دریای عمان یکی از مهم ترین منابع آب و تأمین کننده آبیان خوراکی در سطح کشور ایران می باشد. در این راستا و به منظور حفظ سلامت اکوسیستم دریایی، پایش کیفی و کمی فیتوپلانکتون ها و عامل تشدید کننده شکوفایی پلانکتونی در آب های ساحلی به صورت پیوسته از ضرورت های حفظ سلامت این اکوسیستم آبی است. غلظت کلروفیل-آ یکی از مهم ترین پارامترهای کیفیت آب محسوب می شود (۱۱) و از جمله مهم ترین پارامترهای تأثیرگذار روی تولیدات اولیه، کلروفیل-آ است (۲ و ۵).

مشابه در منطقه مورد مطالعه توسط سایر متخصصین است (۶)، ۲۱، ۲۲ و ۲۶). نتایج این پژوهش نشان‌دهنده دقت قابل قبول نتایج حاصل در مقایسه با داده‌های پژوهش‌های مشابه برکنار سرعت و سهولت روش کار است. با توجه به مسائل مطرح شده نیاز به پایش و مدیریت منابع آبی از لحاظ کمی و کیفی در طول فصول مختلف و بررسی روند کاهش منابع آبی در کشور بسیار مورد نیاز بوده و نیز با توجه به وسعت کشور ایران، علم سنجش‌ازدور کمک بسیار شایان‌ذکری در بحث منابع آبی کشور خواهد داشت (۱۹). بنابراین می‌توان با کمک گرفتن از علم سنجش از راه دور با پایش به موقع پارامترهای کیفی پهنه‌های آبی از ایجاد بحران‌های بزرگ پیشگیری و در هزینه و زمان صرفه‌جویی کرد، مشکلاتی که ممکن است در صورت وقوع برگشت‌ناپذیر باشند. در انتها پیشنهاد می‌شود از سایر روش‌ها و تصاویر ماهواره‌ای حاصل از سایر سنجنده‌های مرتبط مانند تصاویر هایپریون برای تخمین میزان کلروفیل-آ در کنار روش‌های مورد استفاده در این پژوهش استفاده گردد و نتایج حاصل با یکدیگر مقایسه گردد.

تقدیر و تشکر

این مقاله حاصل پایان‌نامه با عنوان "ماکرو جلبک‌ها نشانگر زیستی جهت ارزیابی آلودگی فلزات سمی (روی، کروم، نیکل، مس، آهن و سرب) در سواحل شمالی دریای عمان" در مقطع دکترا در سال ۱۳۹۸ و کد ۲۲۵۷۵ است که با حمایت دانشگاه بیرجند اجراء شده است.

References

1. Acheampong C. 2018. Deriving algal concentration from Sentinel-2 through a downscaling technique: A case near the intake of a desalination plant. *Journal of Geophysical Research* 103: 24937-24953. doi:https://doi.org/10.1029/98JC02160.
2. Bouman HA, Jackson T, Sathyendranath S, Platt T. 2020. Vertical structure in chlorophyll profiles: influence on primary production in the Arctic Ocean. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 378(2181): 20190351. doi:https://doi.org/10.1098/rsta.2019.0351.

۶ و ۷). چون در این منطقه تخلیه رودخانه‌ای وجود ندارد، این مناطق بیشتر تحت تأثیر فرآیندهای هیدرودینامیکی مانند جهت وزش باد و جریان‌های دریایی هستند (۲۱). نتایج حاصل از دو روش یعنی تهیه نقشه کلروفیل-آ با استفاده از الگوریتم بیوپاتیکی OC3 و پلت فرم متن‌باز گوگل ارث انجین نشان از تشابه نتایج در این دو روش داشت، که بر اساس این نتایج میزان کلروفیل-آ بیشتر در بندرها چابهار و کنارک در طی ده سال گذشته و افزایش ایستگاه‌های جود و گواتر در سال‌های اخیر به علت فعالیت‌های انسانی دارد. رشد جمعیت و آلودگی‌های ناشی از تخلیه انواع فاضلاب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی، شیرابه محل‌های دفع زباله و همچنین رواناب‌های سطحی باعث گسترش آلودگی می‌تواند از جمله این عوامل باشد (۱۵).

حداقل میزان غلظت کلروفیل-آ در منطقه مورد مطالعه در ماه می تا سپتامبر مشاهده شد که این تغییرات مخالف نوسانات دمای سطحی آب بود، که می‌تواند به دلیل جریانات بالارونده باشد (۶ و ۹). میزان کربن آلی از مهم‌ترین عوامل کلیدی برای ارزیابی کارکرد بوم‌سازگان آبی است (۳). نتایج حاصل از بررسی میزان کربن آلی نشان داد که مقدار کربن آلی همانند کلروفیل-آ در دو فصل پاییز و زمستان بیشتر از بهار و تابستان بود به طوری که، روند تغییرات کربن آلی نیز از روند تغییرات کلروفیل-آ تبعیت داشت (۳ و ۱۴). بین نوسانات دما و میزان کلروفیل-آ همبستگی وجود دارد، این همبستگی نشان‌دهنده اهمیت دمای سطح آب در تغییرات میزان رشد فیتوپلانکتون‌ها به عنوان یکی از عوامل اقلیمی است (۱۲) و باعث شده است مهم‌ترین پارامتر تأثیرگذار روی کلروفیل-آ، دمای سطحی آب (۱۳) باشد. بر اساس نتایج به دست آمده روند تغییرات دما در ده سال اخیر افزایشی و گرم‌ترین ایستگاه‌ها ایستگاه‌های چابهار و کنارک هستند. از لحاظ شوری نیز مناطقی که شوری کمتری را داشتند دارای میزان کلروفیل-آ بالاتری بودند. مقایسه داده‌های حاصل از این تحقیق با موارد فوق گویای آن است که دامنه نوسانات ثبت شده پارامترهای کیفی مورد بررسی در محدوده طبیعی آب‌های منطقه و دارای همخوانی با مطالعات

3. Cadée GC, Hegeman J. 1991. Phytoplankton primary production, chlorophyll and species composition, organic carbon and turbidity in the Marsdiep in 1990, compared with foregoing years. *Hydrobiological Bulletin*, 25(1): 29-35. doi:<https://doi.org/10.1007/BF02259586>.
4. Cui T, Zhang J, Wang K, Wei J, Mu B, Ma Y, Zhu J, Liu R, Chen X. 2020. Remote sensing of chlorophyll a concentration in turbid coastal waters based on a global optical water classification system. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 163: 187-201. doi:<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.02.017>.
5. Deng Y, Zhang Y, Li D, Shi K, Zhang Y. 2017. Temporal and spatial dynamics of phytoplankton primary production in Lake Taihu derived from MODIS data. *Remote Sensing*, 9(3): 195. doi:<https://doi.org/10.3390/rs9030195>.
6. Gholamalifad M, Ahmadi B, Nouri P. 2020. Remote Sensing Monitoring of Sea Surface Temperature and Chlorophyll-a Variability in the Persian Gulf and Oman Sea: Influential Factors on Net Primary Production. *Fisheries Science and Technology*, 9(4): 305-333. <http://jfst.modares.ac.ir/article-306-49533-en.html>. (In Persian).
7. Gregg WW, Casey NW, McClain CR. 2005. Recent trends in global ocean chlorophyll. *Geophysical Research Letters*, 32(3). doi:<https://doi.org/10.1029/2004GL021808>.
8. Haghparast M, Mokhtarzade M. 2018. Estimation of turbidity and chlorophyll a concentration in the Caspian Sea through time series analysis of satellite images and wavelet neural networks. *Iranian Journal of Remote Sensing & GIS*, 10(1): 91-108. (In Persian).
9. Hernandez O, Jouanno J, Echevin V, Aumont O. 2017. Modification of sea surface temperature by chlorophyll concentration in the Atlantic upwelling systems. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 122(7): 5367-5389. doi:<https://doi.org/10.1002/2016JC012330>.
10. Hu M, Zhang Y, Ma R, Xue K, Cao Z, Chu Q, Jing Y. 2021. Optimized remote sensing estimation of the lake algal biomass by considering the vertically heterogeneous chlorophyll distribution: Study case in Lake Chaohu of China. *Science of The Total Environment*, 771: 144811. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144811>.
11. Huang Y, Jiang D, Zhuang D, Fu J. 2010. Evaluation of hyperspectral indices for chlorophyll-a concentration estimation in Tangxun Lake (Wuhan, China). *International journal of environmental research and public health*, 7(6): 2437-2451. doi:<https://doi.org/10.3390/ijerph7062437>.
12. Irwin AJ, Finkel ZV. 2008. Mining a sea of data: Deducing the environmental controls of ocean chlorophyll. *PLoS one*, 3(11): e3836. doi:<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0003836>.
13. Kavak MT. 2012. Long term investigation of SST regime variability and its relationship with phytoplankton in the Caspian Sea using remotely sensed AVHRR and SeaWiFS data. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 12(3). doi:https://doi.org/10.4194/1303-2712-v12_3_20.
14. Kessouri F, Ulses C, Estournel C, Marsaleix P, d'Ortenzio F, Severin T, Taillandier V, Conan P. 2018. Vertical mixing effects on phytoplankton dynamics and organic carbon export in the western Mediterranean Sea. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 123(3): 1647-1669. doi:<https://doi.org/10.1002/2016JC012669>.
15. Khebri Z, Nejadkoorki F, Sodaie Zadeh H. 2015. The relationship between land use vector parameters and river water quality using GIS (Case study: Zayandehrood river). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 6(1): 79-89. http://girs.iaubushehr.ac.ir/article_516775.html?lang=en. (In Persian).
16. Mahdaviard M, Valizadeh Kamran K, Atazadeh E. 2020. Estimation of chlorophyll-a concentration using ground data and Sentinel-2 and Landsat-8 Satellite images processing (Case study: Tiab Estuary). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 11(1): 72-83. http://girs.iaubushehr.ac.ir/article_672377.html?lang=en. (In Persian).
17. Martin S. 2014. An introduction to ocean remote sensing. Cambridge University Press, illustrated, revised, 496 p.
18. Mascarenhas V, Keck T. 2018. Marine optics and ocean color remote sensing. In: *YOUMARES 8–Oceans Across Boundaries: Learning from each other*, Proceedings of the 2017 conference for YOUnG MARine REsearchers in Kiel, Germany. p 41.
19. Mir Alizadehfard SR, Mansouri S. 2019. Evaluation of indicators of remote sensing measurement in quantitative and qualitative studies of surface water with Landsat-8 satellite images (Case study: South of Khuzestan province). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 10(2): 63-84. http://girs.iaubushehr.ac.ir/article_666799_en.html. (In Persian).
20. Moghadam NK, Motesarezadeh B, Maali-Amiri R, Lajayer BA, Astatkie T. 2020. Effects of potassium and zinc on physiology and chlorophyll fluorescence of two cultivars of canola grown under salinity stress. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(16): 1-8. doi:<https://doi.org/10.1007/s12517-020-05776-y>.

21. Moradi M, Kabiri K. 2015. Spatio-temporal variability of SST and Chlorophyll-a from MODIS data in the Persian Gulf. *Marine pollution bulletin*, 98(1-2): 14-25. doi:<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.07.018>.
22. Nezlin NP, Polikarpov IG, Al-Yamani FY, Rao DS, Ignatov AM. 2010. Satellite monitoring of climatic factors regulating phytoplankton variability in the Arabian (Persian) Gulf. *Journal of Marine Systems*, 82(1-2): 47-60. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2010.03.003>.
23. Papenfus M, Schaeffer B, Pollard AI, Loftin K. 2020. Exploring the potential value of satellite remote sensing to monitor chlorophyll-a for US lakes and reservoirs. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(12): 1-22. doi:<https://doi.org/10.1007/s10661-020-08631-5>.
24. Poddar S, Chacko N, Swain D. 2019. Estimation of Chlorophyll-a in northern coastal Bay of Bengal using Landsat-8 OLI and Sentinel-2 MSI sensors. *Frontiers in Marine Science*, 6: 598. doi:<https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00598>.
25. Reilly JE, Maritorena S, Siegel DA, O'Brien MC, Toole D, Mitchell BG, Kahru M, Chavez FP, Strutton P, Cota GF. 2000. Ocean color chlorophyll a algorithms for SeaWiFS, OC2, and OC4: Version 4. SeaWiFS postlaunch calibration and validation analyses, Part, 3: 9-23.
26. Reynolds RM. 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. doi:[https://doi.org/10.1016/0025-326X\(93\)90007-7](https://doi.org/10.1016/0025-326X(93)90007-7).
27. Simpson JH, Sharples J. 2012. *Introduction to the physical and biological oceanography of shelf seas*. Cambridge University Press, 345 p.
28. Tepanosayn G, Muradyan V, Hovsepyan A, Minasyan L, Asmaryan S. 2017. A Landsat 8 OLI Satellite Data-Based Assessment of Spatio-Temporal Variations of Lake Sevan Phytoplankton Biomass. *Ann Valahia Univ Targoviste Geogr Ser*, 17(1): 83-89. doi:<https://doi.org/10.1515/avutgs-2017-0008>.
29. Toming K, Kutser T, Laas A, Sepp M, Paavel B, Nõges T. 2016. First experiences in mapping lake water quality parameters with Sentinel-2 MSI imagery. *Remote Sensing*, 8(8): 640. doi:<https://doi.org/10.3390/rs8080640>.
30. Vinh PQ, Ha NTT, Binh NT, Thang NN, Oanh L, Thao N. 2019. Developing algorithm for estimating chlorophyll-a concentration in the Thac Ba Reservoir surface water using Landsat 8 Imagery. *VIETNAM Journal of Earth Sciences*, 41(1): 10-20. doi:<https://doi.org/10.15625/0866-7187/41/1/13542>.
31. Watanabe F, Alcantara E, Rodrigues T, Rotta L, Bernardo N, Imai N. 2017. Remote sensing of the chlorophyll-a based on OLI/Landsat-8 and MSI/Sentinel-2A (Barra Bonita reservoir, Brazil). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 90: 1987-2000. doi:<https://doi.org/10.1590/0001-3765201720170125>.



Original
paper

Monitoring of chlorophyll-A, organic carbon, salinity and water surface temperature off the coast of Sistan and Baluchestan using remote sensing data

Elham Shahri, Mohammad Hossein Sayadi, Elham Yousefi

Received: 8 June 2021 / Accepted: 24 August 2021

Available online 5 January 2022

Abstract

Background and Objective The seas and oceans play an important role in climate conditions as well as climate change. In addition, physical and biological phenomena are among the most important factors affecting the chemistry and environment of the sea. Therefore, it is important to know the physical processes that govern the seas and oceans, as well as the correlation between these properties and biological properties. Remote sensing algorithms use a close range of blue, green, yellow, red, and infrared, so monitoring of chlorophyll-A, the phytoplankton pigment of oceanic and coastal waters, can be measured and evaluated using state-of-the-art remote sensing technology.

E. Shahri¹, M. H. Sayadi², E. Yousefi³

1. PhD. Student of Environmental Science and Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, Birjand, Iran
2. Associate Professor, Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, Birjand, Iran
3. Assistant Professor, Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, Birjand, Iran

e-mail: mh_sayadi@birjand.ac.ir

<http://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1400.12.4.6.3>

Materials and Methods In this study, the capability of remote sensing methods has been used to investigate the status of coastal water quality characteristics of Sistan and Baluchestan provinces. For this purpose, the status of chlorophyll-A has been used using OC3 bio-optical algorithms in ENVI as well as the predecessors of the Google Earth Engine platform. Google Earth Engine is an open-source spatial analysis platform that enables users to visualize and analyze planetary satellite images. Using this system, various spectral processes can be performed on different surface phenomena with different satellite data. It is also possible to perform calculations on large volumes of data without the need for high-power systems. The salinity parameter of MIRAS's SMOS satellite was used in SNAP software to investigate the parameters of chlorophyll, temperature, and organic carbon using Terra's MODIS satellite images. The time to be studied in the images used and field sampling is May 2020. In order to extract the concentration of chlorophyll-A, bio-optical algorithms based on blue and green bands (OC3) were used in ENVI software. Bio-optical models combine optical measurements of reflection or radiation with biological parameters such as chlorophyll concentration, water quality, and more.

Water temperature is one of the most important factors in the life of the sea, so those marine animals can survive and reproduce only in a certain range of water temperatures. Therefore, phytoplankton is very sensitive to changes in water temperature and react to temperature. Water level can determine their frequency and distribution. In this study, the product MIR_OSUDP2 of the SMOS satellite of MIRAS on 3rd of May 2020, for the study area from <https://smos-diss.esa.int/> was used.

Results and Discussion The results showed that the amount of chlorophyll-A is higher along the shores and the stations near Joud and the estuary has a higher concentration of chlorophyll-A. The results showed the outputs of two different methods for estimating chlorophyll-A in the study area are similar. Also, according to the results, it is clear that the amount of chlorophyll-A has increased in Chabahar, Konarak, Jude, and Goater stations in recent years. In Chabahar and Konarak regions, this increase has been significant for ten years, and the sudden increase in chlorophyll in recent years in field stations requires more studies to identify the causes and should be considered. The chart below shows the rate of change in chlorophyll-A from 2019 to 2020. According to the results, the amount of organic carbon follows the amount of chlorophyll-A and in areas such as Chabahar and Konarak we see higher levels of organic carbon. Also, the highest increase in temperature in all three periods studied was in Chabahar and Konarak ports, of which human activities are one of the main factors. Also, by examining the ten-year trend, increasing temperature changes can be seen in the ports of Maidan and Jude. The general trend of temperature is decreasing to the east as expected because it is closer to open waters. Seasons when water temperatures are lower, chlorophyll-A levels are higher. Chlorophyll-A map output results by ENVI software and Google Earth Engine platform, chlorophyll-A concentrations were higher in autumn and winter than in spring and summer, high chlorophyll-A-concentrations are common in cold tropical and subtropical seasons. Also, the concentration of chlorophyll-A in the study areas along the coast is higher than the offshore areas, which is related to the chlorophyll-A harvesting

algorithm in type 1 waters; In other words, coastal areas have more value than offshore areas due to shallow depth, high turbidity and suspended sediments. Because there is no river discharge in this area, these areas are mostly affected by hydrodynamic processes such as wind direction and sea currents. The lowest chlorophyll-A concentrations were observed in the region from May to September, which was contrary to fluctuations in water surface temperature, which could be due to rising currents. The amount of organic carbon is one of the most important factors for evaluating the performance of aquatic ecosystems, which determines the potential of ecosystems for fishery products; The results of the study of organic carbon showed that the amount of organic carbon as chlorophyll-A in the two seasons of autumn and winter was higher than spring and summer so that the trend of changes in organic carbon also followed the trend of changes in chlorophyll-A. There is a correlation between temperature fluctuations and chlorophyll-A, this correlation indicates the importance of water surface temperature in changes in the growth rate of phytoplankton as one of the climatic factors and has made the most important parameter affecting chlorophyll-A, water surface temperature. According to the obtained results, the trend of temperature changes in the last ten years is increasing and the hottest stations are Chabahar and Konarak stations. In terms of salinity, areas with lower salinity had higher chlorophyll-A levels. Comparison of the data obtained from this study with the above indicates that the range of recorded fluctuations of the quality parameters studied in the natural waters of the region and is consistent with similar studies in the study area by other experts.

Conclusion The results of this study show the acceptable accuracy of the results compared to the data of similar researchers in addition to the speed and ease of the method. Therefore, with the help of remote sensing science, timely monitoring of the quality parameters of water areas can prevent major crises and save time and money, problems that may be irreversible if they occur.

Keywords: Satellite imagery, Google earth engine (GEE), MODIS, Oman sea