Journal of Aquatic Ecology
Volume13, Issue 4
Pages:30-41



Distribution of *Margalefidinium polykrikoides* red tide in the Strait of Hormuz and the Persian Gulf using satellite remote sensing

Samad Hamzei and Emad Koochaknejad*

Department of Ocean Science, Iranian National Institute for Oceanography and Atmospheric Science, Tehran, Iran.

Article Info

Article type: Research

Article history:
Received: 20 October 2019
Accepted: 5 September 2020
Published: 10 March 2024

* Corresponding Author:
emad.koochaknejad@inio.ac.ir

Keywords:
Red tide,
Hormuz Stait,
Margalefidinium polykrikoides,
Distribution,
Remote Sensing.

ABSTRACT

In this study, the MODIS satellite imaging sensor, which is a sensor with a visible band of 36 and an infrared band, was used to produce satellite images of water surface temperature and chlorophyll-a in the Pesrian Gulf and Oman Sea. In addition, field measurements of phytoplankton species density were performed to investigate the pattern of dispersal of red tide events during 2008–2009. Finally, the effect of the current and temperature on the dispersal and expansion of the red tide in the Strait of Hormuz and the Persian Gulf was investigated. Satellite images showed that the *M. polykrikoides*'s red tidal expansion path in the Persian Gulf and Gulf of Oman was in line with the overall water circulation path in the Persian Gulf. In the Gulf of Oman, the structure of oceanic meso-scale eddies has also played a role in red tide dispersion, and it helps to disperse the red tide to the Strait of Hormuz and adjacent Iranian coastal waters in the Persian Gulf. Moreover, the results of this study showed that decreasing water temperature increased the intensity of the red tidal phenomenon.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-10]

بوم‌شناسی آبزیان
شاپا چاپی: ۲۷۵۱-۲۳۲۲ شاپا الکترونیکی: ۹۳۵۵-۲۹۸۰
https://jae.hormozgan.ac.ir
دانشگاه هرمزگان

پراکنش کشند قرمز گونه *Margalefidinium polykrikoides* در تنگه هرمز و خلیج‌فارس به کمک داده‌ها ی سنجش از دور ماهواره‌ای

صمد حمزه‌ئی و عماد کوچک نژاد*
پژوهشکده علوم دریایی، پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی، تهران، ایران

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۷/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۶/۱۵
تاریخ چاپ الکترونیک: ۱۴۰۲/۱۲/۲۰

*** نویسنده مسئول:**
emad.koochaknejad@inio.ac.ir

کلیدواژه‌ها:
کشند قرمز،
تنگه هرمز،
Margalefidinium polykrikoides،
پراکندگی ،
سنجش از دور.

چکیده

در این مطالعه از سنجنده ماهواره‌ای MODIS که یک تصویرساز با قدرت تفکیک مناسب در ۳۶ باند مرئی و فروسرخ است برای تهیه تصاویر ماهواره‌ای دمای سطحی آب و کلروفیل-آ در خلیج فارس و دریای عمان استفاده شد . به علاوه اندازه‌گیری میدانی تراکم گونه‌های فیتوپلانکتونی برای بررسی الگوی پراکنش و گستردگی رویداد کشند قرمز بین سال‌های ۱۳۸۸-۱۳۸۷ انجام شد. در نهایت اثر جریان و دما بر پراکندگی و گسترش کشند قرمز در تنگه هرمز و خلیج‌فارس مورد بررسی قرار گرفت. تصاویر ماهواره‌ای نشان داد که مسیر توسعه و افزایش کشند قرمز از گونه *M. polykrikoides* در خلیج‌فارس و دریای عمان کاملا مطابق با مسیر گردش کلی آب در خلیج‌فارس است. در دریای عمان نیز ساختار پیچک‌های میان مقیاس اقیانوسی در انتقال کشند نقش داشته است و انتقال کشند از دریای عمان به سمت مرکز و شمال تنگه هرمز و هم‌راستا با آب‌های ساحلی ایران وارد خلیج‌فارس شده است. به علاوه، نتایج این مطالعه نشان داد که کاهش دمای آب همزمان با رشد فیتوپلانکتون، باعث افزایش شدت پدیده کشند قرمز شده است

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-10]

مقدمه

پدیده کشند قرمز یا شکوفایی فیتوپلانکتون‌های مضر به تغییر رنگ آب دریا اطلاق می‌شود که طی آن فیتوپلانکتون‌های خاصی شکوفا شده و موجب تغییر در رنگ آب دریا می‌گردند. در دهه‌های اخیرشکوفایی جلبکی مضر به یک مسئله گسترده و پر اهمیت در سراسر آب‌های ساحلی جهان تبدیل شده است (Hallegraeff and Bolch 1992; Smayda, 1990). گونه *Margalefidinium polykrikoides* که در گذشته به نام *Cochlodium polykrikoides* شناخته می‌شد از شاخه Dinoflagellate گونه‌ای بیضوی مارپیچی شکل است که فاقد پوشش کپسولی است و معمولا در زنجیره‌های دو، چهار، هشت و شانزده‌تایی مشاهده می‌شود. یک شیار از راس تا انتهای هر سلول به صورت مارپیچ زنجیر را دربرگرفته است که هر سلول به طول ۳۰–۴۰ میکرون و به عرض ۲۰–۳۰ میکرون است (Gómez *et al*., 2017). این گونه یکی از فیتوپلانکتون‌های ایجادکننده کشند قرمز در بسیاری از مناطق جهان از جمله ژاپن (Yuki and Yoshimatsu, 1989)، خلیج اولبیا، ساردینیا، ایتالیا (Sannio *et al*., 1997)، کره (Kim 1998)، جزیره ونکوور، بریتیش کلمبیا، کانادا (Whyte *et al*., 2001)، خلیج کالیفرنیا، مکزیک (Gárate-Lizárraga, 2000)، مصب پکونیک و خلیج شینکوک، نیویورک (Gobler *et al*., 2008; Nuzzi 2004)، کالیفرنیا، ایالات متحده (Curtiss *et al*., 2008) رود آیلند (Smayda, 2008)، فیلیپین (Azanza *et al*., 2008) و صباح در مالزی (Anton *et al*., 2008) بوده است. فاجعه بارترین شکوفایی این گونه‌ها در آب‌های شرقی کره جنوبی در نزدیکی سواحل بندر بوسان و پوهانگ در منطقه جنوب غربی دریای ژاپن در سال ۱۹۹۵ رخ داد که در آن مرگ ماهی‌های شیلاتی، پرورشی و صدف منجر به زیان اقتصادی حدود ۹۵ میلیون دلار (Kim *et al*., 2000) شد.

در مناطق مختلف خلیج‌فارس و دریای عمان شکوفایی گونه‌هایی از دیاتومه‌ها در مقاطع مختلف به صورت فصلی گزارش شده است. که عمدتا در فصول سرد سال و از گونه نُکتولیکا (*Noctolica*) بوده است. بر اساس تحقیقات پژوهشکده اکولوژی خلیج‌فارس و دریای عمان از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۵ گونه‌های مختلفی در آبهای استان هرمزگان شکوفا شده‌اند که سه گونه نیتْزشیا (*Nitzschia*)، نُکتولیکا (*Noctolica*) و ناویکولا (*Navicula*) بیشترین فراوانی را داشته‌اند (Hamzehei, 2012).

در منطقه خلیج‌فارس و دریای عمان برای اولین بار شکوفایی گونه *M. polykrikoides* در شهریور ۱۳۸۷ در جنوب دریای عمان گزارش شد (Richlen *et al*., 2010). پس از آن کشند قرمز در تنگه هرمز و خلیج‌فارس مشاهده شد که در مجموع این رخداد بیش از ۹ ماه به طول انجامید. و منجر به مرگ بیش از ۳۲ تن ماهی (Zarshenas *et al*., 2015) و بسته شدن تعدادی از آب شیرین‌کن‌ها در کشورهای منطقه شد.

اگرچه اندازه‌گیری‌های میدانی برای بررسی پدیده کشند قرمز امری ضروری است اما تشخیص میزان گستردگی و پراکنش آن به روش میدانی پرهزینه و زمان‌بر است. استفاده از سنجش از دور در کنار اندازه‌گیری‌های میدانی می‌تواند اطلاعات ارزشمندی در مورد نحوه گسترش، پراکندگی و مشاهده سریع کشند قرمز در اختیار پژوهشگران قرار دهد (Schofield *et al*., 1999). این روش بر اساس میزان و کیفیت نور منعکس شده از سطح دریا و این واقعیت عمل می‌کند که فیتوپلانکتون‌ها به شدت تحت تاثیر خواص اپتیکی آب‌های طبیعی هستند و هنگامی‌که به غلظت کافی می‌رسند از طریق تغییر رنگ آب، امکان تشخیص آن‌ها با روش‌های زیست نوری ممکن می‌شود (Roesler and McLeroy-Etheridge 1998).

در این مطالعه با استفاده از اندازه‌گیری میدانی، تراکم گونه *Margalefidinium polykrikoides* و داده‌های سنجنده‌های MODIS و MERIS و SeaWiFS از ماهواره‌های AQUA و TERRA، الگوی پراکنش و گستردگی رویداد کشند قرمز سال‌های ۱۳۸۷–۱۳۸۸ و اثر جریان و دما بر پراکندگی این گونه در تنگه هرمز و خلیج‌فارس مورد بررسی قرار گرفت.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-10]

مواد و روش‌ها

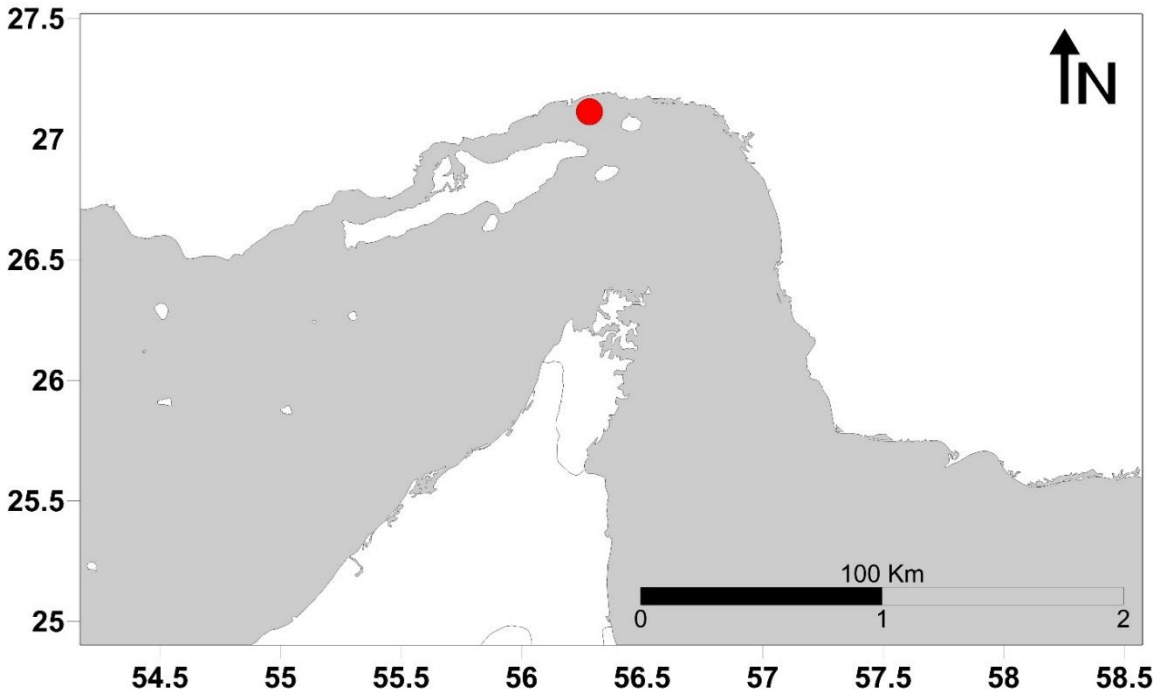
منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق محدوده عملکرد کشند قرمز در خلیج‌فارس و دریای عمان، حد فاصل مختصات جغرافیایی (۲۱/۰ – ۶۴/۷) در جنوب‌شرق تا (۲۹/۶ –۴۹/۱۱) در شمال‌غرب است. همچنین محل نمونه برداری میدانی در موقعیت جغرافیایی "۴۸ ´۰۶ °۲۸ و "۲۹ ´۱۲ °۵۶ ساحل بندرعباس در مکانی که محل ورود فاضلاب شهری به دریا است و اثرات کشند قرمز قابل رویت بوده است در فاصله سه کیلومتری از ساحل و در شمال تنگه هرمز انتخاب شد (شکل ۱).

تعیین فراوانی فیتوپلانکتون‌ها (نمونه‌برداری میدانی)

نمونه برداری‌ها به صورت ماهیانه از مهر ۱۳۸۷ تا اردیبهشت ۱۳۸۸ در ساعات اولیه روز انجام شد. سه نمونه یک‌لیتری از سطح دریا با استفاده از بطری نیسکین (Niskin) جهت تعیین تراکم فیتوپلانکتون‌ها برداشته شد. دمای آب سطحی توسط دماسنج Hach اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها در ظروف تیره و در یخچال نگهداری شد تا به آزمایشگاه پژوهشکده اکولوژی خلیج‌فارس و دریای عمان در بندرعباس انتقال داده شوند. تعیین تراکم فیتوپلانکتون‌ها بلافاصله پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه انجام گرفت.

شمارش با استفاده از یک میکروسکوپ معکوس (مدل CK40، Olympus) انجام شد و تعیین میزان سلول بر اساس تعداد سلول در یک لیتر محاسبه گردید. تعیین تراکم فیتوپلانکتون‌ها در هر ایستگاه با سه بار تکرار انجام شد و داده‌ها ی غیر قابل اعتماد حذف شدند. سایر گونه‌های فیتوپلانکتونی موجود در نمونه‌ها تنها تعیین فراوانی شدند و عملیات شناسایی بر روی آن‌ها صورت نگرفت.



شکل ۱. منطقه نمونه‌برداری از فیتوپلانکتون‌ها در تنگه هرمز، ساحل بندرعباس. سال ۸۸-۱۳۸۷

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-10]

سنجش از دور

در این مطالعه از سنجنده ماهواره‌ای MODIS (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer) که یک تصویرساز با قدرت تفکیک متوسط و جاروبگر رنگ مناطق ساحلی روی ماهواره‌های آکوا و ترا می‌باشد و برای تهیه مشاهدات با قدرت تفکیک ۱ km – ۰/۲۵ در ۳۶ باند مرئی و فروسرخ طراحی شده است، استفاده شد. مدار و هندسه این سنجنده به گونه‌ای است که هر نقطه روی زمین در هر یک روز یا دو روز یکبار قابل مشاهده است. در این سنجنده گستره وسیعی از فرایندهای اقیانوسی، جوی و سطح زمین قابل مشاهده است. در استفاده از الگوریتم‌های اقیانوسی، از ۲۱ باند طیفی این سنجنده استفاده شد. در شناسایی پدیده کشند قرمز یا شکوفایی مضر پلانکتونی(HABs) به وسیله سنجنده‌ها ی ماهواره‌ای، میتوان از طریق تغییر رنگ آب و یا مشاهده میزان کلروفیل موجود در آب به این هدف دست یافت. در این تحقیق با استفاده از سنجنده‌ها ی MODIS، MERIS و SeaWiFS که آشکارساز پارامترهای دریایی هستند و با ملاحظه تغییرات پارامتر کلروفیل، دمای آب و تغییر رنگ آب در نواحی خلیج‌فارس، تنگه هرمز و دریای عمان، میزان تغییر در تراکم و غلظت جلبک‌های عامل کشند قرمز بررسی شد و با توجه به تغییرات روزانه این پارامتر و ارزیابی مسیر حرکت، نحوه توسعه آن مورد ارزیابی قرار گرفت. داده‌های سنجنده‌ها در سطوح ۰ و ۱ دارای خطاهای متفاوتی هستند که جهت بهره برداری از این داده‌ها باید این خطاها را به حداقل ممکن رساند؛ به همین منظور باید تصحیحاتی مانند تصحیحات رادیومتری، تصحیحات هندسی و تصحیحات جوی را روی داده‌ها انجام داد. خطای نوار شدگی یا راه‌راه‌شدگی (Line striping noise) از جمله خطاهای رادیومتری است که به دلیل عدم عملکرد همزمان تک تک آشکارسازهای طیف‌های طول موجی در سنجنده‌ها ظاهر می‌شود. سه نوع راه‌راه‌شدگی عمده در سنجنده MODIS شامل راه‌راه‌شدگی آشکارساز به آشکارساز، راه‌راه‌شدگی لبه آینه سنجنده و راه‌راه‌شدگی ناشی از نویز می‌باشد. با استفاده از روش‌های تطبیق هیستوگرام، میان‌یابی و فیلترهای فرکانسی این خطاها قابل رفع می‌باشد. خطای هندسی بوتای (Bowtie) یک خطای هندسی متداول در سنجنده‌های اقیانوسی است که به دلیل زیاد بودن زاویه دید به وجود می‌آید و باید تصحیح گردد. به عنوان مثال در سنجنده مودیس زاویه دید بین ۵۵– تا ۵۵+ است که باعث می‌شود این خطا بسیار زیاد باشد. جهت تصحیح این خطا از بسته نرم افزاری مودیس تولز (MODIS tools) استفاده می شود.

به دلیل جذب شدید آب، تابش برخاسته از آب دریا تنها می تواند ۱۰ تا ۱۵ درصد تابش کل اندازه گیری شده را تشکیل دهد. این امر باعث می‌شود اطلاعاتی از جو و ذرات آن نیز به همراه تابش برخاسته از آب باشد (Hu *et al*., 2001). از این رو برای رسیدن به اطلاعات قابل بهره‌برداری باید تصحیحات جوی روی داده‌های سنجنده‌ها انجام شود. رابطه (۱) مربوط به سنجش از دور انعکاسی محاسبه شده در سنجنده برای هر طول موج (λ) است که از تابش برخاسته از آب $L_w(\lambda)$، تابش خورشیدی پایین سو $E_d(\lambda)$، مجموع ضریب پراکندگی $b_b(\lambda)$ و ضریب جذب $a(\lambda)$ در طول موج λ به دست می‌آید (Kirk, 1994):

$$R_{rs}(\lambda) = L_w(\lambda) / E_d(\lambda) \approx 0.083 \{b_b(\lambda) / a(\lambda)\} \quad (۱)$$

در این رابطه، $R_{rs}(\lambda)$ ضریب سنجش از دور انعکاسی، $L_w(\lambda)$ تابش برخاسته از آب در طول موج λ، $E_d(\lambda)$ تابش خورشیدی پایین سو، $b_b(\lambda)$ مجموع ضریب پراکندگی و $a(\lambda)$ ضریب جذب است.

رابطه (۲) نحوه محاسبه مجموع ضریب پراکندگی در طول موج λ با استفاده از مجموع ضریب پراکندگی ناشی از ذرات مولکول‌های آب و ضریب پراکندگی ناشی از فیتوپلانکتون‌ها در طول موج λ محاسبه می‌گردد. همچنین در رابطه (۳) ضریب جذب در طول موج λ به کمک ضرایب جذب ناشی از ذرات مولکول‌های آب (w)، ناشی از فیتوپلانکتون‌ها و تخریب آنها (p) و ناشی از مواد محلول حل شده در آب (CDOM) محاسبه می‌گردد:

$$b_b(\lambda) = b_{bw}(\lambda) + b_{bp}(\lambda) \quad (۲)$$

$$a(\lambda) = a_w(\lambda) + a_p(\lambda) + a_{CDOM}(\lambda) \quad (۳)$$

هر یک از اندیس‌های w ناشی از ذرات ملکول‌های آب، p ناشی از فیتوپلانکتون‌ها و تخریب جلبک‌ها و CDOM ناشی از مواد محلول رنگی حل شده در آب است (Smith and Baker 1981).

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-10]

با استفاده از داده‌های ماهواره‌های سنجنده های MODIS استفاده از الگوریتم‌های خاصی که کار ترکیب طیفی را انجام میدهد با استفاده از نرم افزارهای (SeaWiFS Data Analysis System) SeaDAS و BEAM به خروجی طیفی مناسبی جهت شناسایی کشند قرمز و میزان غلظت آن در هر ناحیه و گسترش آن در نواحی مختلف به دست می‌آید که در این تحقیق به آن پرداخته شده است.

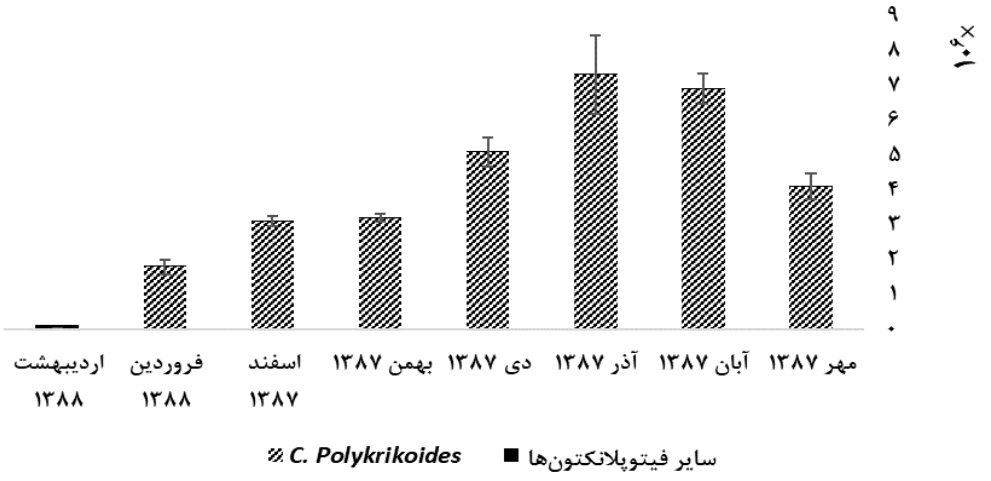
جدول ۱ - الگوریتم استفاده شده در تعیین کلروفیل آب دریا برای سنجنده MODIS بر اساس رابطه رایلی (Reilly) (۱۹۹۸)

OC3M	$chl\ a\ (\mu g/L) = 10^{(a_0 + a_1R + a_2R^2 + a_3R^3 + a_4R^4)}$
نسبت باند	$R=\log [(\max (Rrs443, Rrs488))/Rrs551)$
aضرایب	a= [0.283, -2.753, 1.457, 0.659, -1.403]

با توجه به اهداف، تحقیق نرم‌افزارهای مختلفی جهت داده‌پردازی مورد استفاده قرار گرفته است و خروجی آن شامل الگوریتم‌هایی برای تخمین کلروفیل-آ، دما و کربن آلی و چندین شاخص که در تشخیص پدیده کشند قرمز قابل استفاده است، می‌باشد. در شناسایی پدیده کشند قرمز یا شکوفایی مضر پلانکتونی (HABs) به وسیله ماهواره، می‌توان از طریق تغییر رنگ آب و یا مشاهده میزان کلروفیل موجود در آب به این هدف دست یافت. با ملاحظه تغییرات پارامتر کلروفیل، دمای آب و تغییر رنگ آب در نواحی خلیج‌فارس، تنگه هرمز و دریای عمان میزان تغییر در تراکم و غلظت جلبک‌های عامل کشند قرمز بررسی می‌شود و با توجه به تغییرات روزانه این پارامتر و ارزیابی مسیر حرکت، نحوه توسعه آن مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. برای تعیین کلروفیل آب دریا توسط سنجنده MODIS از الگوریتم OC3M و OC2 بر اساس رابطه رایلی استفاده شد (O'Reilly *et al*., 1998).

نتایج

تراکم گونه *M. polykrikoides* و سایر فیتوپلانکتون‌ها به صورت ماهانه در طول دوره مطالعه اندازه‌گیری شد. شکل ۲ تراکم *M. polykrikoides* را در مقایسه با سایر گونه‌های فیتوپلانکتونی در ایستگاه بندرعباس نشان می‌دهد. تراکم *M. polykrikoides* در آذر ماه (۷/۳ میلیون در لیتر) در حداکثر مقدار خود بوده است که پس از آن روند کاهشی داشته و در اردیبهشت ماه (۱۲ هزار در لیتر) به حداقل مقدار خود در طی مدت مطالعه رسیده است.

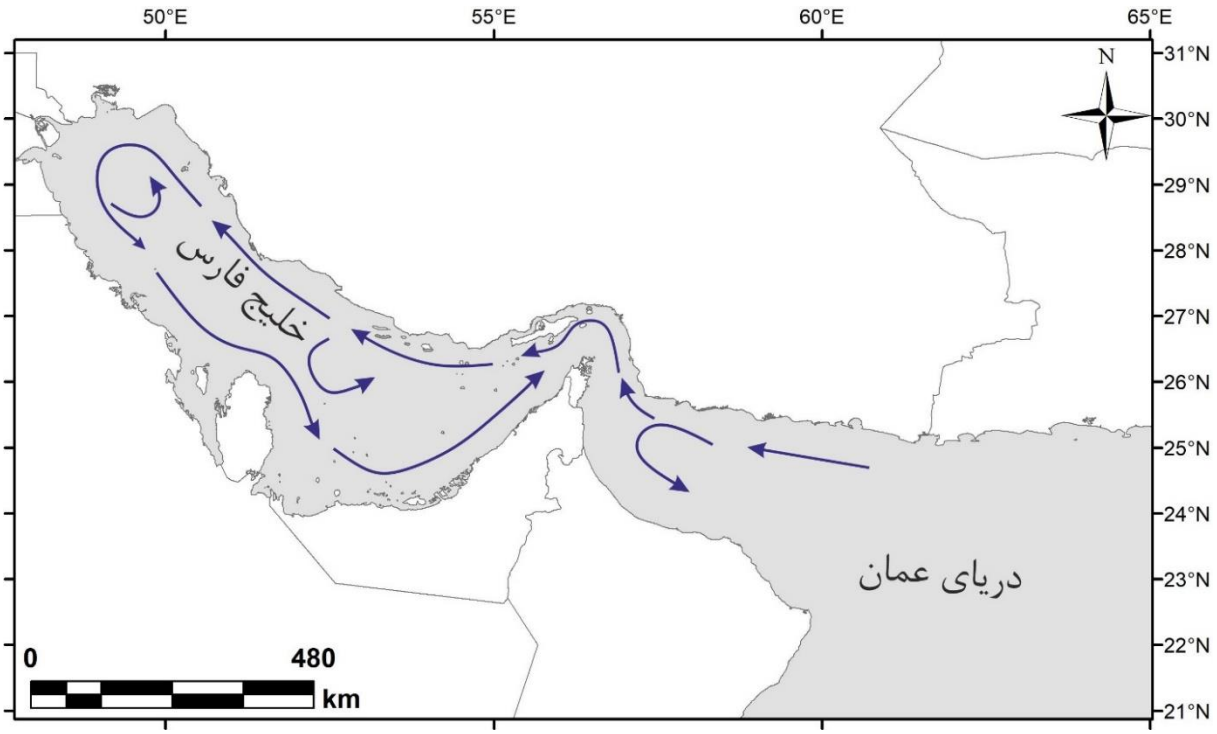


شکل ۱.تراکم گونه *M. polykrikoides* از مهر ۱۳۸۷ تا اردیبهشت ۱۳۸۸ در مقایسه با سایر فیتوپلانکتون‌ها در ساحل بندرعباس

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-10]

داده‌های اندازه‌گیری شده میدانی در ایستگاه بندرعباس نشان می‌دهد که تراکم گونه *M. polykrikoides* روند میزان افزایش و کاهش گونه تقریبا با یک الگوی متقارن شکل گرفته است. تطابق این داده‌ها با تصاویر ماهواره‌ای ماهیانه دما و کلروفیل-آ در بخش‌های بعدی نشان می‌دهد که داده‌های ماهواره‌ای از کیفیت لازم برای پردازش پدیده‌هایی مانند کشند قرمز رخ داده در خلیج‌فارس و دریای عمان برخوردار هستند.

در جدول‌های ۲ و ۳ به ترتیب مقادیر بیشینه، کمینه و میانگین دما و کلروفیل-آ اندازه‌گیری شده توسط سنجنده MODIS در کل منطقه مورد مطالعه و در ماه‌های مختلف ارائه شده است. بیشترین دمای سطحی آب درخلیج‌فارس در مهرماه و کمترین دما در بهمن‌ماه (۱۲/۳۴ درجه سانتی‌گراد) مشاهده شد. بیشترین و کمترین مقدار کلروفیل-آ به ترتیب در ماه‌های آذر (۶۹) در خلیج‌فارس و اردیبهشت (۰/۱۸) در دریای عمان مشاهده شد.



شکل ۲. طرح شماتیک جریانات سطحی غرب دریای عمان، تنگه هرمز و خلیج‌فارس (Kämpf and Sadrinasab 2006) و (Pous *et al.*, 2012)

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-10]

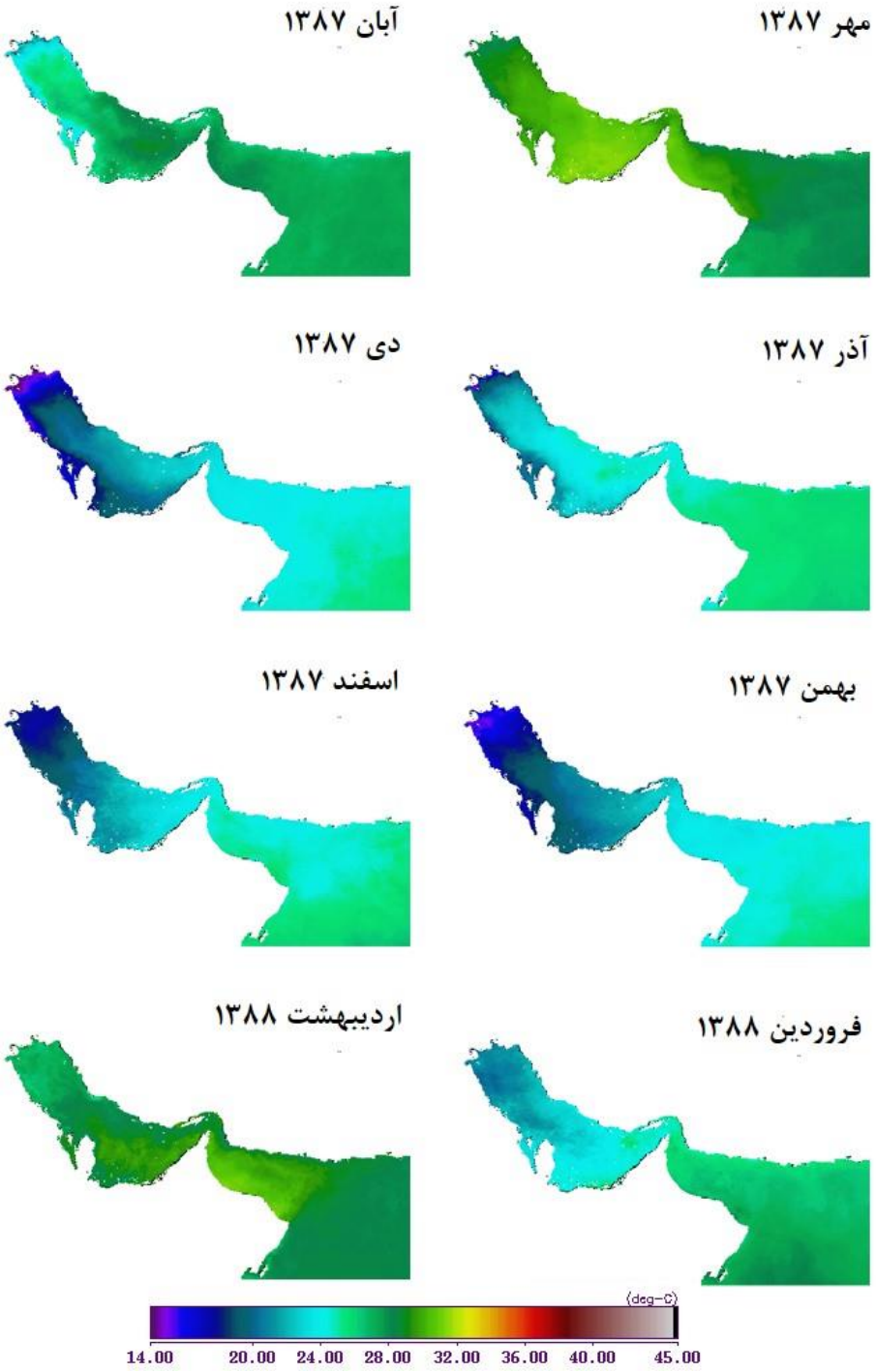
جدول ۲. مقادیر بیشینه، کمینه و میانگین دما در ماه‌های مختلف در خلیج‌فارس، دریای عمان و تنگه هرمز در دوره کشند قرمز سال ۱۳۸۷-۱۳۸۸

	دریای عمان			تنگه هرمز			خلیج‌فارس		
	میانگین	بیشینه	کمینه	میانگین	بیشینه	کمینه	میانگین	بیشینه	کمینه
مهر۸۷	۲۹/۳۷	۳۱/۸۵	۲۷/۵۹	۳۰/۳۵	۳۴/۱۱	۲۸/۱۹	۳۰/۱۸	۳۴/۹۱	۲۴/۹۱
آبان۸۷	۲۷/۳۵	۲۹/۸۴	۲۴/۴۷	۲۷/۳۳	۲۹/۳۷	۲۳/۷۶	۲۶/۲۴	۲۹/۵۹	۱۸/۹۴
آذر۸۷	۲۵/۱۶	۲۶/۸۹	۲۱/۵۹	۲۴/۳۰	۲۶/۰۴	۱۹/۹۰	۲۲/۴۹	۲۹/۱۸	۱۴/۱۱
دی۸۷	۲۳/۷۸	۲۵/۸۸	۲۱/۰۳	۲۲/۷۹	۲۵/۷۷	۱۸/۴۴	۱۹/۴۸	۲۴/۴۵	۱۲/۵۰
بهمن۸۷	۲۳/۷۵	۲۶/۶۳	۱۹/۶۳	۲۲/۵۷	۲۳/۹۰	۱۹/۳۲	۱۹/۱۹	۲۳/۵۲	۱۲/۳۴
اسفند۸۷	۲۴/۰۷	۲۶/۳۷	۲۳/۵۶	۲۴/۰۹	۲۶/۱۴	۲۰/۷۸	۲۰/۶۴	۲۷/۱۶	۱۵/۰۲
فروردین ۸۸	۲۶/۲۲	۳۰/۱۷	۲۲/۴۰	۲۵/۰۱	۲۷/۴۶	۲۲/۱۳	۲۲/۶۲	۲۹/۷۳	۱۷/۸۴
اردیبهش ت ۸۸	۲۹/۸۷	۳۲/۰۱	۲۶/۹۹	۲۹/۳۲	۳۲/۱۷	۲۵/۲۲	۲۸/۲۸	۳۳/۴۵	۲۱/۴۷

جدول ۳. مقادیر بیشینه، کمینه و میانگین کلروفیل-آ در ماه‌های مختلف در خلیج‌فارس، دریای عمان و تنگه هرمز در دوره کشند قرمز سال ۱۳۸۷-۱۳۸۸

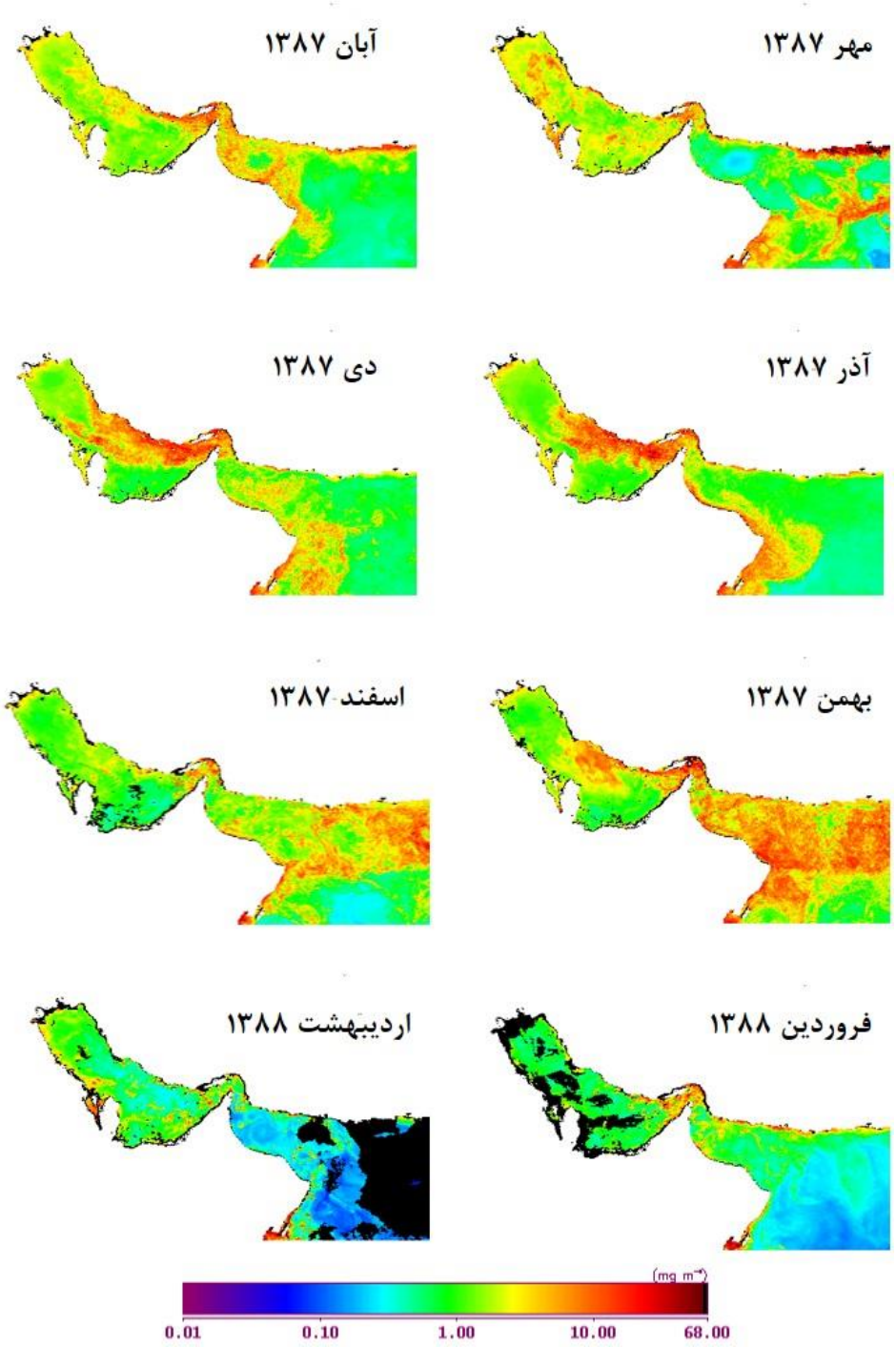
دریای عمان			تنگه هرمز			خلیج‌فارس			
میانگین	بیشینه	کمینه	میانگین	بیشینه	کمینه	میانگین	بیشینه	کمینه	
۱/۲٤	۶۱/۷۲	۰/۲۱	۴/۱۳	۳۷/۲۲	۰/۴۱	۲/۶۷	۲۶/۹۹	۰/۷۳	مهر۸۷
۲/۹۵	۳۶/۹۹	۰/۴۳	۶/۱۹	۵۰/۷۹	۰/۶۷	۲/۱۹	۴۱/۷۳	۰/۷۱	آبان۸۷
۱/۷۷	۴۴/۰۷	۰/۶۳	۶/۲۲	۳۸/۵۴	۰/۸۴	۳/۶۴	۶۹/۰۰	۰/۷۲	آذر۸۷
۲/۲۲	۶۱/۱۶	۰/۵۰	۶/۷۱	۴۸/۴۴	۰/۶۳	۳/۲۵	۴۶/۵۵	۰/۵۷	دی۸۷
۵/۵٤	۲۲/۷۳	۰/۶۴	۷/۴۷	۶۶/۱۷	۰/۷۸	۲/۳۳	۳۷/۶۴	۰/۴۰	بهمن۸۷
۲/۲۰	۳۱/۶۱	۰/۵۱	۳/۹۲	۴۴/۶	۰/۴۴	۱/۳۳	۱۳/۳۲	۰/۳۶	اسفند۸۷
۱/٤۹	۴۶/۲۳	۰/۲۹	۴/۲۲	۵۲/۵۱	۰/۳۶	۱/۰۵	۴۹/۳۶	۰/۳۶	فروردین۸۸
۰/۸۹	۱۹/۴۸	۰/۱۸	۲/۸۸	۳۸/۶۲	۰/۲۴	۱/۲۳	۲۰/۵۴	۰/۲۸	اردیبهشت ۸۸

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-10]



شکل ۳. میانگین ماهیانه دمای سطح آب (SST) از مهر ماه ۱۳۸۷ تا اردیبهشت ۱۳۸۸ با استفاده از سنجنده MODIS ماهواره Aqua

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-10]



شکل ٤. میانگین ماهیانه کلروفیل-آ از مهر ماه ۱۳۸۷ تا اردیبهشت ۱۳۸۸ با استفاده از سنجنده MODIS ماهواره Aqua

بحث

با در اختیار داشتن میانگین‌های ماهیانه دما و کلروفیل-آ در دوره رخداد کشند قرمز در خلیج‌فارس و دریای عمان (شکل ۴ و ۵)، می‌توان بسیاری از حرکات و رفتارهای این شکوفایی فیتوپلانکتونی را مورد ارزیابی قرار داد و با توجه به موقعیت‌های جغرافیایی و شرایط زیست محیطی هر منطقه، به ارزیابی رفتار آن در پاسخ به پارامترهای افزایش دهنده و محدود کننده آن در مناطق مختلف پرداخت. شکل‌های ۴ و ۵ میزان تراکم کلروفیل-آ و دما را از مهر ماه ۱۳۸۷ نشان می‌دهد که کلروفیل موجود در آب افزایش

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-10]

یافته است و محدوده تنگه هرمز را فرا گرفته است. با توجه به شرایط اقلیمی و جریان‌های فصلی تنگه هرمز به نظر می‌رسد با کاهش آرام دما شرایط رشد فیتوپلانکتون *M. polykrikoides* فراهم شده است. تصاویر ماهواره‌ای پراکندگی اندک با افزایش کلروفیل را نشان می‌دهد و دما در این نواحی در حدود ۳۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد . تراکم کلروفیل-آ از سنجنده‌های MODIS در آبان ماه ۱۳۸۷ نشان می‌دهد که کلروفیل موجود در آب افزایش یافته است و تقریبا کل محدوده شمال تنگه هرمز را فرا گرفته است (شکل ۵). با توجه به شرایط اقلیمی و جریان‌های فصلی تنگه هرمز، به نظر می‌رسد با کاهش دما شرایط رشد پلانکتون *M. polykrikoides* فراهم شده است (شکل ۴). تصاویر ماهواره‌ای در این دوره، کشیدگی یک نوار متراکم جلبکی در طول سواحل شمالی و محدوده مرکزی تنگه هرمز را نشان می‌دهد. تمایل بیشتر جلبک به خط ساحلی و تراکم بیشتر در مناطق مرکزی تنگه هرمز از مشخصه‌های این دوره زمانی است. در دریای عمان نیز یک پیچک میان مقیاس باعث حرکت توده جلبکی از جنوب به شمال دریای عمان شده است (شکل ۵) که در شمال دریای عمان روی نوار ساحلی دیده می‌شود. کاهش دما در این مدت تا ۲۸ درجه سانتی‌گراد در نواحی شمالی و مرکزی تنگه هرمز مشهود است. شکل ۵ در آذر ماه ۱۳۸۷ رشد قابل توجهی از میزان تراکم جلبکی را نشان می‌دهد. در این مدت تراکم جلبک *M. polykrikoides* تقریبا تمام مناطق ساحلی استان هرمزگان را در بر می‌گیرد. در این ماه شکوفایی فیتوپلانکتونی محدوده وسیعی شامل محدوده مرکزی، جنوبی و سواحل شمالی دریای عمان، تنگه هرمز و سواحل استان هرمزگان در خلیج‌فارس را در برگرفته است. در این دوره کاهش دمای آب از ۲۸ تا ۲۶ درجه سانتی‌گراد شرایط رشد جلبک‌ها را فراهم می‌کند. با تکثیر و گسترش توده فیتوپلانکتونی به محور مرکزی خلیج‌فارس حد فاصل عسلویه در ایران و شبه جزیره قطر در اواسط آذرماه، بخشی از این توده همراه با جریان برگشتی به مناطق جنوبی خلیج‌فارس در محدوده سواحل شبه جزیره قطر و بحرین می‌رسد و بخشی نیز همراه جریان ورودی در راستای سواحل ایران به حرکت خود ادامه می‌دهد (شکل ۵). تصاویر ماهواره‌ای دی ماه ۱۳۸۷ نشان می‌دهد که شکوفایی جلبکی توسعه یافته و قسمت‌های وسیعی از نواحی شمالی خلیج‌فارس و تنگه هرمز و مناطق شمال و جنوب دریای عمان را در برگرفته است (شکل ۵) و تراکم پلانکتونی تا نواحی مرکزی استان بوشهر پیشروی داشته است. در جنوب دریای عمان شکوفایی کوتاه مدت در اواخر بهمن ماه به وقوع می‌پیوندد که با توجه به حضور مواد مغذی در مناطق جنوبی با تراکم بیشتری همراه است. این شکوفایی تحت تاثیر پیچک میان مقیاس به نواحی مرکزی دریای عمان کشیده می‌شود که می‌تواند ناشی از شرایط محیطی و دمایی بهتر این محدوده نسبت به خلیج‌فارس که دمای آن به زیر ۲۰ درجه سانتی‌گراد رسیده است، باشد (شکل۴). در دوره زمانی اسفند ماه ۱۳۸۷ تضعیف شدید شکوفایی پلانکتونی در کل خلیج‌فارس مشاهده می‌شود. به غیر از شمال تنگه هرمز که در کل دوره شکوفایی دارای تراکم جلبکی بالایی بوده است، در بقیه مناطق خلیج‌فارس شکوفایی از بین رفته است، اما در برخی از مناطق شمالی و جنوبی دریای عمان شکوفایی هنوز باقی مانده است. در تصاویر فروردین ماه ۸۸ (شکل ۵) بیشترین تراکم در شمال تنگه هرمز دیده می شود اما در محدوه خلیج‌فارس تراکم به شدت تضعیف شده و یا از بین رفته است. در دریای عمان نیز تراکم جلبکی کاهش زیادی داشته است. البته افزایش دمای آب تاثیری در افزایش شکوفایی جلبکی نداشته است (شکل۴ و ۵). از اردیبهشت تا خرداد ۱۳۸۸،تراکم پلانکتونی به شدت کاهش می یابد و فقط در سواحل بندرعباس لکه‌های پلانکتونی پراکندهای دیده می‌شود به نظر میرسد کشند قرمز از بین رفته و تراکم پلانکتونی به حداقل میزان خود رسیده است (شکل ۵).

الگوی جریانات و دمای آب دو عامل از عوامل اثرگذار بر پراکنش و گستردگی پدیده کشند قرمز در آب‌های جنوبی ایران هستند. از آنجایی که دما یکی از متغیرهای اصلی تعیین کننده در وقوع و ماندگاری پدیده کشند قرمز است، بازه تغییرات دمایی به همراه میزان حداقل و حداکثری آن در دوره این پدیده اهمیت دارد. یافته‌های شرق آسیا نشان می‌دهد که شرایط مطلوب برای شکوفایی *M. polykrikoides* شوری psu ۳۴-۳۲ ، دمای ۲۵-۲۸ درجه سانتی‌گراد و تابش نور کافی است (Kim *et al.*, 2004). این شرایط از نظر دمایی با پاییز و زمستان تنگه هرمز و خلیج‌فارس مشابه و به لحاظ شوری متفاوت است. نتایج این مطالعه با استفاده از داده‌های دریافت شده برای دما نشان داد که کاهش دمای آب تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد باعث افزایش کشند قرمز شده است. فرآیند زمانی رشد فیتوپلانکتون در خلیج‌فارس نشان داد که اثرات کاهش دما در افزایش این پدیده دارای اهمیت بوده است.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-10]

اما کاهش بیش از ۲۰ درجه سانتی‌گراد نیز خود عامل ممانعت ورود این پدیده به آب‌های با دمای کمتر شده است. از این رو آب‌های سرد شمال غربی خلیج‌فارس کمتر موثر از این پدیده بوده‌اند. از طرفی در خلیج‌فارس در ماه‌های آبان، آذر و دی که دما برای رشد فیتوپلانکتون‌ها آماده تر بود بیشترین میزان رشد و گستردگی پدیده به چشم می‌آید. شرایط در در دریای عمان و تنگه هرمز که تغییرات دمایی کمتر بوده است اندکی متفاوت است و شرایط شکوفایی فیتوپلانکتونی متوازن‌تر از خلیج‌فارس می‌باشد ، به گونه‌ای که در اکثر ماه‌ها در این نواحی این پدیده به طور متناوب در حال تکرار بوده است. شکل ۵ نشان می‌دهد که در اوایل مهر ماه ۸۷ تراکم پلانکتونی در سواحل شمالی تنگه هرمز (محدوده سواحل بندرعباس، قشم و هرمز، شرق جزیره قشم و سواحل بندر سیریک تا بندر تیاب) دیده شد. داده‌ها ی میدانی در آبهای ساحلی شهر بندرعباس و روند تصاویر سنجنده MODIS نشان می‌دهد که در محدوده تنگه هرمز کلروفیل بالای آب به طور نسبی وجود دارد، اما در سواحل شمالی میزان انباشت کلروفیل بیشتر بوده است. به نظر می رسد شکوفایی جلبکی با کاهش دمای آب تا ۲۹ درجه سانتی‌گراد در مهر ماه در شمال تنگه هرمز در حال شکل‌گیری بوده است. جدول ۲ در نواحی وقوع کشند قرمز نشان می‌دهد که مناطقی که دمای متعادل بین ۲۷-۲۳ درجه سانتی‌گراد را داشته‌اند، بیشتر از نواحی دیگر با این پدیده درگیر بوده‌اند. بر خلاف دریای عمان و تنگه هرمز که دامنه تغیرات دمایی در آنها زیاد نیست، خلیج‌فارس به دلیل کم عمقی دارای تغییرات دمایی شدید در فصول گرم و سرد سال است. بیشترین شدت کشند قرمز برای خلیج‌فارس در آبان، آذر و دی ماه ۱۳۸۷ در مناطقی با دمای متعادل‌تربوده است.کاهش سریع دما در فصل سرد در این منطقه می‌تواند توجیه‌کننده عدم ماندگاری طولانی پدیده در خلیج‌فارس و عدم گسترش پدیده به نواحی غربی‌تر باشد. شرایط متعادل‌تر (نوسانات کمتر) دمایی در تنگه هرمز و دریای عمان باعث شده که ناحیه مناسبی برای شکوفایی پلانکتونی با ماندگاری نسبتا بالا در فصل زمستان شکل بگیرد که می‌توان شکوفایی‌های زمستانی دریای عمان را در این دسته بندی قرار داد.

جریانات سطحی در خلیج‌فارس بر اساس مطالعات (Pous *et al*., 2012 و Kämpf and Sadrinasab2006) به صورت شماتیک نشان‌دهنده ورود آب‌های سطحی از دریای عمان و تنگه هرمز به خلیج‌فارس و امتداد آن در قسمت شمالی خلیج‌فارس است (شکل ۳). در قسمت انتهایی شمال غرب خلیج‌فارس یک جریان برگشتی وجود دارد که امتداد آن در بخش جنوبی خلیج‌فارس قابل مشاهده است. تصاویر ماهواره‌ای شکل ۵ نشان می‌دهد مسیر توسعه و افزایش کشند قرمز از گونه *M. polykrikoides* در خلیج‌فارس و دریای عمان کاملا مطابق با مسیر گردش کلی آب در خلیج‌فارس بوده است. در دریای عمان نیز ساختار پیچک‌های میان مقیاس اقیانوسی در انتقال کشند نقش داشته است. کشند از دریای عمان به سمت مرکز و شمال تنگه هرمز و هم‌راستا با آب‌های ساحلی ایران به خلیج‌فارس منتقل شده است و این مسیر را ادامه داده است تا به محور تاو در مرز استانهای هرمزگان و بوشهر رسیده است. سپس بخشی از توده کشندی ادامه مسیر داده و بخشی به سمت مرکز خلیج‌فارس و سواحل جنوبی خلیج‌فارس تغییر جهت داده است. پس از آن بخشی از توده به سمت سواحل بحرین و کویت و بخشی دیگر نیز به سمت سواحل امارات متحد عربی حرکت نموده است. مسیر مارپیچ هر یک توده‌های پلانکتونی نشان می‌دهد که حرکت این توده‌ها با حرکات جزر و مدی آب دریا نیز هماهنگ بوده و در مسیر حرکت خود با پیچش‌های ناشی از جزر و مد در خلیج‌فارس و حرکات پیچکی ناشی از گردش فصلی آب در دریای عمان گسترش یافته است. رشد و توسعه کشند قرمز بر اساس الگوی جریان و جذر و مد در خلیج‌فارس و دریای عمان همراه است. در دریای عمان پیچک‌های میان مقیاس اقیانوسی نقش مهمی در انتقال توده‌های کشندی از جنوب به مرکز و شمال این محدوده را داشته است.

نتایج حاصل از این مطالعه هماهنگی مناسب داده‌های میدانی شمال تنگه هرمز با تصاویر ماهواره‌ای را نشان می‌دهد. بر اساس تصاویر ماهواره‌ای و برآوردهای میدانی، بیشترین میزان شکوفایی فیتوپلانکتونی مضر در شمال تنگه هرمز در آذرماه ۱۳۸۷ رخ داده است. این پدیده نزدیک به ۱۰ ماه در این منطقه ماندگار بوده است که به نوبه خود یک پدیده نادر در میان رویدادهای ثبت شده کشند قرمز تاکنون می‌باشد . همچنین تصاویر ماهواره‌ای نشان می‌دهد که در شهرهای صنعتی پر جمعیت حاشیه تنگه هرمز مانند بندرعباس و قشم تراکم کشند قرمز بیشتر است و جریان اصلی آب ورودی به خلیج‌فارس در انتقال کشند قرمز به نواحی غربی‌تر خلیج‌فارس موثر بوده است.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-10]

منابع

Anton, A., Teoh, P.L., Mohd-Shaleh, S.R. and Mohammad-Noor, N., 2008. First occurrence of Cochlodinium blooms in Sabah, Malaysia. Harmful algae, 7(3), pp.331-336.

Azanza, R.V., David, L.T., Borja, R.T., Baula, I.U. and Fukuyo, Y., 2008. An extensive Cochlodinium bloom along the western coast of Palawan, Philippines. Harmful Algae, 7(3), pp.324-330. doi:https://doi.org/10.1016/j.hal.2007.12.011

Curtiss, C.C., Langlois, G.W., Busse, L.B., Mazzillo, F. and Silver, M.W., 2008. The emergence of Cochlodinium along the California Coast (USA). Harmful Algae, 7(3), pp.337-346. doi:10.1016/j.hal.2007.12.012

DI, K., 2004. Effects of temperature, salinity and irradiance on the growth of the harmful red tide dinoflagellate Cochlodinium polykrikoides Margalef (Dinophyceae). Journal of Plankton Research. 26, pp.1-6.

Gárate-Lizárraga, I., 2000. First outbreak of Cochlodinium polykrikoides in the Gulf of California. Harmful Algae News, 21, p.7.

Gobler, C.J., Berry, D.L., Anderson, O.R., Burson, A., Koch, F., Rodgers, B.S., Moore, L.K., Goleski, J.A., Allam, B., Bowser, P. and Tang, Y., 2008. Characterization, dynamics, and ecological impacts of harmful Cochlodinium polykrikoides blooms on eastern Long Island, NY, USA. Harmful Algae, 7(3), pp.293-307. doi:10.1016/j.hal.2007.12.006

Gómez, F., Richlen, M.L. and Anderson, D.M., 2017. Molecular characterization and morphology of Cochlodinium strangulatum, the type species of Cochlodinium, and Margalefidinium gen. nov. for C. polykrikoides and allied species (Gymnodiniales, Dinophyceae). Harmful Algae, 63, pp.32-44.

Hallegraeff, G.M. and Bolch, C.J., 1992. Transport of diatom and dinoflagellate resting spores in ships' ballast water: implications for plankton biogeography and aquaculture. Journal of plankton research, 14(8), pp.1067-1084.

Hamzehei, S., 2012. Field study and numerical simulation of developing red tide in the northern Strait of Hormuz (Doctoral dissertation, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Marine Physics).

Hu, C., Muller-Karger, F.E., Andrefouet, S. and Carder, K.L., 2001. Atmospheric correction and cross-calibration of LANDSAT-7/ETM+ imagery over aquatic environments: A multiplatform approach using SeaWiFS/MODIS. Remote Sensing of Environment, 78(1-2), pp.99-107. doi:https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00252-8

Kämpf, J. and Sadrinasab, M., 2006. The circulation of the Persian Gulf: a numerical study. Ocean Science, 2(1), pp.27-41.

Kim, C.S., Bae, H.M. and Cho, Y.C., 2000. Ichthyotoxicity of a harmful dinoflagellate Cochlodinium polykrikoides: Aspect of biochemical and hematological responses of fish exposed to Algal blooms. In Proceedings of the Korean Society of Fisheries Technology Conference (pp. 141-142). The Korean Society of Fisheries and Ocean Technology.

Kim, H.G., 1998. Cochlodinium polykrikoides blooms in Korean coastal waters and their mitigation. Harmful algae. pp.227-228.

Kirk, J.T., 1994. Light and photosynthesis in aquatic ecosystems. Cambridge university press. doi:DOI: 10.1017/CBO9780511623370

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-10]

NUZZI, R., 2004. Cochlodinium polykrikoides in the Peconic Estuary. Harmful Algae News. 27, pp.10-11.

O'Reilly, J.E., Maritorena, S., Mitchell, B.G., Siegel, D.A., Carder, K.L., Garver, S.A., Kahru, M. and McClain, C., 1998. Ocean color chlorophyll algorithms for SeaWiFS. Journal of Geophysical Research: Oceans. 103(C11), pp.24937-24953. doi:10.1029/98JC02160

Pous, S., Carton, X. and Lazure, P., 2012. A process study of the tidal circulation in the Persian Gulf. Open Journal of Marine Science. 2(04), pp.131-140.

Richlen, M.L., Morton, S.L., Jamali, E.A., Rajan, A. and Anderson, D.M., 2010. The catastrophic 2008–2009 red tide in the Persian gulf region, with observations on the identification and phylogeny of the fish-killing dinoflagellate Cochlodinium polykrikoides. Harmful algae, 9(2), pp.163-172. doi:10.1016/j.hal.2009.08.013

Roesler, C.S. and McLeroy-Etheridge, S.L., 1998. Remote detection of harmful algal blooms. SPIE Ocean Optics, 14(1), pp.117-128.

Sannio, A., Lugliè, A. and Sechi, N., 1997. Potentially toxic dinoflagellates in Sardinia. Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology, 131(1), pp.73-78.

Schofield, O., Grzymski, J., Bissett, W.P., Kirkpatrick, G.J., Millie, D.F., Moline, M. and Roesler, C.S., 1999. Optical monitoring and forecasting systems for harmful algal blooms: possibility or pipe dream?. Journal of Phycology, 35(6), pp.1477-1496.

Smayda, T.J., 1990. Novel and nuisance phytoplankton blooms in the sea: evidence for a global epidemic. Toxic marine phytoplankton, pp.29-40.

Smayda, T.J., 2008. Complexity in the eutrophication–harmful algal bloom relationship, with comment on the importance of grazing. Harmful Algae, 8(1), pp.140-151. doi:https://doi.org/10.1016/j.hal.2008.08.018

Smith RC, Baker KS. 1981. Optical properties of the clearest natural waters (200–800 nm) Appl Opt 20:177-184 doi:10.1364/AO.20.000177

Whyte, J.N.C., Haigh, N., Ginther, N.G. and Keddy, L.J., 2001. First record of blooms of Cochlodinium sp.(Gymnodiniales, Dinophyceae) causing mortality to aquacultured salmon on the west coast of Canada. Phycologia, 40(3), pp.298-304. doi:10.2216/i0031-8884-40-3-298.1

Yuki, M., 1989. Two fish-killing species of Cochlodinium from Harima Nada, Seto Inland Sea, Japan. Red tides: Biology, environmental science, and toxicology, pp.451-454.

Zarshenas, G., Motalebi, A., Mohsenizadeh, F., Dehghan, S., Serraji, F. and Rohani, K., 2015. Investigation on Harmful Algal bloom (Red tide) of Cochlodinium polykrikoides in the Persian Gulf of Iran. Iranian Scientific Fisheries Journal, 23(4), pp.49-60. doi:10.22092/isfj.2017.110176

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-10]