

تحلیل الگوهای همبستگی دمای سطحی آب و غلظت کلروفیل a در خلیج فارس و دریای عمان

مریم کریمیان^۱، امید بیرق‌دار کشکولی^{۲*}، رضا مدرس^۳ و سعید پورمنافی^۴

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۰۱)

چکیده

غلظت رنگدانه کلروفیل a یکی از مهم‌ترین پارامترهای ارزیابی تولیدات اولیه و پویایی اکوسیستم‌های دریایی است. تغییرات غلظت کلروفیل a تحت تأثیر عوامل مختلف اقلیمی و محیطی از جمله دمای سطحی آب دریا می‌باشد. سنجنده‌های ماهواره‌ای به عنوان ابزارهای مهم عملیاتی برای ارائه پوشش قابل اعتماد دمای سطح آب و غلظت کلروفیل a با وضوح مکانی و زمانی مناسب مطرح می‌باشند. در این مطالعه از محصولات سطح ۳ (وضوح ۴ کیلومتر) دمای سطح آب و غلظت کلروفیل a خلیج فارس و دریای عمان حاصل از تصاویر سنجنده مودیس برای بازه زمانی ۲۰۱۸-۲۰۰۳ استفاده شد. داده‌ها ابتدا به فرمت رستر تبدیل و سپس مقادیر عددی هر پیکسل استخراج گردید. شکاف‌های داده‌ای موجود در تولیدات سطح ۳ مودیس با استفاده از الگوریتم (Data INterpolating Empirical Orthogonal Functions, DINEOF) بازسازی شد. به منظور تحلیل همبستگی بین این دو پارامتر از آزمون همبستگی پیرسون استفاده گردید. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که در طول دوره مورد مطالعه همبستگی بین دو پارامتر در بیشتر مناطق منفی (۰/۴۴- تا ۰/۶۷) و معنی‌داری بوده و این ضریب در ماه دسامبر در دریای عمان و اکثر مناطق خلیج فارس منفی (۰/۶۷- تا ۰/۰۵-) و معنی‌دار و در ماه جولای در اکثر مناطق مثبت (۰/۱۳ تا ۰/۶۴) و معنی‌دار می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: دمای سطحی آب، غلظت کلروفیل a، مودیس، همبستگی پیرسون، خلیج فارس

۱. دانشجوی دکتری تکثیر و پرورش آبزیان، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۲. استادیار گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۳. دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۴. استادیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: omid.beyraghdar@iut.ac.ir

مقدمه

فیتوپلانکتون‌های دریایی که تقریباً مسئول نیمی از تولیدات اولیه جهانی و پایه شبکه‌های غذایی دریایی هستند، به شدت بر کلیه فرآیندهای بیوژئوشیمیایی در اقیانوس تأثیر می‌گذارند (۱۶). اخیراً شواهد زیادی مبنی بر اینکه زیست‌توده فیتوپلانکتون و تولید جهانی در طول زمان در حال تغییر می‌باشد، گزارش شده است. علی‌رغم روند افزایشی در برخی مناطق (۱۰، ۲۱)، اکثر مشاهدات و مدل‌های فیزیکی نشان می‌دهند که در مقیاس‌های بزرگ، میانگین زیست‌توده فیتوپلانکتون‌ها و تولید در حال کاهش است، روندی که پیش‌بینی می‌شود در قرن آینده نیز ادامه یابد (۶، ۸، ۲۲). در حالی که میزان دقیق کاهش فیتوپلانکتون‌ها در گذشته و آینده نامشخص است، اما در این مطالعات کاهش زیست‌توده فیتوپلانکتون‌های دریایی به عنوان یکی از اصلی‌ترین تغییرات جهانی در اقیانوس‌ها در زمان معاصر به تأیید رسیده است (۸). شواهد متعدد نشان می‌دهد که تغییرات در زیست‌توده فیتوپلانکتون و تولید با گرم شدن اقیانوس مرتبط است (۶، ۴۰). غلظت کلروفیل سطح دریا یک شاخص زیستی زیست‌توده فیتوپلانکتون در این اکوسیستم‌ها است. نظارت بر تغییرات مکانی و زمانی کلروفیل می‌تواند به محققان در درک پدیده‌های طبیعی حاکم بر رشد فیتوپلانکتون‌ها از جمله کشند قرمز، شکوفایی سیانوباکتری‌ها و گرداب‌های متوسط مقیاس (Meso-scale eddy) کمک کند (۸، ۱۲ و ۱۸). شدت نور، دما، pH، اکسیژن محلول، مواد مغذی و اجزای شیمیایی می‌توانند بر رشد جوامع فیتوپلانکتون‌ها و پویایی آن‌ها تأثیر بگذارند (۴، ۱۷، ۳۱، ۴۳). در این میان، دما به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی رشد جلبک‌ها به ویژه شکوفایی آن‌ها محسوب می‌شود (۲۰، ۴۳). برای تفسیر رابطه بین کلروفیل و دما می‌توان از سه جنبه استفاده کرد:

الف) ویژگی شیمیایی-فیزیکی آب دریا. به طور مثال دمای بالا باعث لایه‌بندی شدید آب و تضعیف اختلاط عمودی می‌شود که این امر منجر به کاهش انتقال مواد مغذی به لایه بالایی می‌شود و رشد جلبک‌ها را محدود می‌کند (۴۸).

ب) محیط زندگی، به طور مثال تغییرات دما می‌تواند برخی از گونه‌های فیتوپلانکتون را قادر سازد در یک اکوسیستم از رقابت خود پیشی بگیرند، که این امر منجر به گسترش آن‌ها می‌شود (۴۴).

ج) مصرف زئوپلانکتون. به عنوان مثال با افزایش دما، شدت تغذیه زئوپلانکتون‌ها از فیتوپلانکتون‌ها افزایش می‌یابد که این امر می‌تواند باعث کاهش جمعیت فیتوپلانکتون‌ها شود (۱۵). فرآیندهای مذکور منجر به تنوع گسترده‌ای از روابط بین غلظت کلروفیل a و دمای سطح آب دریا (Sea Surface Temperature, SST)، در سراسر جهان شده است. الگوی تغییرات جهانی بین کلروفیل سطح دریا و SST توسط دانستان و همکاران (۲۰۱۸) طی یک دوره ۱۴ ساله مورد بررسی قرار گرفت (۱۳) و الگوهای مشاهده شده از همبستگی نشان داد که هر دو روابط مثبت و منفی بین این دو متغیر وجود دارد. بنابراین SST به تنهایی نمی‌تواند یک پیش‌بینی‌کننده خوب از تغییرات غلظت کلروفیل a در مقیاس جهانی باشد. جی و همکاران (۲۰۱۸) دریافتند که SST به شدت با غلظت کلروفیل a سطح دریا در مناطق ساحلی مناطق جیانگ سو و ژجیانگ چین مرتبط است (۲۴). در آب‌های مجمع‌الجزایر اندونزی، یک رابطه معکوس (ضریب همبستگی برابر با -0.542) بین SST و غلظت کلروفیل a در دوره جولای ۲۰۰۲ تا ژوئن ۲۰۱۱ با استفاده از محصولات مودیس شناسایی شد (۳۸). ون دو پول و همکاران (۲۰۱۳) دریافتند که SST با غلظت کلروفیل a (عمق ۵۰-۵۰ متر) با $R^2 = 0.86$ در شمال شرقی اقیانوس اطلس همبستگی منفی دارد (۴۸). با در نظر گرفتن اثرات فصلی، با استفاده از ضریب همبستگی اسپیرمن، در شرق دریای مدیترانه رابطه غلظت کلروفیل a و SST یک همبستگی منفی قوی در طول بهار و یک همبستگی مثبت در طول تابستان را نشان داد (۳۰). غلامعلی‌فرد و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی از داده‌های غلظت کلروفیل a و SST حاصل از سنجنده مودیس-آکوا و از مدل (Vertical General Production Model, VGPM) به منظور برآورد تولیدات اولیه (از ژانویه ۲۰۰۳ تا دسامبر ۲۰۱۸)

اکوسیستم از دیدگاه‌های مختلف اکولوژیک و ویژگی‌های آن از جمله SST، مواد مغذی و جمعیت‌های فیتوپلانکتونی می‌توانند متفاوت باشند. تبادل آب‌های اقیانوس هند از طریق دریای عمان با خلیج فارس از طریق تنگه هرمز صورت گرفته که سبب گردش آب از طریق جریان‌های ساحلی ایران از سمت شمال می‌شود. این تبادلات و جریان‌های آبی، تغییرات محیطی در این منطقه را با پرسش‌های متعددی از جمله چگونگی تغییرات طولانی‌مدت جمعیت فیتوپلانکتونی روبرو کرده است (۲۷). بدین‌منظور مطالعه تحلیل همبستگی بین داده‌های طولانی‌مدت غلظت کلروفیل a و SST به صورت یکپارچه با وضوح بالا و بررسی معنی‌داری این روابط در خلیج فارس و دریای عمان، می‌تواند درک ما را در مورد فرآیندهای فیزیکی و بیولوژیکی دوره‌های با تولید بالا و در دسترس بودن منابع غذایی در این اکوسیستم‌ها برای دست‌یابی به مواردی مانند منابع صیادی بهبود بخشد (۳۸) فرضیه این مطالعه، وجود ارتباط و همبستگی معنی‌دار بین تغییرات SST و کلروفیل a در مقیاس منطقه‌ای در خلیج فارس و دریای عمان بوده است.

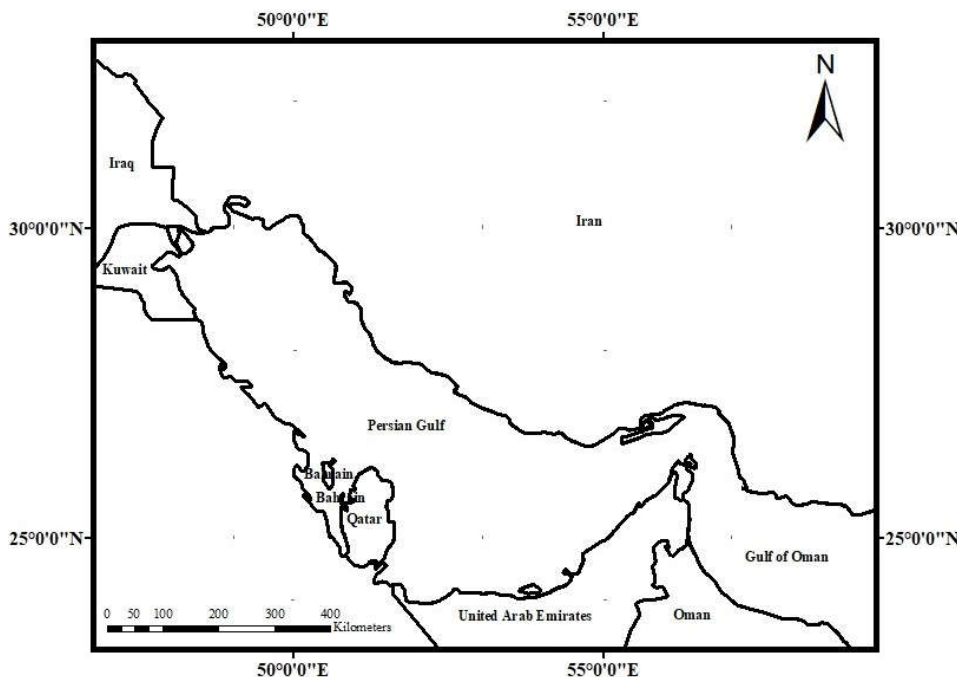
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

خلیج فارس در خاورمیانه بین عرض جغرافیایی ۲۴ درجه شمالی و ۳۰ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه شرقی و ۵۶/۵ درجه شرقی واقع شده است (شکل ۱). این خلیج توسط تنگه هرمز و دریای عمان از شمال اقیانوس هند جدا شده است (۵۶) و دارای طول ۹۹۰ کیلومتر با حداکثر عرض ۳۳۸ کیلومتر و عمق متوسط ۳۶ متر برای بیشتر سواحل عربی و ۶۰ متر عمق در امتداد سواحل ایران است (۴۹). اگرچه به طور کامل در شمال استوایی مدار راس‌السرطان واقع شده است، اقلیم آن در تابستان گرمسیری و در زمستان معتدل است (۴۱). اقلیم آن دارای دو فصل اصلی است: زمستان (دسامبر تا مارس) و تابستان (ژوئن تا سپتامبر) و دو دوره انتقال، پاییز (اکتبر تا نوامبر) و بهار (آوریل تا می) (۳۵). در تابستان، دمای هوا تا

در محدوده خلیج فارس و دریای عمان استفاده کردند (۱۹). بخشی از نتایج نشان داد که با وجود همبستگی ظاهری بین SST و غلظت کلروفیل a، رابطه علت و معلولی بین آن‌ها وجود ندارد. مرادی و همکاران (۲۰۲۰) میانگین ماهانه غلظت کلروفیل a، ذرات معلق در هوا، باد، PAR (Photosynthetically Active Radiation)، SST و مجموعه داده‌های کدورت حاصل از تصاویر ماهواره‌ای برای بررسی عوامل احتمالی مؤثر بر تغییرات فیتوپلانکتونی در خلیج فارس استفاده کردند. بخشی از نتایج این مطالعه نشان داد که همبستگی مکانی بین غلظت کلروفیل a و SST در مناطق کم‌عمق ساحلی بدون تاخیر زمانی و به شکل مثبت و در مناطق عمیق‌تر (مناطق شمالی) با تاخیر زمانی ۳-۵ ماهه و به صورت منفی است (۳۶). حسین و همکاران محصول مودیس-آکوا غلظت کلروفیل a و SST دریای عرب، خلیج فارس و دریای عمان در امتداد سواحل امارت متحده عربی را با وضوح 1×1 کیلومتر مربع در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۹ به‌منظور تجزیه و تحلیل رابطه بین این دو پارامتر استفاده کردند. سه چهارم منطقه مورد مطالعه همبستگی معنی‌داری را بین غلظت کلروفیل a و SST نشان داد. مناطق کم‌عمق (عمیق) همبستگی مثبت (منفی) قوی بین غلظت کلروفیل a و SST نشان دادند (۲۳). به طور کلی تغییرات اقلیم در حال تغییر محیط‌های زیستی و غیرزیستی (شرایط فیزیکی، مواد مغذی و جستجوی غذا) است که بر گونه‌های مختلف، ساختارهای جامعه و پویایی جمعیت فیتوپلانکتون‌ها تأثیر می‌گذارد و از طریق تغییرات در پایه شبکه غذایی بر اکوسیستم‌های آبی تأثیر می‌گذارد و باعث تغییر کل اکوسیستم می‌شود (۵۳). بنابراین پیش‌بینی اثرات گرمایش اقیانوس‌ها در آینده بر تولید دریایی و تثبیت کربن (Carbon sequestration)، نیازمند درک درست و کاملی از چگونگی تأثیر تغییرات دما بر تولیدات فیتوپلانکتونی و زیست‌توده آن‌ها است (۴۷).

دریای عمان و خلیج فارس از مهمترین اکوسیستم‌های آبی کشور بوده که از جنبه‌های مختلفی حائز اهمیت هستند. این دو



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه

هدایت می‌شود (۳، ۵۱). این پدیده آب سرد و غنی از مواد مغذی را به سطح می‌آورد (۱، ۵۰) و تولیدات سطحی را افزایش می‌دهد (۱، ۵۰، ۵۱).

جمع‌آوری داده‌ها و تجزیه و تحلیل‌های آماری

داده‌های ماهانه SST و غلظت کلروفیل a خلیج فارس و دریای عمان (در منطقه‌ای با عرض جغرافیایی ۲۲/۵۳ درجه شمالی و ۳۰/۲۰ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۴۷/۷۹ تا ۶۱/۷۹ درجه شرقی) از محصولات سطح ۳ مودیس با وضوح ۴ کیلومتر که دارای فرمت NetCDF (nc) هستند، برای بازه زمانی ۲۰۰۳- تا ۲۰۱۸ از سایت <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/> دانلود شدند. داده‌های مذکور در نرم‌افزار ArcMap10.5 به فرمت رستر (۱۹۲ لایه رستری) تبدیل و سپس مقادیر عددی هر پیکسل در زبان برنامه‌نویسی R استخراج گردید. شکاف در تولیدات مودیس سطح ۳ کلروفیل a حاصل از نبود مشاهدات به علت هوای ابری، گردوغبار، زاویه دید نامناسب ماهواره وجود داشت که

۵۱ درجه سانتیگراد با میانگین ۴۱ درجه سانتیگراد می‌رسد، در حالی که در زمستان دمای هوا تا ۱۵ درجه سانتیگراد کاهش می‌یابد (۴۹). دریای عمان بین ۲۲ درجه شمالی تا ۲۶ درجه شمالی و ۵۶/۵ درجه شرقی تا ۶۱/۷ درجه شرقی قرار دارد. عرض این دریا بین رأس الحد در عمان و خلیج گواتر در مرز پاکستان و ایران ۳۲۰ کیلومتر است (شکل ۱). طول آن ۵۶۰ کیلومتر است. اقلیم این دریا به طور قابل‌توجهی تحت تأثیر بادهای موسمی تابستانی و زمستانی است که توسط تفاوت گرمای نهان خشکی-دریا هدایت می‌شود. بادهای موسمی تابستانی از جولای تا سپتامبر و باران‌های موسمی زمستانی از نوامبر تا آوریل رخ می‌دهد (۹، ۵۲). موقعیت استراتژیک خلیج فارس و دریای عمان با ارتباط آن‌ها به صنایع نفت، گاز و صید برجسته و ممتاز است (۲۵، ۳۰). این خلیج یکی از آسیب‌پذیرترین اکوسیستم‌های دریایی در نظر گرفته می‌شود (۲۵، ۳۰) و با درجه حرارت بسیار بالا و شوری مشخص می‌شود. یکی از شناخته شده‌ترین پدیده‌ها در دریای عمان، سیستم فراچاهنده است که توسط بادهای موسمی جنوب‌غربی

محاسبات نقشه‌های همبستگی ماهانه و طولانی‌مدت غلظت کلروفیل a و SST با استفاده از نرم‌افزار ArcMap10.5 ترسیم شد و مورد مقایسه قرار گرفت.

نتایج

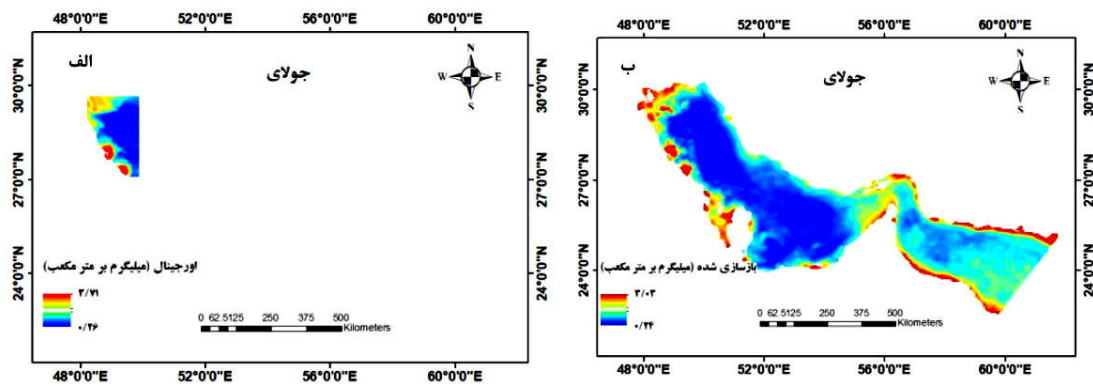
در کل دوره مورد مطالعه در خلیج فارس و دریای عمان بیشترین شکاف در تصاویر غلظت کلروفیل a در ماه جولای سال ۲۰۰۹ مشاهده شد. به همین روی در مطالعه حاضر این تصویر به عنوان یک نمونه از چگونگی بازسازی داده‌های مفقوده آورده شده است. شکل ۲- الف غلظت کلروفیل a را در ماه جولای ۲۰۰۹ و شکل ۲- ب نقشه بازسازی شده غلظت کلروفیل a در همین زمان را با استفاده از الگوریتم DINEOF نشان می‌دهند. شکل ۳- الف، نقشه میانگین غلظت کلروفیل a و شکل ۳- ب، نقشه میانگین SST در کل دوره مطالعه (۲۰۰۳ تا ۲۰۱۸) در خلیج فارس و دریای عمان را نمایش می‌دهند. نتایج نشان می‌دهند که غلظت کلروفیل a در قسمت مرکزی منطقه مورد مطالعه (۰/۷۲ تا ۱/۱۵ میلی‌گرم بر مترمکعب) نسبتاً کم و در مناطق ساحلی (۱/۹۳ تا ۸/۴۱ میلی‌گرم بر متر مکعب) نسبتاً زیاد می‌باشد و همچنین غلظت کلروفیل a در خلیج فارس به صورت کلی کمتر از دریای عمان بوده است. همچنین نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد که میانگین SST در کل دوره مطالعه حدود ۱۷/۲۶ درجه سانتیگراد و تغییرات SST به صورت یکنواخت و همگن می‌باشد. الگوی مکانی میانگین SST بین قسمت‌های شرقی و غربی منطقه مورد مطالعه حدود ۵ درجه سانتیگراد (۲۳/۸۲ تا ۲۸/۵۲ درجه سانتیگراد) اختلاف را نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار SST به ترتیب در قسمت جنوب شرقی و شمال غربی خلیج فارس مشاهده شد.

شکل ۴- الف، ضریب همبستگی پیرسون بین SST و کلروفیل a در کل دوره مطالعه (۲۰۰۳-۲۰۱۸) در خلیج فارس و دریای عمان و شکل ۴- ب، آزمون معنی‌داری در سطح ۵ درصد ($p < 0.05$) را نشان می‌دهند. نتایج بررسی این شکل‌ها نشان می‌دهد که در بیشتر بخش‌های منطقه مورد مطالعه همبستگی منفی (۰/۶۷- تا ۰/۰۹-) و معنی‌دار بین این دو پارامتر وجود

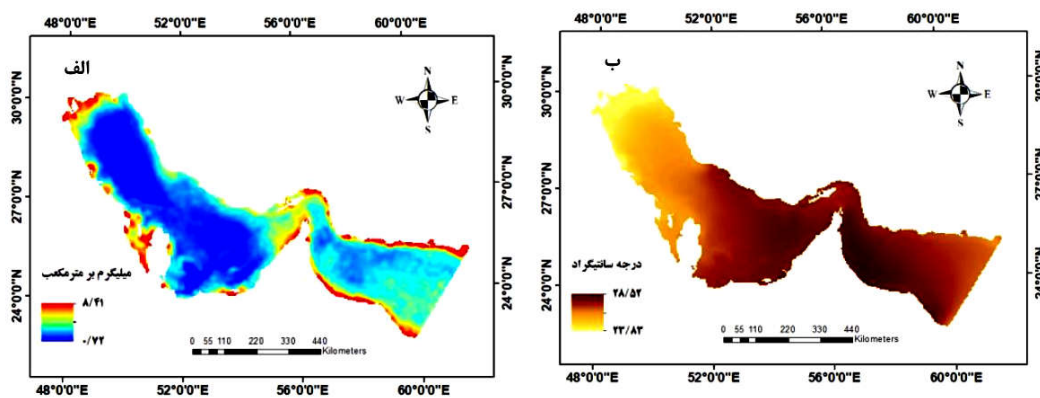
بیشترین مقدار شکاف در فصل تابستان مشاهده شد (۳۲). برای حل مشکل شکاف‌ها و بازسازی داده‌های مفقوده کلروفیل a از الگوریتم (Data Interpolating, DINEOF) Empirical Orthogonal Functions در نرم افزار R و پکیج‌های مانند rtsa و sinkr و همچنین از تابع rtsa.gapfill (بازسازی سری‌های زمانی رستری) استفاده شد (۵، ۲۸، ۳۳، ۳۴). برای تأیید صحت هر بازسازی، از شاخص‌هایی مانند ضریب رگرسیون (R^2)، نسبت سیگنال به نویز (Signal to Noise Ratio, SNR)، خطای جذر میانگین مربعات (Root Mean Square Error, RMSE) و خطای مطلق میانگین (Mean Absolute Error, MAE) و میانگین مربع خطاها (Mean Squared Error, MSE)، نسبت انحراف استاندارد مقادیر بازسازی شده به خطای استاندارد استفاده شد. در این مطالعه از آزمون همبستگی پیرسون به منظور تحلیل همبستگی بین این دو پارامتر در منطقه خلیج فارس و دریای عمان در زبان برنامه‌نویسی R استفاده شد. آزمون همبستگی پیرسون یک روش آماری است و رابطه خطی بین دو متغیر را اندازه‌گیری می‌کند. ضریب همبستگی در این آزمون از +۱ تا -۱ متغیر است که مقدار +۱ همبستگی خطی مثبت قابل توجه را تعریف می‌کند، صفر نشان‌دهنده عدم وجود همبستگی است و -۱ همبستگی خطی کل منفی است. این ضریب همبستگی با r نشان داده می‌شود و به صورت معادله ۱ محاسبه می‌شود (۳۹):

$$r = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{x_i - \bar{x}}{s_x} \right) \left(\frac{y_i - \bar{y}}{s_y} \right) \right] \quad (1)$$

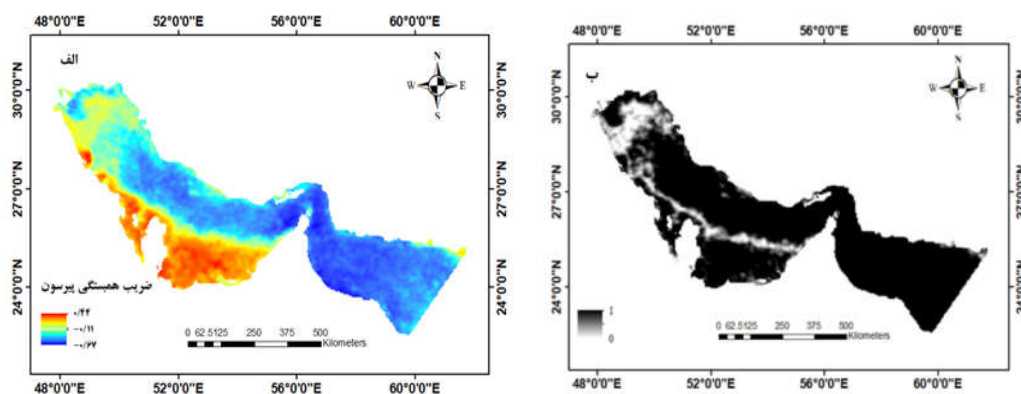
که در آن n اندازه نمونه است، X_i و Y_i مقادیر اندازه‌گیری، s_x و s_y انحرافات استاندارد برای مقادیر اندازه‌گیری شده هستند. اگر r به طور قابل توجهی با صفر متفاوت بود، از آزمون t برای ایجاد ارتباط بین دو متغیر استفاده می‌شود. در صورتی که احتمال آزمون کمتر از سطح اطمینان باشد، ضریب همبستگی را از نظر آماری معنی‌دار ($p < 0.05$) می‌نامند (۳۶). در گام بعدی پس از انجام



شکل ۲. الف) نقشه اصلی و دارای شکاف غلظت کلروفیل a (میلیگرم بر متر مکعب) و ب) نقشه بازسازی شده آن در ماه جولای سال ۲۰۰۹ در خلیج فارس و دریای عمان



شکل ۳. الف) نقشه میانگین SST (درجه سانتی‌گراد) در کل دوره مطالعه و ب) نقشه میانگین غلظت کلروفیل a (میلی گرم بر متر مکعب) در کل دوره مطالعه در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۸ در خلیج فارس و دریای عمان



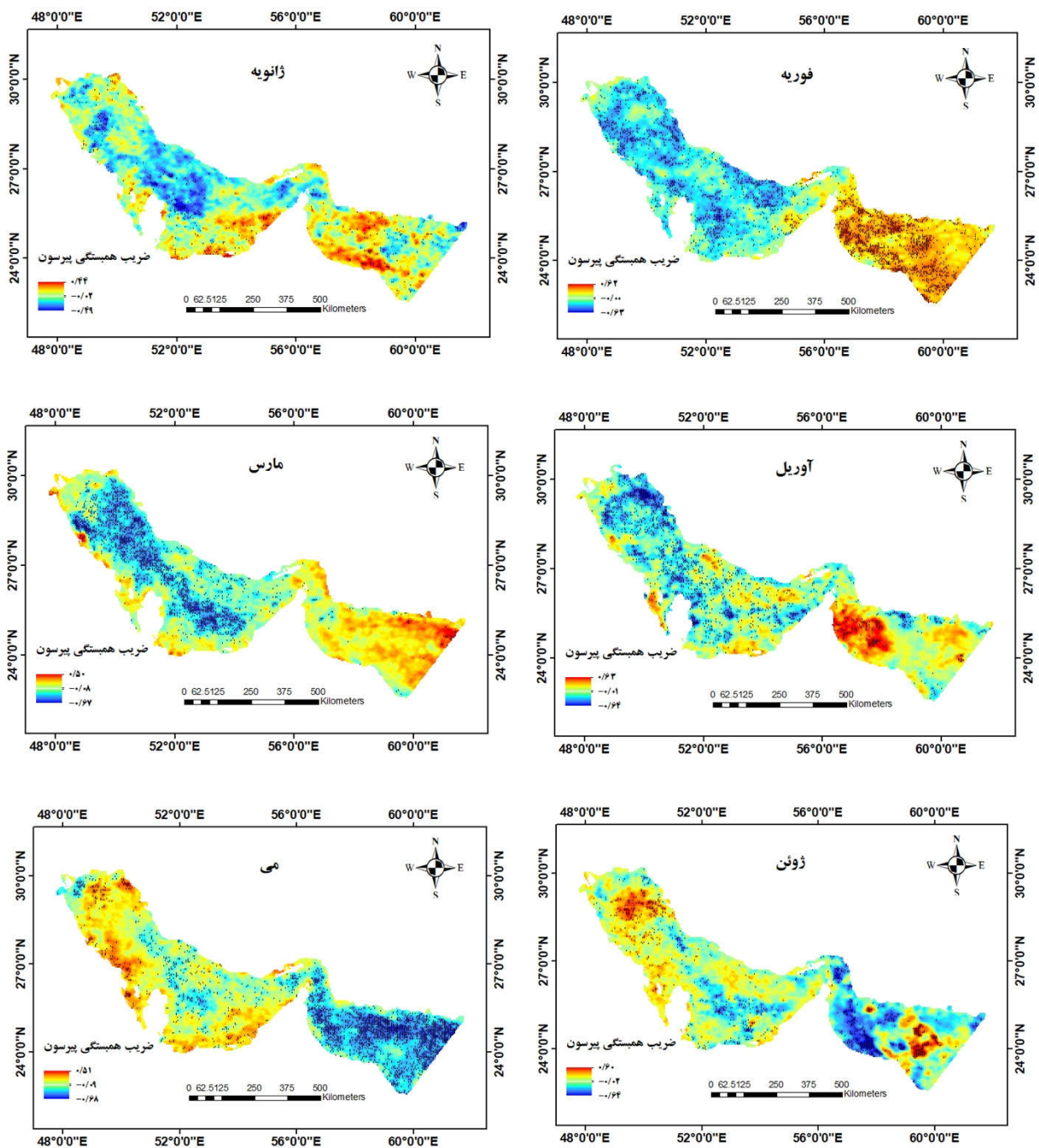
شکل ۴. الف) نقشه ضریب همبستگی پیرسون و ب) معنی‌داری در سطح معنی‌داری ۵ درصد ($p < 0.05$) بین SST و کلروفیل a در کل دوره مطالعه (۲۰۱۸-۲۰۰۳) دریای عمان و خلیج فارس

در ماه نوامبر در اکثر مناطق ساحلی خلیج فارس و همچنین در اکثر مناطق دریای عمان همبستگی مثبت (۰/۰۹ تا ۰/۳۸) و در اکثر مناطق عدم وجود معنی داری و در ماه دسامبر در دریای عمان و اکثر مناطق خلیج فارس همبستگی منفی (۰/۶۷- تا ۰/۰۵-) و معنی دار بین دو پارامتر مشاهده شد. نتایج بررسی همبستگی ماهانه بین غلظت کلروفیل a و SST در فصول گرم (جولای، آگوست و سپتامبر) و سرد (ژانویه، فوریه و دسامبر) نشان می‌دهد که در فصول گرم همبستگی منفی و در فصول سرد همبستگی مثبت بین دو پارامتر وجود داشت. البته در ماه‌های ژانویه و فوریه این همبستگی مثبت بیشتر در دریای عمان دیده می‌شود.

بحث

در این مطالعه الگوهای همبستگی بین دمای سطح آب دریا و غلظت کلروفیل a حاصل از تصاویر ماهواره در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۸ در منطقه خلیج فارس و دریای عمان مورد بررسی قرار گرفت. این الگوهای همبستگی چشم‌اندازی قابل اعتماد از عوامل اصلی کنترل‌کننده رشد فیتوپلانکتون‌ها را ارائه می‌دهند (۳۶). رشد فیتوپلانکتون‌ها به میزان کافی مواد مغذی (مانند نیتروژن، فسفر، سیلیکون و آهن) و نور در منطقه نورگیر بستگی دارد. در دریا‌های حاشیه‌ای گرمسیری، رشد فیتوپلانکتون‌ها اغلب به دلیل دسترسی کم‌تر به مواد مغذی به ویژه در حوضه‌های اولیگوتروف، محدود می‌شود. افزایش مقادیر SST به طور کلی با لایه‌بندی قوی‌تر همراه است که انتقال مواد مغذی به سمت بالا را از لایه‌های عمیق‌تر کاهش می‌دهد و قرارگیری روزانه فیتوپلانکتون‌ها را در لایه مخلوط بالایی در برابر اشعه ماوراء بنفش و نور مرئی افزایش می‌دهد. بنابراین با افزایش SST در دریا‌های حاشیه‌ای گرمسیری مانند آنچه در بیشتر قسمت‌های خلیج فارس مشاهده شد، غلظت کلروفیل a کاهش می‌یابد (۱۱). نتایج این مطالعه نشان می‌دهند که در بیش از نیمی از منطقه مورد مطالعه در کل دوره ضریب همبستگی منفی بین SST و غلظت کلروفیل a و در سواحل جنوبی خلیج فارس ضریب همبستگی مثبت و معنی دار (۰/۴۴)

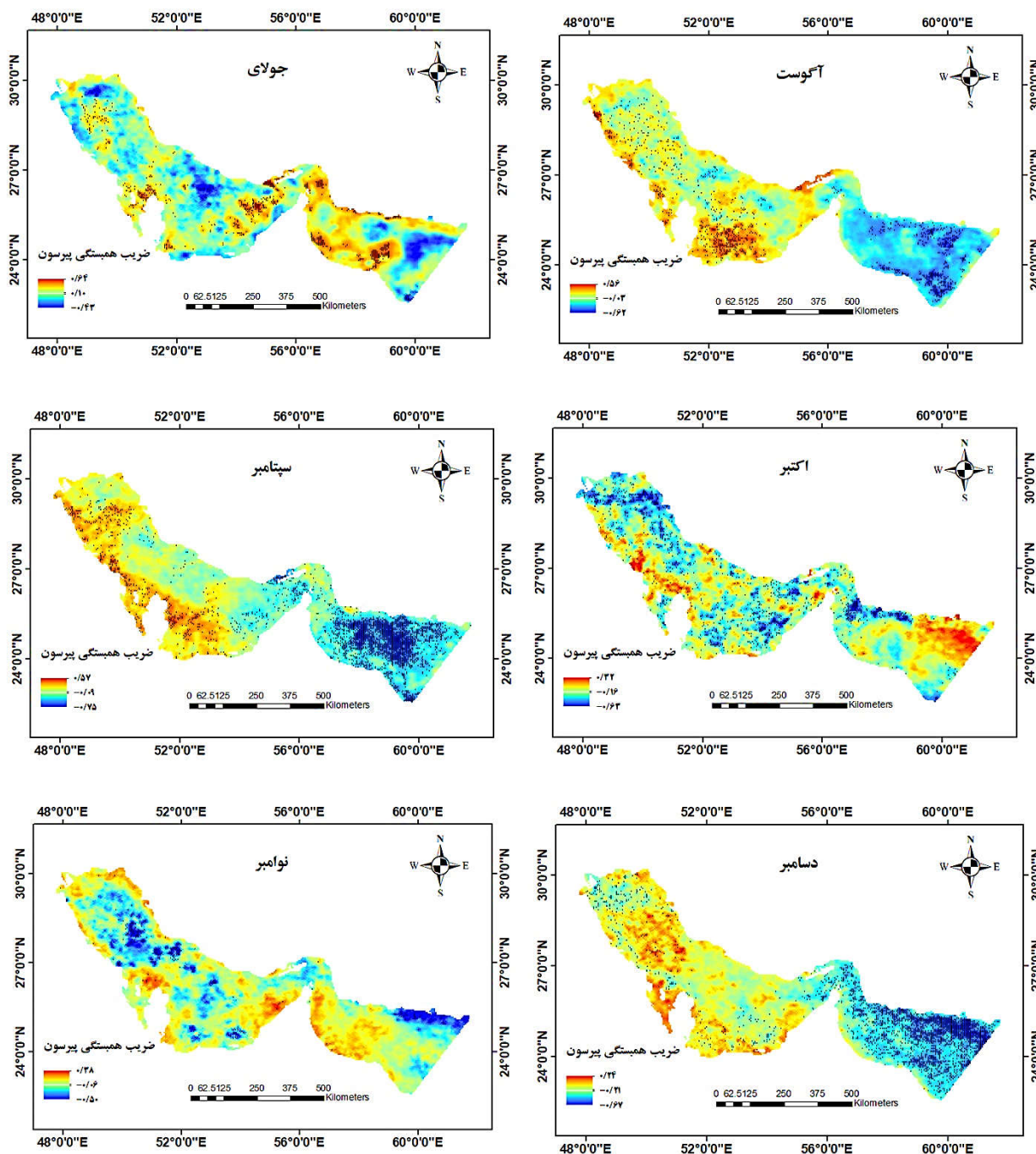
دارد و فقط در خلیج فارس و برخی از مناطق خطوط ساحلی همبستگی مثبت (۰/۲۲ تا ۰/۴۵) و معنی دار را نشان می‌دهند. شکل‌های ۵ و ۶ به ترتیب ضرایب همبستگی پیرسون بین SST و کلروفیل a درشش ماهه اول و دوم سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۰۳ خلیج فارس و دریای عمان و معنی داری آن‌ها را در سطح پنج درصد ($p < 0.05$) را نشان می‌دهند. نتایج بررسی این نقشه‌ها نشان می‌دهند که همبستگی مثبت بین غلظت کلروفیل a و SST در خلیج فارس نسبت به دریای عمان بیشتر است. در ماه ژانویه در قسمت جنوب‌شرقی خلیج فارس و بیشتر مناطق دریای عمان همبستگی مثبت (۰/۰۹ تا ۰/۴۴) و در برخی مناطق معنی دار و در ماه فوریه در بیشتر مناطق دریای عمان و بخش‌هایی از تنگه‌هرمز همبستگی مثبت (۰/۲۵ تا ۰/۶۷) و معنی دار و در ماه مارس همبستگی مثبت (۰/۱۳ تا ۰/۵۰) و در بیشتر مناطق عدم وجود معنی داری بین دو پارامتر مشاهده شد. در ماه می در سواحل غربی در امتداد عربستان سعودی و مناطق کم‌عمق بین قطر و امارات همبستگی مثبت (۰/۱۷ تا ۰/۵۰) و معنی دار بین دو پارامتر مشاهده شد. در ماه ژوئن در قسمت‌هایی از سواحل و شمال‌غربی خلیج فارس و مرکز دریای عمان همبستگی مثبت (۰/۱۳ تا ۰/۶۰) و معنی دار و در ماه جولای در اکثر مناطق همبستگی مثبت (۰/۱۳ تا ۰/۶۴) و معنی دار بین دو پارامتر مشاهده شد. در ماه آگوست در اکثر مناطق دریای عمان همبستگی منفی (۰/۶۲- تا ۰/۴۲-) و در برخی نقاط معنی دار و در اکثر مناطق ساحلی به‌ویژه بین قطر و امارات و همچنین بخش‌هایی از تنگه‌هرمز همبستگی مثبت (۰/۱۳ تا ۰/۵۶) و معنی دار بین دو پارامتر مشاهده شد. در ماه سپتامبر در سواحل غربی مجاور عربستان سعودی و سواحل کم‌عمق بین قطر و امارات و همچنین بخش‌هایی از شمال‌غرب خلیج فارس همبستگی مثبت (۰/۲۱ تا ۰/۵۷) و معنی دار، اما در دریای عمان همبستگی منفی (۰/۵۷- تا ۰/۱۰-) و معنی دار مشاهده شد. در ماه اکتبر در سواحل غربی خلیج فارس در مجاورت عربستان سعودی و بخش‌های مرکزی دریای عمان همبستگی مثبت (۰/۰۹ تا ۰/۳۲) و در برخی نقاط آن معنی دار و



شکل ۵. نقشه ضریب همبستگی پیرسون بین SST و کلروفیل a در شش ماه اول سال در بازه زمانی ۲۰۱۸-۲۰۰۳ خلیج فارس و دریای عمان. نقاط سیاه رنگ نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح پنج درصد ($P < 0.05$) می‌باشند.

فراساحلی، معمولاً رابطه معکوس و منفی در آب‌های فراساحلی و رابطه مستقیم و مثبت در آب‌های ساحلی و در اکثر مناطق معنی‌دار بین دو پارامتر مشاهده می‌شود (۲۶، ۳۷). در مطالعه

وجود دارد که با نتایج مطالعات قبلی مشابه است (۱۹، ۲۳، ۳۷). بر اساس مقایسه‌های صورت گرفته در مطالعات قبلی سری زمانی SST و غلظت کلروفیل a برای مناطق ساحلی و



شکل ۶. نقشه ضریب همبستگی پیرسون بین SST و کلروفیل a در شش ماه دوم سال در بازه زمانی ۲۰۱۸-۲۰۰۳ خلیج فارس و دریای عمان. نقاط سیاه رنگ نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح پنج درصد ($P < 0.05$) می‌باشند.

تحریک می‌کند، همبستگی منفی وجود دارد (۴۶، ۴۲). در نواحی عمیق‌تر بخش شمالی خلیج فارس شکوفایی فیتوپلانکتون‌ها در لابه‌های زیر سطح تمرکز و مخلوط عمودی در طول زمستان و اوایل

حاضر نیز نتایج مشابه مطالعات قبلی مشاهده شد، به‌طوری‌که بین غلظت کلروفیل a و SST در مناطق عمیق‌تر مانند دریای عمان بدلیل اختلاط عمودی آب و یا فراچاهندگی که رشد فیتوپلانکتون‌ها را

هستند و همبستگی بین آن‌ها به مکان بستگی دارد، به طور مثال در خلیج فارس و دریای عمان در طول دوره مورد مطالعه در اکثر مناطق همبستگی منفی دیده شد. این احتمال وجود دارد که تغییرات مضاعف در میزان SST رخ دهد که ممکن است بر صنعت شیلات، سلامت اکوسیستم‌ها (شدت و فراوانی سفیدشدگی مرجان‌ها)، دینامیک سیستم‌ها و پدیده‌های اقلیمی شدید (مثل امواج گرمایی دریا) تأثیرگذار باشد. این الگوها می‌توانند درک ما را نسبت به تغییرات اکوسیستم خلیج فارس و دریای عمان و واکنش‌های احتمالی به تغییرات اقلیم در مقیاس‌های مکانی و زمانی مختلف بهبود بخشند. شناسایی این الگوها برای پاسخ‌های مدیریتی مثل سطوح برداشت ماهی، پایش و جمع‌آوری داده‌ها و فعالیت‌هایی مانند برنامه‌ریزی مکانی دریایی (Marine Spatial Planning) و ناحیه‌بندی زیستی در این منطقه، می‌تواند به عنوان یک راهنما عمل کنند (۱۳). تغییرات تولید فیتوپلانکتونی ممکن است اثرات مختلفی مانند تغییر در جوامع زیستی دریایی، نوسانات در ذخایر ماهیان و نرم‌تنان و تغییر در تنوع زیستی دریایی داشته باشد. مطالعه حاضر مبنایی برای تحقیقات آینده با تمرکز بر نوسانات اکوسیستمی در خلیج فارس و دریای عمان مرتبط با SST را فراهم می‌کند. برای درک بهتر پویایی اکوسیستم و تولید در منطقه مورد مطالعه، تحقیقات بیشتری با وضوح مکانی و زمانی بهتر مورد نیاز است (۱۴). پژوهش‌های آینده می‌تواند بر مدلسازی و پیش‌بینی کوتاه‌مدت، میان‌مدت و طولانی‌مدت روابط همبستگی بین غلظت کلروفیل a و SST، امواج گرمایی و تغییرات جوامع ژئوپلانکتونی و همچنین بر تعیین چگونگی تغییر روابط بین غلظت کلروفیل a و SST با دمای پایه (baseline) و تخمین دمای آستانه (threshold) متمرکز باشد.

تشکر و سپاسگزاری

این مقاله بخشی از پایان‌نامه خانم مریم کریمیان (فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان) می‌باشد. بدین وسیله از حمایت‌های دانشگاه صنعتی اصفهان در انجام این پایان‌نامه قدردانی به عمل می‌آید.

بهار در مقیاس زمانی ماهانه می‌تواند باعث انتقال فیتوپلانکتون‌ها به لایه سطحی آب گردد. مناطق با همبستگی مثبت بین غلظت کلروفیل a و SST تحت تاثیر تغییرات درونسالی قرار می‌گیرند. احتمالاً غلظت مواد مغذی و درجه حرارت، رشد فیتوپلانکتون‌ها را در آب‌های کم‌عمق ساحلی کنترل می‌کنند (۲، ۳). از دلایل وجود همبستگی مثبت بین غلظت کلروفیل a و SST در مناطق ساحلی می‌توان به لکه‌های نفتی و همچنین اثرات عوامل انسانی بر کیفیت آب دریا اشاره کرد. در واقع عواملی از قبیل محصور بودن توده آب، باد و جریان خروجی از اطراف خطوط ساحلی نقش مهمی بر کنترل اقیانوس‌شناسی خلیج فارس بازی می‌کند و آب‌های این خلیج که توسط کشورهای صنعتی مرتبط با نفت و گاز احاطه شده است، تحت تأثیر هیدروکربن‌های محلول قرار می‌گیرند (۳۰). در فصول گرم (جولای، آگوست و سپتامبر) سال بین دو پارمتر همبستگی مثبت و در فصول سرد (ژانویه، فوریه و دسامبر) سال همبستگی منفی وجود دارد. به دلیل تابش خورشیدی بیشتر و سرعت کمتر بادهای در فصل تابستان، تشکیل ترموکلاین (به صورت فصلی) در خلیج فارس از فصل زمستان به تابستان گسترش می‌یابد و در فصل زمستان، در این حوضه ترموکلاین فقط در تنگه هرمز به دلیل تبادل آب با دریای عمان تشکیل می‌شود (۳۲). در فصل زمستان، مخلوط شدن آب‌های عمیق‌تر با آب سطحی باعث کاهش SST و تأمین مواد مغذی لایه‌های فوقانی می‌شود. این امر باعث افزایش تولید و غلظت کلروفیل a در سطح می‌شود و در واقع باعث مشاهده همبستگی منفی بین غلظت کلروفیل a و SST در منطقه مورد مطالعه می‌شود (۴۵).

محدودیت اصلی این مطالعه، داده‌های از دست رفته غلظت کلروفیل a، به دلیل عاملی مانند پوشش ابر است. لازم به ذکر است که اگر تعداد نسبتاً زیادی از داده‌ها مفقود باشند حتی استفاده از یک تکنیک جامع برای بازسازی داده‌ها نمی‌تواند در بهبود قطعیت نتایج تأثیرگذار باشد (۲۳).

نتیجه‌گیری کلی

مقادیر SST و غلظت کلروفیل a به طور جهانی در حال تغییر

منابع مورد استفاده

1. Al-Azri, A. R., S. A. Piontkovski, K. A. Al-Hashmi, J. I. Goes, and H. R. Do Gomes. 2010. Chlorophyll a as a measure of seasonal coupling between phytoplankton and the monsoon periods in the Gulf of Oman. *Journal of Aquatic Ecology* 44(2): 449-461.
2. Al-Yamani, F. and S. W. Naqvi. A. 2019. Chemical oceanography of the Arabian Gulf. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 161: 72-80.
3. Al-Yamani, F., D. S. Rao, A. Mharzi, W. Ismail and K. Al-Rifaie. 2006. Primary production off Kuwait, an arid zone environment, Arabian Gulf. *International journal of Oceans and Oceanography* 1(1): 67-85.
4. Béchet, Q., A. Shilton. and B. Guieysse. 2013. Modeling the effects of light and temperature on algae growth: state of the art and critical assessment for productivity prediction during outdoor cultivation. *Journal of Biotechnology advances* 31(8): 1648-1663.
5. Beckers, J. M and M. Rixen. 2003. EOF calculations and data filling from incomplete oceanographic datasets. *Journal of Atmospheric and oceanic technology* 20(12): 1839-1856.
6. Behrenfeld, M. J., R. T. O'Malley. D. A. Siegel. C. R. McClain. J. L. Sarmiento. G. C. Feldman. A. J. Milligan. P.G. Falkowski. R. M. Letelier and E. S. Boss. 2006. Climate-driven trends in contemporary ocean productivity. *Nature* 444(7120): 752-755.
7. Binding, C. E., T. A. Greenberg. G. McCullough. S. B. Watson. and E. Page. 2018. An analysis of satellite-derived chlorophyll and algal bloom indices on Lake Winnipeg. *Journal of Great Lakes Research* 44(3): 436-446.
8. Boyce, D. G., M. R. Lewis. and B. Worm. 2010. Global phytoplankton decline over the past century. *Journal of Nature* 466(7306): 591-596.
9. Chaichitehrani, N. and M. N. Allahdadi. 2018. Overview of wind climatology for the Gulf of Oman and the northern Arabian Sea. *American Journal of Fluid Dynamics* 8(1): 1-9.
10. Chavez, F. P., M. Messié. and J. T. Pennington. 2011. Marine primary production in relation to climate variability and change. *Annual review of marine science* 3: 227-260.
11. Cheung, W. W., R. Watson. T. Morato. T. J. Pitcher. and D. Pauly. 2007. Intrinsic vulnerability in the global fish catch. *Journal of Marine Ecology Progress Series* 333: 1-12.
12. Choo, F., A. Zamyadi. R. M. Stuetz. G Newcombe. K. Newton. and R. K. Henderson. 2019. Enhanced real-time cyanobacterial fluorescence monitoring through chlorophyll-a interference compensation corrections. *Journal of Water research* 148: 86-96.
13. Dunstan, P. K., S. D. Foster. E. King. J. Risbey. T. J. O'Kane. D. Monselesan. A. J. Hobday .J. R. Hartog and P. Thompson. A. 2018. Global patterns of change and variation in sea surface temperature and chlorophyll a. *Journal of Scientific reports* 8(1): 1-9
14. Dvoretzky, V. G., V. V. Vodopianova. and A. S. Bulavina. 2023. Effects of Climate Change on Chlorophyll a in the Barents Sea: A Long-Term Assessment. *Journal of Biology* 12(1): 119.
15. Fernandes, L. D. D. A., J. Quintanilha. W. Monteiro-Ribas. E. Gonzalez-Rodriguez. and R Coutinho. 2012. Seasonal and interannual coupling between sea surface temperature, phytoplankton and meroplankton in the subtropical south-western Atlantic Ocean. *Journal of Plankton Research* 34(3): 236-244.
16. Field, C. B., M. J. Behrenfeld. J. T. Randerson and P. Falkowski. 1998. Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components. *Journal of Science* 281(5374): 237-240.
17. Foy, R. H., C. E. Gibson and R. V. Smith. 1976. The influence of daylength, light intensity and temperature on the growth rates of planktonic blue-green algae. *British phycological journal* 11(2): 151-163.
18. Gao, S., Z. Zhu. S. Liu. R. Jin. G. Yang and L. Tan. 2014. Estimating the spatial distribution of soil moisture based on Bayesian maximum entropy method with auxiliary data from remote sensing. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 32: 54-66.
19. Gholamalifad, M., B. Ahmadi and P. Nouri. 2020. Remote sensing monitoring of sea surface temperature and chlorophyll-a variability in the Persian Gulf and oman sea: influential factors on net primary production. *Journal of Fisheries Science and Technology* 9(4): 305-333. (in Persian).
20. Gobler, C. J., O. M. Doherty. T. K. Hattenrath-Lehmann. A. W. Griffith. Y. Kang and R. W. Litaker. 2017. Ocean warming since 1982 has expanded the niche of toxic algal blooms in the North Atlantic and North Pacific oceans. *Journal of Proceedings of the National Academy of Sciences* 114(19): 4975-4980.
21. Gregg, W. W., M. E. Conkright. P. Ginoux. J. E. O'Reilly and N. W. Casey. 2003. Ocean primary production and climate: Global decadal changes. *Geophysical Research Letters* 30(15).
22. Henson, S. A., J. L. Sarmiento. J. P. Dunne. L. Bopp. I. Lima. S. C. Doney. J. John and C. Beaulieu. 2010. Detection of anthropogenic climate change in satellite records of ocean chlorophyll and productivity. *Biogeosciences* 7(2): 621-640.

23. Hussein, K. A., K. Al Abdouli. D. T. Ghebreyesus. P. Petchprayoon. N. Al Hosani. and O. Sharif, H. 2021. Spatiotemporal variability of chlorophyll-a and sea surface temperature, and their relationship with bathymetry over the coasts of UAE. *Journal of Remote Sensing* 13(13): 2447.
24. Ji, C., Y. Zhang. Q. Cheng. J. Tsou. T. Jiang and San X. Liang. 2018. Evaluating the impact of sea surface temperature (SST) on spatial distribution of chlorophyll-a concentration in the East China Sea. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 68: 252-261.
25. Johns, W. E., F. Yao. D. B. Olson. S. A. Josey. J. P. Grist and D. A. Smeed. 2003. Observations of seasonal exchange through the Straits of Hormuz and the inferred heat and freshwater budgets of the Persian Gulf. *Journal of Geophysical Research: Oceans* 108(C12).
26. Jutla, A. S., A. S Akanda. J. K. Griffiths. R. Colwell. S Islam. 2011. Warming oceans, phytoplankton, and river discharge: implications for cholera outbreaks. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 85(2): 303.
27. Kämpf, J and M. Sadrinasab. 2006. The circulation of the Persian Gulf: a numerical study. *Ocean Science* 2(1): 27-41.
28. Karimian, M., O. Beyraghdar Kashkooli. R. Modarres. S. Pourmanafi. 2022. Reconstruction of MODIS chlorophyll a products using DINEOF algorithm in R software: A case study of the Persian Gulf and Oman Sea. *Fisheries Science and Technology* 11 (2): 137-152. (in Persian).
29. Khan, F. A., T. M. A. Khan and M. G. Uddin. 2019. Satellite based Monitoring of Interactions between Chl-a and SST in the Arabian Sea and Persian Gulf area: a useful tool to identify ocean productive zones. *Journal of Space Technology* 9(1).
30. Khan, S., S. Piao. Xu, B. Khan. S. Khan. M. A. Ismail and Y. Song. 2021. Variability of SST and ILD in the Arabian Sea and Sea of Oman in Association with the Monsoon Cycle. *Journal of Mathematical problems in Engineering* 2021: 1-15.
31. Kotta, D and D. Kitsiou. 2019. Chlorophyll in the eastern mediterranean sea: Correlations with environmental factors and trends. *Journal of Environments* 6(8): 98.
32. Mata, T. M., A. A. Martins and N. S. Caetano. 2010. Microalgae for biodiesel production and other applications: a review. *Journal of Renewable and sustainable energy reviews* 14(1): 217-232.
33. Miles, T. N and R. He. 2010. Temporal and spatial variability of Chl-a and SST on the South Atlantic Bight: Revisiting with cloud-free reconstructions of MODIS satellite imagery. *Journal of Continental Shelf Research* 30(18): 1951-1962.
34. Miles, T. N., R. He and M. Li. 2009. Characterizing the South Atlantic Bight seasonal variability and cold-water event in 2003 using a daily cloud-free SST and chlorophyll analysis. *Journal of geophysical research letters* 36(2).
35. Moradi, M and K. Kabiri. 2015. Spatio-temporal variability of SST and Chlorophyll-a from MODIS data in the Persian Gulf. *Journal of Marine pollution bulletin* 98(1-2): 14-25.
36. Moradi, M and N. Moradi. 2020. Correlation between concentrations of chlorophyll-a and satellite derived climatic factors in the Persian Gulf. *Journal of Marine Pollution Bulletin* 161: 111728.
37. Mosaddad, S. M. 2021. The Effect of Wind Stress on Thermocline Development in Persian Gulf in Summer1. *Iranian Journal of Applied Physics* 11(3): 49-67. (In Persian).
38. Nurdin, S., Mustapha, M. A., and Lihan, T. 2013. The relationship between sea surface temperature and chlorophyll-a concentration in fisheries aggregation area in the archipelagic waters of Spermonde using satellite images. *AIP Conference Proceedings* 1571: 466-472.
39. Pearson, K. 1895. Notes on Regression and Inheritance in the Case of Two Parents. *Proceedings of the Royal Society of London* 58: 240-242.
40. Polovina, J. J. E. A. Howell and M. Abecassis. 2008. Ocean's least productive waters are expanding. *Journal of Geophysical Research Letters* 35(3).
41. Reynolds, D. J., C. A. Richardson. J. D. Scourse. P. G. Butler. P. Hollyman. A. Roman-Gonzalez and I. R Hall. 2017. Reconstructing North Atlantic marine climate variability using an absolutely-dated sclerochronological network. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 465: 333-346.
42. Sheppard, C. R. 1993. Physical environment of the Gulf relevant to marine pollution: an overview. *Journal of Marine Pollution Bulletin* 27: 3-8.
43. Smayda, T. J and C. S. Reynolds. 2001. Community assembly in marine phytoplankton: application of recent models to harmful dinoflagellate blooms. *Journal of Plankton Research* 23(5): 447-461.
44. Strecker, A. L., T. P. Cobb and R. D. Vinebrooke. 2004. Effects of experimental greenhouse warming on phytoplankton and zooplankton communities in fishless alpine ponds. *Journal of Limnology and Oceanography* 49(4): 1182-1190.
45. Strutton, P. G., V. J. Coles. R. R. Hood. R. J. Matear. M. J. McPhaden and H. E. Phillips. 2015. Biogeochemical variability in the central equatorial Indian Ocean during the monsoon transition. *Biogeosciences* 12(8): 2367-2382.

46. Swift, S. A and A. S. Bower. 2003. Formation and circulation of dense water in the Persian/Arabian Gulf. *Journal of Geophysical Research: Oceans* 108(C1): 4-1.
47. Taucher, J and A. Oschlies. 2011. Can we predict the direction of marine primary production change under global warming? *Geophysical Research Letters* 38(2).
48. van de Poll, W. H., G. Kulk. K. R. Timmermans. C. P. Brussaard. H. J. van der Woerd. M. J. Kehoe. K. D. A. Mojica. R. J. W. Visser. P. D. Rozema and A. G Buma,. 2013. Phytoplankton chlorophyll a biomass, composition, and productivity along a temperature and stratification gradient in the northeast Atlantic Ocean. *Journal of Biogeosciences* 10(6): 4227- 4240.
49. Vaughan, G. O., N. Al-Mansoori and J. A. Burt. 2019. The Arabian gulf. pp. 1-23. In: World seas: An environmental evaluation. Academic Press.
50. Watanabe, T. K., T. Watanabe. A. Yamazaki. M. Pfeiffer. D. Garbe-Schönberg and M. R. Claereboudt. 2017. Past summer upwelling events in the Gulf of Oman derived from a coral geochemical record. *Journal of Scientific reports* 7(1): 1-7.
51. Wiggert, J. D., R. R. Hood. K. Banse and J. C Kindle. 2005. Monsoon-driven biogeochemical processes in the Arabian Sea. *Journal of Progress in Oceanography* 65(2-4): 176-213.
52. Wiggert, J. D., B. H. Jones., T. D. Dickey. K. H. Brink. R. A. Weller. J. Marra and L. A. Codispoti. 2000. The Northeast Monsoon's impact on mixing, phytoplankton biomass and nutrient cycling in the Arabian Sea. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 47(7-8): 1353-1385.
53. Winder, M and U. Sommer. 2012. Phytoplankton response to a changing climate. *Hydrobiologia* 698: 5-16.
54. Zhao, J and H. Ghedira. 2014. Monitoring red tide with satellite imagery and numerical models: A case study in the Arabian Gulf. *Journal of Marine pollution bulletin* 79(1-2): 305-313.

Analysis of the Correlation Patterns of Sea Surface Temperature and Chlorophyll-A Concentration in the Persian Gulf and the Oman Sea

M. Karimian¹, O. Beyraghdar Kashkooli^{2*}, R. Modarres³ and S. Pourmanafi⁴

(Received: March 11-2023; Accepted: May 22-2023)

Abstract

Chlorophyll-*a* concentration is among the most important parameters used to investigate the primary production in marine ecosystems. Chlorophyll-*a* concentration is influenced by climatic/environmental factors, including Sea Surface Temperature (SST). Satellite sensors are able to provide reliable products of chlorophyll-*a* concentration and SST data with an adequate spatiotemporal resolution. In this study, level 3 (resolution 4 km) MODIS monthly products of chlorophyll-*a* concentration and SST from year 2003 to 2018 of the Persian Gulf and the Oman Sea were used. The data were transformed into a raster format and the values of each pixel were extracted. Several gaps were observed in MODIS products of chlorophyll-*a* concentration. The Data INterpolating Empirical Orthogonal Functions (DINEOF) algorithm was used to reconstruct these gaps. Pearson correlation procedure was applied to analyze the correlation between chlorophyll-*a* concentration and SST. Results showed that during the study period, the correlation between the two parameters was negative (-0.44 to -0.67) and significant in the most part of the study area. The correlation coefficients in December were negative (-0.67 to -0.05) and significant in the Oman Sea and the most areas of the Persian Gulf, while in July those relationships were mostly positive (0.13 to 0.64) and significant.

Keywords: Sea surface temperature (SST), Chlorophyll-*a* concentration, MODIS, Pearson correlation, Persian Gulf

1. PhD student of Fisheries, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
2. Assistant Professor of Fisheries, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
3. Associate Professor of Rangeland and watershed management, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
4. Assistant Professor of Environmental sciences, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

*: Corresponding Author, Email: omid.beyraghdar@iut.ac.ir