|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| پایش سنجش از دوری تغییرپذیری دمای سطحی آب و کلروفیلa در خلیج فارس و دریای عمان: عوامل مؤثر در تولید خالص اولیه | | | | | | | |
|  |  | |  |  |  |  | |
| مهدی غلامعلی­فرد\*1، بنیاد احمدی1، پریسا نوری1، فاطمه رنج­روزی1، سهراب مظلومی1،علی صابر2  1- گروه محیط­زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران  2- گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران | | | | | | | |
|  |  |  | | |  | |  |
| نوع مقـاله |  | چکـــیده | | | | | |
| مقاله پژوهشی اصيل |  | تولیدات اولیه به عنوان شاخص کلیدی در ارزیابی بوم­سازگان آبی محسوب می­شود که می­تواند مستقیما روی ترسیب کربن اثر گذارد. با توجه به تغییرات اقلیمی و پویایی محیط­زیست، تولیدات اولیه به صورت مکانی و زمانی در بوم­سازگان­های مختلف تغییر یافته است. به همین منظور، برای درک و پایش این تغییرات مهم­ترین پارامترهای تاثیرگذار بر مولفه از جمله، دمای سطحی آب، کلروفیلa و شکوفایی جلبکی و تغییرات آنها طی سری زمانی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. داده­های مربوط به کلروفیلa، دمای سطحی آب (SST) و تولید خالص اولیه از تاریخ ژانویه 2003 تا دسامبر 2018 از سنجنده MODIS-Aqua و از مدل VGPM به منظور برآورد تولیدات اولیه در محدوده مطالعاتی استفاده شد. پس از انجام پیش­پردازش و استخراج الگوریتم سری زمانی با استفاده از رویه­های من کندال (Mk-Tau) و تایل سین (Theil-Sen) روند تغییرات مشخص گردید سپس با استفاده از تصاویر رنگی کاذب، بلوم­های جلبکی در منطقه خلیج­فارس و دریای عمان شناسایی و مقدار غلظت کلروفیلa در محدوده­ی جلبکی و خارج از این محدوده مشخص گردید. نتایج حاصل از تحلیل روند با رویه تایل سین نشان داد که نرخ تغییرات برای کلروفیل در همه مناطق به استثنای منطقه پنج کاهشی است، بیشترین مقدار در منطقه پنج (19/0-) مشاهده گردید که با میزان نرخ تولیدات خالص اولیه مطابقت داشت. همچنين نتايج حاصل نشان داد که بیشترین مقدار تولید خالص اولیه در منطقه یک در مارس (3081 گرم کربن/متر مربع/روز) و کمترین آن نیز ژوئن و جولای (به ترتیب 540 و 690 گرم کربن/متر مربع/روز) که با مقدار غلظت کلروفیلa مطابقت دارد. با وجود همبستگی ظاهری، بین دمای سطحی آب و کلروفیلa و همچنین بین کلروفیلa و تولید خالص اولیه، رابطه علت و معلولی وجود ندارد و برای شکوفایی جلبکی و تولیدات خالص اولیه عوامل دیگری جز کلروفیلa می­تواند در نظر گرفته شود. | | | | | |
|  |  |
| تاریخ دریافت: 10/6/1399 |  |
| تاریخ پذیرش: 28/9/1399 |  |
| تاریخ چاپ الکترونیکی: 30/9/1399  \*نویسندهمسول:  m.gholamalifard@modares.ac.ir |  |
|  |  | **کــلید واژه ها**: شکوفایی مضر جلبکی، کلروفیلa، دمای سطحی آب، تولید اولیه، خلیج فارس و دریای عمان | | | | | |

مقدمه

دریای عمان و خلیج­فارس از مهم­ترین بوم­سازگان­های (Ecosystems) آبی جنوب کشور که از جنبه­های مختلفی حائز اهمیت هستند، با اینکه آب‌های خلیج­فارس و دریای عمان به طور پیوسته از طریق جریان­های جزر و مدی و چرخش­های معکوس (Reverse current) [1] از طریق تنگه هرمز در حال تبادل هستند، این دو بوم­سازگان از دیدگاه­های مختلف بوم­شناسی و خصوصیات آن از جمله دمای سطحی آب، مواد مغذی و جمعیت­های فیتوپلانکتونی می­تواند متفاوت باشند. تبادل آب­های اقیانوس هند از طریق دریای عمان با خلیج­فارس از طریق این تنگه بوده که سبب گردش استوانه­ای از طریق جریان­های ساحلی ایران از سمت شمال می­شود [2]؛ این تبادلات و چرخش­های آبی، محیط‌زیست این منطقه را با چالش­های متعددی از جمله تغییرات جمعیت فیتوپلانکتونی روبرو کرده است. حفاظت از محیط‌زیست مستلزم شناخت روابط اکولوژیکی و اقلیمی پیچیده حاکم بر آن می­باشد که در این میان حفاظت از بوم­سازگان­های ساحلی و دریایی در زمره مهم­ترین محیط­ها از لحاظ اکولوژیکی، اقتصادی و اجتماعی محسوب می­شوند؛ زیرا که این پهنه­ها پناه­گاهی برای انواع گیاهان و جانواران آبزی می­باشند.

فیتوپلانکتون­ها به عنوان تولیدکنندگان اولیه کربن آلی در زنجیره غذایی بوم­سازگان­های آبی، نقش اساسی در تولیدات اولیه بازی کرده و دارای نقش مهمی در بوم­سازگان دریایی دارند، زیرا عمده انرژی بوم­سازگان توسط این موجودات تولید می­شود؛ بنابراین تخمین کلروفیل در تحقیقات اکولوژیکی و فعالیت­های اقتصادی از قبیل برآورد تولیدات در آبزی­پروری دریایی مهم می­باشد [3]. کاربرد غلظت كلروفيلa به عنوان برآوردی از زي‌توده جلبكي تكنيكي ساده با سرعت عمل قابل ملاحظه بوده و در تمام توليدكنندگان اوليه مشترك است که تقريباً تمام مدل‌هاي برآورد توليدات اوليه، از كلروفيلa به ‌عنوان شاخص زي‌توده فيتوپلانكتون استفاده مي‌كنند.

از ویژگی­های فیزیکی آب دریاها و اقیانوس­ها، جذب انرژی خورشید و به دنبال آن افزایش دمای سطحی آب دریاست که موجب اختلاف دما بین دو محیط شده و در پی آن موجب شارش گرما می­شود. دما به دو صورت تأثیر خود را بر میزان تولیدات اولیه می­گذارد؛ در وهله­ی اول تأثیر مستقیم این پارامتر روی پلانکتون‌هاست، بدین­نحو که هر گونه فیتوپلانکتونی در دامنه دمایی خاصی فعالیت می‌کنند. در وهله بعدی با تأثیر روی حد اشباعی نور که می­تواند روی حداکثر تولیدات اولیه، توانایی معلق ماندن ارگانیسم­ها در آب و انحلال گازهای حیاتی تاثیرگذار باشد از این­رو، لايه‌بندي حرارتي در آب‌ها و تشكيل ترموكلاين مي‌تواند مانعي براي بالا آمدن مواد مغذي از لايه‌هاي زيرين و در نتيجه كاهش مقدار توليدات اوليه مي‌شود [4].

تولیدات ناخالص اولیه (تولید ترکیبات آلی توسط فرآیند فتوسنتز) از طریق تعامل دی اکسید کربن از محیط­زیست یا سیستم آبزی، مواد خام، مواد معدنی و نور به عنوان یک منبع انرژی اصلی صورت می­گیرد به این صورت که تولیدات ناخالص اولیه، دی اکسید کربن اضافه جو را جذب کرده و نقش تعدیل­کنندگی در آب و هوا را بازی می­کند از طرفی موجودات زنده به منظور ایجاد نظم و حفظ ساختار به انرژی و تنفس نیاز دارند. تنفس فرآیندی است که طی آن به منظور کسب انرژی شیمیایی برای فعالیت­های اساسی زندگی، کربن آلی به دی اکسید کربن تبدیل می­شود، با تفاضل تنفس از مقدار تولید ناخالص اولیه مقدار تولید خالص اولیه به دست می­آید [5]. به طورکلی تولیدات اولیه مبنا و پایه زیستی هر بدنه آبی را تشکیل می­دهد. تولیدات خالص اولیه مؤلفه­ای مهم در چرخه از نظر ذخیره کربن و شاخص کلیدی برای ارزیابی کارکرد بوم­سازگان‌ها است [6].

در دهه­های اخیر آلودگی آب­ها به یک مسئله گسترده و پر اهمیت در جهان تبدیل شده است. این روند ناشی از دو عامل تغییرات طبیعی و انسانی الگوهای آب و هوایی و شرایط محیطی می­باشد، که از مهم­ترین این پدیده­ها می­توان به غنی شدن آب­ها اشاره کرد که سبب پدیده­ای به نام کشند قرمز می­شود. این پدیده كه به شكل صحیح­تر بعنوان رشد یا شكوفایی جلبكی شناخته شده که در آن جلبك­ها رشد كرده و تجمعی را در جریان­های آبی ایجاد می­كنند. برخی از این کشندها موجب تولید سم طبیعی، تقلیل اكسیژن محلول یا دیگر اثرات مضر و آسیب­رسان می­شوند و عموماً بعنوان شكوفایی جلبك­های مضر تعریف می­شوند. اگرچه عوامل طبیعی مختلفی در به وجود آمدن شکوفایی جلبکی نقش دارند اما فعالیت­های انسانی از قبیل پراکندگی گونه­های زیستی، رشد و توسعه جمعیت­های شهری (همراه با تخلیه فاضلاب­های مربوطه)، تولید غذا (همراه با افزایش استفاده از کودهای مصنوعی) و سیستم­های تولیدی جانوری (همراه با پسماندهای مربوطه)، افزایش فعالیت­های آبزی­پروری [7] و تولید و مصرف انرژی باعث افزایش مواد غذایی (فسفر و نیترات) در مناطق ساحلی می­شود. این مواد به­طورکلی، از طریق آب­های سطحی، منابع آلودگی زمینی، آبزی­پروری و رسوبات جوی به پهنه­های آبی راه می­یابد. با توجه به نوع­ و شکل ساحل بر ماهیت و مقدار مواد مغذی از طریق تغییر جریان­های رودخانه­ای تأثیرگذار است [7] در نتیجه مکان­های مختلف در مقدار و شکل­های مختلف مواد مغذی را دریافت می­کنند. افزایش و تغییرات این مواد باعث تغییر زیستگاه­های ساحلی [7]، تغییر عملکرد بوم­سازگان­ها و پیامدهای اقتصادی این حوادث از بین رفتن موجودات آبزی و خدمات بوم­سازگان است [8]. در دهه­های اخیر، افزایش مواد غذایی [9] و تغییرات آب و هوایی [10] گسترش شکوفایی جلبکی را در مقیاس­های محلی و جهانی موجب شده است.

از جمله مهم­ترین پارامترهای تأثیرگذار روی تولیدات اولیه، کلروفیلa [6, 11, 12] دما [13] و لایه آمیخته (mixed layer) [14]؛ مهم­ترین پارامتر تأثیرگذار روی کلروفیلa، دمای سطحی آب [15, 16]؛ ارتباط کلروفیلa و شکوفایی جلبکی می­توان به مطالعات [17, 18] اشاره کرد.

شکوفایی جلبکی در مکان، زمان­ و همچنین از نظر تنوع گونه­ای بسیار متغیر است. شکوفایی جلبکی از نوع دینوفلاژلاته در دهه­های گذشته در دریای عرب و خلیج فارس و دریای عمان صورت گرفته است [19, 20]. یکی از ویژگی­های این گونه و شکوفایی آن این است که تمایل به شناور شدن دارد بر همین اساس تشخیص آن با استفاده از سنجش از دور امکان­پذیر بوده و می­توان آن را به صورت پیوسته مانیتور کرد [17]. مدل‌سازی‌های مختلف رابطه­ شکوفایی جلبکی با دمای سطحی آب را نشان می­دهد [8, 13]، به­طور کلی افزایش دمای آب می­تواند روی نرخ رشد جلبکی تأثیر مثبت و منفی داشته باشد [21]. هنگامی­که یک شکوفایی جلبکی ایجاد می­شود عوامل فیزیکی مختلفی می­تواند آنرا گسترش و یا از بین ببرد. فرآیندهای فیزیکی و اقلیمی بر روی شکوفایی جلبکی تأثیر بسزایی دارد که ممکن است در طیف وسیعی از مقیاس­های مکانی و زمانی عمل کنند و همچنین طبیعت پایدار مناطق خلیجی و ساحل­های نیمه بسته می­تواند بارها شکوفایی جلبکی را برای دوره­های طولانی مدت سبب شود [7] در نتیجه برای مدیریت مؤثر مناطق ساحلی و همچنین کنترل شکوفایی جلبکی داشتن اطلاعاتی از محیط­زیست محل شکوفایی جلبکی، عوامل اقلیمی و همچنین مناطق شکوفایی جلبکی لازم و ضروری است. از این­رو، با توجه به منابع طبیعی غنی (زیستی و معدنی) در خلیج فارس و دریای عمان داشتن یک برنامه­ی اکولوژیکی منسجم از ساختار و پویایی تغییرات در دریا ضروری است. زیرا این تغییرات مستقیماً جوامع زیستی این نواحی را تحت­تأثیر قرار می‌دهد. بر این اساس، این مطالعه روی ارتباط کلروفیلa، دمای سطحی آب با تولید اولیه و همچنین با شکوفایی جلبکی در طی سری زمانی 2003 تا 2018 تمرکز دارد.

مواد و روش­ها

منطقه مورد مطالعه

خلیج فارس آبراهی است که در امتداد دریای عمان و در بین ایران و شبیه جزیره عربستان قرار دارد. مساحت این خلیج 237 هزار و 473 کیلومتر مربع که بعد از خلیج مکزیک و هادسون سومین خلیج بزرگ جهان به شمار می­آید که از شرق از طریق تنگه هرمز و دریای عمان به اقیانوس هند و از غرب به دلتای رودخانه اروند رود که حاصل پیوند دو رودخانه دجله و فرات و پیوستن رودخانه کارون به آن است ختم می­شود. کشورهای ایران، عمان، عربستان، عراق، کویت، امارت متحده عربی، قطر و بحرین در حاشیه این خلیج قرار دارد [22]. در این مقاله، به­منظور تجزیه و تحلیل داده­های سری زمانی و همچنین شناسایی محل شکوفایی‌های مضر جلبکی در طی روند مورد بررسی از مناطق شش­گانه استفاده گردید (شکل1) [23]. از مهم­ترین جریانات بالارونده در این منطقه می­توان به منطقه ساحلی بوشهر (قسمت شمالی منطقه پنج) [24]، قسمت غربی استان هرمزگان (مناطق ساحلی منطقه دو در محدوده­ی کوشکنار [25]، قسمت شمالی منطقه یک (محدوده­ی پی­وشک) [26] اشاره کرد.

|  |
| --- |
| شکل1. مناطق مختلف منطقه مورد مطالعه: یک) شرق، دو) مرکزی، سه) جنوب، چهار) جنوب غربی، پنج) شمال غربی و شش) منطقه تخلیه رودخانه­ای [23] |

تشکیل پایگاه داده

به­طور­کلی، داده­های سری زمین به عنوان منبع مهمی برای مشاهده پویایی و تکامل پدیده­های محیط­زیستی بوده که از آن­ها به منظور پی­بردن به حضور روند در سری­های زمانی بلند مدت استفاده می­شوند [27]، به همین منظور برای تشکیل پایگاه داده­ و تجزیه و تحلیل تغییرات مکانی و زمانی مؤلفه کلروفیلa و دمای سطحی آب از داده­های سنجش از دوری سنجنده MODIS-Aqua، سطح سه، بازه زمانی ماهیانه در پایگاه داده­ای اقیانوس­شناسی ناسا (<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov>) استفاده گردید (ژانویه 2003 تا دسامبر 2018). فرمت این داده­ها دارای مسافت­های مساوی پیکسل (با وضوح تقریبا 5/4 کیلومتر) است و تعداد 192 تصویر از خروجی مدل VGPM از سنجنده MODIS در پایگاه داده از ژانویه 2003 تا دسامبر 2018 Ocean Productivity، جهت اخذ داده­ها استفاده گردید.

الگوریتم پارامترهای مورد بررسی

در حال حاضر تولیدات کلروفیلa بر اساس الگوریتم ­OC4 می­باشند [28] که داده‌های با ارزشی درباره توزیع زمانی و مکانی کلروفیلa در آب را فراهم می‌کنند [29]. به منظور محاسبه دمای سطحی آب از الگوریتم خطی استفاده می­گردد، از آن­جایی که این الگوریتم از نظریه Window Dual (Split) پیروی می­کند و به دلیل استفاده از زاویه­ی زنیتی (از طریق باندهای 20، 22 و 23)، جذب بخار آب در جو (باندهای 31 و 32) و تصحیحات اتمسفری (همه باندها) از دقت بالایی برخوردار است [30]. روش­ها و ابزارهای جدیدی برای تخمین و برآورد تولید اولیه به طور مداوم در حال تکامل می­باشند [31]. تحقیق حاضر با استفاده از رویکرد سنجش از دور و استفاده از مدل VGPM صورت گرفت. یکی از ساده­ترین مدل­هایی که معمولاً برای اندازه­گیری عمق یکپارچه تولید اولیه (NPP) استفاده می­شود [32]. معادله کلی VGPM برای برآورد تولید اولیه یکپارچه به صورت زیر بیان می­شود [4]:

الگوریتم نیاز به اندازه­گیری داده­های برآورد ­شده از پنج متغیر ورودی، یعنی میزان بهینه تثبیت کربن در ستون آب، (Pbopt)، کلروفیل(chl-a) a، عمق نوری (Zeu)، دوره­ی نوری (Dirr)، تابش فعال فتوسنتزی (PAR)می­باشد. در حال حاضر هیچ روشی برای اندازه­گیری مستقیم پارامتر (Pbopt) وجود ندارد این متغیر می­تواند از طریق ارتباطات دمای سطحی آب به صورت زیر مدل شود اگر دما کمتر از 10-، 1- و 5/28 به ترتیب Pbopt برابر صفر، 13/1 و 4 است در غیر اینصورت از طریق رابطه زیر محاسبه خواهد شد [4].

عمق نوری (Zeu)نیز از طریق رابطه زیر بدست می‌آید.

اگر مقدار 1Chl a< باشد:

اگر مقدار <Chl a1 باشد:

و اگر عمق نوری برآورد شده از رابطه بالا 102 Zeu ≤ باشد:

PP: انتگرال تولید اولیه در عمق نوری (گرم کربن بر متر مربع در روز).

Chla: غلظت کلروفیل a (میلی­گرم بر متر مکعب).

Dirr: دوره نوری روزانه (in decimal hours).

PAR: تابش فعال فتوسنتزی (انیشتن بر متر مربع در روز).

Zeu: عمق نوری (متر).

Pbopt: میزان بهینه تثبیت کربن روزانه در ستون آب (میلی­گرم کربن یا میلی‌گرم کلروفیل aدر ساعت).

پیش­پردازش

از آنجایی که این تصاویر توسط گروه زیست­شناسی اقیانوس با استفاده از جدیدترین الگوریتم­ها مورد پردازش و کالیبراسیون قرار گرفته­اند [29]، کالیبراسیون این داده­ها دارای دو بخش ابزاری (مربوط به سنجنده) و الگوریتمی است که تقریباً در بازه­های زمانی 4 ساله به منظور حداقل رساندن خطاهای مربوط به سنجنده، اتمسفر و همچنین الگوریتم در طی سری زمانی کالیبره می­شوند. لازم به ذکر است که، در طی این پیش­پردازش­ها الگوریتم تغییر نخواهد کرد این پیش­پردازش­ها برای کلروفیل و دمای سطحی آب تقریباً به طور کامل انجام شده است[33]. به همین منظور از یک طرف، برای از بین بردن خطاهای مکانی و همچنین کاهش نویز و از بین بردن خطاهای مربوط به سنجنده از فیلتر میانه استفاده شد. از طرف دیگر، خود­همبستگی سریالی که یک مشکل رایج در داده­های سری زمانی است [34] را می­توان با کاهش حجم نمونه مؤثر، تنظیم واریانس [35] و یا با پیش­سفید کردن آن­را رفع نمود. کاهش حجم نمونه مؤثر و تنظیم واریانس مخصوصاً زمانی­که اندازه نمونه کوچک باشد ممکن است به دلیل تأثیر جدی بر روی تجزیه و تحلیل مؤثر واقع نشود. با توجه به مطالب ذکر شده می­توان از پیش­سفید کردن برای از بین بردن خودهمبستگی سریالی استفاده نمود [36]. لازمه پی بردن به خودهمبستگی سریالی آماره داربن واتسون است، این آماره ارتباط سریالی برای هر پیکسل را محاسبه می­کند، مقدار آن همیشه بین 4-0 است. ارزش 2 نشان­دهنده این است که خودهمبستگی سریالی وجود ندارد، کمتر از 2 شواهدی از ارتباط مثبت و بیش­تر از 2 خود­همبستگی سریالی منفی است. پیش‌سفید کردن توسط بسیاری از محققین برای از بین بردن اثر خودهمبستگی سریالی بر روی آزمون من-کندال استفاده شده است [34]. پیش­سفید کردن شامل برآوردی از همبستگی ρ طی سری می­باشد. اگر مقدار ρ کوچکتر از 05/0باشد می­توانیم مستقیماً از رویه­ها برای محاسبه روندهای سری زمانی استفاده کنیم، در غیر این­صورت ابتدا باید مرحله پیش­سفید کردن انجام گیرد و سپس از انواع رویه­های سری ‌زمانی جهت محاسبه روند استفاده گردد. تا زمانی­که مقدار ρ کوچک­تر از 05/0 شود پیش­سفید کردن انجام می­گیرد [37]. در نهایت مهم­ترین پیش­پردازش، محاسبه ناهنجاری می­باشد که Deseason برای حذف آثار فصل گفته می‌شود و انحراف هر پیکسل از میانه ماه مربوطه محاسبه می­شود. نتایج این رویه به ­طور­کلی برای تجزیه و تحلیل سری­های زمانی مانند تجزیه و تحلیل مؤلفه­های اصلی استفاده می­شود.

تصاویر رنگی کاذب

بازتاب­های سنجش از دوری در محدوده­ی 469، 555 و 645 نانومتر سنجنده MODIS-Aqua برای تولید تصاویر رنگی کاذب (RGB) و تصاویر کاذب بهبود یافته (ERGB) شکوفایی مضر جلبکی مورد استفاده قرار گرفت [38]. هدف از انتخاب باندهای مناسب برای ساختن تصاویر رنگی، به حداقل رسانیدن داده­های کم ارزش و استفاده حداکثر از اطلاعات مفید می­باشد. این ترکیب باندی اطلاعاتی را نشان می­دهد که ویژگی­های فضایی بهتری از کلروفیل و شکوفایی جلبکی را نشان می­دهد.

نتایج و بحث

میانگین دمای سطحی آب و کلروفیلa

شکل2 میانگین تغییرات کلروفیلa، دمای سطحی آب و تولیدات خالص اولیه براساس مدل VGPM در طی روند سری زمانی 2003 تا 2018 نشان می­دهد. نتایج نشان می­دهد که غلظت کلروفیلa در فصل پاییز و زمستان نسبت به بهار و تابستان بیشتر بوده است، بالا بودن مقدار غلظت کلروفیل در فصول سرد آب­های گرمسیری و نیمه گرمسیری رایج است [23].

کم­ترین مقدار غلظت کلروفیلa در شرق خلیج فارس به سمت دریای عمان مربوط به ماه­های جولای و اگوست است (شکل3) در حالی­که دمای سطحی آب از غرب به شرق در همین ماه­ها افزایش یافته است (شکل4).

مقدار غظت کلروفیل در طی سری زمانی در قسمت­های مختلف منطقه مورد مطالعه جز ماه جولای تفاوت معنی­داری وجود ندارد (شکل2). در قسمت­های عمیق شمالی خلیج فارس لایه­بندی حرارتی در تابستان تشکیل و در زمستان از بین می­رود در صورتی­که در قسمت­های عمیق بخش جنوبی در تمام طول سال لایه­بندی حراراتی وجود دارد [1]. در ماه جولای آب­های سطحی اقیانوس هند از طریق تنگه هرمز وارد خلیج فارس شده که در تمام سال منطقه دو و جنوب غربی منطقه سه را تحت تأثیر قرار می­دهد این آب­ها از طریق جریان­های سیکلونی در طول زمستان در مناطق ذکر شده وجود دارند و در فصل تابستان به قسمت­های شمالی خلیج راه می­یابند [39]. این جریانات در جولای به دلیل جریانات فراجوشی (upwelling) و جریان­های پدیده مانسون در دریای عمان افزایش یافته و کلروفیل این منطقه را تحت تأثیر قرار داده و سبب افزایش آن می­شود [40] در منطقه شش یا به عبارت دیگر منطقه ورودی اروندرود، مقدار غلظت کلروفیلa جز در تابستان که مقدار کلروفیلa کاهش یافته است نسبت به سایر مناطق بیشتر است در تابستان مقدار کلروفیل آن به حداقل مقدار خود رسیده است (شکل3،2). بالا بودن مقدار کلروفیل در زمستان ممکن است به دلیل شفاف بودن آب و بالا رفتن عمق نفوذ نور و به دنبال آن انعکاس از رسوبات بستر (در نواحی کم­عمق)، در صورتی­که در فصل تابستان به دلیل بالا رفتن کدورت و کاهش شفافیت آب مانع از انعکاس از رسوبات بستر می­شود [41].

|  |  |
| --- | --- |
| الف | ب |
| ج | |

شکل2. تغییرات ماهیانه: الف) کلروفیلa ب) دمای سطحی آب و ج) تولید خالص اولیه در شش منطقه مورد مالعه با استفاده از تصاویر ماهواره­ای MODIS-Aqua در طی روند 2018-2003

نتایج نشان می­دهد که میانگین غلظت کلروفیلa در مناطق مرکزی خلیج فارس کم­ترین و مناطق ساحلی آن بیش­ترین مقدار را دارد. مقدار غلظت کلروفیلa به تدریج از ماه جولای افزایش یافته و در ماه­های اکتبر تا دسامبر به بیشترین مقدار خود رسید. در منطقه شش بیشترین مقدار آن در ماه فوریه و مارس مشاهده گردید (شکل2)، به دلیل تخلیه رودخانه­های دجله، فرات و کارون به این منطقه در فصل زمستان است. آب­های ورودی این بخش توسط رودخانه­های عربستان افزایش یافته که موجب جابجایی ذرات تا سواحل قطر می­شود [23]. مناطق یک، دو و پنج تحت تأثیر تخلیه رودخانه­ای قرار نمی­گیرد، این مناطق بیشتر تحت تأثیر فرآیندهای هیدرودینامیکی مانند جهت وزش باد و جریان­های دریایی هستند [16]. حداقل میزان غلظت کلروفیل در منطقه یک در ماه می تا سپتامبر مشاهده شد که مخالف نوسانات دمای سطحی آب بود [16, 23] که می­تواند به دلیل جریانات بالارونده باشد [23] این جریانات همراه با پساب تخلیه شده در سواحل شمالی مقدار غلظت کلروفیل را در محدوده­ی تنگه هرمز تحت تأثیر قرار می­دهد. در طی روند 2003 تا 2018، در منطقه یک (فوریه)، مناطق سه و چهار (سپتامبر)، مناطق پنج و شش (اکتبر تا دسامبر) بیشترین مقدار غلظت کلروفیلa و در ماه جولای کمترین مقدار این مؤلفه مشاهده شد (شکل2).

همچنین نتایج حاصل از شکل2 ج نشان می­دهد که مقدار تولید خالص اولیه همانند کلروفیلa در دو فصل پاییز و زمستان بیشتر از بهار و تابستان بود به طوری­که، بیشترین مقدار تولید خالص اولیه در زمستان (1760 گرم کربن/متر مربع/روز) و کمترین آن در تابستان (1094 گرم کربن/متر مربع/روز) محاسبه گردید. بیشترین میزان تولید اولیه (3081 گرم کربن/متر مربع/روز) در منطقه اول در ماه مارس و کمترین میزان آن (539 گرم کربن/متر مربع/روز) نیز در منطقه یک و مربوط به ماه ژوئن است. بیشترین مقدار ضریب همبستگی پیرسون بین مقدار غلظت کلروفیلa و تولیدات خالص اولیه در این منطقه محاسبه گردید (78/0r=). به صورت کلی پایین­ترین مقدار تولید اولیه در تمام ماه­های سال مربوط به منطقه دو (1227 گرم کربن/متر مربع/روز) و بالاترین مقدار آن در منطقه چهارم (1422 گرم کربن/متر مربع/روز) بدست آمد.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

شکل3. میانگین غلظت کلروفیلa در ماه­های مختلف در طی روند سری زمانی 2003 تا 2018 با استفاده از سنجنده MODIS-Aqua

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

شکل4. میانگین تولیدات اولیه در ماه­های مختلف در طی روند سری زمانی 2003 تا 2018 با استفاده از مدل VGPM

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

شکل5. میانگین دمای سطحی آب در ماه­های مختلف در طی روند سری زمانی 2003 تا 2018 با استفاده از سنجنده MODIS-Aqua

از طرف دیگر، در ماه­های می، ژوئن و سپتامبر مقدار این مؤلفه در قسمت شرقی کاهش، در صورتی­که در قسمت­های مرکزی و ساحلی افزایش یافته است (شکل4). در طی ماه­های جولای تا اکتبر مقدار دمای سطحی آب از شرق به غرب افزایش یافته به طوری­که مقدار دمای خلیج­فارس نسبت به دریای عمان در این ماه­ها بیشتر بوده است (شکل5). مقدار غلظت کلروفیلa در منطقه مورد بررسی به ترتیب در مناطق یک و چهار بیشترین و در مناطق پنج و سه کم­ترین مقدار را داشته است (شکل2)، این مناطق نسبت به سایر بخش­های دیگر مقدار تخلیه آب از طریق رودخانه­ها بیشتر بوده که مواد مغذی می­تواند از این طریق وارد منطقه شود [16] به طورکلی، مقدار نیترات، فسفات و سیلیکات­ها به صورت جهانی تغییر زیادی داشته است [42]. مقدار ورودی نیترات به رودخانه­ها نسبت به دو سده گذشته دو برابر شده [42]، چنین افزایشی می­تواند به دلیل بالا رفتن تراکم جمعیتی در مناطق ساحلی، افزایش سرانه مصرف غذاها و نیاز به انرژی و آب باشد [43] که به نوبه­ی خود موجب افزایش نیترات می­شود [8] در مقایسه با افزایش نیترات رشد فسفات­ها در کودهای کشاورزی رشد کمتری (1:3 نیترات) داشته است [8, 42] خدمات آب و فاضلاب و تصفیه فاضلاب به همان اندازه انفجار سریع جمعیت رشد نکرده و مشکلاتی مانند ورود فاضلاب و انواع پساب­ها مانند پساب­های کشاورزی، صنعتی به رودخانه می­شود. فاضلاب انسانی بزرگترین منبع آلی فسفات است [44] بین 7 تا 12 درصد از نیترات ورودی به آمونیوم تبدیل می­شود، این امر باعث تحریک رشد کلروفیل و در پی آن شکوفایی جلبکی شود [7] که خود موجب پدیده پرغذایی و تشدید مجدد رشد منطقه شکوفایی می­شود [21].

تغییرات سری مکانی-زمانی پارامترهای مورد بررسی

بررسی سری زمانی ناهنجاری­های ماهیانه غلظت کلروفیلa مربوط به داده­های ماهواره­ای نشان می­دهد که در سری زمانی مورد بررسی، غلظت کلروفیلa دارای نوسانات زیادی بوده است به­طوری­که، بیش­ترین میزان تغییرات در منطقه یک و کم­ترین آن در منطقه دو بوده است (شکل6). با توجه به شکل6، غلظت کلروفیل در مناطق مختلف دارای دوره­های متفاوتی بوده است به صورتی­که تعداد 10 پیک اصلی در طی روند مورد بررسی مشاهده می­شود. به صورت کلی، پیک­های افزایشی مربوط به سپتامبر 2004، جولای 2007، آگوست 2008، جولای 2008، آگوست 2009، جولای 2010، سپتامبر 2011 [30]، فوریه 2015، مارس و سپتامبر 2017 می­باشند.

|  |
| --- |
| شکل6. روند سری زمانی ناهنجاری­ مولفه زیست نوری کلروفیلa: الف)منطقه یک، ب) منطقه دو، پ)منطقه سه ،ت) منطقه چهار، ث) منطقه پنج و ج) منطقه شش |
| شکل7. روند سری زمانی ناهنجاری­ دمای سطح دریا: الف)منطقه یک، ب) منطقه دو، پ)منطقه سه ،ت) منطقه چهار، ث) منطقه پنج و ج) منطقه شش |

در طی این سال­ها مقدار غلظت کلروفیل با حالت طبیعی بقیه سال­های روند تفاوت دارد و یک افزایش غیرطبیعی در طی این سال­ها داشته است که می­تواند به دلیل وقایعی مانند شکوفایی جلبکی باشد [45]. بررسی­های حداکثر مقدار مکانی و زمانی کلروفیلa (شکل6) و دمای سطحی آب (شکل7) می­تواند اطلاعات مفیدی درباره مکان و زمان شکوفایی جلبکی را نشان دهد [46].

|  |
| --- |
| شکل8. روند سری زمانی ناهنجاری تولیدات خالص اولیه: الف)منطقه یک، ب) منطقه دو، پ)منطقه سه ،ت) منطقه چهار، ث) منطقه پنج و ج) منطقه شش |

مقدار تولید خالص اولیه در دو منطقه دو و شش در سال 2008 و منطقه یک و سه در سال 2017 پیک قابل توجهی داشته است (شکل8). غلظت کلروفیلa با تولید خالص اولیه جز در منطقه سه دارای همبستگی مثبت است، بیشترین مقدار همبستگی این دو پارامتر در منطقه یک (78/0=r)، منطقه دو و شش (71/0=r) و منطقه پنج (42/0=r) می­باشد.

نتایج حاصل از تحلیل روند سری زمانی طی سال­های 2003 تا 2018 به صورت ماهیانه در مناطق مختلف منطقه مورد مطالعه نشان می­دهد که مقدار غلظت کلروفیلa در منطقه مورد مطالعه مانند سایر مناطق آبی در مناطق ساحلی دارای روند افزایشی بوده است [47] (شکل6ب). از سویی، بیشترین مقدار کاهش این مؤلفه در منطقه دو و پنج به میزان 19/0 میلی­گرم بر متر مکعب و تنها منطقه­ای که شاهد افزایش این مؤلفه می­باشد منطقه چهار یا به عبارت دیگر، مناطق ساحلی بحرین و قطر بوده است (جدول1). از سوی دیگر، نتایج حاصل از این آزمون برای درجه حرارت سطح دریا در بخش­های مختلف نشان از افزایش این پارامتر را داشته است. بیشترین مقدار افزایش دمای سطحی آب در منطقه ششم و کمترین آن در منطقه دوم بوده است، به طور میانگین 20/1 درجه سانتی­گراد در طی روند بوده­ است (جدول1).

جدول1. میانگین رویه­های من کندال و تایل سین در مناطق مختلف خلیج فارس و دریایی عمان

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| مناطق مورد مطالعه | رویه تایل-سین | | | رویه من کندال تاو | | |
| کلروفیل(mg/m3) | تولید خالص اولیه (mgc/m2/day) | دما (درجه سلسیوس) | کلروفیل(mg/m3) | تولید خالص اولیه (mgc/m2/day) | دما (درجه سلسیوس) |
| منطقه یک | 12/0- | 45/0- | 93/0 | 02/0- | 02/0- | 04/0 |
| منطقه دو | 19/0- | 36/0- | 94/0 | 03/0- | 03/0- | 03/0 |
| منطقه سه | 035/0- | 47/0- | 27/1 | 04/0- | 07/0- | 04/0 |
| منطقه چهار | 02/0+ | 23/0- | 61/1 | 0005/0- | 03/0- | 04/0 |
| منطقه پنج | 19/0- | 61/0- | 42/1 | 07/0- | 05/0- | 05/0 |
| منطقه شش | 14/0- | 53/0- | 84/1 | 02/0- | 04/0- | 05/0 |

روند دو مقدار کلروفیلa (شکل6) و درجه حرارت سطح دریا (شکل7) نشان داده شده است. نتایج حاصل از روند تولید خالص اولیه نشان می‌دهد که مقدار این پارامتر نیز در منطقه روند کاهشی داشته است (جدول1).

|  |
| --- |
|  |

شکل9. تحلیل روند سری زمانی؛ کلروفیلa: الف) رویه تایل سن، ب) رویه من کندال، دمای سطحی آب: پ) رویه تایل سن و ت) رویه من کندال و تولید خالص اولیه: ث) رویه تایل سین و ج) رویه من کندال

نتایج حاصل از شکل9 پ نشان می­دهد که نرخ تغییرات در محدوده­ی استان بوشهر در محدوده­ی بندر گناوه و دیلم، مناطق ساحلی عربستان، کویت، قطر، عمان و همچنین در تنگه هرمز افزایش داشته است در مناطق ساحلی خوزستان، بحرین و قسمت غربی منطقه سه، دما به طور مداوم کاهش یافته است (شکل9ت). میانگین نرخ تغییرات تولیدات خالص اولیه نشان می­دهد که مقدار آن در تمام مناطق کاهشی بوده، به­طوری­که بیشترین مقدار کاهش در منطقه پنج و کمترین آن در منطقه چهار است (جدول1). مقدار این مؤلفه در قسمت شمالی منطقه مورد مطالعه یا به عبارت دیگر، از جزیره خارک به سمت دلتای رودخانه اروندرود و دلتای رودخانه حله به دليل وجود مواد غذايي فراوان و آب كم عمق و به نسبت آرام، گونه‌هاي متنوع آبزيان زندگي مي‌كنند که این عوامل به دلیل بالا بودن مقدار کلروفیلa است و در قسمت جنوب غربی از خط ساحلی الخور تا مسیعید افزایش داشته است (شکل9ج).

تأثیر نوسانات دمای سطح آب روی کلروفیلa

جزئیات نوسانات دمای سطح آب و غلظت کلروفیلa و همبستگی آن­ها در شکل11 نشان داده شده است. نتایج نشان می­دهد که نوسانات آن­ها متفاوت است. وجود همبستگی منفی در مناطق دو و پنج (به ترتیب 04/0 و 02/0) که می­تواند به دلیل جریانات بالارونده، نوسانات اقلیمی، اتمسفری و فعالیت­های انسانی باشد (شکل10) [16] و در سایر مناطق دارای همبستگی مثبت بین الگوی ماهانه غلظت کلروفیلa با الگوی ماهانه درجه حرارت سطح دریا هستند به طوری­که، با افزایش یا کاهش در مقدار درجه حرارت، مقدار غلظت کلروفیلa در مناطقی که مقدار همبستگی منفی است در جهت مخالف و در مناطقی که مثبت است دما و کلروفیلa هم­جهت با هم تغییر خواهند کرد.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| الف | ب | پ |
| ت | ث | ج |

شکل0­1. الگوی ماهانه کلروفیلa (نمودار سبز) و درجه حرارت سطح دریا (نمودار آبی) در طی دوره 2003 تا 2018 در مناطق الف) یک، ب) دو، پ) سه، ت) چهار، ث) پنج و ج) شش با استفاده از داده‌های ماهواره­ای

مقایسه تغییرات مؤلفه‌های مورد بررسی با سایر بوم­سازگان­ها

در جدول (2) نتایج مقایسه مؤلفه‌های کلروفیل aو دمای سطحی آب و تولیدات خالص اولیه خلیج فارس با دیگر بوم­سازگان­های دنیا صورت گرفته است. نتایج برآورد شده از رویه تایل سین و رویه من کندال تولیدات خالص اولیه بوم­سازگان خلیج فارس مشابه با دریای سرخ، مدیترانه، دریای عرب، دریای چین جنوبی و دریای فیلیپین می‌باشد که به ترتیب بیانگر کاهش نرخ تغییرات و روند کاهشی تولیدات اولیه در این بوم­سازگان‌ها می باشد. در تمامی بوم­سازگان­های موجود در جدول (2) به غیر از دریای شمال و ژاپن افزایش نرخ تغییرات دما و همچنین افزایش روند دما را نشان داد.

جدول2. مقایسه میانگین رویه­های من کندال و تایل سین در بوم­سازگان­های مختلف [4]

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| نام | موقعیت | کلروفیلa | | دمای سطحی آب | | تولیدات خالص اولیه | |
| Mk | TS | Mk | TS | Mk | TS |
| دریای عرب | شمال اقیانوس هند | 027/0- | 51/0- | 0712/0 | 33/0 | 0234/0- | 87/28- |
| دریای چین جنوبی | بخشی از اقیانوس آرام | 0229/0- | 038/0- | 0575/0 | 61/0 | 0226/0- | 93/6- |
| دریای ژاپن | بخش غربی اقیانوس آرام | 0645/0 | 054/0 | 00412/0- | 15/0- | 0375/0 | 09/4 |
| دریای مدیترانه | شمال اروپا | 0487/0 | 049/0 | 868/0 | 868/0 | 0038/0- | 54/11- |
| دریای سرخ | بین شبه‌جزیره عربستان و شمال شرق قاره آفریقا | 0054/0- | 0741/0- | 034/0 | 44/0 | 03/0- | 83/70- |
| دریای شمال | شمال اروپا | 005541/0 | 028224/0- | 008632/0- | 380352/0- | 003620/0 | 057856/14 |
| دریای فیلیپین | غرب اقیانوس آرام | 0479/0- | 02/0- | 0413/0 | 38/0 | 0424/0- | 38/7- |

طبق نتایج حاصل از رویه تایل سین کلروفیلa دریای شمال، دریای عرب، دریای فیلیپین و دریای چین جنوبی مطابق رویه تایل سین در منطقه خلیج فارس شاهد کاهش نرخ تغییرات در بازه زمانی ژانویه 2003 تا دسامبر 2018 بوده است.

ارتباط شکوفایی جلبکی با مقدار کلروفیلa

همان­طور که در بالا ذکر گردید نتایج حاصل از تحلیل روند سری زمانی نشان داد که در طی زمان مورد بررسی، اولین تغییر ناگهانی در مقدار غلظت کلروفیلa در سپتامبر 2004 رخ داد که در این سال نیز شکوفایی جلبکی اتفاق افتاده است (شکل6).

شکل11. میانگین غلظت کلروفیلa در دو محدوده­ی داخلی و خارجی از محدوده شکوفایی جلبکی

بررسی مقدار میانگین غلظت کلروفیلa در این تاریخ نشان داد که غلظت کلروفیلa در منطقه شکوفایی جلبکی 59/1 میلی­گرم بر متر مکعب و خارج از منطقه شکوفایی این مقدار 47/1 میلی­گرم بر متر مکعب می­باشد (شکل11)، این بلوم در قسمت ساحلی منطقه یک و دو در محدوده­ی تنگه هرمز، در استان هرمزگان از منطقه ساحلی شهرستان میناب به سمت بندرلنگه، محدوده ساحلی بوشهر از عسلویه تا بندر گناوه و دیلم، در خوزستان از هندیجان تا اروندروند و مناطق ساحلی منطقه شش، چهار و سه را در بر گرفت (شکل­12پ) این بلوم 26 درصد از منطقه مورد مطالعه را پوشش داد که مساحت آن 81 هزار کیلومتر مربع بود یا به عبارت دیگر، در محدوه­ی مناطق ساحلی تمامی مناطق شش­گانه مشاهده شده است به­طوری­که، بیشترین مساحت این بلوم در منطقه شش (78 درصد) و کمترین آن در منطقه یک (0.38 درصد) است.

|  |  |
| --- | --- |
| الف | ب |
| پ | ت |

شکل12. نقشه­های مربوط به الف) غلظت کلروفیلa و ب) تصویر رنگی کاذب در تاریخ سپتامبر 2004

پ) غلظت کلروفیلa و ت) تصویر رنگی کاذب در جولای 2006

نتایج حاصل از شکل12ت نشان داد که در تاریخ جولای 2006 در مناطق ساحلی هرمزگان، بوشهر، خوزستان، منطقه ورودی اروندرود (منطقه شش) بحرین و قطر شکوفایی جلبکی رخ داد. وسعت این بلوم نسبت به بلوم سپتامبر 2004 کمتر بود به­طورکلی، مساحت این بلوم 49 هزار کیلومتر مربع که 16 درصد از منطقه را پوشش داد. با توجه به تصاویر رنگی کاذب و روندهای سری زمانی در مناطق شش­گانه بیشترین مساحت این بلوم در منطقه شش و کمترین آن در منطقه چهار مشاهده گردید.

نتایج حاصل از تصاویر رنگی کاذب و روند سری زمانی کلروفیلa (شکل6) برای سال­های 2007، 2008، 2009 و 2010 حاکی از آن است که شکوفایی جلبکی بیشتر در منطقه پنج در محدوده­ی شهرستان عسلویه تا بندر دیلم اتفاق افتاده است در سال 2008 و 2009 میلادی (شکل13) شکوفایی جلبکی غیرطبیعی در بخش شمالی مناطق ساحلی ایران که با مقدار افزایش غلظت کلروفیلa هم­خوانی دارد [16, 45, 48]، همچنین تغییرات دمای سطحی آب نیز در طی این سال­ها افزایش یافته است [16].

|  |  |
| --- | --- |
| الف | ب |
| پ | ت |

شکل13. نقشه­های مربوط به الف) غلظت کلروفیلa و ب) تصویر رنگی کاذب در تاریخ آگوست 2007

الف) غلظت کلروفیلa و ب) تصویر رنگی کاذب در جولای 2008

در آگوست 2007 میلادی میانگین غلظت کلروفیلa در محدوده­ی شکوفایی جلبکی 19/1 و در خارج از این محدوده 31/0، در جولای 2008 غلظت این مؤلفه در محدوده­ی شکوفایی جلبکی 14/1 و در خارج از این محدوده 19/0 میلی­گرم بر مترمکعب برآورد شد.

|  |  |
| --- | --- |
| الف | ب |
| پ | ت |

شکل14. نقشه­های مربوط به 1) غلظت کلروفیلa و2) تصویر رنگی کاذب در تاریخ آگوست 2009

3) غلظت کلروفیلa و 4) تصویر رنگی کاذب در جولای 2010

میانگین غلظت کلروفیلa در محدوده­ی خارج از شکوفایی جلبکی در سال­های 2009 و 2010 به ترتیب 32/0 و 1/0 میلی­گرم بر متر مکعب و در محدوده جلبکی 39/1 و 93/0 میلی­گرم بر متر مکعب برآورد گردید (شکل10). مقدار دمای سطحی آب در این سال در محدوده 25 تا 35 درجه سانتی­گراد بوده است. تصاویر رنگی کاذب نشان می­دهد که این شکوفایی 112 کیلومتر مربع را پوشش داده است که بیشترین مقدار آن در منطقه دو و شش بود. این بلوم 33 درصد از منطقه را پوشش داده است که با مطالعه [16] مطابقت دارد (شکل14).

بر اساس تصاویر سنجنده­ها از ابتداي پاییز 1387 تا بهار 1389 در خلیج فارس، دریاي­عمان و تنگه­هرمز یک شکوفایی مضر جلبکی از نوع *C.polykrikoides* به وقوع پیوست [19]. این کشند قرمز در شمال تنگه­هرمـز دوره­اي 9 ماهه داشت بر اسـاس اولـین مشـاهدات شروع کشند قرمز براي اولین بار در 26 مرداد 1387 (17 آگوست 2008) در سواحل جنـوبی دریـاي­عمـان در بندر مسقط دیده شد و پس از آن در 20 شهریور 1387 (11 سپتامبر 2008) بـه جنـوب غـرب دریـاي عمـان محدوده راس الدیبا رسید. ظاهرا با واقع شدن در یک پیچک میان مقیاس دریایی به سمت سواحل شمالی تنگه­هرمز حرکت نموده است که در سواحل ایران اولین مشاهده شکوفایی جلبکی از ایـن نـوع در 8 مهرمـاه 1387 (30 سپتامبر 2008) در سواحل جزیره هرمز توسط پژوهشکده اکولوژي خلیج فارس و دریاي عمان و اداره کل محیط زیست استان هرمزگان به ثبت رسید. با مطابقت مشاهدات اولیه با تصاویر ماهواره­اي می­تـوان دریافـت که مشاهدات اولیه کشند قرمز نسبت به تاریخ وقوع این پدیده که با اطلاعات ماهواره­اي به دست آمده تـأخیر 10 روزه در مشاهدات اولیه و گزارش پدیده را نشان می دهد. بر اساس اطلاعات موجود و تفسیر تصاویر ماهواره­اي به نظر می­رسد شروع پدیده کشند قرمز از سواحل کشور عمان در دریاي­عرب بوده و پس از حرکت به جنوب دریاي­عمان از طریق جریان دریایی ناشی رانش آب توسط پیچک­هاي میان مقیاس به شمال دریاي­عمان و سواحل شمالی تنگه­هرمز کشیده شده است. با توجه به فراهم شدن شرایط شکوفایی با کاهش دما و افزایش مواد مغذي ناشی از فاضلاب­هاي شهري و صنعتی، این پدیده توانسته است گسترش یابد و به مدت 10 ماه تا فصل بهار 1388 در منطقه حضور داشته باشد.

تصاویر رنگی کاذب نشان می­دهد که شکوفایی جلبکی صورت گرفته در سپتامبر 2011 و فوریه 2015 در قسمت ساحل غربی و شمالی منطقه مورد مطالعه یعنی در محدوده­ی بوشهر، خوزستان، کویت و همچنین در تنگه هرمز اتفاق افتاده است (شکل15) مساحت این لکه جلبکی در سال 2011 و 2015 به ترتیب 111 و 108 کیلومتر مربع که معادل 36 و 35 درصد از منطقه مورد مطالعه است.

|  |  |
| --- | --- |
| الف | ب |
| پ | ت |

شکل15. نقشه­های مربوط به 1) غلظت کلروفیلa و2) تصویر رنگی کاذب در تاریخ سپتامبر 2011

3) غلظت کلروفیلa و 4) تصویر رنگی کاذب در فوریه 2015

میانگین غلظت کلروفیلa در محدوده­ی شکوفایی جلبکی به ترتیب 53/1 و 11/2 میلی­گرم بر مترمکعب و در خارج از محدوده 81/0 و 11/4 میلی­گرم بر متر مکعب محاسبه گردید (شکل 11).

آخرین تغییرات ناگهانی کلروفیلa در مارس و سپتامبر 2017 رخ داد (شکل6). از یک طرف، نتایج حاصل از روند سری زمانی نشان می­دهد که در این سال مقدار غلظت کلروفیلa در تمامی مناطق به جز منطقه پنجم افزایش یافته است از طرف دیگر، نتایج تصاویر رنگی کاذب نشان می­دهد که شکوفایی مضر جلبکی در محدوده­ی خلیج فارس اتفاق افتاده است به طوری­که مقدار این شکوفایی از مناطق باز به سمت ساحل بیشتر شده است. در دریای عمان (منطقه یک) تصاویر رنگی کاذب وجود بلوم را در مناطق ساحلی نشان می­دهد. همانطور که تصویر غلظت کلروفیلa نشان می­دهد در مارس 2017 مقدار کلروفیلa با تصویر رنگی کاذب هم­خوانی نداشته به طوری­که، مقدار غلظت کلروفیلa در محدوده­ی شکوفایی جلبکی کمتر از محدوده­ی شکوفایی جلبکی می­باشد (شکل­16).

|  |  |
| --- | --- |
| الف | ب |
| پ | ت |

شکل16. نقشه­های مربوط به الف) غلظت کلروفیلa و ب) تصویر رنگی کاذب در تاریخ مارس 2017

پ) غلظت کلروفیلa و ت) تصویر رنگی کاذب در سپتامبر 2017

در سپتامبر همین سال نیز قسمت اعظم خلیج فارس تحت تأثیر شکوفایی جلبکی قرار گرفته است، میانگین مقدار غلظت کلروفیلa در محدوده­ی جلبکی 17/2 و در خارج آن محدوده 85/0 میلی­گرم بر متر مکعب برآورد شد (شکل11).

نتیجه­گیری

تولیدات اولیه از مهم‌ترین فاکتورهای کلیدی برای ارزیابی کارکرد بوم­سازگان آبی محسوب می‌شود که موجب تعیین توان تولیدات اولیه یک بوم­سازگان، در نهایت پتانسیل بوم­سازگان برای فرآورده‌های شیلاتی می‌شود به عبارت دیگر، تغییرات در میزان تولیدات اولیه موجب تغییر در استحصال فرآورده‌های شیلاتی می‌گردد. فیتوپلانکتون­ها حدود 95­درصد از زنجیره مواد غذایی دریایی را تولید می­کنند این موجودات از طریق تولید خالص اولیه (NPP) مقدار دی‌اکسید کربن موجود در اتمسفر را تنظیم می­کنند. پارامترهای کلروفیلa، دمای سطحی آب و میزان تولیدات خالص اولیه از معمول‌ترین مؤلفه­هایی هستند که مقدار و تغییرات آن­ها بر حسب زمان در بخش­های مختلف منطقه مورد مطالعه تعیین­کننده شرایط امکان زیست، توسعه موجودات گیاهی و جانوری در محیط دریایی هستند. یافته­های حاصل از این پژوهش نشان داد که غلظت كلروفيل aدر مناطق مورد بررسی در امتداد ساحل بيشتر از مناطق دور از ساحل است كه اين ويژگي در ارتباط با الگوریتم برداشت کلروفیل در آب­های نوع یک (Case1)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. مقدار غلظت کلروفیلa در مناطق ساحلی بوشهر و خوزستان در تمام ماه­ها بیشتر بوده است در استان بوشهر سه رودخانه اصلی حله، دالکی و شاپور و در منطقه خوزستان اروندروند وجود دارد. از آنجایی که در حوضه آبخیز دو رودخانه­­ی شاپور و دالکی با سازند زمین­شناسی فرسایش­پذیر وجود دارد، در حوضه دالکی نسبت به حوضه­ی دیگر، به دلیل گسترش بیشتر سازند­های گچساران و میشان بار رسوبات معلق آن بیشتر از رودخانه­های دیگر است که با توجه به جهت جریان، بخش عمده این رسوبات گلی به سواحل شبه جزیره بوشهر هدایت شده و در نواحی ساحلی نهشت می­کنند. همچنين نتايج حاصل نشان داد که بیشترین مقدار تولیدات خالص اولیه در منطقه یک در مارس (3081 گرم کربن/متر مربع/روز) و کمترین آن نیز ژوئن و جولای (به ترتیب 540 و 690 گرم کربن/متر مربع/روز) که با مقدار غلظت کلروفیلa مطابقت دارد در صورتی­که، در سایر مناطق به این صورت است که در منطقه دو بیشترین مقدار غلظت کلروفیل (54/2 میلی­گرم بر متر مکعب) و تولید خالص اولیه (1430 گرم کربن/متر مربع/روز) در ماه فوریه و کمترین مقدار برای کلروفیل و تولید ناخالص اولیه به ترتیب 26/0 میلی­گرم بر متر مکعب و 973 گرم کربن/متر مربع/روز در جولای، برای منطقه چهار کمترین مقدار کلروفیل و تولید ناخالص اولیه (ماه جولای) و برای منطقه شش بیشترین مقدار این مؤلفه­ها (فوریه) با هم مطابقت دارد در صورتی­که، در منطقه پنجم مقدار بیشینه و کمینه آن­ها با هم مطابقت ندارد. نرخ تغییرات دو مؤلفه کلروفیل و تولیدات خالص اولیه به صورت کلی کاهشی بوده در صورتی­که دمای سطحی آب افزایش یافته است. مقدار غلظت کلروفیل جز در فوریه 2015 و مارس 2017 با منطقه شکوفایی جلبکی مطابقت دارد. از طرفی، بررسی چگونگی روند این مؤلفه­ها جهت شفاف­سازی میزان آسیب‌پذیری اکولوژیکی و اقدامات لازم به منظور تغییر و ساماندهی نحوه بهره­برداری صحیح، مشخص نمودن نقش حیاتی مؤلفه زیست نوری کلروفیلa و تولیدات خالص اولیه در تعیین میزان فشارهای موجود وارده بر محیط اکولوژیکی و کمک به تصمیم­گیرندگان جهت مدیریت چگونگی استفاده از اراضی ساحلی و کاهش آسیب­پذیری توان اکولوژیکی و در نهایت مشخص نمودن موانع موجود در بهره­برداری صحیح مناطق دریایی و ساحلی موجود در کشور با رویکرد حفظ منابع، از طرف دیگر، نتایج نهایی می­تواند به عنوان معیارهایی در جهت انتخاب سایت­های مناسب تاسیسات نمک­زدائی در خط ساحلی جنوب کشور از مهم­ترین اهداف این تحقیق می­باشد. همانطور که در بالا ذکر شد مناطق ساحلی دارای رسوبات زیاد بوده و از انجایی که الگوریتم مورد استفاده نیز برای آب­های نوع یک است در نتیجه به منظور بررسی شکوفایی مضر جلبکی پارامترهای بیشتری باید بررسی شود از جمله این پارامترها می­توان به کدورت اشاره کرد.

تشکر و قدردانی

نگارشی حاضر بخشی از نتایج طرح پژوهشی تحت عنوان «­پهنه­بندي اولويت­هاي استقرار تأسيسات نمک­زدايي از آب دريا در خط ساحلي خليج فارس و درياي عمان (فاز1: استان هرمزگان)؛ کارفرما: معاونت دریایی سازمان حفاظت محیط­زیست؛ مشاور: دانشگاه تربیت مدرس به قرارداد شماره 173/97 مورخ 10/9/1397» می­باشد که بدینوسیله مراتب سپاسگزاری و قدردانی بابت حمایت مالی و تسهیل انجام پروژه، ابراز می­گردد.

تاییدیه­های اخلاقی

موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

تعارض منافع

موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

سهم نویسندگان در مقاله

منابع مالی

این پژوهش با حمایت­های مالی معاونت دریایی سازمان حفاظت محیط­زیست صورت پذیرفته است.

منابع

1. Swift, M.M., B.N. Bershad, and H.M. Levy. *Improving the reliability of commodity operating systems*. in *Proceedings of the nineteenth ACM symposium on Operating systems principles*. 2003.

2. Kämpf, J. and M. Sadrinasab, *The circulation of the Persian Gulf: a numerical study.* 2005.

3. makhlogh, A., et al., *Satellite Monitoring and Spatio-Temporal Variability of Net Primary Productions in the Southern Caspian Sea.* iranian journal of fisheries., 2017. 26(2): p. 130-121 (In Persian).

4. Nouri, P., M. Gholamalifard, and H.N.Z. Saravi, *Satellite Monitoring and Spatio-Temporal Variability of Net Primary Productions in the Southern Caspian Sea* 2020, Trabiat Modares University p. 125 (In Persian).

5. Sigman, D. and M. Hain, *The Biological Productivity of the Ocean. Nature Education Knowledge 3 (10): 21*. 2012.

6. Woldegiorgis, M.G., *Quantification of Primary Production in Wadden Sea Using Remote Sensing and Field Measurements*. 2012: University of Twente Faculty of Geo-Information and Earth Observation (ITC).

7. Glibert, P.M., et al., *Key questions and recent research advances on harmful algal blooms in relation to nutrients and eutrophication*, in *Global Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms*. 2018, Springer. p. 229-259.

8. Glibert, P.M., et al., *The Haber Bosch–harmful algal bloom (HB–HAB) link.* Environmental Research Letters, 2014. 9(10): p. 105001.

9. Goes, J.I. and H.d.R. Gomes, *An ecosystem in transition: the emergence of mixotrophy in the Arabian Sea*, in *Aquatic Microbial Ecology and Biogeochemistry: A Dual Perspective*. 2016, Springer. p. 155-170.

10. Goes, J.I., et al., *Warming of the Eurasian landmass is making the Arabian Sea more productive.* Science, 2005. 308(5721): p. 545-547.

11. Deng, Y., et al., *Temporal and spatial dynamics of phytoplankton primary production in Lake Taihu derived from MODIS data.* Remote Sensing, 2017. 9(3): p. 195.

12. Lakshmi, E., et al., *Time Series Analysis Of Primary Productivity Along The East Coast Of India Using Oceansat-2 Ocean Colour Monitor (O cm).* The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2014. 40(8): p. 1049.

13. Li, G., et al., *Estimation of ocean primary productivity and its spatio-temporal variation mechanism for East China Sea based on VGPM model.* Journal of Geographical Sciences, 2004. 14(1): p. 32-40.

14. Joo, H., et al., *Long-term pattern of primary productivity in the East/Japan Sea based on ocean color data derived from MODIS-aqua.* Remote Sensing, 2016. 8(1): p. 25.

15. Kavak, M.T., *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, 2012. 12(3): p. 709-717.

16. Moradi, M. and K. Kabiri, *Spatio-temporal variability of SST and Chlorophyll-a from MODIS data in the Persian Gulf.* Marine pollution bulletin, 2015. 98(1-2): p. 14-25.

17. Hu, C., et al., *On the recurrent Ulva prolifera blooms in the Yellow Sea and East China Sea.* Journal of Geophysical Research: Oceans, 2010. 115(C5).

18. Ahmadi, B. and M. Gholamalifard, *Spatio-Temporal Variability of Satellite derived Chlorophyll-a and Algal Blooms and Relationship with the distribution of ctenophore Mnemiopsis leidyi in Southern Caspian Sea.* Journal of Marine Biology, 2016. 8(4): p. 35-54 (In Persian).

19. Al Shehhi, M.R., I. Gherboudj, and H. Ghedira, *An overview of historical harmful algae blooms outbreaks in the Arabian Seas.* Marine pollution bulletin, 2014. 86(1-2): p. 314-324.

20. Mortazavi, M.S., et al., *Preliminary studies on HAB monitoring in the Persian Gulf and Oman Sea using remote sensing data from ocean color sensor MODIS.* Harmful Algae, 2012: p. 71-73.

21. Flynn, K.J., et al., *Mixotrophy in harmful algal blooms: by whom, on whom, when, why, and what next*, in *Global Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms*. 2018, Springer. p. 113-132.

22. Nyrop, R.F., *Area handbook for the Persian Gulf states*. Vol. 550. 1977: US Government Printing Office.

23. Nezlin, N.P., et al., *Satellite monitoring of climatic factors regulating phytoplankton variability in the Arabian (Persian) Gulf.* Journal of Marine Systems, 2010. 82(1-2): p. 47-60.

24. Mehrfar, H., et al., *A numerical simulation case study of the coastal currents and upwelling in the western Persian Gulf.* Journal of Ocean Engineering and Science, 2020.

25. Barzandeh, A., et al., *Wind-driven coastal upwelling along the northern shoreline of the Persian Gulf.* Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata, 2018. 59(3).

26. Pous, S., X. Carton, and P. Lazure, *Hydrology and circulation in the Strait of Hormuz and the Gulf of Oman—Results from the GOGP99 Experiment: 2. Gulf of Oman.* Journal of Geophysical Research: Oceans, 2004. 109(C12).

27. Eastman, J.R., *TerrSet Help System. Accessed in TerrSet: 18.10.* . 2015, Worcester, MA: Clark University.

28. Hu, C., Z. Lee, and B. Franz, *Chlorophyll aalgorithms for oligotrophic oceans: A novel approach based on three‐band reflectance difference.* Journal of Geophysical Research: Oceans, 2012. 117(C1).

29. O’Reilly, J.E., et al., *Ocean color chlorophyll a algorithms for SeaWiFS, OC2, and OC4: Version 4.* SeaWiFS postlaunch calibration and validation analyses, Part, 2000. 3: p. 9-23.

30. Brown, O.B., et al., *MODIS infrared sea surface temperature algorithm algorithm theoretical basis document version 2.0.* University of Miami, 1999. 31: p. 098-33.

31. Westberry, T., et al., *Carbon‐based primary productivity modeling with vertically resolved photoacclimation.* Global Biogeochemical Cycles, 2008. 22(2).

32. Ishizaka, J., et al., *Satellite detection of red tide in Ariake Sound, 1998–2001.* Journal of Oceanography, 2006. 62(1): p. 37-45.

33. Alvera‐Azcárate, A., et al., *Multivariate reconstruction of missing data in sea surface temperature, chlorophyll, and wind satellite fields.* Journal of Geophysical Research: Oceans, 2007. 112(C3).

34. Von Storch, H., *Misuses of statistical analysis in climate research*, in *Analysis of climate variability*. 1999, Springer. p. 11-26.

35. Hamed, K.H. and A.R. Rao, *A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data.* Journal of hydrology, 1998. 204(1-4): p. 182-196.

36. Neeti, N. and J.R. Eastman, *A contextual mann‐kendall approach for the assessment of trend significance in image time series.* Transactions in GIS, 2011. 15(5): p. 599-611.

37. Wang, X.L. and V.R. Swail, *Changes of extreme wave heights in Northern Hemisphere oceans and related atmospheric circulation regimes.* Journal of Climate, 2001. 14(10): p. 2204-2221.

38. Zhao, J., M. Temimi, and H. Ghedira, *Characterization of harmful algal blooms (HABs) in the Arabian Gulf and the Sea of Oman using MERIS fluorescence data.* ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2015. 101: p. 125-136.

39. Abdelrahman, S.M. and F. Ahmad, *A note on the residual currents in the Arabian Gulf.* Continental Shelf Research, 1995. 15(8): p. 1015-1022.

40. Maghsoudlou, A., F. Momtazi, and F. Aghajanpour, *Spatial pattern of phytoplankton communities from Iranian waters of the Gulf of Oman in pre-monsoon period.* Journal of the Persian Gulf, 2015. 6(21): p. 65-77.

41. Acker, J.G., et al., *Remotely‐sensed chl a at the Chesapeake Bay mouth is correlated with annual freshwater flow to Chesapeake Bay.* Geophysical Research Letters, 2005. 32(5).

42. Beusen, A., et al., *Global riverine N and P transport to ocean increased during the 20th century despite increased retention along the aquatic continuum.* Biogeosciences, 2016. 13(8): p. 2441-2451.

43. Glibert, P.M., E. Mayorga, and S. Seitzinger, *Prorocentrum minimum tracks anthropogenic nitrogen and phosphorus inputs on a global basis: application of spatially explicit nutrient export models.* Harmful Algae, 2008. 8(1): p. 33-38.

44. Harrison, P.J., et al., *Geographical distribution of red and green Noctiluca scintillans.* Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2011. 29(4): p. 807-831.

45. Zhao, J. and H. Ghedira, *Monitoring red tide with satellite imagery and numerical models: a case study in the Arabian Gulf.* Marine pollution bulletin, 2014. 79(1-2): p. 305-313.

46. Liu, M., et al., *Spatio-temporal stability and abnormality of chlorophyll-a in the Northern South China Sea during 2002–2012 from MODIS images using wavelet analysis.* Continental Shelf Research, 2014. 75: p. 15-27.

47. Kahru, M. and B.G. Mitchell, *Ocean color reveals increased blooms in various parts of the world.* Eos, Transactions American Geophysical Union, 2008. 89(18): p. 170-170.

48. Moradi, M. and K. Kabiri, *Red tide detection in the Strait of Hormuz (east of the Persian Gulf) using MODIS fluorescence data.* International Journal of Remote Sensing, 2012. 33(4): p. 1015-1028.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Remote Sensing Monitoring of Sea Surface Temperature and Chlorophyll-a Variability in the Persian Gulf and Oman Sea: Influential Factors on Net Primary Production | | | |  |
|  | Mehdi Gholamalifad\*1,Bonyad Ahmadi1, Parisa Nouri1, Fatemeh Ranjrouzi1, Sohrab Mazloumi1, Ali Saber2  1- Department of Environment, Faculty of Natural Resources & Marine Sciences (FNRMS), Tarbiat Modares University (TMU), Noor, Mazandaran, Iran.  2- Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources & Marine Sciences (FNRMS), Tarbiat Modares University (TMU), Noor, Mazandaran, Iran. | | | |
| A B S T R A C T | |  | ARTICLE TYPE | |
| Primary production is a key indicator in the evalution of aquatic ecosystems that can directly affect carbon sequestration. Due to climate change and environmental dynamics, this component has changed spatially and temporally in different ecosystems. Therefore, to understand and monitor these changes, the most important influential parameters include; sea surface temperature, chlorophyll-a and algal bloom on this component and their changes were analyzed based on the time series. Images related to Chl-a, SST and NPP from January 2003 to December 2018 were used by MODIS sensor and VGPM model to estimate NPP in the study area. Aftar pre-processing and extracting the time series algorithm, the trend of variation was determined using the mann-kendall and theil-sen procedure. Then, using enhancing false color composite, algal blooms in the Persian Gulf and the sea of Oman were identified and the amount of chl-a concentration in the algal bloom area and outside the area was determined. The results of trend analysis with theil-sen procedure showed that the rate of change for chl-a is decreasing in all regions except the fifth region. The highest amount was observed in the fifth region (-0.19), which corresponded to the rate of NPP. The results also show that the highest amount of NPP in the first region in March and the lowest in June and July (540 and 690 gC/m2/day), which corresponds to the amount of chl-a concentration. Despite the apparent correlation, there is no cause-and-effect relationship between SST and chl-a as well as chl-a and NPP. In this way, factors other than chl-a can be considered for algal bloom and NPP. | |  | Original Research | |
|  |  | |
|  | ARTICLE HISTORY | |
|  | Received: 31 Aug 2020 |  |
|  | Accepted: 18 Dec 2020 |  |
|  | ePublished: 20 Dec 2020 |  |
|  |  |  |  | |
| KEYWORDS: Algal bloom, Chlorophyll-a, Sea Surface Tempreature, Net primary productivity, Persian Gulf and Oman Sea | |  |  | |
|  | |  |  | |