

## پایش سنجش از دوری تغییرپذیری دمای سطحی آب و کلروفیل a در خلیج فارس و دریای عمان: عوامل مؤثر در تولید خالص اولیه

مهدی غلامعلی فرد<sup>۱\*</sup>، بنیاد احمدی<sup>۱</sup>، پریسا نوری<sup>۱</sup>، فاطمه رنج‌روزی<sup>۱</sup>، سهراب مظلومی<sup>۱</sup>، علی صابر<sup>۲</sup>

۱- گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران

۲- گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران

### چکیده

تولیدات اولیه به عنوان شاخص کلیدی در ارزیابی بوم‌سازگان آبی محسوب می‌شود که می‌تواند مستقیماً 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، کلروفیل a و شکوفایی جلبکی و تغییرات آنها طی سری زمانی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. داده‌های مربوط به کلروفیل a، دمای سطحی آب (SST) و تولید خالص اولیه از تاریخ ژانویه ۲۰۰۳ تا دسامبر ۲۰۱۸ 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 خلیج فارس و دریای عمان شناسایی و مقدار غلظت کلروفیل a 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 (۰/۱۹- ) مشاهده گردید که با میزان نرخ تولیدات خالص اولیه مطابقت داشت. همچنین نتایج حاصل نشان داد که بیشترین مقدار تولید خالص اولیه در منطقه یک در مارس (۳۰۸۱ گرم کربن/متر مربع/روز) و کمترین آن نیز ژوئن و جولای (به ترتیب ۵۴۰ و ۶۹۰ گرم کربن/متر مربع/روز) که با مقدار غلظت کلروفیل a مطابقت دارد. با وجود همبستگی ظاهری، بین دمای سطحی آب و کلروفیل a و همچنین بین کلروفیل a و تولید خالص اولیه، رابطه علت و معلولی وجود ندارد و برای شکوفایی جلبکی و تولیدات خالص اولیه عوامل دیگری جز کلروفیل a می‌تواند در نظر گرفته شود.

**کلید واژه‌ها:** شکوفایی مضر جلبکی، کلروفیل a، دمای سطحی آب، تولید اولیه، خلیج فارس و دریای عمان

### مقدمه

دریای عمان و خلیج فارس از مهم‌ترین بوم‌سازگان‌های (Ecosystems) آبی جنوب کشور که از جنبه‌های مختلفی حائز اهمیت هستند، با اینکه آب‌های خلیج فارس و دریای عمان به طور پیوسته از طریق جریان‌های جزر و مدی و چرخش‌های معکوس (Reverse current) [۱] 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

### نوع مقاله

مقاله پژوهشی اصیل

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۶/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۹/۲۸

تاریخ چاپ الکترونیکی:

۱۳۹۹/۹/۳۰

\*نویسنده مسول:

m.gholamalifard@modares.ac.ir

جمعیت‌های فیتوپلانکتونی می‌تواند متفاوت باشند. تبادل آب‌های اقیانوس هند از طریق دریای عمان با خلیج فارس از طریق این تنگه بوده که سبب گردش استوانه‌ای از طریق جریان‌های ساحلی ایران از سمت شمال می‌شود [۲]؛ 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 جانوران آبی 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 آبی‌پروری دریایی مهم می‌باشد [۳]. کاربرد غلظت کلروفیل a به عنوان برآوردی از زی‌توده جلبکی تکنیکی ساده با سرعت عمل قابل ملاحظه بوده و در تمام تولیدکنندگان اولیه مشترک است که تقریباً تمام مدل‌های برآورد تولیدات اولیه، از کلروفیل a به عنوان شاخص زی‌توده فیتوپلانکتون استفاده می‌کنند.

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 وهله 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 تأثیرگذار باشد از این‌رو، لایه بندی حرارتی در آب‌ها و تشکیل ترموکلاین می‌تواند مانعی برای بالا آمدن مواد مغذی از لایه‌های زیرین و در نتیجه کاهش مقدار تولیدات اولیه می‌شود [۴].

تولیدات ناخالص اولیه (تولید ترکیبات آلی توسط فرآیند فتوسنتز) از طریق تعامل دی اکسید کربن از محیط‌زیست یا سیستم آبی، 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 [۵]. به طور کلی تولیدات اولیه مینا 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 [۶].

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 که به شکل صحیح‌تر بعنوان رشد یا شکوفایی جلبکی شناخته شده که در آن جلبک‌ها رشد کرده و تجمعی را در جریان‌های آبی ایجاد می‌کنند. برخی از این کشندها موجب تولید سم طبیعی، تقلیل اکسیژن محلول یا دیگر اثرات مضر و آسیب‌رسان می‌شوند و عموماً بعنوان شکوفایی جلبک‌های مضر تعریف می‌شوند. اگرچه عوامل طبیعی مختلفی در به وجود آمدن شکوفایی جلبکی نقش دارند اما فعالیت‌های انسانی از قبیل پراکنده‌گی 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 آبی‌پروری [۷] و تولید و مصرف انرژی باعث افزایش مواد غذایی (فسفر و نیترات) در مناطق ساحلی می‌شود. این مواد به‌طور کلی، از طریق آب‌های سطحی، منابع آلودگی زمینی، آبی‌پروری 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 [۷] در نتیجه مکان‌های مختلف در مقدار و شکل‌های مختلف مواد مغذی را دریافت می‌کنند. افزایش و تغییرات این مواد باعث تغییر زیستگاه‌های ساحلی [۷]، تغییر عملکرد بوم‌سازگان‌ها و پیامدهای اقتصادی این حوادث از بین رفتن موجودات آبی

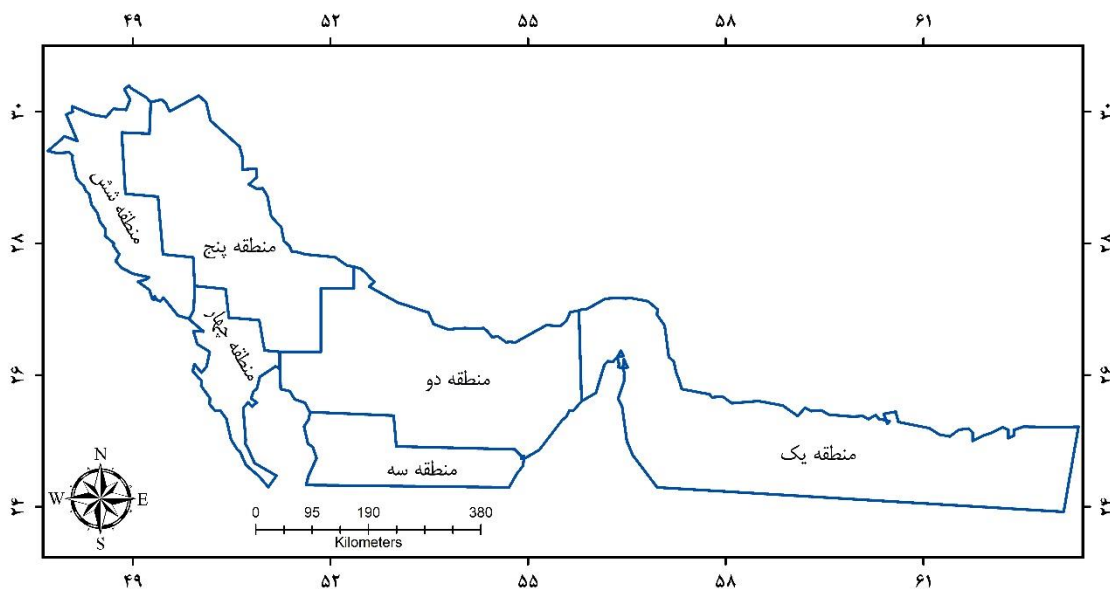
و خدمات بوم‌سازگان است [۸]. در دهه‌های اخیر، افزایش مواد غذایی [۹] و تغییرات آب و هوایی [۱۰] گسترش شکوفایی جلبکی را در مقیاس‌های محلی و جهانی موجب شده است.

از جمله مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار روی تولیدات اولیه، کلروفیل a [۶، ۱۱، ۱۲] دما [۱۳] و لایه آمیخته (mixed layer) [۱۴]؛ مهم‌ترین پارامتر تأثیرگذار روی کلروفیل a، دمای سطحی آب [۱۵، ۱۶]؛ ارتباط کلروفیل a و شکوفایی جلبکی می‌توان به مطالعات [۱۷، ۱۸] 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 [۱۹، ۲۰]. 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 [۱۷]. مدل‌سازی‌های مختلف رابطه شکوفایی جلبکی با دمای سطحی آب را نشان می‌دهد [۸، ۱۳]، به‌طور کلی افزایش دمای آب می‌تواند روی نرخ رشد جلبکی تأثیر مثبت و منفی داشته باشد [۲۱]. هنگامی که 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 [۷] 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 تحت تأثیر قرار می‌دهد. بر این اساس، این مطالعه روی ارتباط کلروفیل a، دمای سطحی آب با تولید اولیه و همچنین با شکوفایی جلبکی در طی سری زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۸ تمرکز دارد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

خلیج فارس آبراهی است که در امتداد دریای عمان و در بین ایران و شبهه جزیره عربستان قرار دارد. مساحت این خلیج ۲۳۷ هزار و ۴۷۳ 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 [۲۲]. 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 (شکل ۱) [۲۳]. از مهم‌ترین جریان‌های بالارونده در این منطقه می‌توان به منطقه ساحلی بوشهر (قسمت شمالی منطقه پنج) [۲۴]، قسمت غربی استان هرمزگان (مناطق ساحلی منطقه دو در محدوده‌ی کوشکنار [۲۵]، قسمت شمالی منطقه یک (محدوده‌ی پی‌وشک) [۲۶] اشاره کرد.



شکل ۱. مناطق مختلف منطقه مورد مطالعه: یک (شرق، دو) مرکزی، سه (جنوب، چهار) جنوب غربی، پنج (شمال غربی و شش) منطقه تخلیه رودخانه‌ای [۲۳]

### تشکیل پایگاه داده

به‌طور کلی، 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 [۲۷]، به همین منظور برای تشکیل پایگاه داده و تجزیه و تحلیل تغییرات مکانی و زمانی مؤلفه کلروفیل *a* 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 ۲۰۰۳ تا دسامبر ۲۰۱۸). فرمت این داده‌ها دارای مسافت‌های مساوی  $360^{\circ}/8192$  پیکسل (با وضوح تقریباً  $4/5$  کیلومتر) است و تعداد ۱۹۲ تصویر از خروجی مدل VGPM از سنجنده MODIS در پایگاه داده از ژانویه ۲۰۰۳ تا دسامبر ۲۰۱۸ Ocean Productivity، جهت اخذ داده‌ها استفاده گردید.

### الگوریتم پارامترهای مورد بررسی

در حال حاضر تولیدات کلروفیل *a* بر اساس الگوریتم OC4 می‌باشند [۲۸] که داده‌های با ارزشی درباره توزیع زمانی و مکانی کلروفیل *a* در آب را فراهم می‌کنند [۲۹]. 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 زنبی (از طریق باندهای ۲۰، ۲۲ و ۳۳)، جذب بخار آب در جو (باندهای ۳۱ و ۳۳) و تصحیحات اتمسفری (همه باندها) از دقت بالایی برخوردار است [۳۰]. روش‌ها و ابزارهای جدیدی برای تخمین و برآورد تولید اولیه به طور مداوم در حال تکامل می‌باشند [۳۱]. 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 [۳۲]. معادله کلی VGPM برای برآورد تولید اولیه یکپارچه به صورت زیر بیان می‌شود [۴]:

$$NPP = Chla * p_b - Opt * day - length * \left( 0.66125 * PAR / PAR + 4.1 \right) * Z_{eu}$$

$$NPP = Chla * p_b - Opt * day - length * Volum\ function$$

$$Volume\ function = f(PAR) * Z_{eu}$$

الگوریتم نیاز به اندازه‌گیری داده‌های برآورد شده از پنج متغیر ورودی، یعنی میزان بهینه تثبیت کربن در ستون آب، (Pb<sub>opt</sub>)، کلروفیل (chl-a)، عمق نوری (Z<sub>eu</sub>)، دوره نوری (D<sub>irr</sub>)، تابش فعال فتوسنتزی (PAR) می‌باشد. در حال حاضر هیچ روشی برای اندازه‌گیری مستقیم پارامتر (Pb<sub>opt</sub>) وجود ندارد این متغیر می‌تواند از طریق ارتباطات دمای سطحی آب به صورت زیر مدل شود اگر دما کمتر از ۱۰-، ۱- و ۲۸/۵ به ترتیب Pb<sub>opt</sub> برابر صفر، ۱/۱۳ و ۴ است در غیر اینصورت از طریق رابطه زیر محاسبه خواهد شد [۴].

$$P_{b_{opt}} = 1.2956 + 2.749 * 10^{-1}T + 6.17 * 10^{-2}T^2 - 2.05 * 10^{-2}T^3 + 2.462 * 10^{-3}T^4 - 1.348 * 10^{-4}T^5 + 3.4132 * 10^{-6}T^6 - 3.27 * 10^{-8}T^7$$

عمق نوری (Z<sub>eu</sub>) نیز از طریق رابطه زیر بدست می‌آید.

اگر مقدار Chl a < ۱ باشد:

$$Chla - tot = 38.0 * Pow (Chla. 0.425)$$

اگر مقدار Chl a < ۱ باشد:

$$Chla - tot = 40.2 * Pow (Chla. 0.507)$$

$$Z_{eu} = 200 * pow (Chla - tot (-0.293))$$

و اگر عمق نوری برآورد شده از رابطه بالا  $Z_{eu} \leq 102$  باشد:

$$Z_{eu} = 568.2 * pow (Chla - tot (-0.746))$$

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

Chl<sub>a</sub>: غلظت کلروفیل a (میلی گرم بر متر مکعب).

D<sub>irr</sub>: دوره نوری روزانه (in decimal hours).

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

Z<sub>eu</sub>: عمق نوری (متر).

Pb<sub>opt</sub>: میزان بهینه تثبیت کربن روزانه در ستون آب (میلی گرم کربن یا میلی گرم کلروفیل a در ساعت).

### پیش‌پردازش

از آنجایی که این تصاویر توسط گروه زیست‌شناسی اقیانوس با استفاده از جدیدترین الگوریتم‌ها مورد پردازش و کالیبراسیون قرار گرفته‌اند [۲۹]، کالیبراسیون این داده‌ها دارای دو بخش ابزاری (مربوط به سنجنده) و الگوریتمی است که تقریباً در بازه‌های زمانی ۴ 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 [۳۳]. 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 [۳۴] را می‌توان با کاهش حجم نمونه مؤثر، تنظیم واریانس [۳۵] و یا با پیش‌سفید کردن آن‌را رفع نمود. کاهش حجم نمونه مؤثر و تنظیم واریانس مخصوصاً زمانی که 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 [۳۶]. لازمه پی بردن به خودهمبستگی سریالی آماره دارین واتسون است، این آماره ارتباط سریالی برای هر پیکسل را محاسبه می‌کند، مقدار آن همیشه بین ۰-۴ است. ارزش ۲ نشان‌دهنده این است که خودهمبستگی سریالی وجود ندارد، کمتر از ۲ شواهدی از ارتباط مثبت و بیش‌تر از ۲ 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 [۳۴]. پیش‌سفید کردن شامل برآوردی از همبستگی  $\rho$  طی سری می‌باشد. اگر مقدار  $\rho$  کوچکتر از  $0.05$  باشد می‌توانیم مستقیماً از رویه‌ها برای محاسبه روندهای سری زمانی استفاده کنیم، در غیر این صورت ابتدا باید مرحله پیش‌سفید کردن انجام گیرد و سپس از انواع رویه‌های سری زمانی جهت محاسبه روند استفاده گردد. تا زمانی که مقدار  $\rho$  کوچک‌تر از  $0.05$  شود پیش‌سفید کردن انجام می‌گیرد [۳۷]. 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 طور کلی برای تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی مانند تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی استفاده می‌شود.

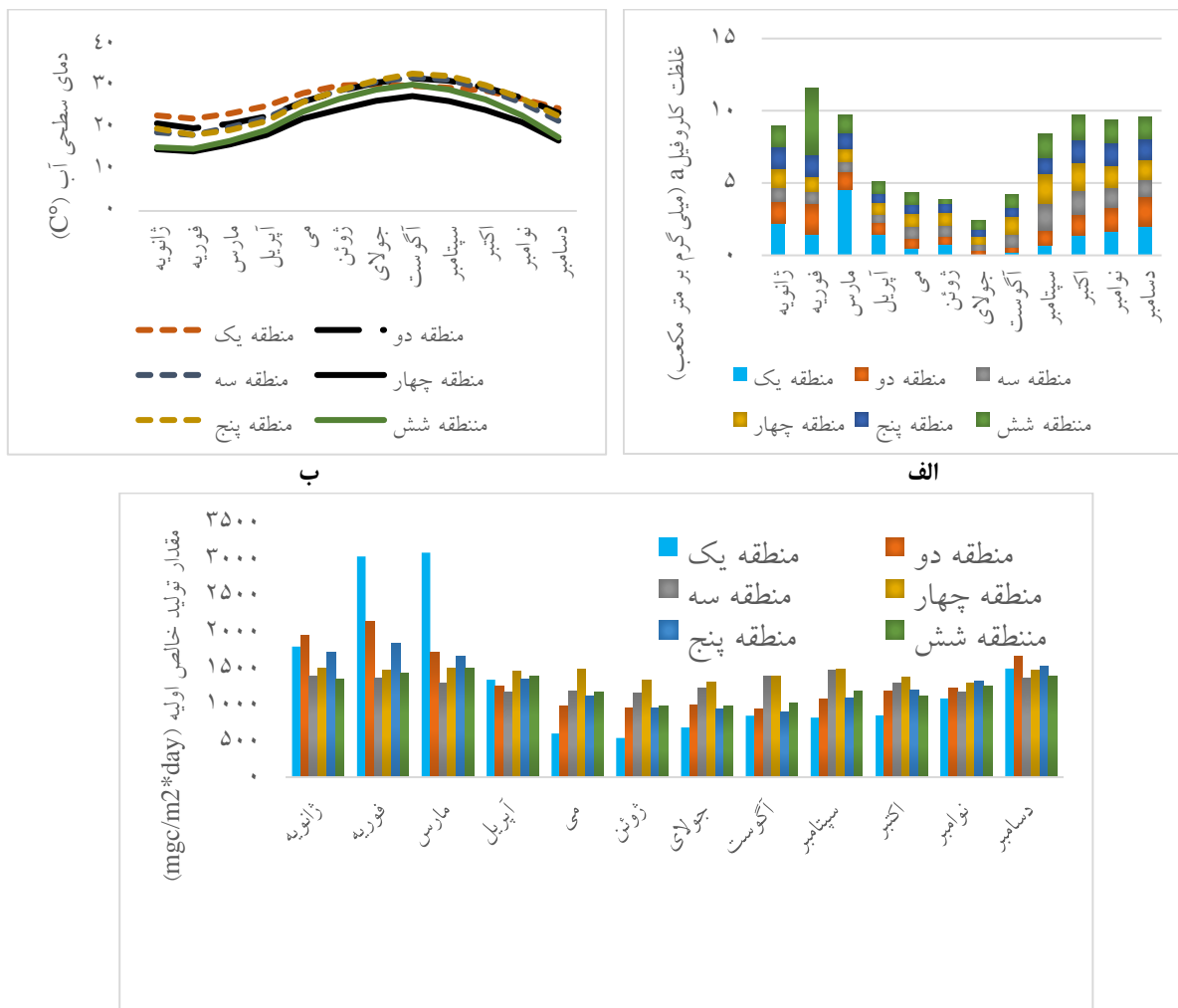
### تصاویر رنگی کاذب

بازتاب‌های سنجش از دوری در محدوده‌ی ۴۶۹، ۵۵۵ و ۶۴۵ نانومتر سنجنده MODIS-Aqua برای تولید تصاویر رنگی کاذب (RGB) و تصاویر کاذب بهبود یافته (ERGB) شکوفایی مضر جلبکی مورد استفاده قرار گرفت [۳۸]. 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 کلروفیل a

شکل ۲ میانگین تغییرات کلروفیل a، دمای سطحی آب و تولیدات خالص اولیه براساس مدل VGPM در طی روند سری زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۸ نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که غلظت کلروفیل a 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 [۲۳]. کم‌ترین مقدار غلظت کلروفیل a در شرق خلیج فارس به سمت دریای عمان مربوط به ماه‌های جولای و اگوست است (شکل ۳) در حالی که دمای سطحی آب از غرب به شرق در همین ماه‌ها افزایش یافته است (شکل ۴). مقدار غلظت کلروفیل در طی سری زمانی در قسمت‌های مختلف منطقه مورد مطالعه جز ماه جولای تفاوت معنی‌داری وجود ندارد (شکل ۲). در قسمت‌های عمیق شمالی خلیج فارس لایه‌بندی حرارتی در تابستان تشکیل و در زمستان از بین می‌رود در صورتی که در قسمت‌های عمیق بخش جنوبی در تمام طول سال لایه‌بندی حرارتی وجود دارد [۱]. 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 [۳۹]. این جریان‌ها در جولای به دلیل جریان‌های 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 [۴۰] در منطقه شش یا به عبارت دیگر منطقه ورودی اروندرود، مقدار غلظت کلروفیل a جز در تابستان که مقدار کلروفیل a کاهش یافته است نسبت به سایر مناطق بیشتر است در تابستان مقدار کلروفیل آن به حداقل مقدار خود رسیده است (شکل ۳، ۲). 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 صورتی که در فصل تابستان به دلیل بالا رفتن کدورت و کاهش شفافیت آب مانع از انعکاس از رسوبات بستر می‌شود [۴۱].



ج

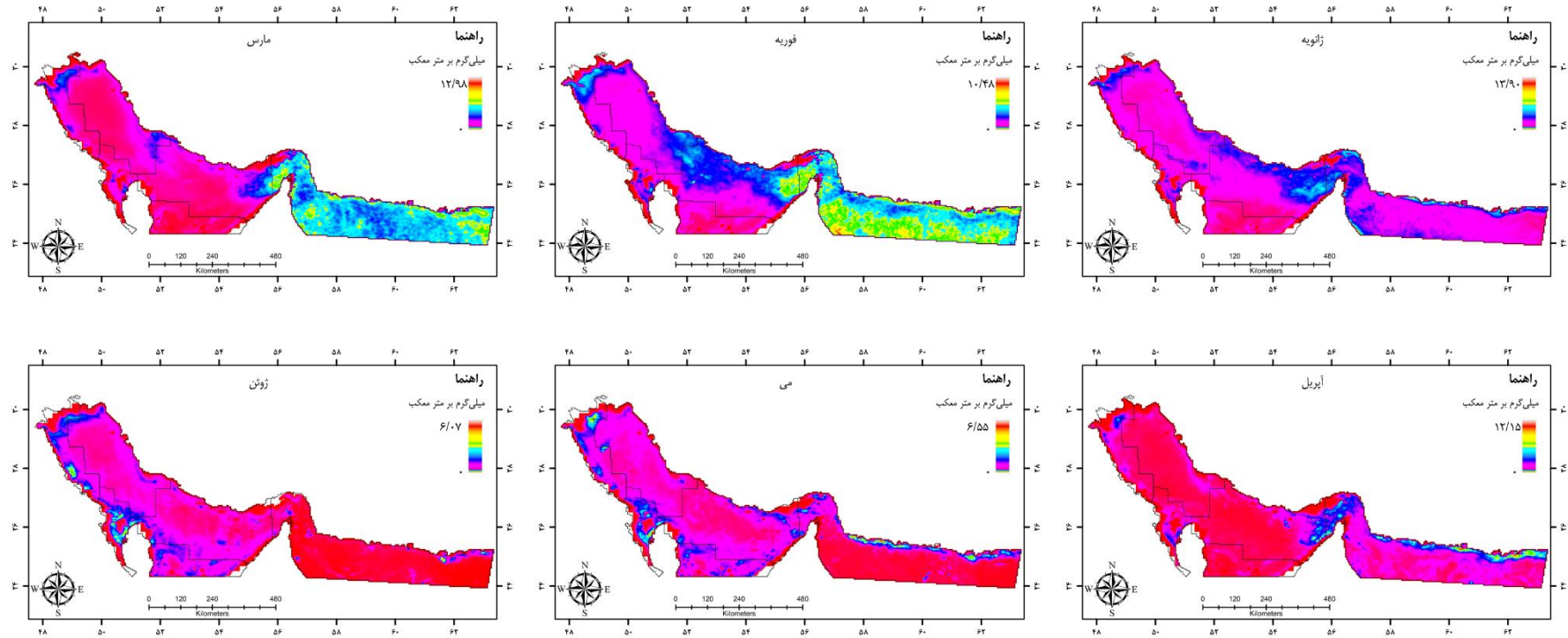
شکل ۲. تغییرات ماهیانه: الف) کلروفیل a (ب) دمای سطحی آب و ج) تولید خالص اولیه در شش منطقه مورد ماله با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS-Aqua در طی روند ۲۰۰۳-۲۰۱۸

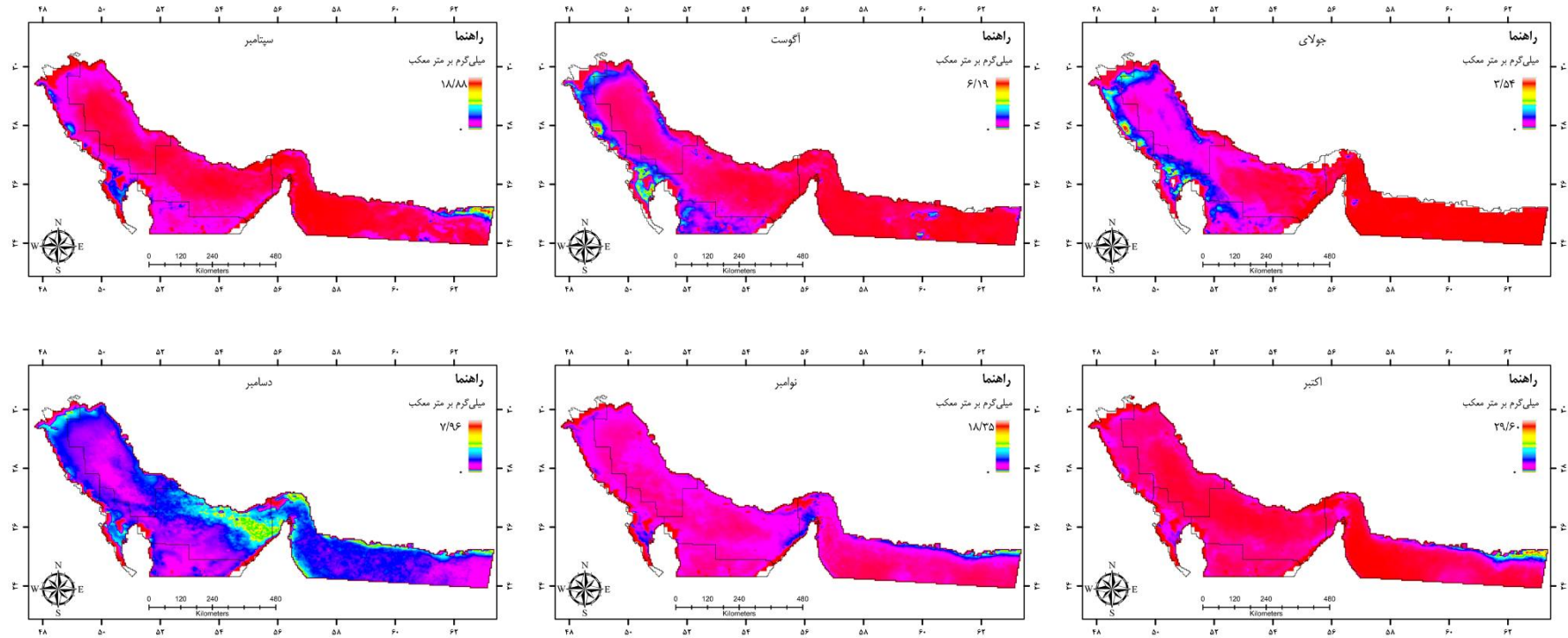
نتایج نشان می‌دهد که میانگین غلظت کلروفیل a در مناطق مرکزی خلیج فارس کم‌ترین و مناطق ساحلی آن بیش‌ترین مقدار را دارد. مقدار غلظت کلروفیل a به تدریج از ماه جولای افزایش یافته و در ماه‌های اکتبر تا دسامبر به بیشترین مقدار خود رسید. در منطقه شش بیشترین مقدار آن در ماه فوریه و مارس مشاهده گردید (شکل ۲)، 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 [۲۳]. 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 [۱۶]. حداقل میزان غلظت کلروفیل a در منطقه یک در ماه می تا سپتامبر مشاهده شد که مخالف نوسانات دمای سطحی آب بود [۱۶، ۲۳] که می‌تواند به دلیل جریان‌های بالارونده باشد [۲۳] این جریان‌ها همراه با پساب تخلیه شده در سواحل شمالی مقدار غلظت کلروفیل a را در محدوده‌ی تنگه هرمز تحت تأثیر قرار می‌دهد. در طی روند ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۸، در منطقه یک (فوریه)، مناطق سه و چهار (سپتامبر)، مناطق پنج و شش (اکتبر تا دسامبر) بیشترین مقدار غلظت کلروفیل a و در ماه جولای کمترین مقدار این مؤلفه مشاهده شد (شکل ۲).

همچنین نتایج حاصل از شکل ۲ نشان می‌دهد که مقدار تولید خالص اولیه همانند کلروفیل a در دو فصل پاییز و زمستان بیشتر از بهار و تابستان بود به طوری که، بیشترین مقدار تولید خالص اولیه در زمستان (۱۷۶۰ گرم کربن/متر مربع/روز) و کمترین آن در تابستان (۱۰۹۴ گرم کربن/متر

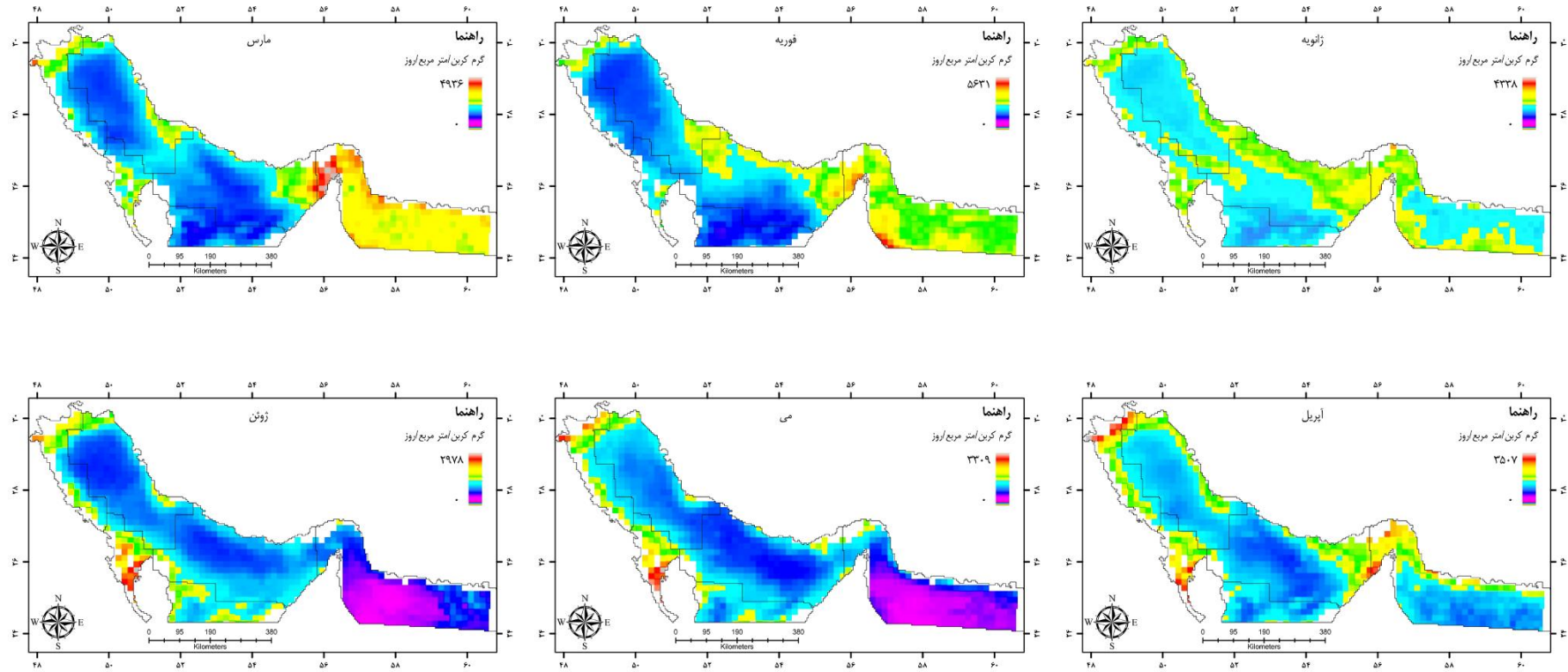
مربع/روز) محاسبه گردید. بیشترین میزان تولید اولیه (۳۰۸۱ گرم کربن/متر مربع/روز) در منطقه اول در ماه مارس و کمترین میزان آن (۵۳۹ گرم کربن/متر مربع/روز) نیز در منطقه یک و مربوط به ماه ژوئن است. بیشترین مقدار ضریب همبستگی پیرسون بین مقدار غلظت کلروفیل a و تولیدات خالص اولیه در این منطقه محاسبه گردید (۲=۰/۷۸). به صورت کلی پایین ترین مقدار تولید اولیه در تمام ماه‌های سال مربوط به منطقه دو (۱۲۲۷ گرم کربن/متر مربع/روز) و بالاترین مقدار آن در منطقه چهارم (۱۴۲۲ گرم کربن/متر مربع/روز) بدست آمد.

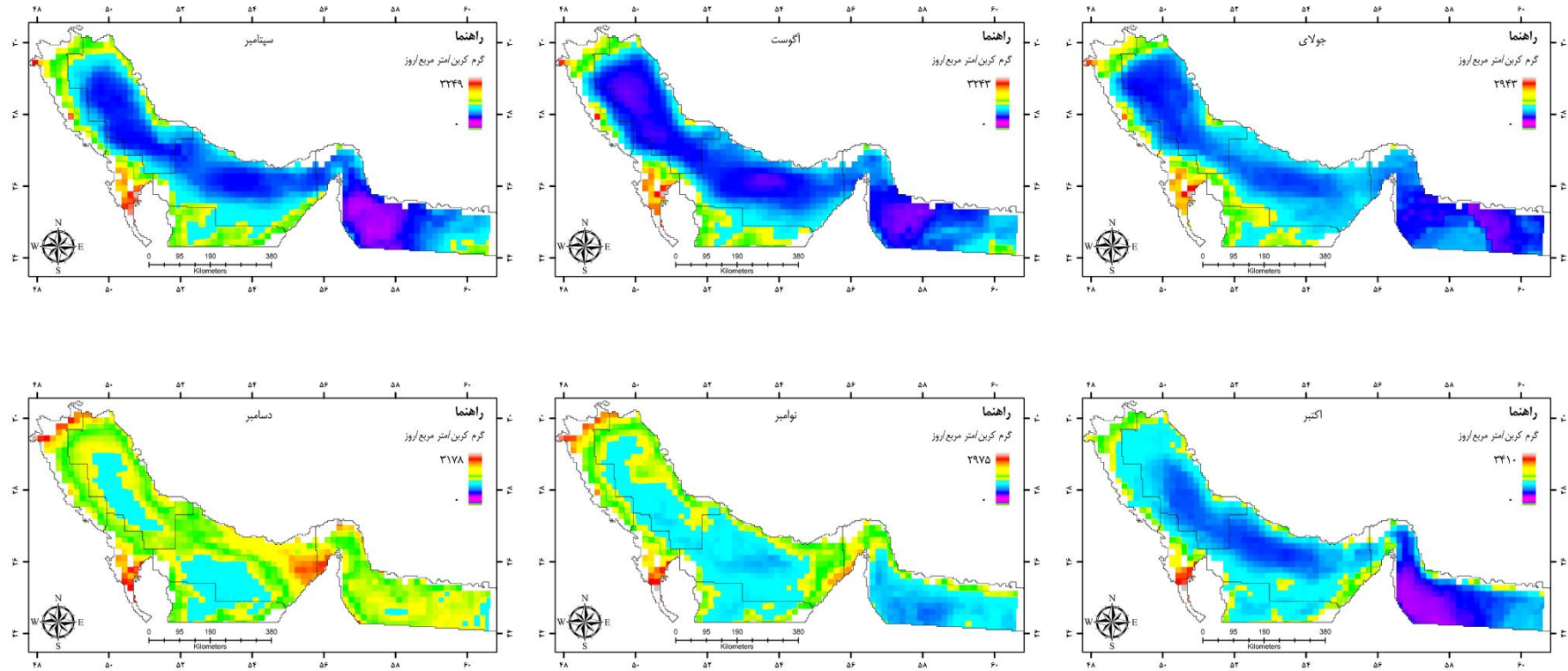




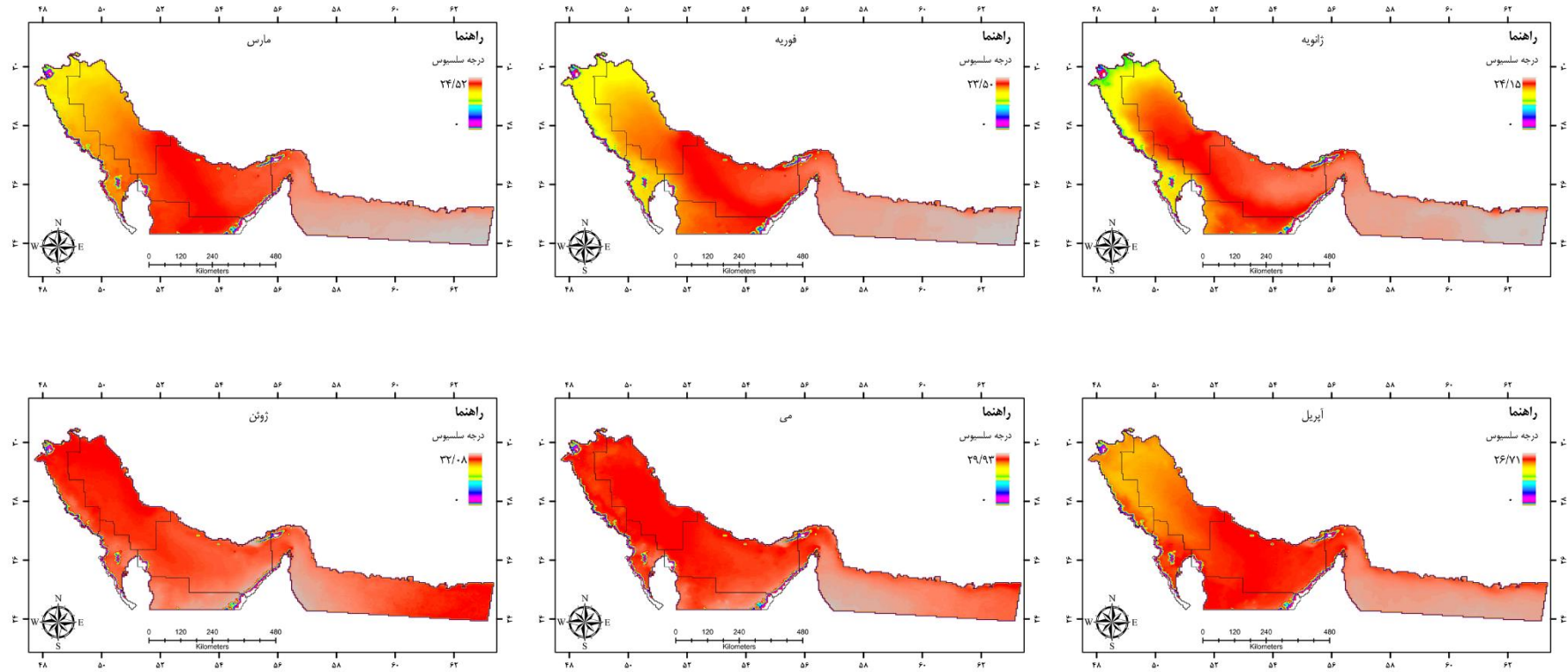


شکل ۳. میانگین غلظت کلروفیل a در ماه‌های مختلف در طی روند سری زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۸ با استفاده از سنجنده MODIS-Aqua

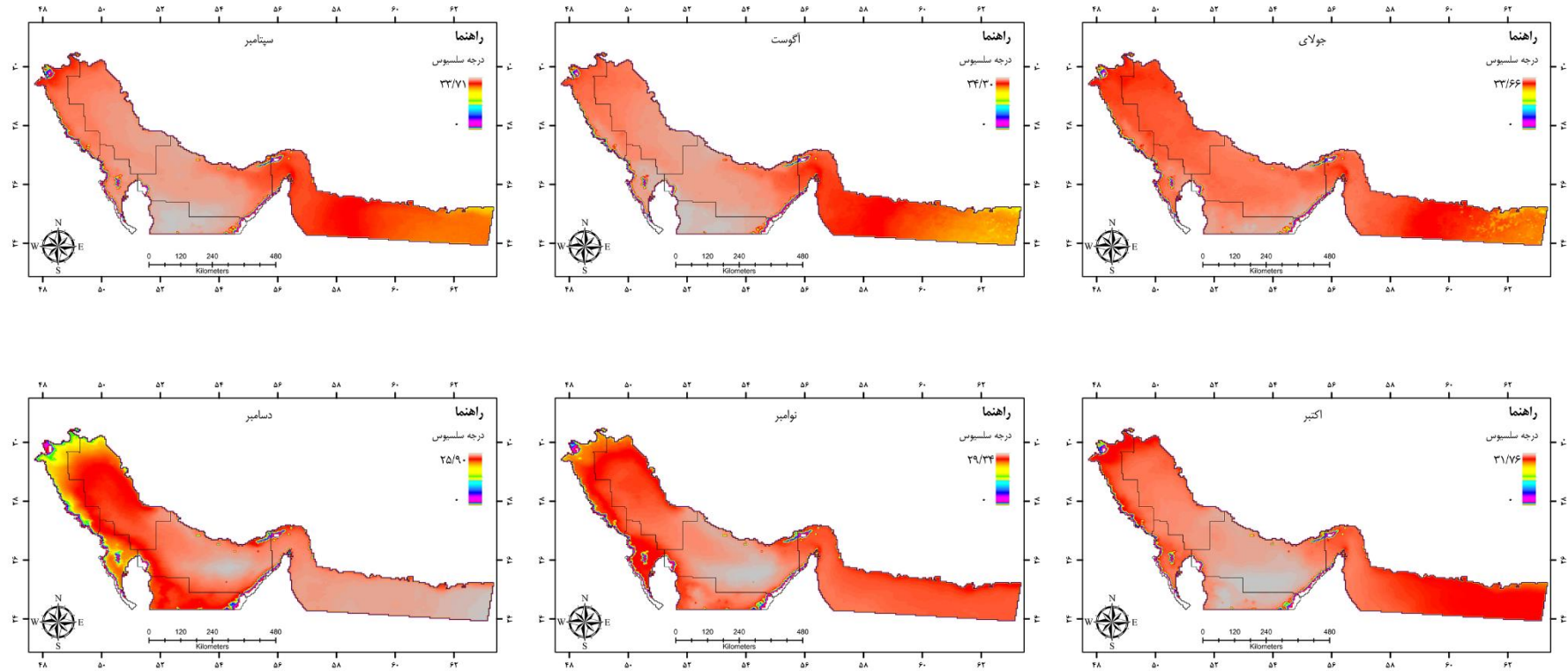




شکل ۴. میانگین تولیدات اولیه در ماه‌های مختلف در طی روند سری زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۸ با استفاده از مدل VGPM





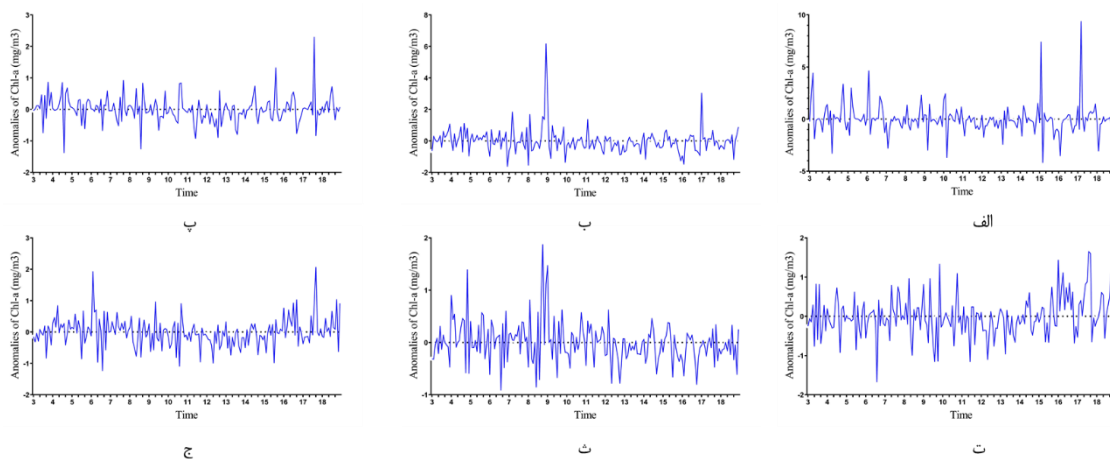


شکل ۵. میانگین دمای سطحی آب در ماه‌های مختلف در طی روند سری زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۸ با استفاده از سنجنده MODIS-Aqua

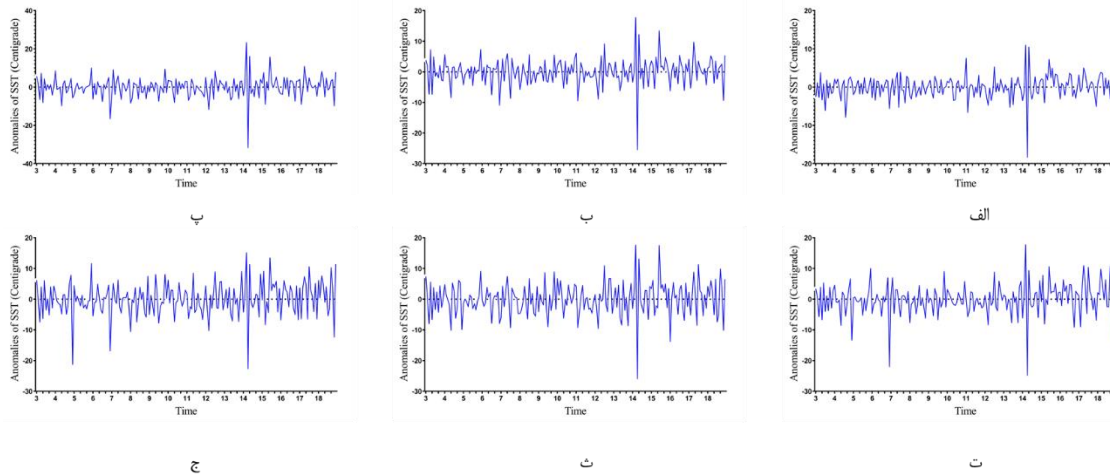
از طرف دیگر، در ماه‌های می، ژوئن و سپتامبر مقدار این مؤلفه در قسمت شرقی کاهش، در صورتی که در قسمت‌های مرکزی و ساحلی افزایش یافته است (شکل ۴). در طی ماه‌های جولای تا اکتبر مقدار دمای سطحی آب از شرق به غرب افزایش یافته به طوری که مقدار دمای خلیج فارس نسبت به دریای عمان در این ماه‌ها بیشتر بوده است (شکل ۵). مقدار غلظت کلروفیل a در منطقه مورد بررسی به ترتیب در مناطق یک و چهار بیشترین و در مناطق پنج و سه کم‌ترین مقدار را داشته است (شکل ۲)، 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 [۱۶] به طور کلی، مقدار نیترات، فسفات و سیلیکات‌ها به صورت جهانی تغییر زیادی داشته است [۴۲]. مقدار ورودی نیترات به رودخانه‌ها نسبت به دو سده گذشته دو برابر شده [۴۲]، چنین افزایشی می‌تواند به دلیل بالا رفتن تراکم جمعیتی در مناطق ساحلی، افزایش سرانه مصرف غذاها و نیاز به انرژی و آب باشد [۴۳] که به نوبه‌ی خود موجب افزایش نیترات می‌شود [۸] در مقایسه با افزایش نیترات رشد فسفات‌ها در کودهای کشاورزی رشد کمتری (۱:۳ نیترات) داشته است [۴۲، ۸]. 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 [۴۴] بین ۷ تا ۱۲ درصد از نیترات ورودی به آمونیم تبدیل می‌شود، این امر باعث تحریک رشد کلروفیل و در پی آن شکوفایی جلبکی شود [۷] که خود موجب پدیده پرغذایی و تشدید مجدد رشد منطقه شکوفایی می‌شود [۲۱].

### تغییرات سری مکانی-زمانی پارامترهای مورد بررسی

بررسی سری زمانی ناهنجاری‌های ماهیانه غلظت کلروفیل a مربوط به داده‌های ماهواره‌ای نشان می‌دهد که در سری زمانی مورد بررسی، غلظت کلروفیل a دارای نوسانات زیادی بوده است به طوری که، بیش‌ترین میزان تغییرات در منطقه یک و کم‌ترین آن در منطقه دو بوده است (شکل ۶). با توجه به شکل ۶ غلظت کلروفیل در مناطق مختلف دارای دوره‌های متفاوتی بوده است به صورتی که تعداد ۱۰ پیک اصلی در طی روند مورد بررسی مشاهده می‌شود. به صورت کلی، پیک‌های افزایشی مربوط به سپتامبر ۲۰۰۴، جولای ۲۰۰۷، آگوست ۲۰۰۸، جولای ۲۰۰۸، آگوست ۲۰۰۹، جولای ۲۰۱۰، سپتامبر ۲۰۱۱ [۳۰]، فوریه ۲۰۱۵، مارس و سپتامبر ۲۰۱۷ می‌باشند.

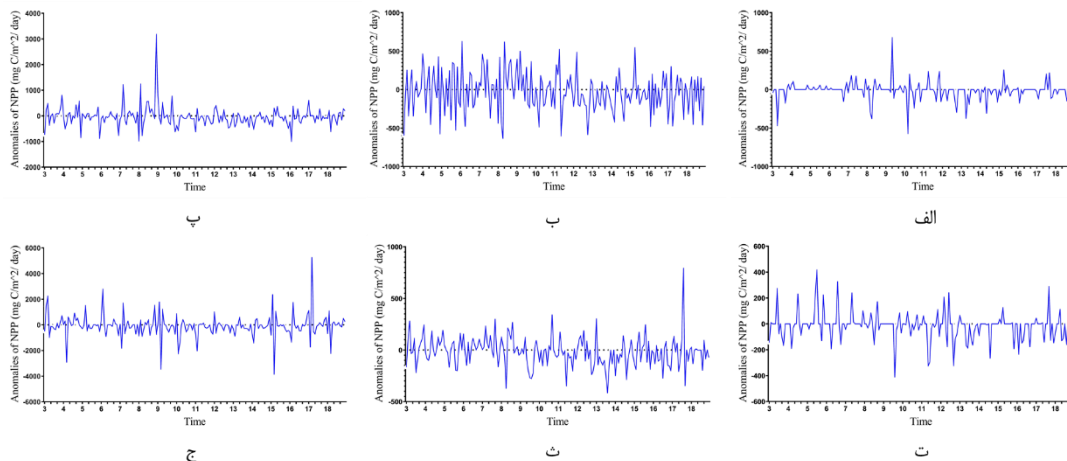


شکل ۶. روند سری زمانی ناهنجاری مولفه زیست نوری کلروفیل a: الف) منطقه یک، ب) منطقه دو، پ) منطقه سه، ت) منطقه چهار، ث) منطقه پنج و ج) منطقه شش



شکل ۷. 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 [۴۵]. بررسی‌های حداکثر مقدار مکانی و زمانی کلروفیل a (شکل ۶) و دمای سطحی آب (شکل ۷) می‌تواند اطلاعات مفیدی درباره مکان و زمان شکوفایی جلبکی را نشان دهد [۴۶].



شکل ۸. 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 ۲۰۰۸ و منطقه یک و سه در سال ۲۰۱۷ پیک قابل توجهی داشته است (شکل ۸). غلظت کلروفیل a با تولید خالص اولیه جز در منطقه سه دارای همبستگی مثبت است، بیشترین مقدار همبستگی این دو پارامتر در منطقه یک ( $r=0.78$ )، منطقه دو و شش ( $r=0.71$ ) و منطقه پنج ( $r=0.42$ ) می‌باشد.

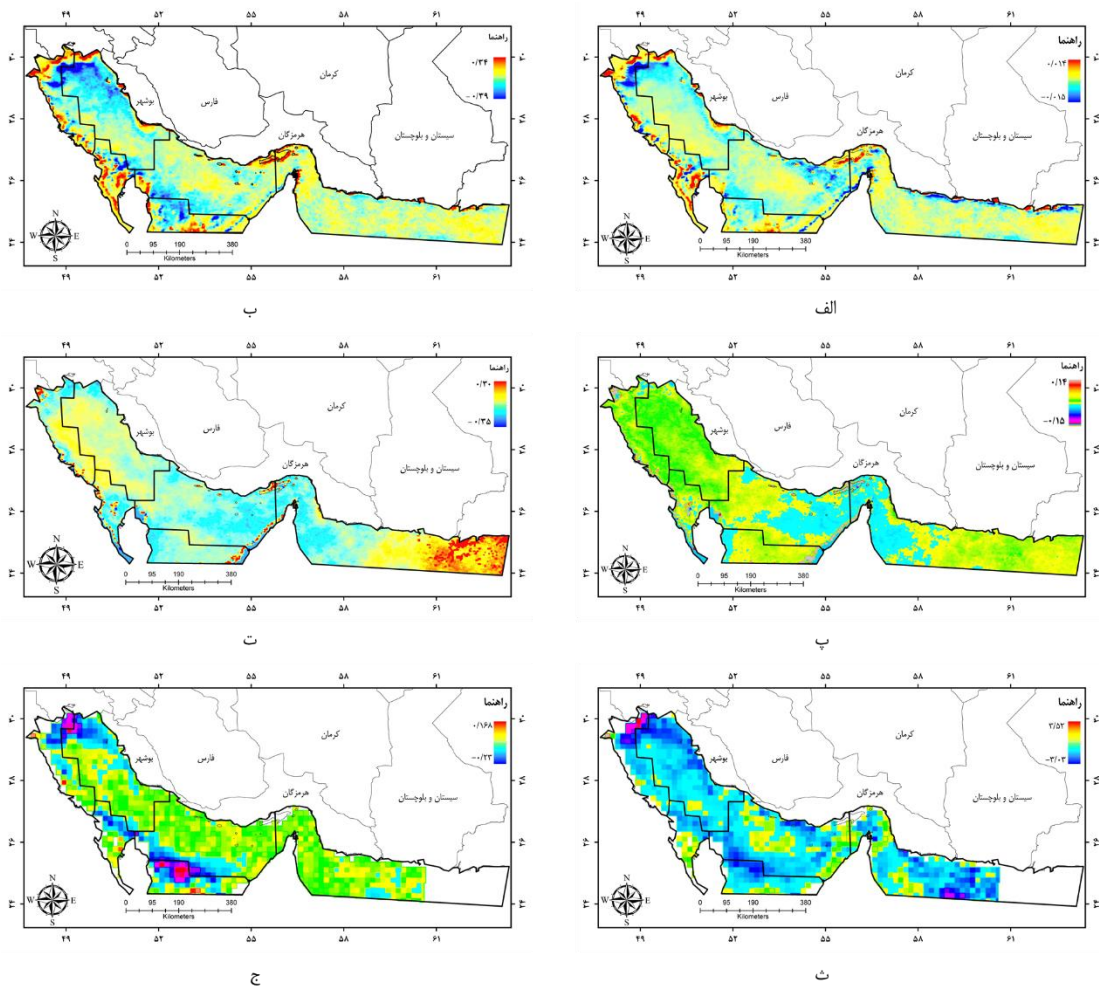
نتایج حاصل از تحلیل روند سری زمانی طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۸ به صورت ماهیانه در مناطق مختلف منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که مقدار غلظت کلروفیل a در منطقه مورد مطالعه مانند سایر مناطق آبی در مناطق ساحلی دارای روند افزایشی بوده است [۴۷] (شکل ۶ب). از سویی، بیشترین مقدار کاهش این مؤلفه در منطقه دو و پنج به میزان ۰/۱۹ 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 (جدول ۱). 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 ۱/۲۰ درجه سانتی‌گراد در طی روند بوده است (جدول ۱).



جدول ۱. میانگین رویه‌های من کندال و تایل سین در مناطق مختلف خلیج فارس و دریای عمان

رویه من کندال تاو		رویه تایل-سین		مناطق مورد مطالعه		
دما (درجه سلسیوس)	تولید خالص اولیه (mgc/m <sup>2</sup> /day)	کلروفیل (mg/m <sup>3</sup> )	دما (درجه سلسیوس)		تولید خالص اولیه (mgc/m <sup>2</sup> /day)	کلروفیل (mg/m <sup>3</sup> )
۰/۰۴	-۰/۰۲	-۰/۰۲	۰/۹۳	-۰/۴۵	-۰/۱۲	منطقه یک
۰/۰۳	-۰/۰۳	-۰/۰۳	۰/۹۴	-۰/۳۶	-۰/۱۹	منطقه دو
۰/۰۴	-۰/۰۷	-۰/۰۴	۱/۲۷	-۰/۴۷	-۰/۰۳۵	منطقه سه
۰/۰۴	-۰/۰۳	-۰/۰۰۵	۱/۶۱	-۰/۲۳	+۰/۰۲	منطقه چهار
۰/۰۵	-۰/۰۵	-۰/۰۷	۱/۴۲	-۰/۶۱	-۰/۱۹	منطقه پنج
۰/۰۵	-۰/۰۴	-۰/۰۲	۱/۸۴	-۰/۵۳	-۰/۱۴	منطقه شش

روند دو مقدار کلروفیل a (شکل ۶) و درجه حرارت سطح دریا (شکل ۷) نشان داده شده است. نتایج حاصل از روند تولید خالص اولیه نشان می‌دهد که مقدار این پارامتر نیز در منطقه روند کاهشی داشته است (جدول ۱).



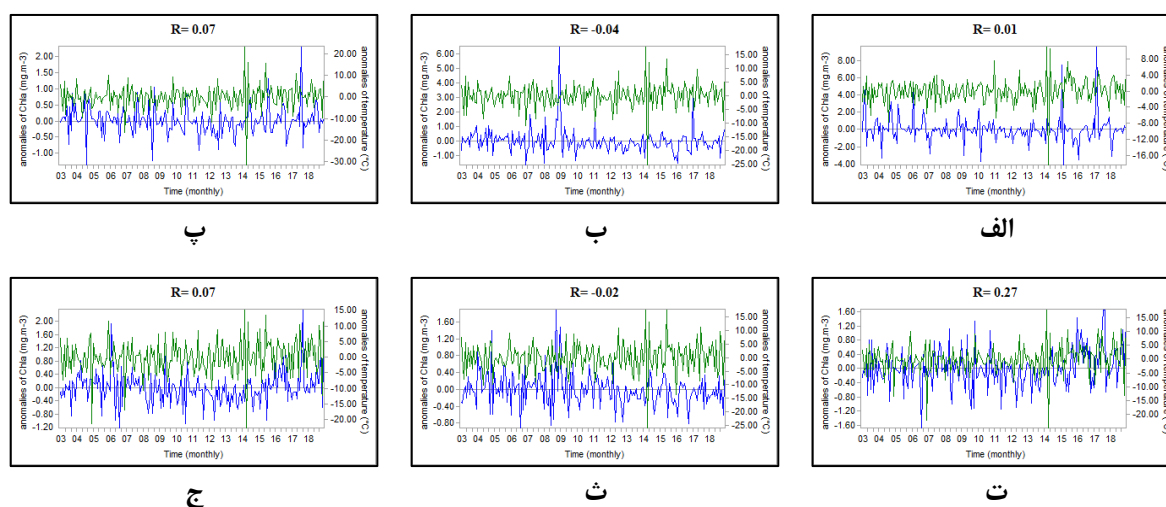
شکل ۹. تحلیل روند سری زمانی؛ کلروفیل a: الف) رویه تایل سن، ب) رویه من کندال، دمای سطحی آب: پ) رویه تایل سن و ت) رویه من کندال و تولید خالص اولیه: ث) رویه تایل سین و ج) رویه من کندال

نتایج حاصل از شکل ۹ 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 (شکل ۹ت). میانگین نرخ تغییرات تولیدات خالص اولیه نشان می‌دهد که مقدار آن در تمام مناطق کاهشی بوده،

به طوری که بیشترین مقدار کاهش در منطقه پنج و کمترین آن در منطقه چهار است (جدول ۱). 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 دلیل وجود مواد غذایی فراوان و آب کم عمق و به نسبت آرام، گونه‌های متنوع آبیان زندگی می‌کنند که این عوامل به دلیل بالا بودن مقدار کلروفیل a است و در قسمت جنوب غربی از خط ساحلی الخور تا مسیعد افزایش داشته است (شکل ۹ج).

### تأثیر نوسانات دمای سطح آب روی کلروفیل a

جزئیات نوسانات دمای سطح آب و غلظت کلروفیل a و همبستگی آن‌ها در شکل ۱۱ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که نوسانات آن‌ها متفاوت است. وجود همبستگی منفی در مناطق دو و پنج (به ترتیب ۰/۰۴ و ۰/۰۲) که می‌تواند به دلیل جریانات بالارونده، نوسانات اقلیمی، اتمسفری و فعالیت‌های انسانی باشد (شکل ۱۰) [۱۶] و در سایر مناطق دارای همبستگی مثبت بین الگوی ماهانه غلظت کلروفیل a با الگوی ماهانه درجه حرارت سطح دریا هستند به طوری که، با افزایش یا کاهش در مقدار درجه حرارت، مقدار غلظت کلروفیل a در مناطقی که مقدار همبستگی منفی است در جهت مخالف و در مناطقی که مثبت است دما و کلروفیل a هم‌جهت با هم تغییر خواهند کرد.



شکل ۱۰. الگوی ماهانه کلروفیل a (نمودار سبز) و درجه حرارت سطح دریا (نمودار آبی) در طی دوره ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۸ 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 (۲) نتایج مقایسه مؤلفه‌های کلروفیل a و 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 می‌باشد. در تمامی بوم‌سازگان‌های موجود در جدول (۲) به غیر از دریای شمال و ژاپن افزایش نرخ تغییرات دما و همچنین افزایش روند دما را نشان داد.

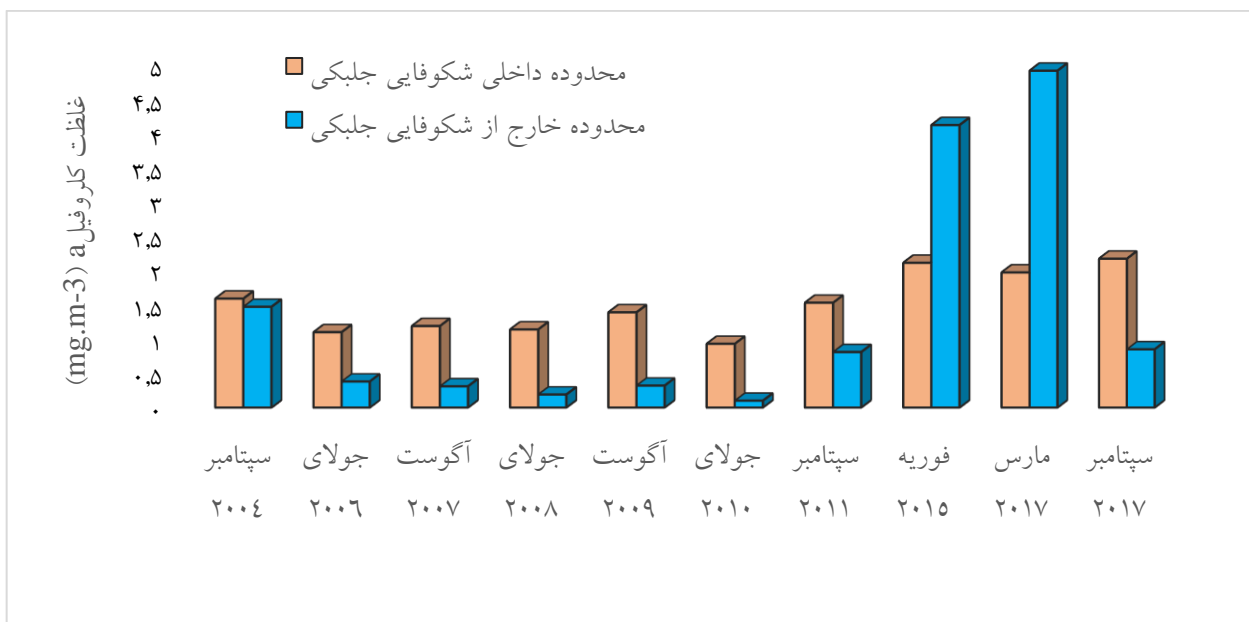
جدول ۲. مقایسه میانگین رویه‌های من کندال و تایل سین در بوم‌سازگان‌های مختلف [۴]

نام	موقعیت	کلروفیل a		دمای سطحی آب		تولیدات خالص اولیه	
		TS	Mk	TS	Mk	TS	Mk
دریای عرب	شمال اقیانوس هند	-۰/۰۲۷	-۰/۵۱	۰/۳۳	۰/۰۷۱۲	-۲۸/۸۷	-۰/۰۲۳۴
دریای چین جنوبی	بخشی از اقیانوس آرام	-۰/۰۲۲۹	-۰/۰۳۸	۰/۶۱	۰/۰۵۷۵	-۶/۹۳	-۰/۰۲۲۶
دریای ژاپن	بخش غربی اقیانوس آرام	۰/۰۶۴۵	۰/۰۵۴	-۰/۱۵	-۰/۰۴۱۲	۴/۰۹	۰/۰۳۷۵
دریای مدیترانه	شمال اروپا	۰/۰۴۸۷	۰/۰۴۹	۰/۸۶۸	۰/۸۶۸	-۱۱/۵۴	-۰/۰۰۳۸
دریای سرخ	بین شبه‌جزیره عربستان و شمال شرق قاره آفریقا	-۰/۰۰۵۴	-۰/۰۷۴۱	۰/۳۴	۰/۰۳۴	-۷۰/۸۳	-۰/۰۰۳
دریای شمال	شمال اروپا	۰/۰۰۵۵۴۱	-۰/۰۲۸۲۳۴	-۰/۰۰۸۶۳۲	-۰/۰۳۸۰۳۵۲	۱۴/۰۵۷۸۵۶	۰/۰۰۳۶۲۰
دریای فیلیپین	غرب اقیانوس آرام	-۰/۰۴۷۹	-۰/۰۰۲	۰/۰۴۱۳	۰/۳۸	-۷/۳۸	-۰/۰۴۲۴

طبق نتایج حاصل از رویه تایل سین کلروفیل a 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 ۲۰۰۳ تا دسامبر ۲۰۱۸ بوده است.

#### ارتباط شکوفایی جلبکی با مقدار کلروفیل a

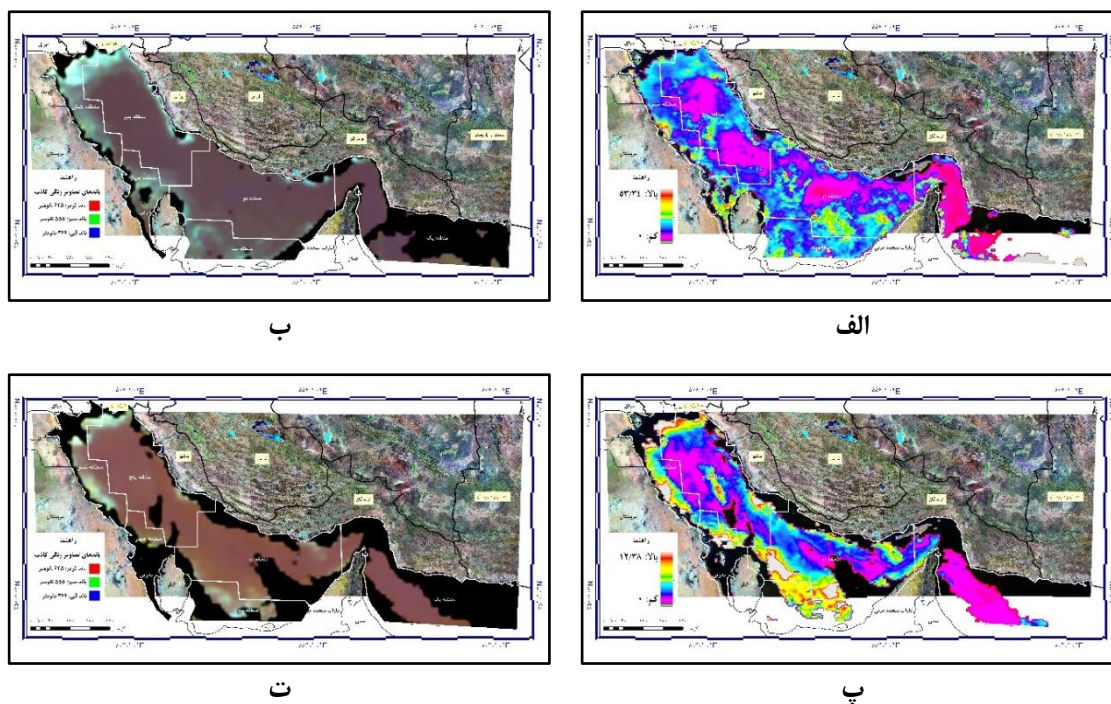
همان‌طور که در بالا ذکر گردید نتایج حاصل از تحلیل روند سری زمانی نشان داد که در طی زمان مورد بررسی، اولین تغییر ناگهانی در مقدار غلظت کلروفیل a در سپتامبر ۲۰۰۴ رخ داد که در این سال نیز شکوفایی جلبکی اتفاق افتاده است (شکل ۶).



شکل ۱۱. میانگین غلظت کلروفیل a در دو محدوده داخلی و خارجی از محدوده شکوفایی جلبکی

بررسی مقدار میانگین غلظت کلروفیل a در این تاریخ نشان داد که غلظت کلروفیل a در منطقه شکوفایی جلبکی ۱/۵۹ میلی‌گرم بر متر مکعب و خارج از منطقه شکوفایی این مقدار ۱/۴۷ میلی‌گرم بر متر مکعب می‌باشد (شکل ۱۱)، 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 (شکل ۱۲) این بلوم ۲۶ درصد

از منطقه مورد مطالعه را پوشش داد که مساحت آن ۸۱ هزار کیلومتر مربع بود یا به عبارت دیگر، در محدوده‌ی مناطق ساحلی تمامی مناطق شش‌گانه مشاهده شده است به طوری که، بیشترین مساحت این بلوم در منطقه شش (۷۸ درصد) و کمترین آن در منطقه یک (۰,۳۸ درصد) است.

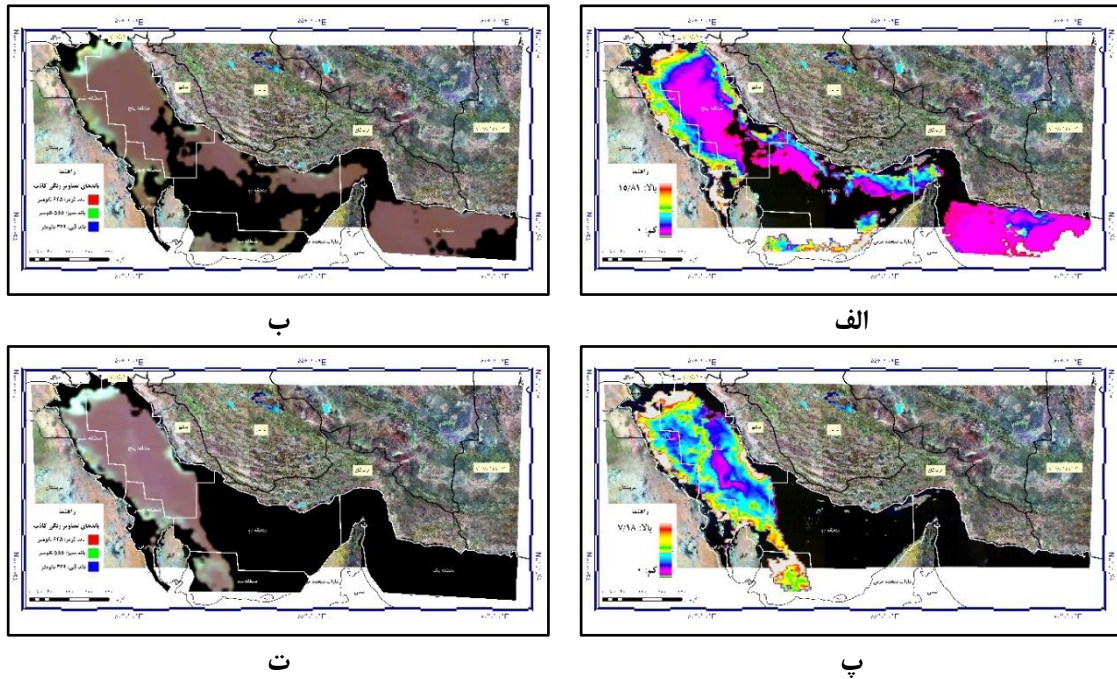


شکل ۱۲. نقشه‌های مربوط به الف) غلظت کلروفیل a و ب) تصویر رنگی کاذب در تاریخ سپتامبر ۲۰۰۴  
پ) غلظت کلروفیل a و ت) تصویر رنگی کاذب در جولای ۲۰۰۶

نتایج حاصل از شکل ۱۲ نشان داد که در تاریخ جولای ۲۰۰۶ 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 ۲۰۰۴ کمتر بود به طوری که، مساحت این بلوم ۴۹ هزار کیلومتر مربع که ۱۶ 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.

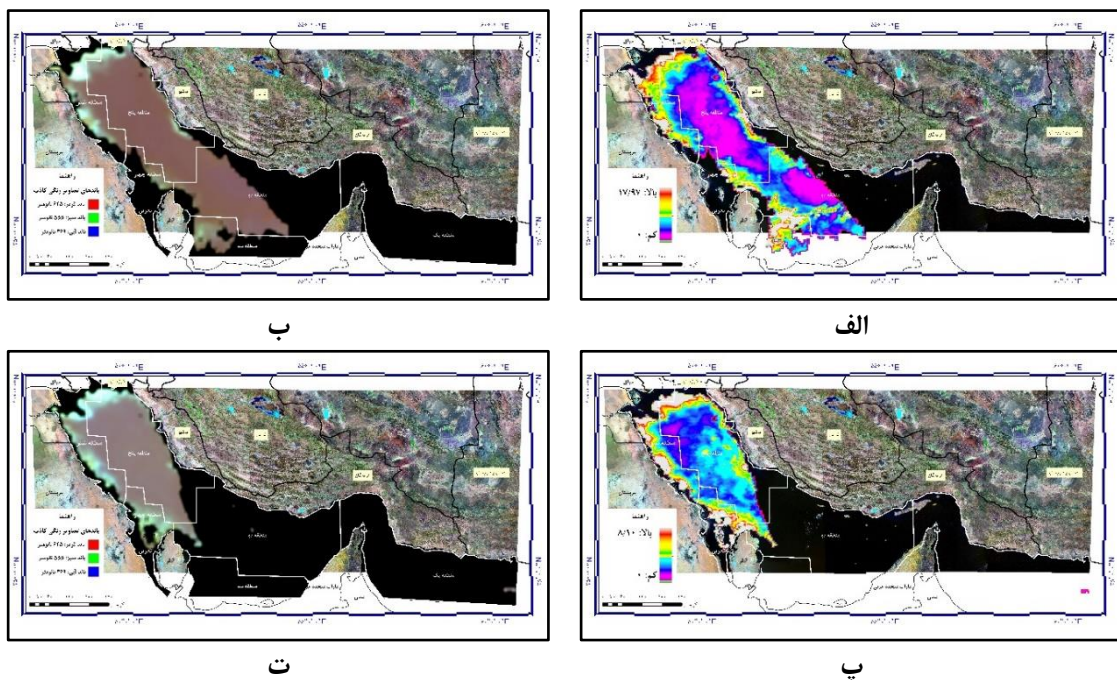
نتایج حاصل از تصاویر رنگی کاذب و روند سری زمانی کلروفیل a (شکل ۶) برای سال‌های ۲۰۰۷، ۲۰۰۸، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ حاکی از آن است که شکوفایی جلبکی بیشتر در منطقه پنج در محدوده‌ی شهرستان عسلویه تا بندر دیلم اتفاق افتاده است در سال ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ میلادی (شکل ۱۳) شکوفایی جلبکی غیرطبیعی در بخش شمالی مناطق ساحلی ایران که با مقدار افزایش غلظت کلروفیل a هم‌خوانی دارد [۱۶، ۴۵، ۴۸]، همچنین تغییرات دمای سطحی آب نیز در طی این سال‌ها افزایش یافته است [۱۶].





شکل ۱۳. نقشه‌های مربوط به (الف) غلظت کلروفیل a و (ب) تصویر رنگی کاذب در تاریخ آگوست ۲۰۰۷ (الف) غلظت کلروفیل a و (ب) تصویر رنگی کاذب در جولای ۲۰۰۸

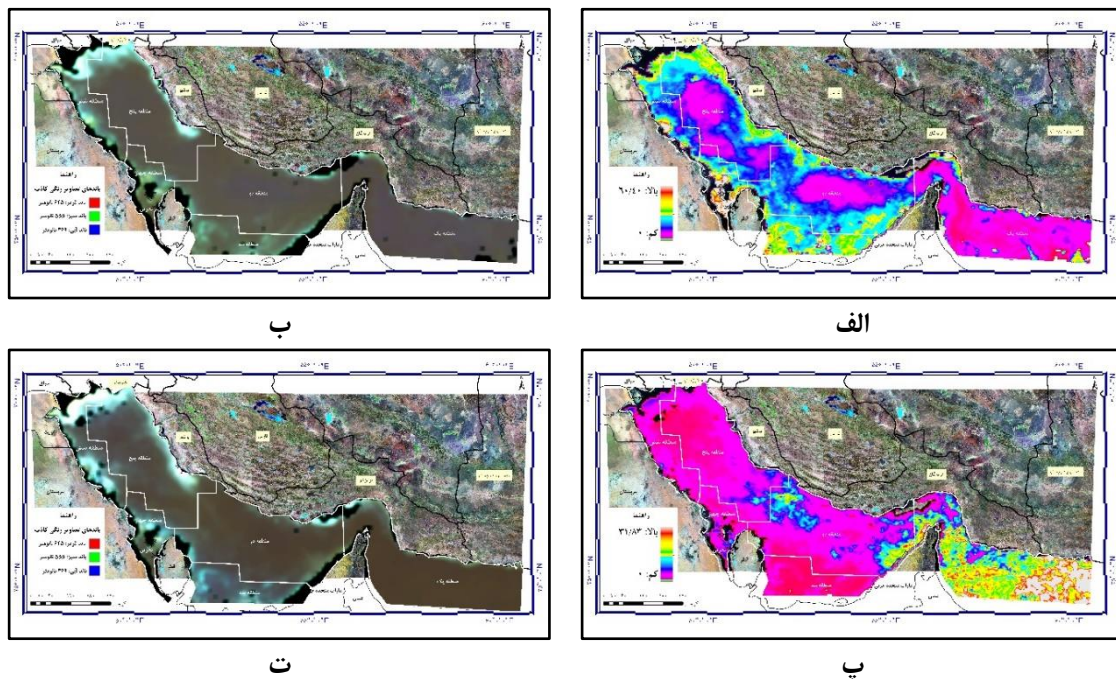
در آگوست ۲۰۰۷ میلادی میانگین غلظت کلروفیل a در محدوده‌ی شکوفایی جلبکی ۱/۱۹ و در خارج از این محدوده ۰/۳۱، در جولای ۲۰۰۸ غلظت این مؤلفه در محدوده‌ی شکوفایی جلبکی ۱/۱۴ و در خارج از این محدوده ۰/۱۹ میلی گرم بر مترمکعب برآورد شد.



شکل ۱۴. نقشه‌های مربوط به (۱) غلظت کلروفیل a و (۲) تصویر رنگی کاذب در تاریخ آگوست ۲۰۰۹ (۳) غلظت کلروفیل a و (۴) تصویر رنگی کاذب در جولای ۲۰۱۰

میانگین غلظت کلروفیل a در محدوده‌ی خارج از شکوفایی جلبکی در سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ به ترتیب ۰/۳۲ و ۰/۱ میلی گرم بر متر مکعب و در محدوده جلبکی ۱/۳۹ و ۰/۹۳ میلی گرم بر متر مکعب برآورد گردید (شکل ۱۰). مقدار دمای سطحی آب در این سال در محدوده ۲۵ تا

۳۵ درجه سانتی‌گراد بوده است. تصاویر رنگی کاذب نشان می‌دهد که این شکوفایی ۱۱۲ کیلومتر مربع را پوشش داده است که بیشترین مقدار آن در منطقه دو و شش بود. این بلوم ۳۳ درصد از منطقه را پوشش داده است که با مطالعه [۱۶] مطابقت دارد (شکل ۱۴). بر اساس تصاویر سنجنده‌ها از ابتدای پاییز ۱۳۸۷ تا بهار ۱۳۸۹ در خلیج فارس، دریای عمان و تنگه هرمز یک شکوفایی مضر جلبکی از نوع *C.polykrikoides* به وقوع پیوست [۱۹]. این کشند قرمز در شمال تنگه هرمز دوره‌ای ۹ ماهه داشت بر اساس اولین مشاهدات شروع کشند قرمز برای اولین بار در ۲۶ مرداد ۱۳۸۷ (۱۷ آگوست ۲۰۰۸) در سواحل جنوبی دریای عمان در بندر مسقط دیده شد و پس از آن در ۲۰ شهریور ۱۳۸۷ (۱۱ سپتامبر ۲۰۰۸) به جنوب غرب دریای عمان محدوده راس الدیبا رسید. ظاهراً با واقع شدن در یک پیچک میان مقیاس دریایی به سمت سواحل شمالی تنگه هرمز حرکت نموده است که در سواحل ایران اولین مشاهده شکوفایی جلبکی از این نوع در ۸ مهرماه ۱۳۸۷ (۳۰ سپتامبر ۲۰۰۸) در سواحل جزیره هرمز توسط پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان و اداره کل محیط زیست استان هرمزگان به ثبت رسید. با مطابقت مشاهدات اولیه با تصاویر ماهواره‌ای می‌توان دریافت که مشاهدات اولیه کشند قرمز نسبت به تاریخ وقوع این پدیده که با اطلاعات ماهواره‌ای به دست آمده تأخیر ۱۰ روزه در مشاهدات اولیه و گزارش پدیده را نشان می‌دهد. بر اساس اطلاعات موجود و تفسیر تصاویر ماهواره‌ای به نظر می‌رسد شروع پدیده کشند قرمز از سواحل کشور عمان در دریای عرب بوده و پس از حرکت به جنوب دریای عمان از طریق جریان دریایی ناشی رانش آب توسط پیچک‌های میان مقیاس به شمال دریای عمان و سواحل شمالی تنگه هرمز کشیده شده است. با توجه به فراهم شدن شرایط شکوفایی با کاهش دما و افزایش مواد مغذی ناشی از فاضلاب‌های شهری و صنعتی، این پدیده توانسته است گسترش یابد و به مدت ۱۰ ماه تا فصل بهار ۱۳۸۸ در منطقه حضور داشته باشد. تصاویر رنگی کاذب نشان می‌دهد که شکوفایی جلبکی صورت گرفته در سپتامبر ۲۰۱۱ و فوریه ۲۰۱۵ در قسمت ساحل غربی و شمالی منطقه مورد مطالعه یعنی در محدوده‌ی بوشهر، خوزستان، کویت و همچنین در تنگه هرمز اتفاق افتاده است (شکل ۱۵) مساحت این لکه جلبکی در سال ۲۰۱۱ و ۲۰۱۵ به ترتیب ۱۱۱ و ۱۰۸ کیلومتر مربع که معادل ۳۶ و ۳۵ درصد از منطقه مورد مطالعه است.



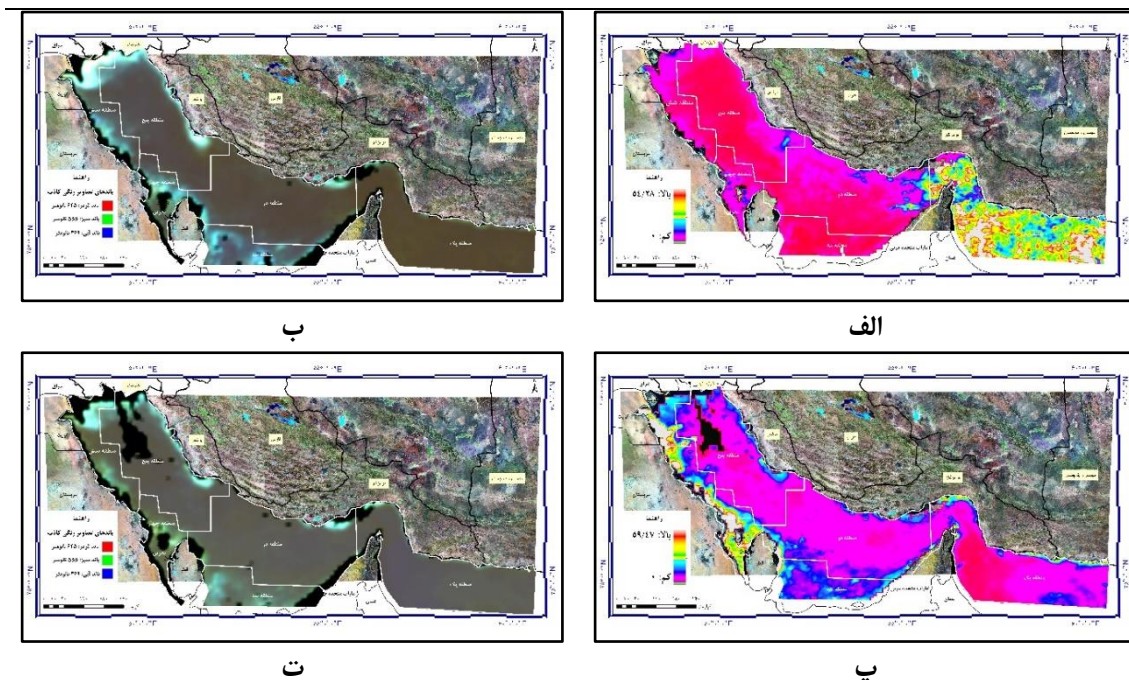
شکل ۱۵. نقشه‌های مربوط به (۱) غلظت کلروفیل a و (۲) تصویر رنگی کاذب در تاریخ سپتامبر ۲۰۱۱

(۳) غلظت کلروفیل a و (۴) تصویر رنگی کاذب در فوریه ۲۰۱۵

میانگین غلظت کلروفیل a در محدوده‌ی شکوفایی جلبکی به ترتیب  $1/53$  و  $2/11$  میلی گرم بر مترمکعب و در خارج از محدوده  $0/81$  و  $4/11$  میلی گرم بر متر مکعب محاسبه گردید (شکل ۱۱).



آخرین تغییرات ناگهانی کلروفیل a در مارس و سپتامبر ۲۰۱۷ رخ داد (شکل ۶). از یک طرف، نتایج حاصل از روند سری زمانی نشان می‌دهد که در این سال مقدار غلظت کلروفیل a 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 طوری که 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 کلروفیل a نشان می‌دهد در مارس ۲۰۱۷ مقدار کلروفیل a با تصویر رنگی کاذب هم‌خوانی نداشته به طوری که، مقدار غلظت کلروفیل a در محدوده‌ی شکوفایی جلبکی کمتر از محدوده‌ی شکوفایی جلبکی می‌باشد (شکل ۱۶).



شکل ۱۶. نقشه‌های مربوط به (الف) غلظت کلروفیل a و (ب) تصویر رنگی کاذب در تاریخ مارس ۲۰۱۷ (پ) غلظت کلروفیل a و (ت) تصویر رنگی کاذب در سپتامبر ۲۰۱۷

در سپتامبر همین سال نیز قسمت اعظم خلیج فارس تحت تأثیر شکوفایی جلبکی قرار گرفته است، میانگین مقدار غلظت کلروفیل a در محدوده‌ی جلبکی ۲/۱۷ و در خارج آن محدوده ۰/۸۵ میلی گرم بر متر مکعب برآورد شد (شکل ۱۱).

### 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 ۹۵ درصد 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 کلروفیل a، 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 کلروفیل a در مناطق مورد بررسی در امتداد ساحل بیشتر از مناطق دور از ساحل است که این ویژگی در ارتباط با الگوریتم برداشت کلروفیل در آب‌های نوع یک (Case 1) 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 کلروفیل a 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 اروندرود 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. همچنین نتایج حاصل نشان داد که بیشترین مقدار تولیدات خالص اولیه در منطقه یک در مارس (۳۰۸۱ گرم کربن/متر مربع/روز) و کمترین آن نیز ژوئن و جولای (به ترتیب ۵۴۰ و ۶۹۰ گرم کربن/متر مربع/روز) که با مقدار غلظت کلروفیل a مطابقت دارد در صورتی که، در سایر مناطق به این صورت است که در منطقه دو بیشترین مقدار غلظت کلروفیل (۲/۵۴ میلی‌گرم بر متر مکعب) و تولید خالص اولیه (۱۴۳۰ گرم کربن/متر مربع/روز) در ماه فوریه و کمترین مقدار برای کلروفیل و تولید ناخالص اولیه به ترتیب ۰/۲۶ میلی‌گرم بر متر مکعب و ۹۷۳ 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 صورتی که، 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 صورتی که دمای سطحی آب افزایش یافته است. مقدار غلظت کلروفیل جز در فوریه ۲۰۱۵ و مارس ۲۰۱۷ 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 کلروفیل a 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 «پهنه‌بندی اولویت‌های استقرار تاسیسات نمک‌زدایی از آب دریا در خط ساحلی خلیج فارس و دریای عمان (فاز ۱: استان هرمزگان)؛ کارفرما: معاونت دریایی سازمان حفاظت محیط‌زیست؛ مشاور: دانشگاه تربیت مدرس به قرارداد شماره ۹۷/۱۷۳ مورخ ۱۳۹۷/۹/۱۰» 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.

### سهام 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*, Trabiati 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 (0 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 algorithms 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<sup>\*1</sup>, Bonyad Ahmadi<sup>1</sup>, Parisa Nouri<sup>1</sup>, Fatemeh Ranjrouzi<sup>1</sup>, Sohrab Mazloumi<sup>1</sup>, Ali Saber<sup>2</sup>

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.

## ABSTRACT

Primary production is a key indicator in the evaluation 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. After 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/m<sup>2</sup>/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.

## ARTICLE TYPE

Original Research

## ARTICLE HISTORY

Received: 31 Aug 2020

Accepted: 18 Dec 2020

ePublished: 20 Dec 2020

**KEYWORDS:** Algal bloom, Chlorophyll-a, Sea Surface Temperature, Net primary productivity, Persian Gulf and Oman Sea

\* Corresponding Author:

Email address: [m.gholamalifard@modares.ac.ir](mailto:m.gholamalifard@modares.ac.ir)

Tel: +98 11 4499 8107

© Published by Tarbiat Modares University

eISSN:2476-6887 pISSN:2322-5513