2025, 1(4): 151-156

JAER

Journal of Animal Environmental Reaserch

Journal homepage: http://www.journalaer.com

Research Article

A suitable algorithm for estimating chlorophyll- a using field data and satellite images in the waters of the Persian Gulf (Hormozgan Province)

Fereshteh Saraji [*1], Zahra Mansoori [2], Yousef Mousivand [2], Ali Salarpouri [1], Golamali Akbarzadeh [1], Hadi Kookan [1]

[1] *Persian Gulf and Oman Sea Ecological Research Institute, Iranian Fisheries Science Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Banadar abbas, Iran*

[2] *Iran Space Agency, Tehran, Iran*

Key Words

Chlorophyll a
Satellite Images
Algorithm
Hormozgan Province

Abstract

Introduction: This research was conducted to estimate the concentration of chlorophyll a using field data and satellite images and finding the appropriate algorithm.

Materials & methods: In this research, 22 stations in the waters of the Persian Gulf of Hormozgan province, located on the coast and far from the coast, during December 2019 to December 2014, were examined monthly. Sampling of water to measure chlorophyll a was done using a Rotner bottle from half a meter below the water surface. Sentinel 3 (Sentinel 3) satellite images, which can be downloaded daily from international sites with a delay of up to 3 hours for free, were used. In this research, the difference between the collected ground chlorophyll values and the values obtained from different algorithms was estimated for each pixel.

Results: In the present study, the concentration of chlorophyll a in the coastal waters of Bandar Abbas was 3/391±0/118 and in the areas away from the coast 2/087±0/115 mg/m3, respectively. In coastal waters, chlorophyll a had a higher concentration. According to the field results and comparing different chl a estimation algorithms (OC4, OC5, OC6, OC4ME) and also comparing the results with the chlorophyll products of the European Space Organization OL_2_WFT among the discussed algorithms, the OC4ME algorithm has the highest coefficient of determination (R2) of 0/224 was for chlorophyll a. Based on the available results, the amount of chlorophyll a was estimated for a significant percentage of pixels with a difference of less than 2 mg/m3 compared to the actual values. In the OC4ME method, the values of chlorophyll a were recorded for more than 78% of the pixels with a difference of less than 2 mg/m3 with the actual values, so they had a good relative accuracy. The results showed that the OC4ME algorithm and satellite images received from Sentinel 3 are suitable for determining the density of microalgae through chlorophyll a for the waters of the Persian Gulf (Hormozgan).

Conclusion: It is possible to monitor microalgae blooms with chlorophyll a satellite data and images with greater speed and less cost in coastal management, warning and preventing damages caused by microalgae blooms in the inlet waters of shrimp farms, the waters around fish cages and desalination water are used.

Article info

* Corresponding Author's email:
fereshtehsaraji@gmail.com

Received: 20 February 2024
Reviewed: 22 March 2024
Revised: 24 May 2024
Accepted: 26 June 2024

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-11-15]

[DOI: 10.22034/aer/1.4.151]

مقاله علمی - پژوهشی

الگوریتم مناسب جهت برآورد کلروفیل a با استفاده از داده‌های میدانی و تصاویر ماهواره‌ای در آب‌های خلیج فارس (استان هرمزگان)

فرشته سراجی[1]، زهرا منصوری[2]، یوسف موسیوند[2]، علی سالارپوری[1]، غلامعلی اکبرزاده[1]، هادی کوهکن[1]*

[1] پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بندرعباس، ایران

[2] سازمان فضایی ایران، تهران، ایران

کلمات کلیدی

کلروفیل a
تصاویر ماهواره‌ای
الگوریتم
استان هرمزگان

چکیده

مقدمه: این تحقیق جهت تخمین غلظت کلروفیل a با استفاده از داده‌های میدانی و تصاویر ماهواره‌ای و دستیابی به الگوریتم مناسب مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق ۲۲ ایستگاه در آب‌های خلیج فارس محدوده استان هرمزگان واقع در آب‌های ساحلی و دور از ساحل طی آذر ۱۳۹۹ لغایت دی ۱٤۰۰ به‌طور ماهانه انجام گرفت. نمونه‌برداری از آب جهت سنجش کلروفیل a با استفاده از بطری روتتر از نیم متری زیر سطح آب صورت گرفت. هم‌چنین برای سنجش میزان کلروفیل a و یافتن الگوریتم مناسب از تصاویر ماهواره سنتینل ۳ (Sentinel3) سازمان فضایی اروپا استفاده گردید. در این تحقیق، میزان اختلاف مقادیر برداشت شده زمینی کلروفیل و مقادیر حاصل از الگوریتم‌های مختلف برای هر پیکسل برآورد گردید.

نتایج: در مطالعه حاضرمیزان غلظت کلروفیل a در آب های ساحلی بندرعباس ۰/۱۱۸±۳/۳۹۱ و در مناطق دور از ساحل ۰/۱۱۵±۲/۰۸۷ میلی‌گرم بر مترمکعب به‌ترتیب به‌دست آمد. در آب‌های ساحلی کلروفیل a غلظت بالاتری را نشان داد. نتایج میدانی با الگوریتم‌های مختلف برآورد chl a (OC4,OC5,OC6,OC4ME) و هم‌چنین نتایج با محصولات کلروفیل سازمان فضایی اروپا مقایسه گردید و از بین الگوریتم‌های مورد بحث، الگوریتم OC4ME دارای بیش‌ترین مقدار ضریب تعیین (R2) ۰/۲۲٤ برای کلروفیل a بود. براساس نتایج موجود، میزان کلروفیل a برای درصد قابل توجهی از پیکسل‌ها، با اختلافی کم‌تر از ۲ میلی گرم بر متر مکعب نسبت به مقادیر واقعی برآورد گردید. در روش OC4ME مقادیر کلروفیل a برای بیش از ۷۸ درصد از پیکسل‌ها با اختلافی کم‌تر از ۲ میلی‌گرم بر مترمکعب با مقادیر واقعی ثبت شدندکه دقت نسبی مناسبی را نشان داد. الگوریتم OC4ME و تصاویر ماهواره‌ای دریافت‌شده از سنتینل ۳ جهت تعیین تراکم ریزجلبک از طریق کلروفیل a برای آب‌های خلیج‌فارس (هرمزگان) مناسب‌تر از سایر الگوریتم معرفی گردید.

بحث و نتیجه‌گیری: جهت پایش شکوفایی ریزجلبک می‌توان از تصاویر ماهواره‌ای که غلظت کلروفیل a را نشان می‌دهد با سرعت بیش‌تر و هزینه کم‌تر در امر مدیریت سواحل، هشدار و جلوگیری از صدمات ناشی از شکوفایی ریزجلبک در آب‌های ورودی مزارع پرورش میگو، آب‌های اطراف قفس‌های پرورش ماهی و آب‌شیرین کن‌ها بهره گرفت.

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
fereshtehsaraji@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱ اسفند ۱٤۰۲
تاریخ داوری: ۳ فروردین ۱٤۰۳
تاریخ اصلاح: ٤ خرداد ۱٤۰۳
تاریخ پذیرش: ٦ تیر ۱٤۰۳

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-11-15]

[DOI: 10.22034/aer/1.4.151]

مقدمه

فیتوپلانکتون‌ها (ریزجلبک‌ها) پایه و اساس شبکه و زنجیره غذایی هستند. کلروفیل a به‌عنوان نماینده‌ای از شاخص فراوانی فیتوپلانکتون‌ها در منابع آبی است. غلظت کلروفیل a با فراوانی فیتوپلانکتون‌ها همراه است. بدین منظور استفاده از طول موج‌های مختلف در سنجنده‌های ماهواره‌ای امکان پایش رنگدانه کلروفیل a فیتوپلانکتون‌ها را همواره فراهم نموده است (۱). کلروفیل a، یک شاخص واقعی قابل رویت برای حالت تروفیک اکوسیستم آبی به شمار می رود. سه نمونه کلروفیل (a,b,c) در فیتوپلانکتون ها یافت می شود. معمولاً کلروفیل a اندازه گیری می شود میزان کلروفیلa در منابع آبی، تخمین مناسبی از تولید اولیه، وضعیت چرخه غذایی و پراکنش فیتوپلانکتون‌ها در منابع آبی می‌باشد (۲). غلظت کلروفیل a به‌طور معمول در بررسی کیفیت آب مورد استفاده قرار می گیرد. میانگین غلظت سالیانه کلروفیل a به‌عنوان شاخص کیفی در گزارشات زیست‌محیطی مورد استفاده قرار می گیرد (۳). با توجه به اثرات مخرب شکوفایی مضر ریزجلبکی بر حیات آبزیان، پرندگان دریایی، ساحلی و ...، لزوم پایش پیوسته آب‌های ساحلی به منظور شناسایی ریزجلبک‌های مضر و اقدام به موقع برای کنترل آن‌ها امری ضروری می باشد. در مقایسه با برنامه های نظارت ساحلی و نمونه‌برداری دریایی که انجام می گیرد، تصاویر ماهواره‌ای، پوشش‌های منظم از محدوده‌های وسیع را با قدرت تفکیک مکانی و زمانی مختلف فراهم می‌نمایند که این امر با نمونه‌گیری‌های دریایی بازمان بر و پر هزینه می باشد. هزینه نسبتاً کم این مدل‌ها به‌همراه وسعت پایش در مدت زمان کم، امکان برآورد غلظت ریزجلبک در سطح آب و نظارت متمرکز و مستمر بر آن را فراهم می نماید. بررسی کیفیت آب با استفاده از سنجش از دور نسبت به روش‌های آزمایشگاهی کم هزینه‌تر و سریع‌تر می‌باشد، هم‌چنین در صورت عدم دسترسی به منطقه و عدم توانایی بررسی های میدانی، روش سنجش از دور برای بررسی کیفیت آب روش مناسبی است. استفاده هم‌زمان از دو روش سنجش از دور و آزمایشگاهی میزان دقت کار را افزایش داده و میزان خطا را کم‌تر می کند. استفاده از داده‌های زمینی در کنار تصاویر ماهواره‌ای، برای دستیابی به‌دقت مناسب امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر می‌باشد (۴، ۵). امروزه سنجش‌از دور به عنوان یک ابزار بسیار قوی نقش مهمی در پایش منابع طبیعی ایفا می کند. با توجه به این‌که وسعت بسیار زیادی از سطح زمین پوشیده از آب است، توجه به تغییرات آب‌ها به‌خصوص دریاها و اقیانوس‌ها امری حیاتی می‌باشد. اقداماتی نظیر بررسی کیفیت آب شامل مطالعات بررسی شوری، بررسی مواد معلق و رسوب، بررسی رنگ آب، بررسی فیتوپلانکتون‌ها، میزان کلروفیل و هم چنین مطالعات کمی منابع آب شامل اندازه‌گیری‌های تغییرات عمق و یا ژرفاسنجی منابع آب از جمله اقداماتی است که می‌توان به کمک تصاویر ماهواره‌ای و فنون سنجش از دور به‌انجام رسانید. تاکنون ماهواره‌های مختلفی با مقادیر مختلف رزولوشن مکانی، زمانی و طیفی برای اندازه گیری پراکنش و توزیع ریزجلبک‌ها استفاده شده است (۶). روش‌های میدانی و نمونه‌برداری زمینی با توجه به وسعت بالای مناطق آبی، هم زمان بر و هم هزینه بسیار زیادی خواهد داشت. روش‌های سنجش از دور و تکنیک‌های سنجش از دور، با توجه به توانایی بالا در تکرارپذیری و جامعیتی که دارد می تواند به‌عنوان یک جایگزین مناسب ارایه شود (۷). ماهواره سنتینل ۳، ماهواره اروپایی مشاهده زمین می باشد که توسط آژانس فضایی اروپا در ۱۶ فوریه ۲۰۱۶ به عنوان بخشی از برنامه کوپرنیک توسعه یافته است. سنتینل ۳ با دو ماهواره A و B کل زمین را در دو روز تصویربرداری می کند و تصاویر دریافتی در کم‌تر از سه ساعت پس از دریافت قابل استفاده می‌باشند. اندازه‌گیری رنگ سطح اقیانوس و سطح زمین (تغییرات رنگ آب در اثر آلودگی های مواد معدنی و آلی و تغییرات میزان کلروفیل) توسط این ماهواره صورت می گیرد (۸). از این‌رو بررسی داده‌های میدانی آب های ساحلی و دور از ساحل در استان هرمزگان و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای جهت مقایسه و دست یافتن به الگوریتم مناسب برای آب‌های این منطقه صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی: این تحقیق در آب‌های خلیج فارس محدوده استان هرمزگان با انتخاب ۲۲ ایستگاه از دی‌ماه ۱۳۹۹ لغایت آذر ۱۴۰۰ صورت گرفته است. دوره نمونه برداری ماهانه و سعی شده ساعت نمونه برداری هم‌زمان با زمان گذر ماهواره باشد هر چند با توجه به گستردگی منطقه مورد بررسی و کوتاه بودن زمان گذر ماهواره امکان پوشش کل ایستگاه‌ها در زمان فوق میسر نبوده است. ایستگاه‌ها مبنی بر نقاطی که بیش‌ترین وقوع شکوفایی و کشند قرمز بر اساس داده های سال های قبل را داشتند انتخاب گردیده است. ایستگاه‌ها شامل ۱۱ ایستگاه در آب‌های ساحلی بندرعباس (ایستگاه‌های ۱۲-۲۲)، ۱۱ ایستگاه دریایی (ایستگاه‌های ۱ تا ۱۱) بودند.

پارامترهای مورد بررسی

کلروفیل a: برداشت نیم لیتر آب از نیم‌متری زیر سطح با استفاده از بطری روتنر در ایستگاه‌های مورد نظر به‌عمل آمد. سپس نمونه‌ها با قرار دادن در پودر یخ به آزمایشگاه آب‌شناسی پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان جهت آنالیز منتقل گردید. در آزمایشگاه ابتدا نمونه بر روی کاغذ ۰/۴۵ میکرون صاف و سپس محتویات روی پالایه با استن ۹۰٪ استخراج گردیده و سپس در طول موج‌های ۷۵۰،

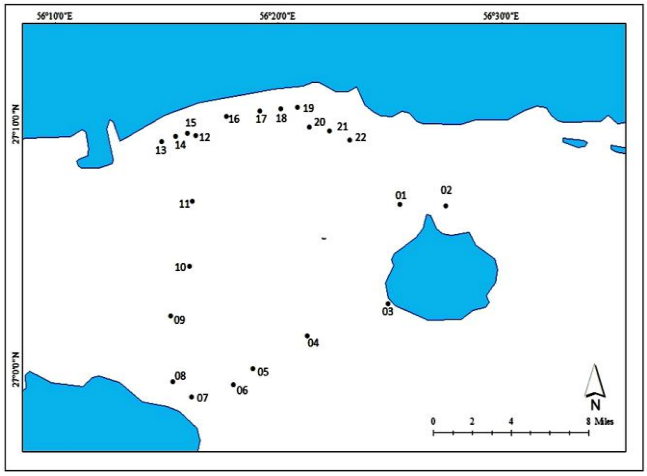
[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-11-15]
[DOI: 10.22034/aer/1.4.151]

۶۶۳، ۶۴۵ و ۶۳۰ با دستگاه اسپکتروفتومترقرائت میزان آن براساس فرمول‌های زیر بر حسب میلی‌گرم بر مترمکعب محاسبه گردید (۹).

کلروفیل= 11.64 E663 - 2.16 E645+0.1E630

=کلروفیل(میلی گرم بر مترمکعب)

حجم نمونه بر حسب مترمکعب / (حجم استن استخراج شده×chla)

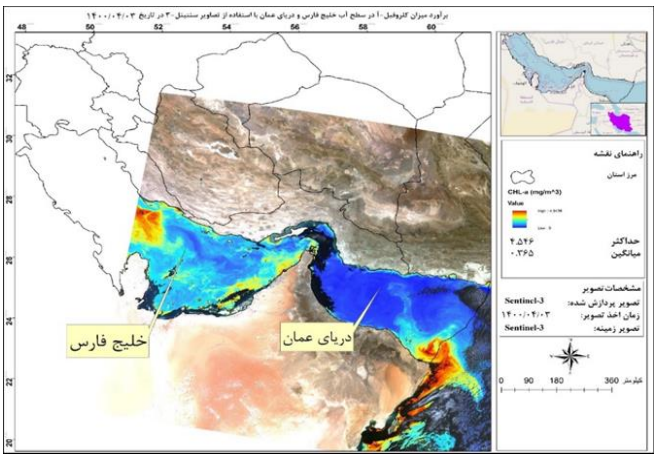


شکل ۱: ایستگاه‌های مورد بررسی در دوره بررسی (۱۴۰۰-۱۳۹۹)

تصاویر ماهواره‌ای: در این مطالعه از تصاویر ماهواره‌ای Sentinel 3 که به‌صورت روزانه از سایت‌های بین‌المللی با تاخیر ۳ ساعته به طور رایگان قابل دانلود می‌باشد، استفاده گردید. تصاویر مورد نیاز از سایت سازمان فضایی اروپا دانلود گردید. این تصاویر دارای توان تفکیک طیفی، زمانی و مکانی مناسب می‌باشند. پس از دانلود تصاویر مورد نیاز مراحل ذیل جهت نقشه کلروفیل صورت گرفت: ۱. زمین مرجع نمودن و حذف خطاهای جمع شدگی تصویر، ۲. حذف ابر و تولید کلروفیل a با الگوریتم‌های موجود از تصاویر ماهواره‌ای، ۳. آماده‌سازی داده های میدانی، ۴. دریافت و آماده سازی داده های مرجع، ۵. استخراج ارزش پیکسل‌های محاسبه شده و مقایسه آن‌ها با مقادیر میدانی برداشت شده، ۶. پیش پردازش و استخراج محصول کروفیل از داده‌های مرجع و ۷. تولید محصول و تهیه نقشه کلروفیل می‌باشد. پردازش داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SNAP (Sentinel Application Platform) صورت گرفت. یکی از نرم‌افزارهای مورد استفاده در زمینه پردازش کلروفیل a تصاویر سنتینل، نرم‌افزار SNAP می‌باشد (۱۰).

نتایج

در مطالعه حاضر میزان غلظت کلروفیل a در آب‌های ساحلی بندرعباس ۰/۱۱۸±۳/۳۹۱ و در مناطق دور از ساحل ۰/۱۱۵±۲/۰۸۷ میلی گرم بر مترمکعب به ترتیب به دست آمد. در آب های ساحلی کلروفیل a غلظت بالاتری را دارا بود. تصویر ماهواره‌ای نیز غلظت بالای کلروفیل a (نوار فیروزه‌ای رنگ) را در آب‌های ساحلی به‌خوبی نشان داد که تطابق با داده‌های میدانی دارد (شکل ۲).



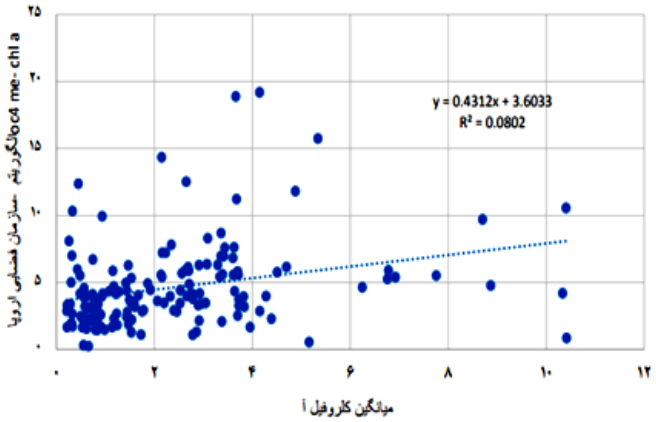
شکل ۲: نقشه میزان غلظت کلروفیل a (میلی‌گرم بر مترمکعب) مورخ ۱۴۰۰/۳/۴ در منطقه مورد مطالعه

پس از استخراج مقادیر کلروفیل a، تصاویر ماهواره ای با الگوریتم های مختلف و مقادیر برداشت شده مقایسه و نمودارهای رگرسیون مربوطه استخراج شد. نتایج ارزیابی داده های میدانی و ماهواره‌ای، الگوریتم‌های به‌کار برده‌شده و همبستگی آن‌ها در اشکال ۳-۷ دیده می‌شود. شکل ۳، نمودار حاصل از مقایسه محصول کلروفیل تولید شده توسط سازمان فضایی اروپا(ESA) به روش OC4me و داده‌های برداشت شده می‌باشد. شکل ۴، برازش داده‌های برداشت شده زمینی میزان کلروفیل a در سطح آب و روش OC4me، شکل ۵، برازش داده‌های برداشت شده زمینی میزان کلروفیل a در سطح آب و روش OC4، شکل ۶، برازش داده‌های برداشت شده زمینی میزان کلروفیل a در سطح آب و روش OC5 و شکل ۷ برازش داده‌های برداشت شده زمینی میزان کلروفیل a در سطح آب و روش OC6 می‌باشد. با توجه به نمودارهای موجود و مقایسه ضریب تشخیص R2 ملاحظه می‌شود نتایج حاصل از الگوریتم OC4me با اعمال ماسک برای ابر و گرد و غبار بهتر از سایر الگوریتم‌ها می‌باشد.از بین الگوریتم‌های مورد بررسی، الگوریتم OC4me با R=۰/۲۲۴ از نتیجه مطلوب‌تری نسبت به سایر الگوریتم‌ها برخوردار بود. از دیگر نتایج مشخص نمودن میزان اختلاف مقادیر برداشت شده و مقادیر حاصل از الگوریتم های مختلف برای هر پیکسل می‌باشد (جدول ۱). همان‌طورکه ملاحظه می‌شود میزان کلروفیل a برای درصد قابل توجهی از پیکسل‌ها، با اختلافی کم‌تر از ۲ میلی‌گرم بر مترمکعب نسبت به مقادیر واقعی برآورد گردیده است. در این میان الگوریتم oc4me نتایج بهتری را ارائه می دهد. نتایج

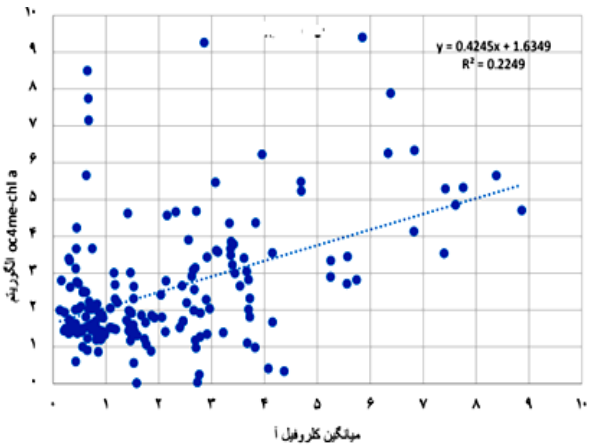
[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-11-15]

[DOI: 10.22034/aer/1.4.151]

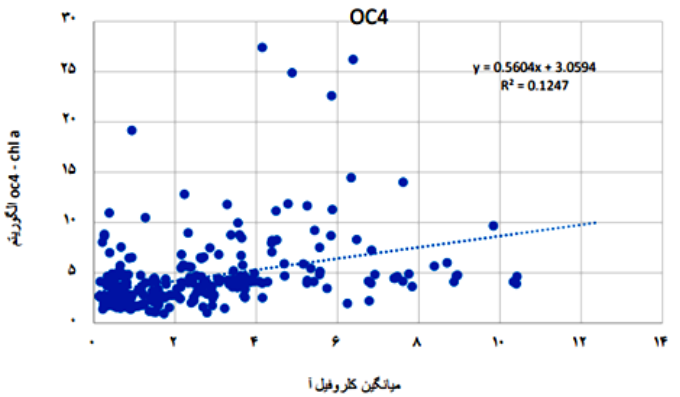
برای اختلاف مقادیر بین ۲ تا ۵ میلی‌گرم بر مترمکعب به‌مراتب بهتر می‌باشد. با توجه به مقادیر جدول ۲ میزان‌دقت نسبی الگوریتم‌ها در جدول ۱ استخراج شده است. به‌عنوان مثال در روش oc4me مقادیر کلروفیل a برای بیش از ۷۸ درصد از پیکسل‌ها با اختلافی کم‌تر از ۲ میلی گرم بر مترمکعب با مقادیر واقعی ثبت شده‌اند، بنابراین از دقت نسبی عالی برخوردار می‌باشند (جدول ۲).



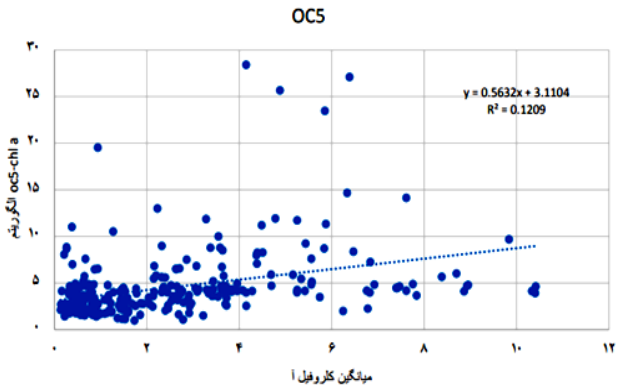
شکل ۳: برازش داده‌های برداشت شده زمینی میزان کلروفیل a در سطح آب و روش OC4me داده‌های سازمان فضایی اروپا



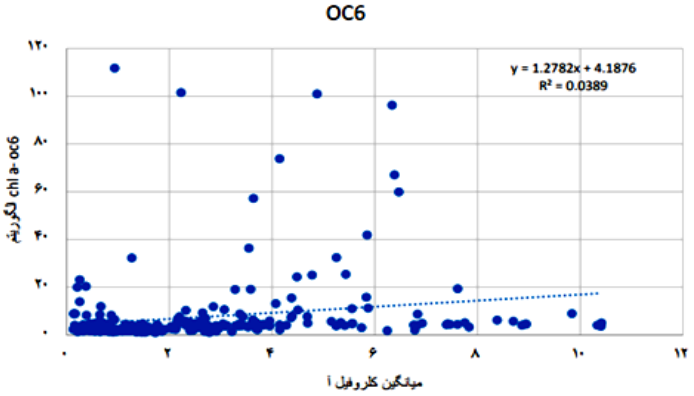
شکل ۴: برازش داده‌های برداشت شده زمینی میزان کلروفیل a در سطح آب و روش OC4me



شکل ۵: برازش داده‌های برداشت شده زمینی میزان کلروفیل a در سطح آب و روش OC4



شکل ۶: برازش داده‌های برداشت شده زمینی میزان کلروفیل a در سطح آب و روش OC5



شکل ۷: برازش داده‌های برداشت شده زمینی میزان کلروفیل a در سطح آب و روش OC6

جدول ۱: مقایسه مقادیر حاصل از الگوریتم با مقادیر برداشت شده

نام الگوریتم	اختلاف مقادیر کلروفیل a حاصل از الگوریتم با برداشت زمینی (میلی‌گرم بر مترمکعب)			تعداد کل نقاط (پیکسل)
	کم‌تر از ۲	بین ۲ تا ۵	بیش‌تر از ۵	
oc4me	۱۴۳	۳۴	۵	۱۸۲
oc4	۱۴۷	۹۳	۳۰	۲۷۰
oc5	۱۴۴	۹۶	۳۰	۲۷۰
oc6	۱۴۸	۷۷	۴۵	۲۷۰

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-11-15]
[DOI: 10.22034/aer/1.4.151]

جدول ۲: برآورد دقت نسبی حاصل از الگوریتم

نام الگوریتم	میزان درصد دقت نسبی برآورد کلروفیل حاصل از الگوریتم		
	عالی	قابل قبول	نامناسب
oc4me	۷۸/۶	۱۸/۷	۲/۷
oc4	۵۴/۴	۳۴/۴	۱۱/۱
oc5	۵۳/۳	۳۵/۹	۱۱/۱
oc6	۵۴/۸	۲۸/۵	۱۶/۷

بحث

در مطالعه حاضر میزان غلظت کلروفیل a در آب‌های ساحلی بندرعباس ۳/۳۹۱±۰/۱۱۸ و آب‌های دور از ساحل بندرعباس ۲/۰۸۷±۰/۱۱۵ به‌دست آمد. در آب‌های ساحلی بندرعباس کلروفیل a غلظت بالاتری دارا بود. تصویر ماهواره‌ای نیز همین نتیجه را تایید نمود (شکل ۲). Ebrahimi و همکاران در بررسی انجام‌داده در سال ۱۳۹۱ در آب‌های استان هرمزگان نشان دادند که میانگین غلظت کلروفیل چه فصلی و چه ماهانه در آب‌های ساحلی بندرعباس از غلظت بالای برخوردار بوده، به‌طوری‌که غلظت آن در اکثر ماه‌های سال از ۲ میلی‌گرم در مترمکعب بیش‌تر بوده و در بعضی از ماه‌ها به ۳ میلی‌گرم در مترمکعب نیز رسیده است که با نتیجه حاضر مطابقت دارد، لذا می‌توان گفت که سواحل بندرعباس در حال تبدیل شدن از الیگوتروف به سمت مزوتروف باشد که علت آن نیز به خاطر ورود مواد مغذی از طریق پساب های شهری و صنعتی می‌باشد (۱۱). مطالعات انجام شده در آب‌های ساحلی بوشهر تا دلوار دامنه تغییرات کلروفیل را ۰/۳ تا ۲/۲ میلی‌گرم بر مترمکعب نشان داد (۱۲). مطالعات انجام‌شده در آب‌های سیستان و بلوچستان نیز نشان داد که در سواحل میزان کلروفیل بیش‌تر است (۱۳). در مطالعات Rabbaniha و همکاران در آب‌های خلیج‌فارس و دریای عمان طی سال‌های ۱۳۹۶، ۱۳۹۷ و ۱۳۹۹ میزان کلروفیل a در ایستگاه‌های ساحلی و دریایی تفاوت معنی‌داری نشان داد. به‌طوری‌که غلظت در آب‌های ساحلی ۱/۱۹±۰/۴۵ و در آب‌های دریایی ۰/۸۳±۰/۳۶ میلی‌گرم بر مترمکعب به‌دست آمد که با نتیجه حاضر هم‌خوانی دارد (۱۴). مقایسه کلروفیل a حاصل از مطالعات میدانی و حاصل از تصاویر ماهواره‌ای نشان داده که مقادیر محاسبه شده در تصاویر ماهواره‌ای نزدیک به مقادیر اندازه‌گیری شده در مطالعات میدانی است (۱۵). مطالعات انجام شده در آب‌های خلیج کادیس (Gulf of Cadiz) در اسپانیا نشان داد که میزان کلروفیل a در ایستگاه‌های نزدیک ساحل (آب‌های کم عمق) بیش‌تر بوده و با پیشروی به سمت دریا و مناطق دور از ساحل کاهش می‌یابد. از نتایج و داده‌های میدانی و تصاویر ماهواره‌ای پژوهش حاصل نیز عملاً همین نتیجه حاصل گردید (۱۶). بارندگی، سیلاب و تخلیه رودخانه‌ها به‌طور قابل توجهی بر غلظت کلروفیل اثر می‌گذارد (۱۷). قابل ذکر است پایین بودن مقدار این ضریب به‌دلیل کم بودن تعداد نمونه‌های برداشت شده در زمان گذر ماهواره و گستردگی منطقه مورد بررسی می‌باشد. تعداد نمونه برداشت شده در سطح آب و پراکندگی آن‌ها و تطابق گذر ماهواره با زمان نمونه‌برداری نقش اساسی در میزان دقت نتایج خروجی دارد. مطالعه توسط Mahdavifard در فروردین سال ۱۳۹۸ به‌منظور تخمین غلظت کلروفیل a از طریق داده‌های میدانی و داده های ماهواره‌ای Sentinel-2 Multi-Spectral Instrument و Landsat-8 OLI و استفاده از الگوریتم‌های بیواپتیکی OC2 و OC3 در خور تیاب واقع در شرق استان هرمزگان به‌عمل آمد. نتایج تحقیق نشان داد که الگوریتم OC2 در ماهواره‌های لندست-۸ و سنتینل-۲ به ترتیب دارای بیش‌ترین مقدار ضریب تعیین (R2) معادل با ۰/۹۱ و ۰/۶۴ بود و هم‌چنین مقدار خطای ریشه میانگین مربعات (RMSe) به‌ترتیب در تصاویر ماهواره‌ای معادل با ۰/۱۳ و ۰/۳۳ بود. این نتایج بیانگر دقت بالای الگوریتم OC2 در تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده است و به‌عنوان مناسب‌ترین الگوریتم برای تهیه نقشه غلظت کلروفیل آ منطقه مورد مطالعه انتخاب شد (۱۸). در نتایج این محقق ماهواره سنتنیل ۳ مورد استفاده قرار نگرفته از این‌رو نتیجه متفاوت و الگوریتم دیگری را پیشنهاد نموده‌اند ولی در تحقیق حاضر از الگوریتم های oc4me, oc4, oc5, oc6 استفاده شده است که oc4me با نتیجه مطلوب و مناسب برای آب‌های خلیج‌فارس محدوده استان هرمزگان به‌دست آمد. نتایج بررسی برازش داده های حاصل از نمونه برداری میدانی کلروفیل a و داده های ماهواره ای با روش های oc4me, oc5, oc6 و oc4meESA نشان داد که لگوریتم OC4me با ضریب R= ۰/۲۲۴ مناسب‌تر از سایر الگوریتم‌ها برای آب‌های خلیج‌فارس (استان هرمزگان) می‌باشد. کلروفیل a برای درصد قابل توجهی از پیکسل‌ها، با اختلافی کم‌تر از ۲ میلی‌گرم بر مترمکعب نسبت به مقادیر واقعی به‌دست آمد. در این میان الگوریتم oc4me نتایج بهتری را ارائه داده و نتایج برای اختلاف مقادیر بین ۲ تا ۵ میلی‌گرم بر مترمکعب به‌مراتب بهتر می‌باشد. گستردگی منطقه مورد بررسی و کوتاه بودن زمان گذر ماهواره سبب گردیده که زمان نمونه‌برداری و بالطبع داده‌های حاصل از نمونه‌برداری میدانی هم‌زمان با زمان گذر ماهواره به اندازه کافی نباشد وسبب ایجاد یک خلا اطلاعاتی گردیده که این خود یکی از علل کاهش ضریب همبستگی بین این دو گروه داده و در این الگوریتم می‌تواند باشد.

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-11-15]

[DOI: 10.22034/aer/1.4.151]

منابع

1. **Woldegiorgis, M.G., 2012.** Quantification of primary production in Wadden Sea using remote sensing and field measurements (Master's thesis, University of Twente). 46 p. (In Persian)
2. **Okati, N., Eynollahi, F. and Ghafari, M., 2019.** Study of Seasonal Changes in Chlorophyll a Concentration in the Water of Chahnimeh Reservoirs in Sistan. *Journal of Environmental Science and Technology*. 2(1): 45-55. (In Persian)
3. **Ward, T.J., Butler, E.C. and Hill, B.J., 1998.** Environmental indicators for national State of the Environment reporting: estuaries and the sea. Canberra, ACT, Environment Australia, Dept. of the Environment.
4. **Nouri, P., Gholamalifard, M. and Saravi, H.N.Z., 2020.** Satellite Monitoring and Spatio -Temporal Variability of Net Primary Productions in the Southern Caspian Sea. Trabiat Modares University. 125 p. (In Persian)
5. **Gholamalifad, M., Ahmadi, B. and 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. (In Persian)
6. **Vinh, P.Q., Ha, N.T., Binh, N.T., Thang, N.N., Oanh, L.T. and Thao, N.T., 2019.** Developing algorithm for estimating chlorophyll-a concentration in the Thac Ba Reservoir surface water using Landsat 8 Imagery. Earth Sci. 41: 10-20. doi: 10.15625/0866-7187/41/1/13542
7. **Kostianoy, A.G. and Kosarev, A.N., 2020.** The Caspian Sea environment. Computing in Science & Engineering. Springer Science & Business Media.
8. **Kravitz, J., Matthews, M., Bernard, S. and Griffith, D.,** Application of Sentinel 3 OLCI for chl-a retrieval over small inland water targets: Successes and challenges. *Remote Sensing of Environment*. 237(2): 111562. doi: 10.1016/j.rse.2019.111562
9. **Regional Organization for the Protection of the Marine Environment. 1999.** Manual of Oceanographic Observations and Pollutant Analyses Methods (MOOPAM). Regional Organization for the Protection of the Marine Environment.
10. **Zuhlke, M., Fomferra, N., Brockmann, C., Peters, M., Veci. L,, Malik, J. and Regner, P., 2015.** SNAP (Sentinel Application Platform) and the ESA sentinel 3 toolbox. InSentinel-3 for Science Workshop. 734: 21 p. Corpus ID: 218062878
11. **Ebrahimi, M., Zarshenas, G.A., Eslami, F., Akbarzadeh, G., Khodadadi Jokar, K., Ayag, R. and Mokhaier, Z., 2013.** Monitoring of algal bloom in Coastal water of the Persian Gulf and Omansea (Hormuzgan provience).58 p. (In Persian)
12. **Omidi, S., Noorinezhad, M., Marzbani, A., Esmaeili, A. and Kaviani, A., 2020.** Investigation on the Fluctuations of Nutrients and Chlorophyll a in Coastal Waters of Bushehr to Delvar. *Journal of Animal Environment*. 12(2): 419-426. (In Persian)
13. **Shahri, E., Sayadi, M.H. and Yousefi, E., 2021.** Monitoring of chlorophyll-A, organic carbon, salinity and water surface temperature off the coast of Sistan and Baluchestan using remote sensing data. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*. 12(4): 119-134. doi: 10. 30495/girs.2021.684236 (In Persian)
14. **Rabbaniha, R., Aeinjamshid, Kh., Khalfeh nilsaz, M., Kamali, I., Mohsenizadeh, F., Fallahi, R., Riazi Otoofat shamsi, Sh.M., Ardestani, R. and Pourabbas, N., 2018.** Study on fluctuations and correlation of chlorophyll-a as primary production indicator with commercial demersal fishes of the Persian Gulf and Oman Sea. 38 p. (In Persian)
15. **Kenarkoohi, M., Ahmadi Nadoushan, M. and Abolhasani, M.H., 2020.** Estimation of Chlorophyll-A Concentration in Choghakhor wetland using remote sensing and in-situ measurements. *Journal of Animal Environment*. 12(3): 475-486. (In Persian)
16. **Navarro, G. and Ruiz, J., 2006.** Spatial and temporal variability of phytoplankton in the Gulf of Cádiz through remote sensing images. *Deep Sea Research Part II: topical studies in oceanography*. 53(11-13): 1241-1260. doi: 10.1016/j.dsr2.2006.04.014
17. **Hendiarti, N., Suwarso, A.E., Amri, K., Andiastuti, R., Sachoemar, S.E. and Wahyono, I.B., 2005.** Pelagic fish catch around Java. *Oceanography*. 18(4): 112-123. doi: 10.5670/oceanog.2005.12
18. **Mahdavifard, M., Valizadeh Kamran, K. and 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. doi: 10.30495/girs.2020.672377 (In Persian)

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-11-15]

[DOI: 10.22034/aer/1.4.151]