



APPLIED SCIENCE PAPER (Marine Science)

Distribution of Winter Blooms of *Noctiluca scintillans* in the Strait of Hormuz: Case Study Based on the Results of Offshore Patrol of the Oceanographic Research Institute in Winter 2017

Koochaknejad, E.^{1,*}; Hamzei, S.¹

¹ Iranian National Institute for Oceanography and Atmospheric Science, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Code: A-10-1083-1

Article History:

Received: 2021/01/24

Revised: 2022/04/13

Accepted: 2021/07/21

Keywords:

Algal bloom

Strait of Hormuz

Remote sensing

Noctiluca scintillans

*Corresponding author:

✉ emad.koochaknejad@inio.ac.ir

☎ (+9821) 66944873-5

ABSTRACT

Background and Objectives: *Noctiluca scintillans* is a dinoflagellate without armor that has extensive winter blooms in the northern Indian Ocean. Green layers from dense algal masses of *N. scintillans* were observed in all the studied stations in the winter, PGE 1801 cruise of the Institute of Oceanography and Atmospheric Sciences in the Strait of Hormuz. The aim of this study was to an assessment of the distribution of the bloom in the winter of 2017 in the Strait of Hormuz using field data and remote sensing.

Methods: The density of *N. scintillans* species in the upper layer of water was calculated using closing net samples. The density of other phytoplankton was obtained by direct sampling of water by Niskin sampler. In all stations, the profiles of salinity, water temperature, and chlorophyll A parameters were measured from surface to layer close to the substrate using CTD. MODIS satellite data were used to investigate the distribution and extent of the bloom.

Findings: The results of correlation analysis (Pearson) showed a significant relationship between chlorophyll A (values obtained from remote sensing) and the number of *N. scintillans* cells per liter ($R = 0.74$, $P < 0.05$).

Conclusion: It seems that the intensity of *N. scintillans* bloom is higher in the western part of the Strait of Hormuz and the waters near the coast. Also, satellite remote sensing data show that there is a strong correlation between the distribution of *N. scintillans* bloom and mid-scale eddies in the Strait of Hormuz.



NUMBER OF TABLES

1



NUMBER OF FIGURES

5



NUMBER OF REFERENCES

21

مقاله علوم کاربردی (علوم دریایی)

پراکنش شکوفایی زمستانی گونه *Noctiluca scintillans* در تنگه هرمز (مطالعه موردی بر اساس نتایج گشت

فراساحلی کاوشگر خلیج فارس-زمستان ۱۳۹۶)

عماد کوچک‌نژاد^{۱*}، صمد حمزه‌ئی^۱^۱ پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی، تهران، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۵</p> <p>تاریخ بازبینی: ۱۴۰۱/۱/۲۴</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۴/۳۰</p>	<p>پیشینه و اهداف: <i>Noctiluca scintillans</i> یک دینوفلاژله بدون پوسته است که شکوفایی زمستانی گسترده‌ای در شمال اقیانوس هند دارد. در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه در گشت فراساحلی زمستانی PGE 1801 پژوهشگاه اقیانوس‌شناسی و علوم جوی در منطقه تنگه هرمز لایه‌های سبز رنگ حاصل از توده‌های متراکم جلبکی گونه <i>N. scintillans</i> مشاهده می‌شد. هدف از این مطالعه بررسی پراکنش شکوفایی زمستان ۱۳۹۶ در تنگه هرمز با استفاده از داده‌های میدانی و سنجش از راه دور است.</p> <p>روش‌ها: با استفاده از نمونه‌های تور کمرگیر تراکم گونه <i>N. scintillans</i> در لایه سطحی آب محاسبه شد. تراکم سایر فیتوپلانکتون‌ها با نمونه‌برداری مستقیم از آب به وسیله نمونه‌بردار نیسکین به دست آمد. در تمامی ایستگاه‌ها، پروفیل پارامترهای شوری و دمای آب و کلروفیل آ از سطح تا لایه نزدیک به بستر، با استفاده از دستگاه CTD اندازه‌گیری شد. از داده‌های ماهواره‌های سنجنده‌های MODIS برای بررسی پراکنش و گستردگی شکوفایی استفاده شد.</p> <p>یافته‌ها: نتایج حاصل از آزمون همبستگی (Pearson)، ارتباط معنی‌داری بین کلروفیل آ (مقادیر حاصل از سنجش از دور) و تعداد سلول <i>N. scintillans</i> در لیتر نشان داد ($R=0.74, P<0.05$).</p> <p>نتیجه‌گیری: به نظر می‌رسد شدت شکوفایی <i>N. scintillans</i> در بخش غربی تنگه هرمز و در آب‌های نزدیک به ساحل بیشتر است. به علاوه داده‌های سنجش از دور ماهواره‌ای نشان می‌دهد که یک ارتباط قوی بین نحوه پراکنش شکوفایی <i>N. scintillans</i> و پیچک‌های میان‌مقیاس در تنگه هرمز وجود دارد.</p>
<p>واژگان کلیدی:</p> <p>شکوفایی جلبکی</p> <p>تنگه هرمز</p> <p>سنجش از دور</p> <p><i>Noctiluca scintillans</i></p>	
<p>*نویسنده مسئول</p> <p>✉ emad.koochaknejad@inio.ac.ir</p>	

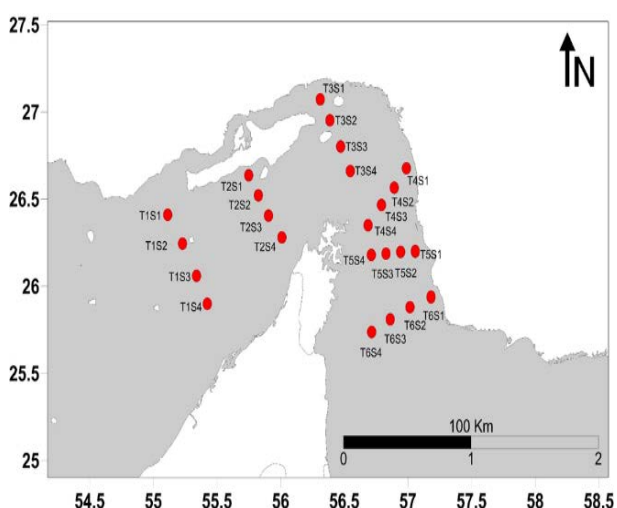
مقدمه

می‌دهیم. در این مطالعه با استفاده از داده‌های کلروفیل آ ماهواره‌ای، سعی کرده‌ایم تا تصویری یکپارچه از گسترش شکوفایی جلبکی در منطقه تنگه هرمز ارائه دهیم که تنها با اتکا به داده‌های میدانی گشت فراساحلی امکان‌پذیر نبود.

روش پژوهش

۱. منطقه مورد مطالعه

برای بررسی گستردگی و پراکنش کشند قرمز در این مطالعه، تصاویر تهیه شده تمامی منطقه تنگه هرمز، بخش شرقی خلیج فارس (از جزیره کیش) و بخش عمده‌ای از دریای عمان را پوشش می‌دهد. نمونه‌برداری میدانی برای تعیین تراکم فیتوپلانکتون‌ها در گشت



فراساحلی PGE 1801 در زمستان ۱۳۹۶ انجام شد. در این گشت ۶ ترانسکت و مجموعاً ۲۴ ایستگاه نمونه‌برداری شدن (شکل ۱).

شکل ۱: ایستگاه‌های نمونه‌برداری میدانی در گشت فراساحلی PGE 1801

Fig. 1: Sampling location in PGE 1801 cruise

جدول ۱: الگوریتم OC3M در تعیین کلروفیل آب دریا برای سنجنده MODIS بر اساس رابطه رایلی (O'Reilly, 1998)

Table 1: OC3M algorithm in determining seawater chlorophyll for MODIS sensor based on Riley relationship (O'Reilly, 1998)

$chl\ a\ (\mu g/L) = 10^{(a_0 + a_1R + a_2R^2 + a_3R^3 + a_4R^4)}$	OC3M
$R = \log[(\max(Rrs443, Rrs488))/Rrs551]$	نسبت باند
$a = [0.283, -2.753, 1.457, 0.659, -1.403]$	ضرایب a
$chl\ a\ (\mu g/L) = 10^{(a_0 + a_1R + a_2R^2 + a_3R^3 + a_4R^4)}$	OC2
$R = \log(Rrs488/Rrs551)$	نسبت باند
$a = [0.319, -2.336, 0.879, -0.135, -0.071]$	ضرایب a

لکه‌ها و نوارهای سبز رنگ حاصل از توده‌های متراکم جلبکی در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه در زمستان ۱۳۹۶ در تنگه هرمز مشاهده می‌شد. بررسی نمونه‌های میدانی شکوفایی جلبکی نشان داد که توده‌ها از یک گونه غالب دینوفلاژله به نام *Noctiluca scintillans* تشکیل شده است که شکوفایی زمستانی گسترده‌ای در شمال اقیانوس هند دار (۱، ۲). *N. scintillans* یک دینوفلاژله بدون پوسته است که از یک سلول بزرگ با اندازه‌ای بین ۲۰۰ تا ۲۰۰۰ میکرومتر تشکیل شده است. این گونه در شمال اقیانوس هند سبز رنگ و میکسوتروف^۱ است زیرا می‌تواند از طریق تثبیت کربن توسط همزیست درونی خود (*Protoeuglena noctilucae*)^۲ (عامل رنگ سبز آن) یا از طریق مصرف طعمه‌های موجود در محیط اطراف (هتروتروفی^۳) به حیات خود ادامه دهد [۳]. حضور *N. scintillans* در چند دهه اخیر در شمال اقیانوس هند [۴، ۵]. آب‌های ساحلی پاکستان [۶] و دریای عمان [۷] در تابستان و زمستان گزارش شده است. شکوفایی جلبکی زمستانی *N. scintillans* از سال ۲۰۰۳ تا کنون رخ داده است [۱] و تعداد پژوهش‌ها بر روی پدیده شکوفایی جلبکی این گونه در شمال اقیانوس هند در یک دهه اخیر افزایش یافته است [۱، ۸-۱۳]. یکی از اصلی‌ترین عوامل فیزیکی که تولید اولیه و شکوفایی جلبکی زمستانی را در دریای عرب کنترل می‌کند، اختلاط همرفتی زمستانی یا مانسون شمال شرقی از اواسط ماه آذر تا اواسط ماه اسفند رخ می‌دهد [۱۴]. مانسون شمال شرقی باعث خنک شدن زمستان آب‌های سطحی شمال دریای عرب در زمستان می‌شود که در نتیجه آن آب‌های سطحی چگال‌تر شده به سمت عمق می‌روند و آب‌های کمتر چگال لایه‌های میانی به سطح حرکت می‌کنند که در نهایت سبب ایجاد اختلاط همرفت و تزریق مواد مغذی به سطح می‌شود [۱۵]. آثار این اختلاط همرفتی در بخش‌های شمالی اقیانوس هند و دریای عمان نیز مشاهده می‌شود [۱۶-۱۸]. همزمانی گشت PGE 1801 با این پدیده فرصت مناسبی برای بررسی شدت و گسترش شکوفایی جلبکی زمستانی بود.

داده‌های هیدروگرافی و بیولوژیک گشت فراساحلی زمستان ۱۳۹۶ پژوهشگاه ملی اقیانوس شناسی و علوم جوی همراه با تصاویر ماهواره‌ای همزمان با برگزاری آن گشت برای بررسی شدت و پراکنش شکوفایی زمستانی گونه *N. scintillans* در تنگه هرمز مورد استفاده قرار گرفت. این اولین مطالعه در آب‌های ایرانی برای بررسی شکوفایی جلبکی گونه *N. scintillans* می‌باشد. در این مقاله، ما شدت و گسترش حضور زمستانی *N. scintillans* را در تنگه هرمز گزارش

¹ mixotrophic

² autotrophic endosymbiont

³ heterotrophic

ساخت شرکت Idronaut کشور ایتالیا است. برای تجزیه، تحلیل و ارائه داده‌های حاصل از CTD از نرم افزارهای Excell و ODV (Ocean Data View) استفاده شد.

۵. سنجش از دور

از داده‌های ماهواره‌های سنجنده‌های MODIS^۲ جهت سنجش ماهواره‌ای این تحقیق استفاده شده است. مشاهدات این سنجنده با قدرت تفکیک ۱ km - ۰/۲۵ در ۳۶ باند مرئی و فروسرخ طراحی شده است استفاده شده است. 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 ماهواره گستره وسیعی از فرایندهای اقیانوسی، جوی و سطح زمین قابل مشاهده است. با توجه به اینکه داده‌ها در سطوح ۰، ۱، ۲ و ۳ قابل برداشت می‌باشد، در این تحقیق از داده‌های سطح ۱ استفاده شده است. با توجه به اهداف تحقیق نرم افزارهای مختلفی جهت داده‌پردازی مورد استفاده قرار گرفته است و خروجی آن شامل الگوریتم‌هایی برای تخمین کلروفیل آ و دما می‌باشد.

برای رسیدن به به خروجی طیفی مناسبی جهت شناسایی شکوفایی جلبکی و میزان غلظت آن بر اساس داده‌های ماهواره‌ای سنجنده‌های MODIS از الگوریتم OC3M^۳ در نرم افزار SeaDAS استفاده شد.

نتایج و بحث

۱. تراکم *N. scintillans* در تنگه هرمز

در تمامی ایستگاه تراکم *N. scintillans* نسبت به سایر فیتوپلانکتون‌ها بیشتر بود. شکل ۲ تراکم *N. scintillans* در ایستگاه‌های نزدیک به ساحل و ایستگاه‌های دور از ساحل را نشان می‌دهد. بیشترین تعداد *N. scintillans* در ایستگاه T2S1 در نزدیکی جزیره قشم با تراکم ۷۱۷۰ سلول در لیتر و کمترین تعداد در ایستگاه دور از ساحل در همان ترانسکت (T2S4) با تراکم ۷۷۶ سلول در لیتر مشاهده شد. در ایستگاه‌های دور از ساحل درصد فراوانی سایر فیتوپلانکتون‌ها از کل فیتوپلانکتون‌ها (*N. scintillans* + سایر فیتوپلانکتون‌ها) در مقایسه با ایستگاه‌های نزدیک به ساحل بیشتر است. این مقدار در ایستگاه T6S4 به ۴۷ درصد می‌رسد. در حالیکه در تمامی ایستگاه‌های نزدیک به ساحل درصد فراوانی سایر فیتوپلانکتون‌ها کمتر از ۴۰ درصد می‌باشد.

۲. تعیین تراکم *N. scintillans*

در این تحقیق از تور کمرگیر (Closing net) با چشمه ۳۰۰ میکرومتر با ۳ بار تکرار برای نمونه‌برداری از لایه ۱۰ متری سطح آب استفاده شد. عدد فلومتر در ابتدا و انتهای تورکشی ثبت شد. محتویات جمع‌آوری شده توسط فرمالین ۴٪ تثبیت شده و در ظروف پلی‌اتیلینی نگهداری شدند. تعداد سلول‌های *N. scintillans* در یک حجم ثابت از نمونه (معمولاً ۲۰ میلی‌لیتر) در پتری‌دیش شمارش شدند. جهت محاسبه تراکم سلول *N. scintillans* در لیتر از رابطه ۱ استفاده شد:

$$N = n \times \frac{V}{v} \times 1000 \quad (1)$$

$$V = afr$$

$$a = \pi \times r^2$$

N: تعداد سلول در واحد حجم (تعداد در لیتر)

n: میانگین تعداد پلانکتون شمارش شده

v: حجم نمونه منتقل شده به آزمایشگاه

V: حجم کل نمونه

a: مساحت دهانه تور به متر مربع

f: ضریب ثابت فلومتر

۳. تعیین تراکم سایر فیتوپلانکتون‌ها

سه نمونه یک لیتری آب توسط نمونه‌بردار نیسکین^۱ از عمق ۱ متری برداشته شده و هر کدام با ۳ میلی‌لیتر لوگول اسیدی تثبیت شدند و در ظروف تیره و پلاستیکی نگهداری شدند. برای تغلیظ سلول‌های فیتوپلانکتونی، از روش رسوب‌گذاری استفاده شد. در این روش، پس از گذشت ۴۸ ساعت ۹۰ درصد آب سطحی دکانته می‌شود. روش رسوب‌گذاری برای هر نمونه سه بار انجام شد. تعداد فیتوپلانکتون‌ها در واحد حجم (یک لیتر) با استفاده از فرمول (حجم کل نمونه * تعداد نمونه شمارش شده/حجم محفظه شمارش) محاسبه گردید. به دلیل شرایط نامناسب در زمان نمونه‌برداری از ایستگاه‌های T4S1، T4S2 و T4S3 نمونه‌برداری فیتوپلانکتون انجام نشد.

۴. ثبت داده‌های محیطی

در تمامی ایستگاه‌ها، پروفیل پارامترهای شوری و دمای آب و کلروفیل آ از سطح تا لایه نزدیک به بستر، توسط دستگاه CTD با پریود زمانی یک ثانیه (Time interval: 1 Sec) اندازه‌گیری شدند. دستگاه مورد استفاده در این گشت، مدل Ocean seven 316

² Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer

³ ocean chlorophyll algorithm 3 of MODIS

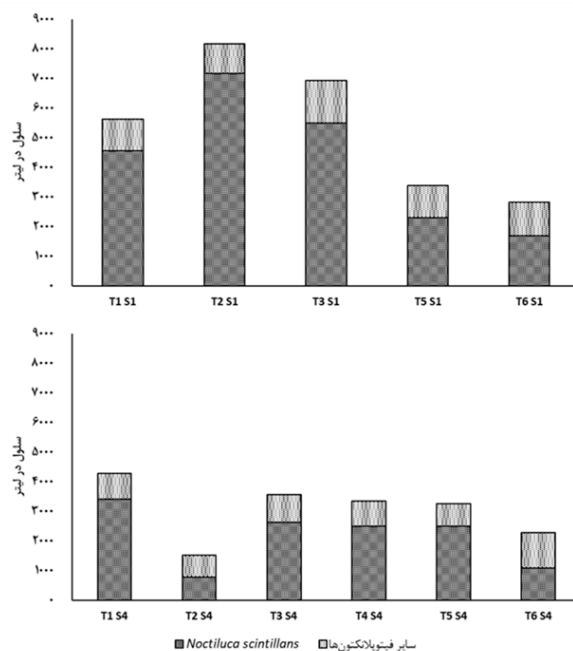
¹ Niskin

حرکت از سمت آب‌های ساحلی به آب‌های دور از ساحل افزایش می‌یابد. این افزایش در آب‌های سطحی قابل رویت است. همچنین با افزایش عمق از سمت شمال (۲۳/۵ درجه سانتی‌گراد) به جنوب (۲۴ درجه سانتی‌گراد) در ترانسکت غربی دمای آب افزایش می‌یابد. این روند افزایشی از شمال به جنوب در مقادیر شوری نیز قابل مشاهده است که نشان‌دهنده یک جریان عمقی شورتر و گرم‌تر در بخش‌های جنوبی‌تر تنگه است که از سمت خلیج فارس به دریای عمان جریان دارد. در ترانسکت میانی که فاصله بین خشکی‌ها کمتر است و عمق آب نیز کمتر شده است، توزیع مقادیر دما و شوری آب تقریباً یکسان است. با این حال در عمیق‌ترین و جنوبی‌ترین قسمت ترانسکت میانی نشانه‌های جریان شورتر و گرم‌تر که در ترانسکت غربی مشاهده شد وجود دارد. در ترانسکت شرقی با حرکت از شمال (۲۳/۵ درجه سانتی‌گراد) به جنوب (۲۴ درجه سانتی‌گراد) دمای آب افزایش می‌یابد، این افزایش دما در آب‌های نزدیک به بستر قابل مشاهده است. توزیع مقادیر شوری و دما تقریباً الگوی مشابهی در ترانسکت شرقی دارند. آب‌های شورتر در ایستگاه جنوبی ترانسکت شرقی در واقع ادامه جریان شورتر و گرم‌تر عمیقی است که از سمت خلیج فارس به دریای عمان در جریان است.

مقادیر کلروفیل آ در ایستگاه‌های نزدیک به ساحل بیشتر از ایستگاه‌های دور از ساحل است. در بخش میانی تنگه و در آب‌های نزدیک به ساحل مقادیر کلروفیل آ از قسمت‌های شرقی و غربی آن بیشتر است. به علاوه با توجه به عمق کمتر آن نسبت به سایر ترانسکت‌ها، پراکنش عمودی کلروفیل آ نیز توزیع نسبتاً یکسانی دارد. با این حال در ایستگاه‌های دور از ساحل، مقادیر کلروفیل آ در بخش میانی تنگه کمتر از آب‌های مجاور است و توزیع عمودی نسبتاً یکسان در مقادیر کلروفیل آ حتی با افزایش عمق نیز مشاهده می‌شود.

۳. سنجش از دور

نتایج حاصل از آزمون همبستگی (Pearson)، ارتباط معنی‌داری بین کلروفیل آ (مقادیر حاصل از سنجش از دور) و تعداد سلول *N. scintillans* در لیتر نشان داد ($R=0.74, P<0.05$). با توجه به در نظر گرفتن مشاهدات میدانی از حضور لایه ضخیم و متراکم گونه *N. scintillans* بر سطح آب مقادیر کلروفیل آ سنجیده شده توسط سنجنده MODIS می‌تواند نشانگر شدت شکوفایی *N. scintillans* در منطقه باشد و با استفاده از این نتایج میزان گستردگی این شکوفایی نیز قابل ارزیابی است. شکل ۵ توزیع مقادیر دمای سطحی آب (SST) و کلروفیل آ را در تنگه هرمز نشان می‌دهد. در خلیج فارس و تنگه هرمز، آب‌های نزدیک به ساحل دمای کمتری نسبت به آب‌های دورتر از ساحل دارند اما در دریای عمان مقادیر دمای سطحی آب تقریباً یکسان هستند.

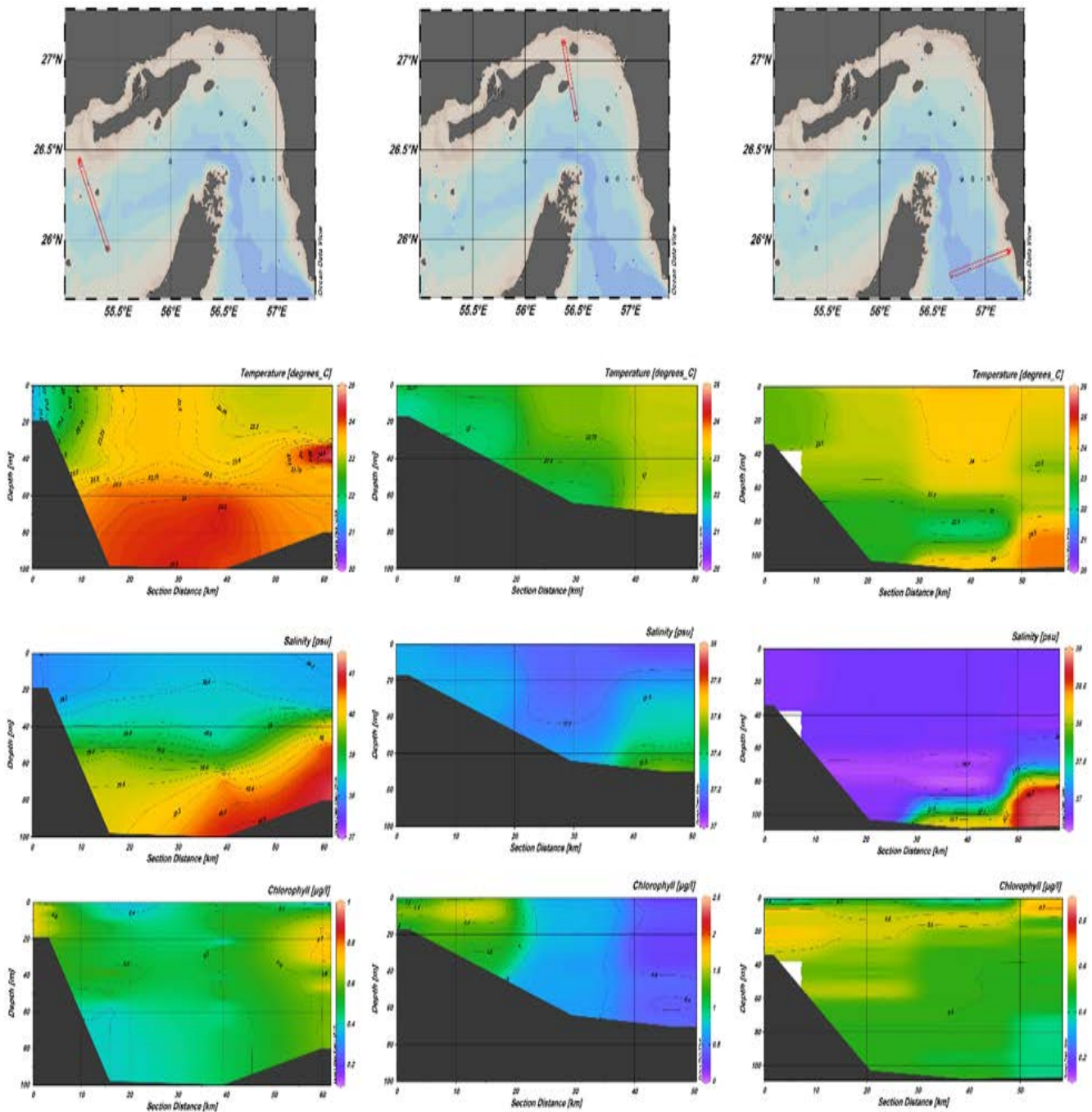


شکل ۲: تراکم کل فیتوپلانکتون‌های مشاهده‌شده در لایه سطحی آب. سهم *N. scintillans* و سایر فیتوپلانکتون‌ها از تراکم کل با دو رنگ متفاوت مجزا شده است
Fig. 2: Total density of phytoplankton observed in the surface layer of water. The contribution of *N. scintillans* and other phytoplankton to the total density is separated by two different colors

۲. اندازه‌گیری میدانی متغیرهای محیطی

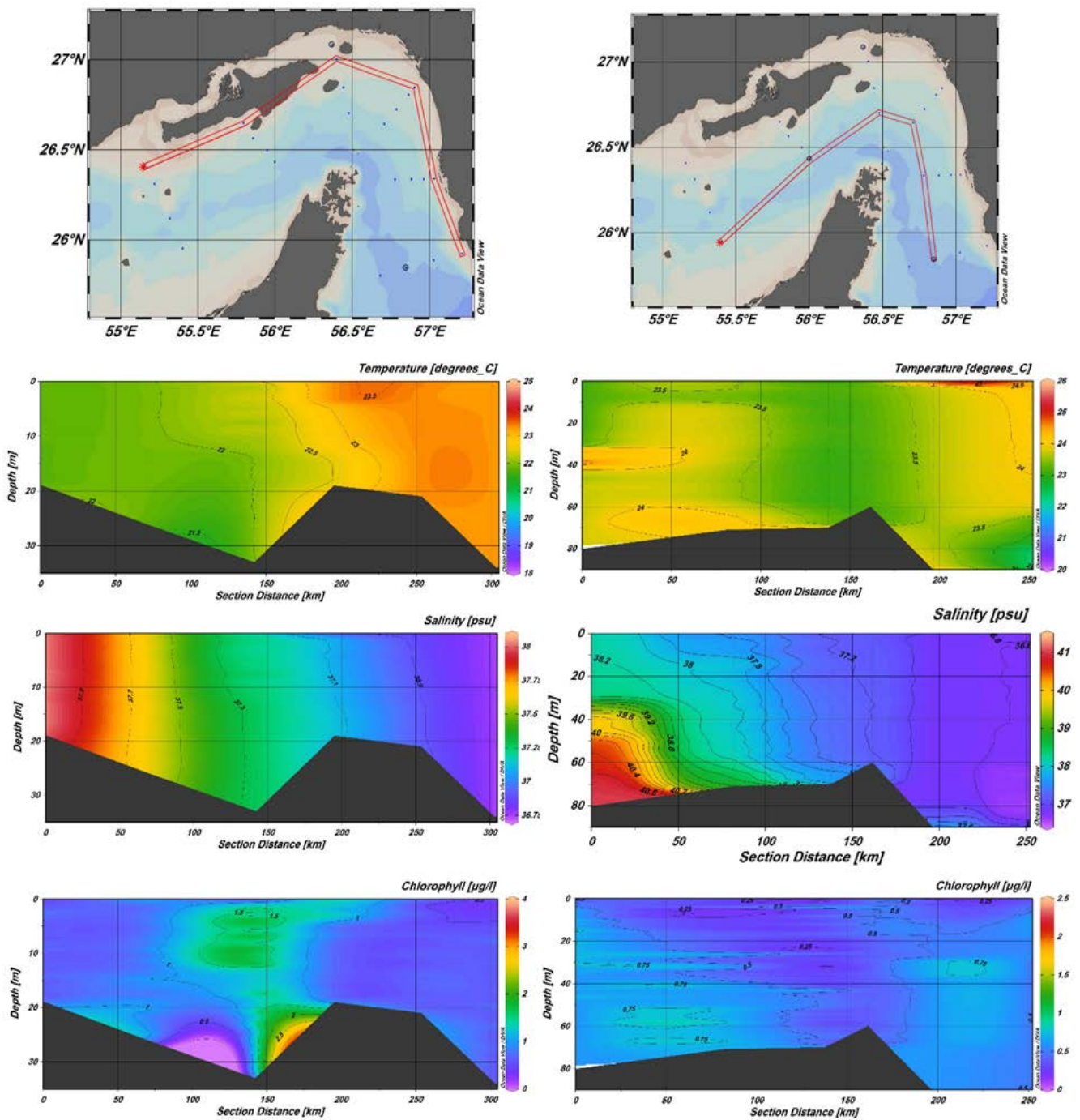
شکل ۳ تغییرات دما، شوری و کلروفیل آ (نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های CTD) را در دو مسیر نزدیک به ساحل و دور از ساحل، از خلیج فارس به سمت دریای عمان نشان می‌دهد. دما در مسیر نزدیک به ساحل از سمت خلیج فارس به دریای عمان چه در آب‌های سطحی، در ستون آب و در آب‌های نزدیک به بستر افزایش می‌یابد. در حالی که در آب‌های دور از ساحل توزیع دمایی در دو سمت شرقی و غربی تنگه تقریباً مشابه است، اما دما در بخش میانی تنگه مقادیر کمتری (۲۳/۵ درجه سانتی‌گراد) نسبت به مناطق شرقی و غربی (۲۴ درجه سانتی‌گراد) دارد. مقادیر شوری در آب‌های نزدیک به ساحل به وضوح از سمت خلیج فارس (۳۸/۲) به سمت دریای عمان (۳۶/۸) کاهش می‌یابد. در آب‌های دور از ساحل نیز روند مشابهی از نظر مقادیر شوری با آب‌های نزدیک به ساحل مشاهده می‌شود با این تفاوت که در آب‌های دور از ساحل یک جریان نزدیک به بستر با مقادیر شوری بالاتر از ۴۰ از سمت خلیج فارس به دریای عمان قابل مشاهده است که با ورود به دریای عمان با عمیق شدن این جریان در اثر اختلاط با آب‌های عمیق دریای عمان مقادیر شوری آن کاهش می‌یابد.

شکل ۴ تغییرات دما، شوری و کلروفیل آ را در سه ترانسکت شرقی، میانی و غربی تنگه هرمز نشان می‌دهد. در ترانسکت غربی دما با



شکل ۳: نمایه تغییرات دما، شوری و کلروفیل در آب‌های نزدیک به ساحل (ستون سمت چپ) و آب‌های دور از ساحل (ستون سمت راست) در تنگه هرمز. مسیر حرکت از سمت غرب به شرق است (چپ به راست). اندازه‌گیری‌ها با استفاده از CTD انجام شده است.

Fig. 3: Profile of temperature, salinity and chlorophyll a changes in near-coastal waters (left column) and offshore waters (right column) in Strait of Hormuz. The route is from west to east (left to right). Measurements were performed using CTD.



شکل ۴: نمایه تغییرات دما، شوری و کلروفیل در غرب (ستون سمت چپ) و بخش میانی (ستون میانی) و شرق تنگه هرمز (ستون سمت راست). مسیر حرکت از شمال به جنوب است (بالا به پایین). اندازه‌گیری‌ها با استفاده از CTD انجام شده است.

Fig. 4: Profile of temperature, salinity and chlorophyll a changes in the west (left column) and the middle part (middle column) and east of the Strait of Hormuz (right column). The route is from north to south (top to bottom). Measurements were performed using CTD.

که هر ساله شکوفایی زمستانی از طریق پیچک سردسیری در خلیج عمان آغاز می‌شود. آن‌ها پیشنهاد داده‌اند که پیچک‌های سرد سیکلونیک از طریق توانایی خود در آوردن مواد مغذی و آب‌های زیرسطحی کم اکسیژن از عمق (۱۰۰-۳۰۰ متر)، پیدایش شکوفایی *N. scintillans* را در دریای عمان تسهیل می‌کنند. مطالعه کوچک‌نژاد و حمزه‌ئی (۱۳۹۸) [۲۰]. بر نحوه پراکنش شکوفایی گونه *Margalefidinium polykrikoides* در تنگه هرمز نیز نشان داد که رشد و توسعه شکوفایی جلبکی بر اساس الگوی جریان و جذر و مد در خلیج فارس و دریای عمان بوده و در دریای عمان پیچک‌های میان مقیاس اقیانوسی نقش مهمی در انتقال توده های جلبکی از جنوب به مرکز و شمال این محدوده را داشته است. با این حال، برای بررسی این فرضیه نیاز است تا مطالعات دقیق‌تری از دریای عرب تا بخش غربی تنگه هرمز را پوشش دهد و روند حرکت و شدت شکوفایی زمستانی را از اوایل آذر ماه تا پایان اسفند دنبال کند.

تصاویر ماهواره‌ای (شکل ۵) نشان می‌دهد که دمای سطحی آب در تنگه هرمز بین دامنه تقریبی ۲۰ تا ۲۳ درجه سلسیوس بوده است که با حرکت به سمت خلیج فارس کاهش یافته است. به علاوه سه برش عمودی از شمال تنگه هرمز به سمت مرکز تنگه هرمز که در شکل ۴ نمایش داده شده است که دمای سطحی در محدوده ۲۱٫۷-۲۲٫۴ درجه سلسیوس در آب‌های ساحلی تنگه هرمز در زمان نمونه برداری گشت فراساحلی بوده است (نتایج حاصل از CTD). شرایط دمایی مشابهی برای شکل‌گیری شکوفایی *N. scintillans* در امتداد آب‌های ساحلی امارات متحده عربی نیز مطلوب بوده است [۲۱]. مطالعات گذشته نیز در دریای عرب و دریای عمان نشان داده است که دامنه دمایی مطلوب برای شکوفایی *N. scintillans* دمای کمتر از ۲۶/۵ درجه سانتی‌گراد است [۹]. بنابراین می‌توان گفت که شرایط دمایی تنگه هرمز برای ادامه شکوفایی جلبکی که در دی ماه ۱۳۹۶ به وقوع پیوسته مناسب بوده است.

نتیجه‌گیری

به طور کلی شرایط مطلوب محیطی از جمله دمای مناسب در پیدایش و شکل‌گیری شکوفایی زمستانی موثر است. تصاویر ماهواره‌ای نحوه‌ی توزیع کلروفیل آ در منطقه نشان می‌دهد که پراکنش آن در منطقه تنگه هرمز تحت تاثیر پیچک‌های میان مقیاس قرار دارد. با این حال، برای دستیابی به نتیجه‌گیری قطعی، مطالعات دقیق هیدروگرافی و شیمیایی اقیانوس‌شناسی با هدف بررسی این شکوفایی جلبکی بزرگ در شمال اقیانوس هند مورد نیاز است. همچنین تحقیقات اکوفیزیولوژیک تحت شرایط آزمایشی کنترل شده در کنار مطالعات اقیانوس‌شناسی بسیاری از ابهامات در زمینه این شکوفایی جلبکی را از بین خواهد برد.

مقادیر کلروفیل آ سطحی نشان می‌دهد که شدت شکوفایی جلبکی زمستانی در مناطق نزدیک به ساحل بیشتر است و الگوی پراکنش سطحی آن تحت تاثیر جریانات آب در منطقه قرار دارد.

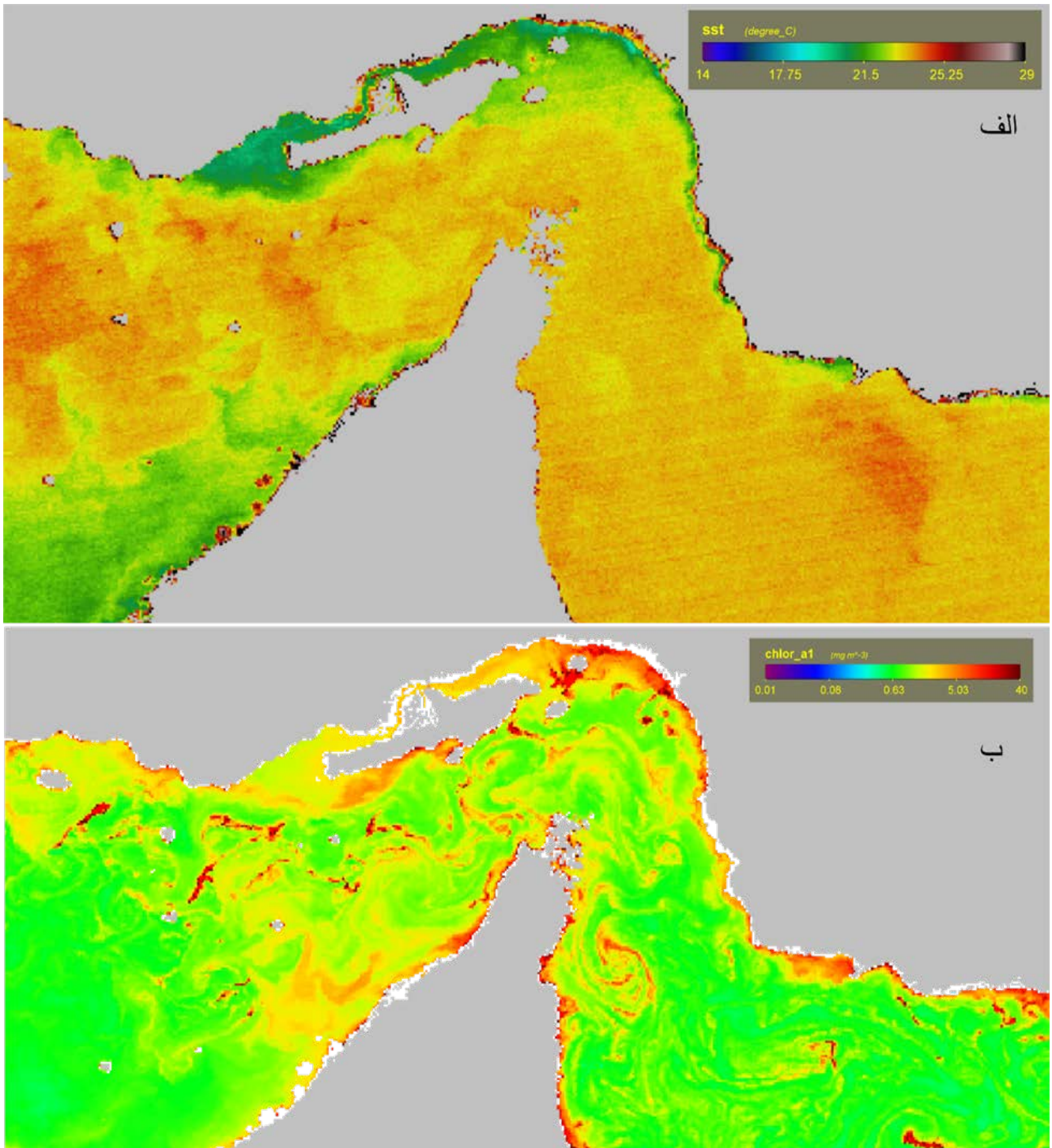
استفاده ما از داده‌های سنجش از دور ماهواره‌ای همراه با داده‌های گشت فراساحلی تصویری واضح از گستردگی و پراکنش شکوفایی زمستانی *N. scintillans* در تنگه هرمز ارائه می‌دهد. همزمانی نزدیک سنجش ماهواره‌ای، فلورومتتری کلروفیل آ (CTD) و تعیین تراکم فیتوپلانکتون‌ها به اعتبار داده‌های حاصل از سنجش از دور افزوده است. علاوه بر این، رابطه آماری معنی‌داری بین مقادیر کلروفیل آ حاصل از سنجش از دور و تعداد *N. scintillans* در ایستگاه‌های نمونه‌برداری شده وجود دارد که نشان می‌دهد که بخش عمده‌ای از کلروفیل آ در منطقه تنگه هرمز در نتیجه شکوفایی گونه *N. scintillans* است.

به نظر می‌رسد شدت شکوفایی *N. scintillans* در بخش غربی تنگه هرمز و در آب‌های نزدیک به ساحل بیشتر است. به طور مثال، *N. scintillans* در ایستگاه T2S1 در شمال تنگه هرمز و در در جنوب غرب جزیره قشم بیشترین تراکم را دارد (۷۱۷۰ سلول در لیتر) که با حرکت از بخش میانی تنگه به سمت ایستگاه T2S4 در خلیج فارس (۷۷۶ سلول در لیتر) و ایستگاه T6S1 در دریای عمان (۱۶۹۰ سلول در لیتر) کاهش می‌یابد. در تصاویر ماهواره‌ای نیز مطابقت توزیع کلروفیل آ سطحی با توزیع تراکم جلبکی سطحی قابل مشاهده است. به‌طوریکه مقادیر کلروفیل آ از سمت شمال تنگه هرمز نسبت به عمق و حرکت به مرکز تنگه هرمز حال کاهش یافته و مجدداً در مناطق ساحلی جنوبی افزایش یافته است. نتایج حاصل از فلورومتتری به صورت برش‌های عمودی از خلیج فارس به سمت خلیج عمان در شکل ۴ نشان می‌دهد در ایستگاه‌های نزدیک به نواحی ساحلی شمال تنگه هرمز در نزدیکی سواحل شمالی تنگه هرمز کلروفیل به بیش از ۱/۲ میکروگرم در لیتر می‌رسد. به علاوه وجود شکوفایی زیرسطحی^۱ نیز در نتایج حاصل از فلورومتتری در ایستگاه T3S1 قابل مشاهده است. پدیده شکوفایی زیرسطحی *N. scintillans* در شمال غرب دریای عرب گزارش شده است [۱۹].

داده‌های سنجش از دور ماهواره‌ای نشان می‌دهد که یک ارتباط قوی بین نحوه پراکنش شکوفایی *N. scintillans* و الگوی جریانات سطحی در تنگه هرمز وجود دارد. تصاویر ماهواره‌ای نشان می‌دهد که نوارهایی با شدت بالای کلروفیل آ بر روی جریان‌های پیچکی میان مقیاس^۲ در منطقه سوار هستند. همانطور که در شکل ۵ مشخص است پیچک‌های میان مقیاس در شرق و بخش میانی تنگه هرمز وجود دارند که امتداد جریانات آن‌ها به بخش غربی تنگه هرمز کشیده شده است. Gomes و همکاران (2008) [۹] با تحلیل داده‌های سنجش از دور به صورت سری زمانی هفتگی نشان داده‌اند

¹ Subsurface bloom

² eddy



شکل ۵: مقادیر دمای سطح آب (SST) (الف) و کلروفیل آ (ب) همزمان با برگزاری گشت PGE 1801 با استفاده از سنجنده MODIS ماهواره Aqua

Fig. 5: Water level temperature (SST) (a) and chlorophyll a (b) values while conducting PGE 1801 cruise using Aqua satellite MODIS sensor

نظارت بر انطباق مقاله با فرمت مجله، نگارش و جمع‌آوری مطالب، ترجمه و ویراستاری مقالات و هماهنگی محتوایی مقاله بوده است. تمرکز نویسندگان دوم (صمد حمزه‌ئی) بر بخش سنجش از دور و فیزیک دریا بوده است.

مشارکت نویسندگان

در نگارش این مقاله نویسندگان سهم یکسانی داشتند. تمرکز اصلی نویسندگان اول (عماد کوچک‌نژاد) بر بخش فیتوپلانکتون، به علاوه

تعارض منافع

«هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.»

References

- do Rosario Gomes H, Goes JI, Matondkar SG, Buskey EJ, Basu S, Parab S, et al. Massive outbreaks of *Noctiluca scintillans* blooms in the Arabian Sea due to spread of hypoxia. *Nat Commun.* 2014;**5**:4862. doi: 10.1038/ncomms5862 pmid: 25203785
- Raj KD, Mathews G, Obura DO, Laju RL, Bharath MS, Kumar PD, et al. Low oxygen levels caused by *Noctiluca scintillans* bloom kills corals in Gulf of Mannar, India. *Sci Rep.* 2020;**10**(1):22133. doi: 10.1038/s41598-020-79152-x pmid: 33335160
- Goes JI, do R. Gomes H, Al-Hashimi K, Buranapratheprat A. Ecological Drivers of Green *Noctiluca* Blooms in Two Monsoonal-Driven Ecosystems in Global Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms, edited by P. M. Glibert, E. Berdalet, M. A. Burford, G. C. Pitcher, and M. Zhou. *Springer Int Pub lish.* 2018:327-336. doi: 10.1007/978-3-319-70069-4_17
- Devassy VP, Bhattathiri PMA, Qasim SZ. Succession of Organisms Following *Trichodesmium* Phenomenon. *IJMS.* 1979;**8**(2).
- Nair SRS, Devassy VP, Madhupratap M. Blooms of Phytoplankton along the West Coast of India Associated with Nutrient Enrichment and the Response of Zooplankton in Marine Coastal Eutrophication, edited by R. A. Vollenweider, R. Marchetti, and R. Viviani. Elsevier, Amsterdam 1992.
- D'Silva MS, Anil AC, Naik RK, D'Costa PM. Algal Blooms: A Perspective from the Coasts of India. *Nat Hazard.* 2012;**63**(2). doi: 10.1007/s11069-012-0190-9
- Saifullah S. On the Occurrence of Green *Noctiluca* Scintillans Blooms in Coastal Waters of Pakistan, North Arabian Sea. *Pak J Bot.* 2006;**38**(893).
- Al-Azri A, Al-Hashmi K, Goes JI, Gomes H, Rushdi A, Al-Habsi H, et al. Seasonality of the Bloom-Forming Heterotrophic Dinoflagellate *Noctiluca* Scintillans in the Gulf of Oman in Relation to Environmental Conditions. *Int J Oceans Oceanogr.* 2007:51-60.
- do R. Gomes H, Goes JI, Matondkar SGP, Parab SG, Al-Azri ARN, Thoppil PG. Blooms of *Noctiluca Miliaris* in the Arabian Sea-An in Situ and Satellite Study. *Deep-Sea Res. Part I: Oceanograph Res Paper.* 2008;**55**(6). doi: 10.1016/j.dsr.2008.03.003
- Gomes H, Goes JI, Matondkar SGP, Parab S, Al-Azri A, Thoppil P. Unusual Blooms of the Green *Noctiluca Miliaris* (Dinophyceae) in the Arabian Sea during the Winter Monsoon. *Indian Ocean: Biogeochemical Processes and Ecological Variability.* (Eds), Wiggert, D., Hood, R.R., Naqvi, S.W.A., Smith, S.L., & Brink, K.H., American Geophysical Union Book Series. 2009. 347-363 p.
- Madhu NV, Jyothibabu R, Maheswaran PA, Jayaraj KA, Achuthankutty CT. Enhanced Chlorophyll a and Primary Production in the Northern Arabian Sea during the Spring Intermonsoon Due to Green *Noctiluca Scintillans* Bloom. *Mar Biol Res.* 2012;**8**(2). doi: 10.1080/17451000.2011.605143
- Amol P, Shankar D, Fernando V, Mukherjee A, Aparna SG, Fernandes R, et al. Observed Intraseasonal and Seasonal Variability of the West India Coastal Current on the Continental Slope. *J Earth Syst Sci.* 2014;**123**(5). doi: 10.1007/s12040-014-0449-5
- Lotliker AA, Baliarsingh SK, Trainer VL, Wells ML, Wilson C, Udaya Bhaskar TVS, et al. Characterization of oceanic *Noctiluca* blooms not associated with hypoxia in the Northeastern Arabian Sea. *Harmful Algae.* 2018;**74**:46-57. doi: 10.1016/j.hal.2018.03.008 pmid: 29724342
- Parab SG, Prabhu Matondkar SG, do R. Gomes H, Goes JI. Monsoon Driven Changes in Phytoplankton Populations in the Eastern Arabian Sea as Revealed by Microscopy and HPLC Pigment Analysis. *Cont Shelf Res.* 2006;**26**(20). doi: 10.1016/j.csr.2006.08.004
- Madhupratap M. Free-Living Copepods of the Arabian Sea: Distributions and Research Perspectives. *Indian J Mar Sci.* 1999;**28**:146-149.
- Ershadifar H, Kor K, Koochaknejad E. A Study on the Composition of Size-Fractionated Suspended Particulate Matter in Shallow Coastal Waters of Chabahar Bay. *JPG.* 2020;**8**(28):1-18.
- Ghazi E, Bidokhti A, Ezam M, Zoljoodi M. Study of Temperature and Salinity Inversions in the Oman Sea. *JOC.* 2021;**12**(45):17-27.
- Aboobacker VM, Shanans PR, Al-Ansari EMAS, Sanil Kumar V, Vethamony P. The Maxima in Northerly Wind Speeds and Wave Heights over the Arabian Sea, the Arabian/Persian Gulf and the Red Sea Derived from 40 Years of ERA5 Data. *Clim Dyn.* 2020;**56**:1037-1052. doi: 10.1007/s00382-020-05518-6
- Piontkovski SA, Queste BY, Al-Hashmi KA, Al-Shaabi A, Bryantseva YV, Popova EA. Subsurface Algal Blooms of the Northwestern Arabian Sea. *Mar Ecol Prog Ser.* 2017;**566**:67-78. doi: 10.3354/meps11990
- E. K, Hamzei S. Distribution of *Margalefidinium polykrikoides* red tide in the Strait of Hormuz and the Persian Gulf using satellite remote sensing.

(Publication in progress). In Persian. *J Aquatic Ecol.*
 21. Murugesan K, Juma I, Khan S. Blooms of Noctiluca Scintillans and Its Association with Thalia sp.

(Salps) along Dubai Coastal Waters. *Res J Envir Sci.* 2017;**11**(3):101-107. **doi:**
[10.3923/rjes.2017.101.107](https://doi.org/10.3923/rjes.2017.101.107)

AUTHOR(S) BIOSKETCHES

Emad Koochaknejad, Iranian National Institute for Oceanography and Atmospheric Science, Tehran, Iran.

✉ emad.koochaknejad@inio.ac.ir

Samad Hamzei, Iranian National Institute for Oceanography and Atmospheric Science, Tehran, Iran.

✉ s_hamzei@inio.ac.ir

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Citation (Vancouver) Koochaknejad E, Hamzei S. Distribution of Winter Blooms of *Noctiluca scintillans* in the Strait of Hormuz: Case Study Based on the Results of Offshore Patrol of the Oceanographic Research Institute in Winter 2017. *J Oceanography.* 2022; 12(48): 57-67.

 <http://doi.org/10.52547/joc.12.48.57>

 <http://joc.inio.ac.ir/article-1-1628-fa.html>

 <https://orcid.org/0000-0002-8311-5238>



COPYRIGHTS

©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.