

مطالعه میانگین بلندمدت غلظت کلروفیل و ارتباط آن با تغییرات دمای سطح دریا و عمق نوری هواویزها روی دریای عمان و خلیج فارس (۲۰۲۰-۲۰۰۳)

نوشین خدام^۱، سارا عطارچی^۲، مهدی رهنما^۲، ساویز صحت کاشانی^{۳*}، سحر تاج بخش^۳

^۱ دکتری هواشناسی، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران

^۲ استادیار، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران

^۳ استادیار، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران

(دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۰۵، بازنگری: ۱۴۰۰/۱۰/۱۷، پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۳۰، انتشار آنلاین: ۱۴۰۰/۱۰/۳۰)

چکیده

غلظت کلروفیل در محیط‌های دریایی نشان‌دهنده میزان فیتوپلانکتون و در نهایت تولید زیست‌بوم‌های دریایی است. غلظت کلروفیل ثابت نیست و به کمیت‌های نظیر دمای سطح دریا (SST (sea surface temperature) و عمق نوری هواویزها (AOD (Aerosol Optical Depth) بستگی دارد؛ همچنین دارای تغییرات فصلی است و همبستگی بین این عوامل در عمق‌های متفاوت، مختلف است. بررسی رابطه بلند مدت بین تغییرات دمای سطح دریا و عمق نوری هواویزها با غلظت کلروفیل در سواحل خلیج فارس و دریای عمان با استفاده از محصولات روزانه MODIS در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۰ نشان می‌دهد در نواحی سواحل که دارای عمق آب کمتری است، همبستگی بیشتر است. بیشترین میزان همبستگی در نواحی جنوبی خلیج فارس که کم عمق‌ترین منطقه در خلیج فارس و دریای عمان است، مشاهده شده است. روند تغییرات دمای سطح دریا و عمق نوری هواویز در دو منطقه خلیج فارس و دریای عمان، مشابه است و مقادیر بیشینه آن در فصل تابستان و کمینه آن در زمستان مشاهده شده است. این روند فصلی در غلظت کلروفیل معکوس است؛ به طوری که کمترین مقادیر در تابستان و بیشترین مقادیر در زمستان مشاهده شده است. همچنین بررسی مطالعه رخداد گردوخاک در تاریخ ۳۰ ژوئیه ۲۰۱۸ احتمال وجود تأخیر زمانی در همبستگی دمای سطح دریا و عمق نوری هواویز با غلظت کلروفیل را نشان داد.

کلمات کلیدی: کلروفیل، دمای سطح دریا، عمق نوری هواویز، خلیج فارس، دریای عمان، گردوخاک

۱ مقدمه

افزایش تولید محیط‌های دریایی و همچنین توالی کربن در آن‌ها می‌شوند و در نتیجه میزان غلظت کربن دی اکسید و در نهایت اقلیم را تحت تأثیر قرار می‌دهند (پایتان و همکاران، ۲۰۰۹). پایتان و همکاران در سال ۲۰۰۹ همچنین نشان دادند که پاسخ رشد فیتوپلانکتون‌ها به هواویزها متفاوت است و به ترکیبات خاص هواویزها و گونه‌های فیتوپلانکتون بستگی دارد. در واقع در هواویزها، ترکیبات متفاوت طبیعی و مصنوعی شامل گردوخاک معدنی (Mineral Dust)، کریستال‌های نمک دریا، باکتری‌ها و سایر ذرات میکروسکوپی وجود دارد. هواویزها منجر به افزایش ترکیبات نیتروژن و فسفر به آب می‌شوند؛ هرچند همه هواویزها،

میزان غلظت کلروفیل در زیست‌بوم‌های دریایی، معرف میزان پلانکتون در این زیست‌بوم‌ها است و در پویایی آن تأثیر می‌گذارد. میزان غلظت کلروفیل ثابت نیست و خود تحت تأثیر عواملی نظیر تغییرات فصلی، میزان بارش، جریان آب و دمای سطح آب است (گالیسای و همکاران، ۲۰۱۴). در این زمینه مطالعات فراوانی صورت گرفته و نشان داده شده است که میزان این تأثیرات، در زیست‌بوم‌های متفاوت، مختلف است (گالیسای و همکاران، ۲۰۱۴؛ تن و همکاران، ۲۰۱۱؛ پایتان و همکاران، ۲۰۰۹؛ دنگ و همکاران، ۲۰۰۸). هواویزهای جو، یک منبع غنی از مواد مغذی است که سبب

در این مقاله میانگین بلندمدت غلظت کلروفیل در بین سالهای ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۰ در دریای عمان و خلیج فارس بررسی شده است، همچنین ارتباط غلظت کلروفیل با دمای سطح دریا و عمق نوری هواویزها مطالعه شده است. در ادامه با بررسی یک رخداد گردوخاک در تاریخ ۳۰ ژوئیه ۲۰۱۸ رفتار کلروفیل با تغییر دمای سطح دریا و عمق نوری هواویزها بررسی شده است. مهم‌ترین نوآوری تحقیق، در نظر گرفتن تأخیر زمانی در همبستگی بین غلظت کلروفیل با دمای سطح آب و عمق نوری هواویز در بازه زمانی طولانی مدت و نیز بازه زمانی روزانه می‌باشد. همچنین ارتباط این همبستگی با عمق آب در نواحی مختلف دریای عمان و خلیج فارس تفسیر شده است. علاوه بر این، بررسی تأثیر وقوع یک رخداد وسیع گردوخاک در منطقه بر تغییرات غلظت کلروفیل و کمیت‌های دمای سطح دریا و عمق نوری هواویزها در زمان وقوع و روزهای بعد از آن، از دیگر نوآوری‌های این تحقیق می‌باشد.

۲ داده‌ها و روش

داده‌های مورد بررسی در این مطالعه از سایت GIOVANNI استخراج شده که داده‌های میانگین روزانه (۸ روزه) شامل کمیت‌های دمای سطح دریا، عمق نوری هواویزها و غلظت کلروفیل است که از سنجنده MODIS ماهواره AQUA برای بازه زمانی ۲۰۰۳-۲۰۲۰ استخراج شده است. همچنین از تصاویر سنجنده MODIS ماهواره AQUA از سایت Worldview تصاویر روزانه غلظت کلروفیل، عمق نوری هواویزها و دمای سطح دریا برای بازه زمانی ۲۹ ژوئیه تا ۳ اوت ۲۰۱۸ به دست آمده است.

در ابتدا میانگین بلندمدت کمیت‌های مورد نظر برای بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۰ مورد بررسی قرار گرفته و روند تغییرات آن‌ها و نیز الگوهای همبستگی بین این کمیت‌ها تحلیل شده است. در ادامه با بررسی یک رخداد گردوخاک در تاریخ ۳۰ ژوئیه ۲۰۱۸ رفتار کلروفیل با تغییر دمای سطح دریا و عمق نوری هواویزها بررسی شده است.

سبب افزایش رشد فیتوپلانکتون‌ها نمی‌شوند (پایتان و همکاران، ۲۰۰۹). در مطالعه دیگری گالیسای و همکاران (۲۰۱۴)، امکان تأثیر توفان‌های گردوخاک را در رشد فیتوپلانکتون‌ها در دریای مدیترانه بررسی کردند. این بررسی از آنجا اهمیت داشت که اساساً، سطح آب در دریای مدیترانه فاقد مواد مغذی لازم برای رشد پلانکتون‌ها است، اما همجواری این دریا با بزرگترین و فعال‌ترین بیابان دنیا، ورود مواد معدنی به آن را در پی داشته است. این مطالعه نشان داد که ورود هواویزها، حدود یک تا ده درصد (بطور متوسط ۵٪) تغییرپذیری کلروفیل را در دریای مدیترانه توضیح می‌دهد (گالیسای و همکاران، ۲۰۱۴). این مسأله اهمیت بررسی تأثیر رخدادهای گردوخاک را بر غلظت کلروفیل در محیط‌های دریایی آشکار می‌کند. مطالعات نشان داده است که الگوی همبستگی بین غلظت کلروفیل و دمای سطح دریا در مناطق کم عمق مثبت و بدون تأخیر زمانی دیده شده؛ در حالی که در مناطق عمیق همبستگی منفی با تأخیر زمانی ۳ تا ۵ ماه دیده شده است (مرادی و مرادی، ۲۰۲۰). همچنین مشاهده شد که تغییرپذیری دمای سطح دریا و غلظت کلروفیل در خلیج فارس فصلی است و از خروجی رودخانه‌ها، گردش آب و رژیم‌های اقلیمی ناشی می‌شود (مرادی و کبیری، ۲۰۱۵). در مطالعه دیگری مشاهده شده است که ضریب همبستگی بین غلظت کلروفیل و عمق نوری هواویزها در خلیج فارس منفی بوده و به‌ویژه در فصل تابستان با افزایش میزان گردوخاک مقادیر کلروفیل کاهش می‌یابد (مبارک حسن و همکاران، ۲۰۲۱). بررسی تغییرات مکانی و زمانی دمای سطح دریا و غلظت کلروفیل و عمق نوری هواویزها بین سال‌های ۲۰۱۷-۲۰۱۴ در دریای عمان و خلیج فارس، افزایش میزان غلظت کلروفیل پس از رخداد گردوخاک را نشان داد (رهنما و همکاران، ۲۰۱۸). مطالعات دیگری نیز نشان داد که با تخمین دما با استفاده از داده‌های سنجنده MODIS در دریای عمان و خلیج فارس، مقادیر دمای سطح دریا در فصل تابستان با بی‌هنجاری مثبت و در فصل زمستان با بی‌هنجاری منفی همراه است، همچنین دقت تخمین برای فصل گرم بهتر از سال سرد است (رهنما و عطارچی، ۲۰۱۸).

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

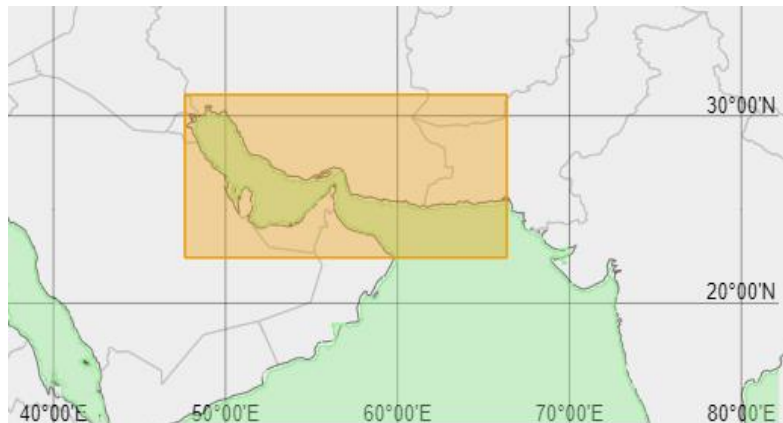
در این مقاله پهنه آبی خلیج فارس و دریای عمان مورد بررسی و مقایسه گرفته است که در شکل ۱ ارائه شده است.

۳ بحث و نتایج

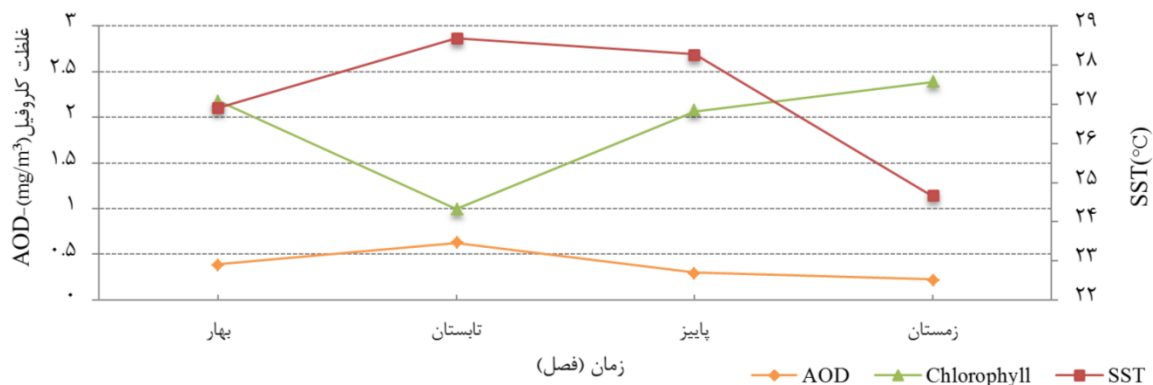
۳-۱- بررسی روند میانگین بلند مدت

در این بخش روند تغییرات بلند مدت ماهانه و فصلی کمیت‌های دمای سطح دریا، عمق نوری هواویزها و غلظت کلروفیل برای دو منطقه دریای عمان و خلیج فارس به تفکیک مورد بررسی قرار گرفته است. نمودار روند میانگین تغییرات فصلی کمیت‌های مورد نظر برای سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۰ در دریای عمان در شکل ۲ ارائه شده است. همان‌طور که

مشاهده می‌شود در منطقه دریای عمان تغییرات دمای سطح دریا و عمق نوری هواویزها دارای روند مشابه هستند؛ در حالی که تغییرات غلظت کلروفیل روند معکوس دارد. بیشینه مقادیر غلظت کلروفیل در فصل زمستان و کمترین آن در فصل تابستان اندازه‌گیری شده است. اما بیشینه مقادیر دمای سطح دریا و عمق نوری هواویزها در فصل تابستان و کمینه آن‌ها در فصل زمستان مشاهده می‌شود. با بررسی روند تغییرات ماهانه کمیت‌های مورد نظر در شکل ۳، مشاهده شد که بیشینه مقادیر غلظت کلروفیل در دریای عمان در ماه مارس و فوریه رخ می‌دهد که با کمینه مقادیر دمای سطح دریا همراه است. از طرف دیگر کمینه مقادیر غلظت



شکل ۱. محدوده مورد مطالعه.



شکل ۲. روند تغییرات میانگین بلندمدت (۲۰۰۳-۲۰۲۰) فصلی کمیت‌های AOD، SST و غلظت کلروفیل در منطقه دریای عمان.

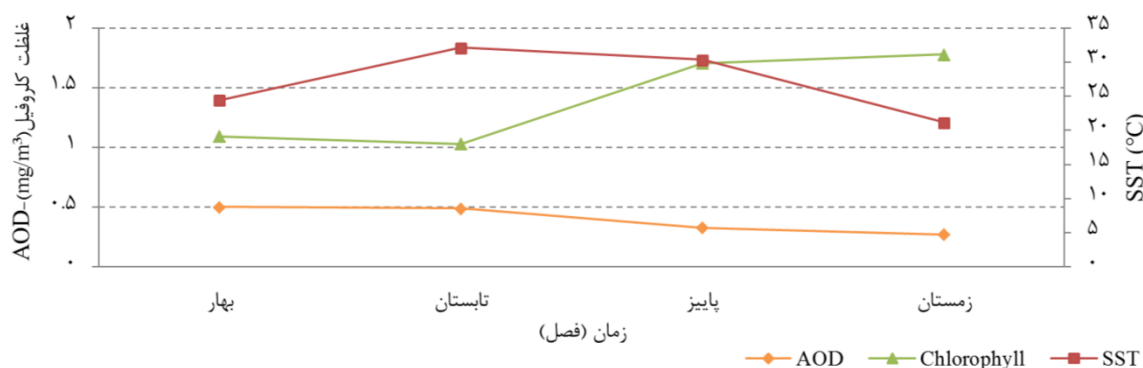


شکل ۳. روند تغییرات میانگین بلندمدت (۲۰۰۳-۲۰۲۰) ماهانه کمیت‌های SST، AOD و غلظت کلروفیل در منطقه دریای عمان.

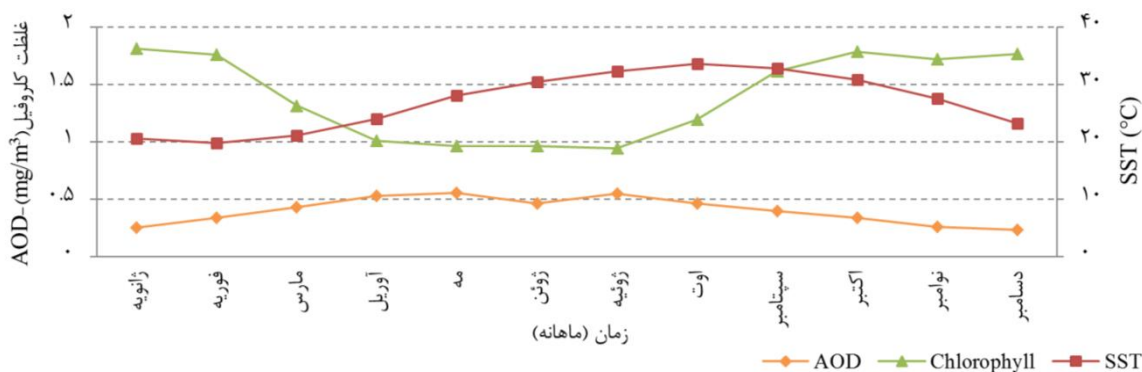
مقادیر قابل توجهی گردو خاک وارد خلیج فارس می‌شود. روند تغییرات غلظت کلروفیل برخلاف دمای سطح دریا و عمق نوری هواویزها مشاهده می‌شود و بیشترین مقدار آن در فصل زمستان و کمترین آن در فصل تابستان داده است. الگوی روند تغییرات بلندمدت ماهانه کمیت‌های مورد بحث برای خلیج فارس در شکل ۵ ارائه شده است. بیشترین مقادیر دمای سطح دریا در ماه‌های ژوئیه، اوت و سپتامبر است که مقادیر بیش از ۳۰ درجه سلسیوس را نشان می‌دهد. بیشترین مقادیر عمق نوری هواویزها نیز در ماه‌های مه و ژوئیه مشاهده می‌شود. در ماه ژوئن با توجه به شکل‌گیری جریان‌های غربی از سمت کشور عراق، گردو خاک به سمت نیمه غربی ایران هدایت می‌شود و بنابراین مقادیر عمق نوری هواویزها روی خلیج فارس افزایش پیدا می‌کند.

کلروفیل در ماه ژوئن دیده می‌شود که با بیشینه دمای سطح دریا هماهنگ است. بیشینه کمیت عمق نوری هواویزها نیز در ماه ژوئیه رخ می‌دهد که هم‌زمان با فعالیت جریان‌های موسمی است که می‌تواند رخداد‌های گردو خاک در نواحی جنوب شرقی ایران و غرب پاکستان را افزایش دهد و سبب انتقال گردو خاک به سمت دریای عمان شود.

این بررسی برای منطقه خلیج فارس نیز انجام شده است که در ادامه نتایج آن ارائه می‌شود (شکل ۴). روند تغییرات فصلی دمای سطح دریا و عمق نوری هواویزها تا حدودی مشابه است؛ به طوری که بیشترین مقادیر دمای سطح دریا و عمق نوری هواویزها در فصل تابستان و کمترین آن در فصل زمستان است. در فصل تابستان با توجه به الگوهای همدیدی شرایط برای وقوع رخداد‌های گردو خاک در کشور عراق و نیمه غربی ایران فراهم می‌شود و با توجه به جریان‌های شمال غربی



شکل ۴. روند تغییرات میانگین بلندمدت (۲۰۰۳-۲۰۲۰) ماهانه کمیت‌های SST، AOD و غلظت کلروفیل در منطقه خلیج فارس.



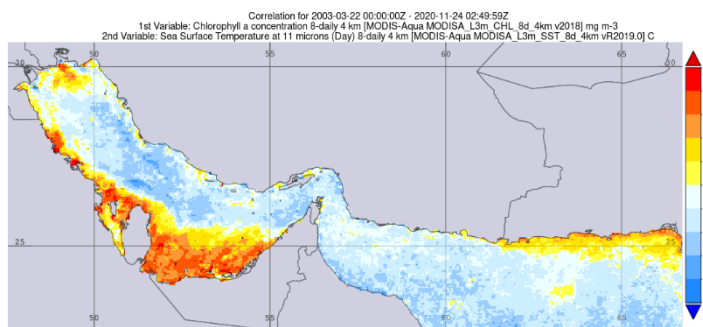
شکل ۵. روند تغییرات میانگین بلندمدت SST، AOD، و غلظت کلروفیل در منطقه خلیج فارس.

هواویزها و غلظت کلروفیل دارای نوسان فصلی است و به نظر می‌رسد تغییرات دمایی و شوری در آب دریا می‌تواند در تغییر میزان غلظت کلروفیل اثرگذار باشد. الگوی همبستگی بین عمق نوری هواویزها و غلظت کلروفیل و نیز دمای سطح دریا و غلظت کلروفیل برای خلیج فارس و دریای عمان به تفکیک در شکل ۶ نشان داده شده است. همبستگی از نظر آماری معنی‌دار نیست، به جز در نواحی ساحلی که همبستگی نسبتاً خوبی بین کمیت‌ها مشاهده می‌شود. بیشترین میزان همبستگی در نواحی جنوبی خلیج فارس مشاهده می‌شود که دارای عمق کمتری نسبت به سایر نواحی است.

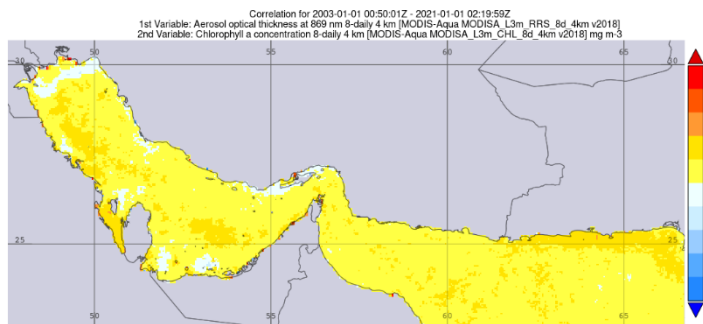
روند تغییرات میانگین بلندمدت ماهانه غلظت کلروفیل نیز نشان می‌دهد که بیشترین مقادیر در ماه‌های سرد سال از دسامبر تا فوریه و کمترین مقادیر در ماه‌های گرم سال از مه تا ژوئیه ثبت شده است.

ب) محاسبه ضریب همبستگی بین دمای سطح دریا، عمق نوری هواویزها و غلظت کلروفیل

در ادامه این مقاله به محاسبه ضریب همبستگی بین کمیت‌های مورد بررسی پرداخته شده است. همان‌طور که در بخش قبلی مشاهده شد روند تغییرات دمای سطح دریا، عمق نوری

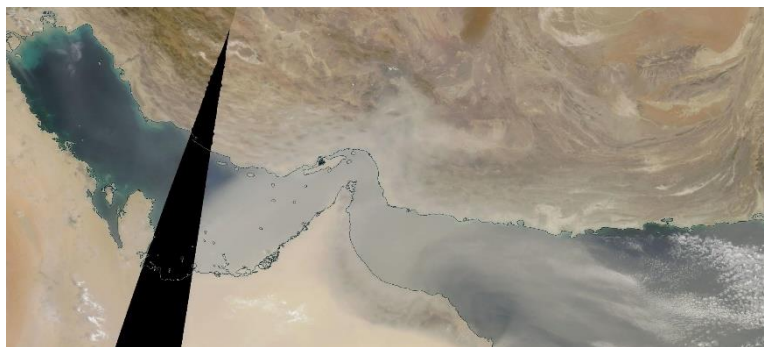


(الف)



(ب)

شکل ۶. ضریب همبستگی بین الف) غلظت کلروفیل و SST و ب) غلظت کلروفیل و AOD در منطقه مورد مطالعه.

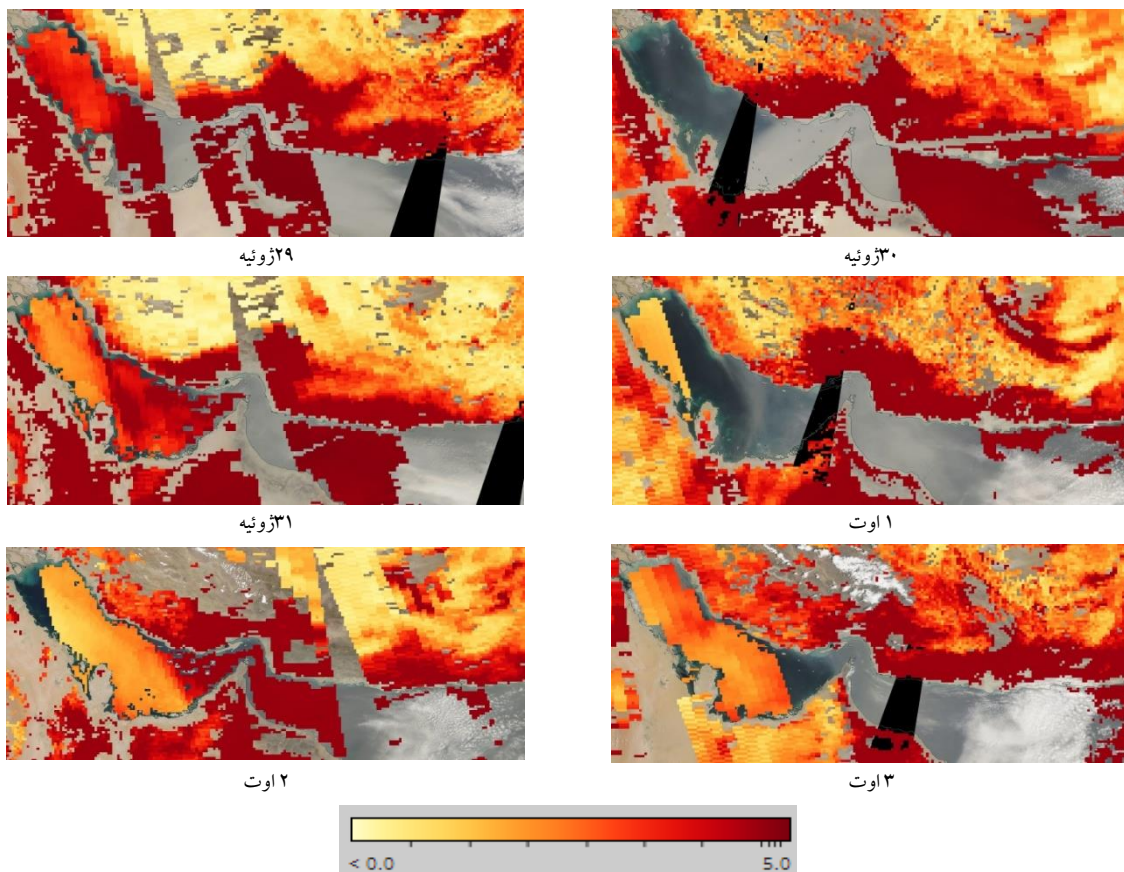


شکل ۷. تصویر از سنجنده MODIS ماهواره Terra برای روز ۳۰ ژوئیه ۲۰۱۸.

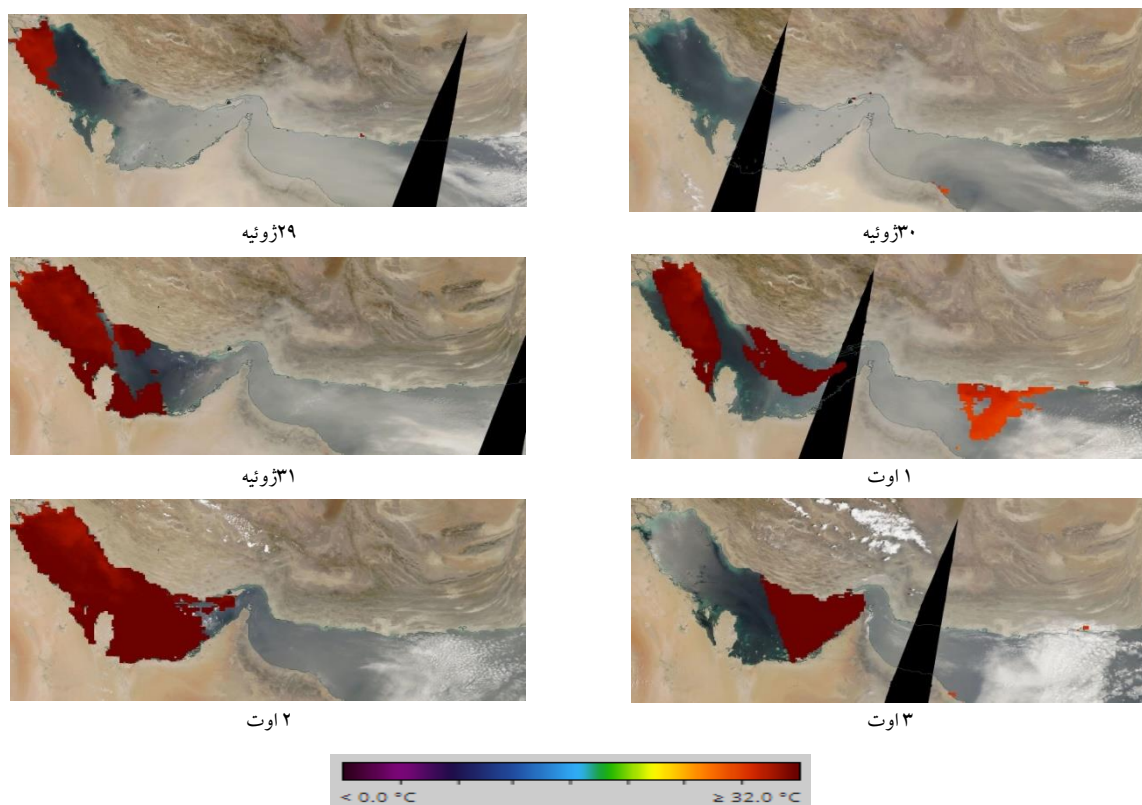
در این پژوهش میانگین بلندمدت غلظت کلروفیل و ارتباط آن با تغییرات دمای سطح دریا و عمق نوری هواویزها، به همراه توزیع مکانی آنها روی دریای عمان و خلیج فارس با استفاده از داده‌های میانگین روزانه (۸ روزه) شامل کمیت‌های دمای سطح دریا، عمق نوری هواویزها و غلظت کلروفیل از سنجنده MODIS ماهواره Aqua در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۰ بصورت ماهانه و برای یک رخداد گردو خاک مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بیانگر این موضوع است که روند تغییرات فصلی دمای سطح دریا و عمق نوری هواویزها تا حدودی مشابه است؛ به طوری که بیشترین مقادیر دمای سطح دریا و عمق نوری هواویزها در فصل تابستان و کمترین آن در فصل زمستان است. در فصل تابستان با توجه به الگوهای همدیدی، شرایط برای وقوع رخدادهای گردو خاک در کشور عراق و نیمه غربی ایران فراهم می‌شود و با توجه به جریان بادهای شمال غربی مقادیر قابل توجهی گردو خاک وارد خلیج فارس می‌شود. روند تغییرات غلظت کلروفیل برخلاف دمای سطح دریا و عمق نوری هواویزها مشاهده می‌شود و بیشترین مقدار آن در فصل زمستان و کمترین آن در فصل تابستان رخ داده است. در منطقه دریای عمان تغییرات دمای سطح دریا و عمق نوری هواویزها دارای روند مشابه هستند؛ در حالی که تغییرات غلظت کلروفیل روند معکوس دارد. بیشینه مقادیر غلظت کلروفیل در فصل زمستان و کمترین آن در فصل تابستان اندازه‌گیری شده است.

با مطالعه روند تغییرات بلند مدت بنظر می‌رسد احتمال وجود همبستگی با تأخیر زمانی بین دمای سطح دریا و عمق نوری هواویزها و غلظت کلروفیل وجود دارد. در ادامه این پژوهش به بررسی ارتباط بین غلظت کلروفیل و تغییرات عمق نوری هواویزها و دمای سطح دریا در طی وقوع یک رخداد گردو خاک پرداخته شده است. در تاریخ ۳۰ ژوئیه ۲۰۱۸ با استقرار یک سامانه کم فشار روی نواحی بیابانی امارات، شمال یمن و بخشی از بیابان ربع الخالی و شکل‌گیری جریان‌های جنوبی و جنوب شرقی، مقادیر قابل توجهی گردو خاک به روی شرق خلیج فارس و دریای عمان منتقل شد (شکل ۷). بررسی تغییرات الگوی غلظت کلروفیل، دمای سطح دریا و عمق نوری هواویزها که در شکل ۸ تا شکل ۱۰ ارائه شده است، نشان می‌دهد که با شروع رخداد توفان گردو خاک به تدریج بر میزان عمق نوری هواویزها افزوده شده و از روز ۱ اوت روند کاهش می‌بینیم. میزان عمق نوری هواویزها در نواحی جنوبی خلیج فارس مشاهده می‌شود. الگوی دمای سطح دریا نشان می‌دهد که همزمان با وقوع رخداد به دلیل کاهش تابش ورودی به سطح آب ناشی از حضور ذرات گردو خاک دما کاهش و پس از آن با اتمام رخداد گردو خاک دما به تدریج افزایش یافته است. همچنین الگوی تغییرات غلظت کلروفیل نشان می‌دهد که از روز ۱ اوت غلظت کلروفیل افزایش یافته و در روز ۲ اوت (۳ روز پس از رخداد گردو خاک) به بیشترین مقدار خود رسیده و مجدداً در روز ۳ اوت کاهش یافته است.

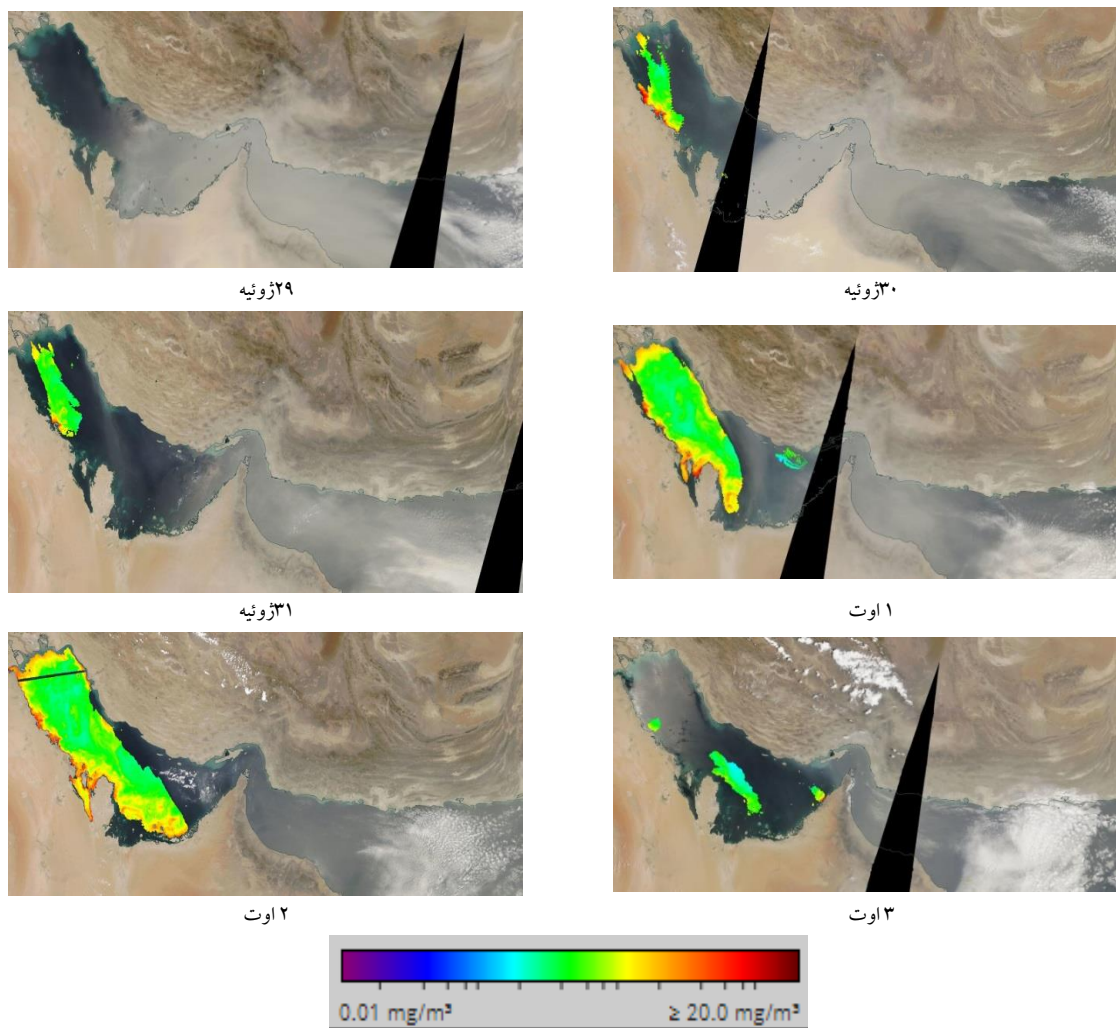
نتیجه‌گیری و جمع‌بندی



شکل ۸. الگوی تغییرات AOD محصول سنجنده MODIS ماهواره Aqua (محصول الگوریتم DB و DT) ساعت ۱۲:۰۰ UTC



شکل ۹. الگوی تغییرات SST محصول سنجنده MODIS ماهواره Aqua ساعت ۱۲:۰۰ UTC



شکل ۱۰. غلظت کلروفیل a محصول سنجنده MODIS ماهواره Aqua ساعت ۱۲:۰۰ UTC.

تغییر میزان غلظت کلروفیل اثرگذار باشد. همبستگی بین عمق نوری هواویزها و غلظت کلروفیل و نیز دمای سطح دریا و غلظت کلروفیل برای خلیج فارس و دریای عمان از نظر آماری در نواحی ساحلی بصورت نسبتاً خوبی بین کمیت‌ها مشاهده می‌شود. بیشترین میزان همبستگی در نواحی جنوبی خلیج فارس مشاهده می‌شود که دارای عمق کمتری نسبت به سایر نواحی است. با مطالعه روند تغییرات بلند مدت بنظر می‌رسد احتمال وجود همبستگی با تأخیر زمانی بین دمای سطح دریا و عمق نوری هواویزها و غلظت کلروفیل وجود دارد که در مطالعه موردی رخداد گردو خاک تاریخ ۳۰ ژوئیه ۲۰۱۸ بخوبی نشان داده شده است.

- Gallissai, R., Peters, F., Volpe, G., Basart, S. and Baldasano, J.M., 2014. Saharan dust

اما پیشینه مقادیر دمای سطح دریا و عمق نوری هواویزها در فصل تابستان و کمینه آن‌ها در فصل زمستان مشاهده می‌شود. از طرف دیگر کمینه مقادیر غلظت کلروفیل در ماه ژوئن دیده می‌شود که با پیشینه دمای سطح دریا هماهنگ است. پیشینه کمیت عمق نوری هواویزها نیز در ماه ژوئیه رخ می‌دهد که هم‌زمان با فعالیت جریان‌های موسمی است که می‌تواند رخدادهای گردو خاک در نواحی جنوب شرقی ایران و غرب پاکستان را افزایش دهد و سبب انتقال گردو خاک به سمت دریای عمان شود. روند تغییرات دمای سطح دریا، عمق نوری هواویزها و غلظت کلروفیل دارای نوسان فصلی است و به‌نظر می‌رسد تغییرات دمایی و شوری در آب دریا می‌تواند در

منابع

- factors in the Persian Gulf. *Marine Pollution Bulletin*, 161, 111728.
6. Moradi, M., and Kabiri, K., 2015: Spatio-temporal variability of SST and Chlorophyll-a from MODIS data in the Persian Gulf. *Marine Pollution Bulletin*, 98, 14-25.
 7. Mobarak Hassan, E., Rahnama, M., Noori, F. 2021: Investigation of the possible impact of dust on chlorophyll concentration in north and south Iranian water resources (2007- 2017). *Amphibious Science and Technology*, 2(1), 36-54.
 8. Rahnama, M., A. Ranjbar, S. Attarchi, 2018: Effect of dust storm on sea surface temperature and Chlorophyll content using MODIS images in the Persian Gulf and Oman Sea. 4th International Conference on the Persian Gulf Oceanography, 17-18 Feb 2018, Tehran, Iran.
 9. Rahnama, M., S. Attarchi, 2018: Seasonal Variability of Sea Surface Temperature on the Persian Gulf and Oman sea Using MODIS Data. 4th International Conference on the Persian Gulf Oceanography, 17-18 Feb 2018, Tehran, Iran.
 - deposition may affect phytoplankton growth in the Mediterranean Sea at ecological time scales. *PloS one*, 9(10).
 2. Paytan, A., Mackey, K.R., Chen, Y., Lima, I.D., Doney, S.C., Mahowald, N., Labiosa, R. and Post, A.F., 2009. Toxicity of atmospheric aerosols on marine phytoplankton. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(12), pp.4601-4605.
 3. Tan, S.C., Shi, G.Y., Shi, J.H., Gao, H.W. and Yao, X., 2011. Correlation of Asian dust with chlorophyll and primary productivity in the coastal seas of China during the period from 1998 to 2008. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 116(G2).
 4. Deng, Z.Q., Han, Y.X., Bai, H.Z. and Zhao, T.L., 2008: Effect of dust aerosol production in China mainland on marine primary productivity. *China Environmental Science*, 28, pp.872-876.
 5. Moradi, M., and Moradi, N., 2020: Correlation between concentrations of chlorophyll-a and satellite derived climatic

Study of the Long-term Average Concentration of Chlorophyll a and Its Relation to Variations in Sea Level Temperature and Aerosol Optical Depth over the Sea of Oman and the Persian Gulf (2003-2020)

Khoddam¹, Noushin, Sara Attarchi², Mehdi Rahnama³, Saviz Sehat kashani^{3*}, Sahar Tajbakhsh³

¹ Ph.D. in Meteorology, Atmospheric Science and meteorology Research Center, Tehran, Iran.

² Assistant professor, University of Tehran, Faculty of Geography, Tehran, Iran.

³ Assistant professor, Atmospheric Science and meteorology Research Center, Tehran, Iran.

(Received: 26 Dec 2021, Revised: 07 Jan 2022, Accepted: 20 Jan 2022, Published online: 20 Jan 2022)

Abstract

Chlorophyll concentrations in marine environments indicate phytoplankton levels and ultimately the production of marine ecosystems. Chlorophyll concentration is not constant and depends on quantities such as sea surface temperature and aerosols optical depth, it also has seasonal variations and the correlation between these factors is various at different depths. Investigating the long-term relationship (2003 to 2020) between sea level temperature changes and aerosol optical depth with chlorophyll concentration on the Persian Gulf and the Sea of Oman coasts using daily MODIS products shows a considerable correlation in coastal areas. This correlation is the highest in shallowest water depths. The trend of sea-level temperature and light depth of aerosols changes in the two regions of the Persian Gulf and the Sea of Oman is similar, and its highest values are observed in summer, while its lowest is observed in winter. Remarkably, this seasonal trend is reversed in chlorophyll concentrations, with the lowest values observed in summer and the highest in winter. Additionally, the study of dust occurrence on July 30, 2018, showed the possibility of time delay in the correlation between sea-level temperature and aerosol optical depth with chlorophyll-a concentration.

Keywords: Chlorophyll, SST, AOD, Persian Gulf, Oman Sea, Du

* Corresponding author:

Email Address: savizsehat@yahoo.com