مجله بوم شناسی آبزیان

Journal homepage: http://jae.hormozgan.ac.ir

توفان‌های گردوغبار و تأثیرات اکولوژیکی آن‌ها بر توزیع کلروفیل در خلیج‌فارس

مرضیه دادی‌زاده [۱*]، حسین ملکوتی [۲]

[۱] گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه هرمزگان

[۲] گروه هواشناسی، دانشکده علوم و فنون دریایی و جوی، دانشگاه هرمزگان

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخچه مقاله:
دریافت: ۹۳/۰۲/۰۵
اصلاح: ۹۳/۰۸/۱۵
پذیرش: ۹۳/۰۸/۲۵

کلمات کلیدی:
گردو غبار
ضخامت اپتیکی
کلروفیل
خلیج فارس
سنجنده SeaWiFS

چکیده

خلیج فارس به دلیل قرار گرفتن در منطقه خشک جنب‌حاره و با توجه به شرایط جوی غالب منطقه، در بازه‌های زمانی خاصی، به شدت متأثر از توفان‌های گردوغبار می‌گردد. وقوع رخدادهای غباری متواتر به تبع شرایط اکولوژیکی، این پهنه‌ی آبی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. هدف از پژوهش حاضر، واکاوی ارتباط بین میزان حضور ذرات معلق و تغییرات کلروفیل روی خلیج‌فارس است. در این مطالعه داده‌های میانگین ماهیانه مربوط به دو کمیت ضخامت اپتیکی ذرات معلق و غلظت کلروفیل **a**، برگرفته از سنجنده SeaWiFS، در یک بازه‌ی زمانی ده ساله (۲۰۰۷-۱۹۹۸) مورد پردازش قرارگرفت. آنالیز داده‌های میانگین ماهیانه در دوره‌ی مورد مطالعه، بیشینه‌ی میزان گردوغبار را برای ماه‌های گرم و بیشترین میزان آن را برای ماه جولای نشان‌داد. الگوی تغییرات کلروفیل در این دوره تقریباً در تمام نواحی به استثنای ناحیه‌ی جنوبی ثابت بود و کاهش میزان کلروفیل با افزایش دمای آب را نشان داد. طبق نتایج حاصل، حضور ذرات معلق در دوره‌ی گرم سال در ناحیه جنوبی، با توجه به نامساعد بودن سایر عوامل فیزیکی، عامل اصلی در تحریک رشد فیتوپلانکتون‌هاست. همچنین در نمونه‌های متعددی تأثیر ذرات معلق بر تجمع کلروفیل‌ها با یک تأخیر زمانی همراه بود که افزایش میزان همبستگی از ۰/۱۹ به ۰/۵۱ با در نظر گرفتن یک گام تأخیر زمانی، این مسئله را تأیید کرد. تأخیر در واکنش کلروفیل‌ها به حضور گردوغبار، ممکن است به دلیل زمان مورد نیاز برای نهشت و انحلال ذرات در آب و آماده شدن برای جذب توسط کلروفیل‌ها باشد.

مقدمــه

کمربندهای بیابانی سیاره زمین که عمدتاً بین عرض‌های ۲۰ تا ۴۰ درجه از مدار استوا گسترده شده‌اند، اصلی‌ترین منبع تولید توفان‌های گردوغبار به شمار می‌روند. وجود درصد بالای املاح معدنی در خاک بیابان و انتقال این املاح توسط باد، به اکوسیستم‌های دیگر از جمله اقیانوس، نوعی منبع تغذیه ثانویه را برای میکروارگانیسم‌های موجود در محیط فراهم می‌کند. فیتوپلانکتون‌های دریایی اساس اکوسیستم اقیانوس هستند، به طوریکه حدود نیمی از فعالیت فتوسنتز در سطح سیاره زمین و تولید بیش از ۹۰ درصد ماده آلی محلول در آب به فعالیت این موجودات وابسته است (Dacey, 1986). میزان گردوغبار منتقل شده به اقیانوس مستقیماً در تحریک رشد فیتوپلانکتون‌ها تأثیرگذار نخواهد بود، بلکه درصد آهن موجود در حجم غبار و میزان انحلال آن در آب‌های سطحی به عنوان محرک رشد عمل کرده و نرخ تولیدات اولیه در جوامع فیتوپلانکتونی را افزایش می‌دهد. در تنظیم میزان ریزمغذی‌ها برای رشد فیتوپلانکتون‌های دریایی در آب‌های آزاد، آهن می‌تواند به عنوان یک عنصر محدود کننده عمل کند. در محیط زیست طبیعی، حدود یک چهارم آهن ورودی به اقیانوس از نهشت گردوغبارهای جوی

* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: m_dadizadeh@yahoo.com

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1393.4.3.7.5]

تأمین می‌شود (Toumazou and Cretaux, 2001). بنابراین غبارهای بیابانی به عنوان یک منبع خارجی تأمین‌کننده آهن، می‌توانند درصد تولیدات اولیه در جوامع فیتوپلانکتونی را افزایش دهند (Boyd, 2000). عامل فتوسنتز در فیتوپلانکتون‌ها، کلروفیل است که به علت جذب طول موج‌های آبی و قرمز و انعکاس طول موج‌های سبز، به آسانی توسط ماهواره قابل ردیابی است. مطالعات زیادی در این زمینه انجام شده که همگی نقش مؤثر گردوغبار در افزایش رشد کلروفیل‌ها را تأیید می‌کنند. به عنوان نمونه، در تحقیقی با بررسی باندهای مختلف ماهواره برای تعیین میزان کلروفیل و ذرات گردوغبار در آب‌های شرق ایالت متحده، اثر مستقیم این ذرات بر آب‌های با میزان کم کلروفیل در منطقه تأیید شده است (Schollaert *et al.*, 2003). در مطالعه دیگری مبنی بر بررسی اثر توفان‌های گردوغبار بر میزان تغییرات کلروفیل آب‌های شمال غرب اقیانوس آرام، با استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای و داده‌های مدل، میزان همبستگی ۰/۶ تا ۰/۸ بین تغییرات کلروفیل و ذرات غبار در منطقه برآورد شده است (Lin and Chen, 2007). همچنین تحقیق بسیار کاملی که در قسمت شمالی اقیانوس هند انجام گرفته نیز تأیید کننده تأثیر ذرات معلق جو بر تغییرات میزان کلروفیل سطح آب در این نواحی بوده و نشان داده است که نشست ذرات گردوغبار در این نواحی مستقیماً در افزایش کلروفیل نقش داشته است. در این تحقیق تأثیر همزمان تغییرات دمای سطح آب، باد و ذرات گردوغبار بررسی گردیده و همچنین از نتایج مدل در برآورد میزان نشست ذرات در آب بهره گرفته شده است (Patra *et al.*, 2007). در مطالعه‌ی دیگری در هند نیز میزان ذرات گردوغبار، کلروفیل و باد سطح آب برای دوره ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۷ به کمک داده‌های ماهواره بررسی شده که نتایج حاصل نشان داده است افزایش بسیار کم میزان کلروفیل در دریای عرب ناشی از تغییرات میزان گردوغبار بوده و تغییرات شدت باد اثر افزایشی در این دوره نداشته است (Kumar *et al.*, 2010).

به دلیل محدودیت‌های موجود جهت انجام مطالعات میدانی و وسیع بودن خلیج فارس، امکان تهیه الگوی کلی تغییرات کلروفیل و گردوغبار از این طریق وجود ندارد و یا بسیار وقت‌گیر و هزینه‌بر است. پردازش تصاویر ماهواره‌ها با قابلیت‌هایی که دارند امکانات ویژه‌ای در این زمینه فراهم نموده‌اند. تحقیق حاضر بر آن است تا با استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای ارتباط بین میزان حضور ذرات معلق و تغییرات کلروفیل را در یک بازه زمانی ده ساله در آب‌های سطحی منطقه خلیج فارس مورد تجزیه و تحلیل قرار دهد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

خلیج فارس یک حوزه آبی نیمه محصور، وسیع و کم‌عمق است که با مساحتی معادل ۲۳۹۰۰۰ کیلومترمربع در محدوده جغرافیایی °۲۴ تا °۳۰ عرض شمالی و °۴۸ تا °۵۶ طول شرقی واقع شده‌است. طول آن ۹۹۰ کیلومتر و پهنای آن در وسیعترین بخش، ۳۷۰ کیلومتر می‌باشد. این خلیج با عمق متوسط ۳۶ متر از طریق تنگه هرمز به دریای عمان متصل می‌گردد. بیشترین عمق آن بین ۹۰ تا ۱۰۰ متر بوده که در قسمت شمال شرقی و در محدوده آب‌های ایران واقع شده است. حداکثر عمق آن نیز در نزدیکی تنگه هرمز می‌باشد (Chao *et al.*, 1992). به دلیل قرارگرفتن در منطقه خشک جنب‌حاره، آب و هوای بسیار گرم را تجربه می‌کند، به طوریکه میزان تبخیر آب‌های سطحی آن به مراتب بیشتر از مجموع آب‌های ورودی رودخانه‌ها و نزولات آسمانی مربوط به آن می‌باشد (Swift and Bower, 2003). دمای سطح آب خلیج فارس در طول سال در بازه دمایی ۱۶ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد متغیر بوده و نوسان محدوده شوری آب آن نیز به طور معمول ۳۶ تا ۴۳ قسمت در هزار در طول سال است. عمده آب شیرین آن توسط رودهای دجله، فرات و کارون تامین می‌شود که تمامی این رودها در منطقه اروندرود، سواحل عراق و کویت تخلیه می‌شوند (Reynolds, 1993). آب‌های تخلیه شده از این رودخانه‌ها در سواحل عربستان و امارات جریان می‌یابد و به طور آشکاری سواحل جنوب غربی از عراق تا قطر را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بادها در منطقه خلیج فارس از اواخر پاییز و به دنبال آن در زمستان، همزمان با شروع فعالیت رژیم شمال از جهت شمال‌غربی به سمت مرکز و جنوب خلیج کاملاً شدت می‌گیرند. این بادها در تابستان ضعیف‌تر بوده و تناوب تکرار آن‌ها نیز کمتر است اما وجود اختلاف دمای شدید بین آب و خشکی، باعث ایجاد نسیم قوی در مناطق ساحلی می‌گردد (Elshorbady *et al.*, 2006).

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1393.4.3.7.5]

داده های مورد استفاده و روش پردازش آن‌ها

جهت به کارگیری اطلاعات ماهواره‌ای از داده‌های پردازش شده‌ی سطح ۳، از سنجنده SeaWiFS (سنسور مشاهده‌گر رنگ دریا با میدان دید عریض) با دقت ۹ کیلومتر استفاده شده است. این سنجنده تنها ابزار نصب شده روی فضاپیمای Orbview-2 است که در اول آگوست ۱۹۹۷ به فضا پرتاب شد. هدف اصلی آن فراهم آوردن داده‌های کمی از خواص بیواپتیکی اقیانوس‌های جهان است و بازتاب‌های ظریف و نامحسوس تغییرات رنگ اقیانوس را در ۸ کانال طیفی باریک ثبت می‌کند. این کانال‌ها که در محدوده مرئی تا فروسرخ نزدیک طیف الکترومغناطیسی گسترده شده‌اند به ترتیب عبارتند از: ۴۱۲، ۴۴۳، ۴۹۰، ۵۱۰، ۵۵۵، ۶۷۰، ۷۶۵ و ۸۶۵ نانومتر، که ۶ کانال اول آن در ناحیه مرئی و ۲ کانال آخر در ناحیه فروسرخ نزدیک طیف قرار گرفته‌اند (Lavendera *et al*., 2005). کمیت‌های مورد استفاده در این تحقیق، ضخامت اپتیکی ذرات معلق AOT[1] در ۸۶۵ نانومتر و غلظت کلروفیل Chl_a [2] می‌باشد. ضخامت اپتیکی AOT معیاری از تراکم ذرات معلق در پروفایل قائم جو است. این کمیت، میزان ممانعت عبور نور توسط ذرات را بیان کرده و با چگالی و ضریب شکست ذرات تغییر می‌کند. الگوریتمی که جهت تخمین میزان غلظت کلروفیل از داده‌های سنجنده SeaWiFS مورد استفاده قرار گرفته است:

$$Chl_a = 10 \wedge (0.366 - 3.067R_S + 1.930R_S^2 + 0.649R_S^3 - 1.532R_S^4) \quad (۱)$$

که در اینجا

$$R_S = \log_{10} [\max Rrs\ 443, 490, 510/ Rrs\ 555] \quad (۲)$$

در این مطالعه بازه تغییرات قابل قبول برای کلروفیل بین ۱ تا ۴ میلی‌گرم بر متر مکعب در نظر گرفته شده است. به منظور بررسی تغییرات گردوغبار در طول سال و نیز میزان تغییرات کلروفیل سطح آب در منطقه، به داده‌های میانگین ماهانه نیاز بود که از آرشیو ماهواره‌های ناسا و برای دوره زمانی سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۷ استخراج گردید. داده‌ها به صورت جهانی موجود بوده که به کمک برنامه‌نویسی در محیط NCL[3]، برای منطقه خلیج فارس برش داده شده و آنالیزهای مورد نیاز روی داده‌ها اعمال گردیده است. به این منظور ابتدا میانگین اقلیمی ده ساله برای هر دو کمیت در ماه‌های مختلف سال به صورت مجزا محاسبه و تصاویر مربوط ترسیم گردید. پس از تحلیل اولیه تصاویر نقاطی در جهات چهارگانه خلیج فارس به منظور بررسی همبستگی کلروفیل با دمای سطح آب و غلظت ذرات معلق انتخاب و سری زمانی مربوط به نواحی با بالاترین همبستگی تهیه گردید. برای بررسی‌های موردی وقوع توفان در منطقه نیز از داده‌های میانگین ۸ روزه استفاده شد. سپس هفته وقوع توفان مشخص گردید و میزان کلروفیل قبل و بعد از وقوع توفان مورد مقایسه قرارگرفت. برای داده‌های دمای سطح آب نیز از داده‌های باز تحلیل شده AVHRR[4] از پروژه‌ی Pathfinder[5] نسخه ۵ با قدرت تفکیک ۴ کیلومتراستفاده شد.

نتایــج

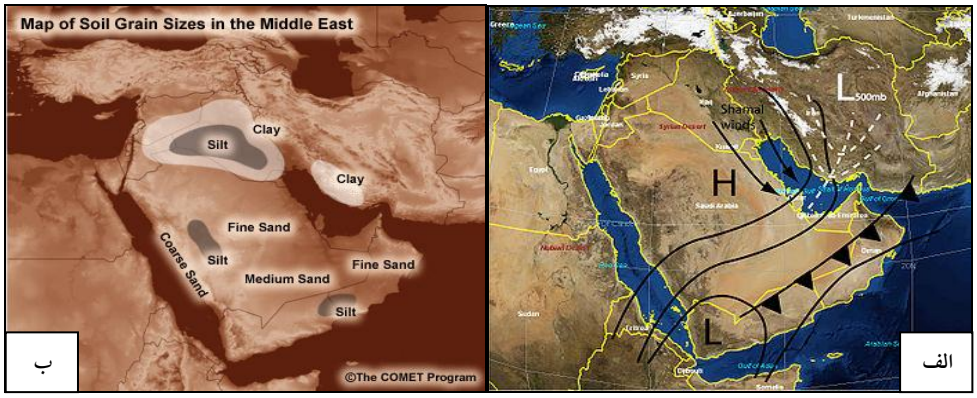
تحلیل جوی توفان غبار و منابع نشر منطقه

یکی از پدیده‌های متناوب هواشناسی در منطقه مرکزی خاورمیانه بادهای شمال[6] هستند. رژیم شمال یک رخداد بادی قوی با جهت شمالی و شمال‌غربی در منطقه خلیج فارس است که در دو مقطع زمانی در فصول تابستان و زمستان رخ می‌دهد. باد شمال تابستانی از اواخر ماه می تا اوایل ماه جولای فعال می‌شود که وزش آن به طور غالب حدود ۴۰ روز به طول می‌انجامد. باد شمال زمستانی نیز عمدتاً بین ماه‌های نوامبر تا مارس فعال می‌شود و مستقیماً به اغتشاشات عرض میانی با جهت غربی شرقی وابسته است. این باد در اثر وجود یک گرادیان فشاری قوی در پشت جبهه سرد تشکیل شده و توسعه می‌یابد. واداشت‌های سطح بالا و میانی جو بین پرفشار عربستان و عراق و کم‌فشار حرارتی مستقر در جنوب ایران، بادهای سطحی با

[1] Aerosol Optical Thickness
[2] Chlorophyll concentration
[3] NCAR Command Language
[4] Advanced Very High Resolution Radiometer
[5] http://www.nodc.noaa.gov/SatelliteData/pathfinder4km
[6] Shamal wind

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-01-29]
[DOR: 20.1001.1.23222751.1393.4.3.7.5]

جهت شمال‌غربی را تقویت می‌کند (شکل۱- الف). رژیم شمال ابتدا در بخش شمال غربی خلیج اتفاق می‌افتد و سپس در جنوب شرقی، پشت جبهه سرد توسعه می‌یابد. متناسب با نیروی باد ایجاد شده مواد سطح بیابان می‌توانند از سطح بلند شده و باعث کاهش قدرت دید شوند. همچنین امواج توفانی ایجاد شده در باد شمال در صورتیکه با اثرات جزر و مدی همراه شوند می‌توانند منجر به تغییرات قابل توجهی در حد چندین متر در سطح دریا شوند (El-Sabh and Murty, 1989). خشکی‌هایی که خلیج فارس را محاصره کرده‌اند نیز جزو اصلی‌ترین منابع تولید غبار در جهان به شمار می‌روند. از آن بین می‌توان به دشت آبرفتی دجله فرات و صحرای عربستان و آفریقا اشاره کرد (شکل۱- ب). این مسئله باعث شده است رخدادهای بادی قوی در منطقه عمدتاً با تولید توفان‌های گردوغبار همراه باشد (Husar *et al.*, 1997).



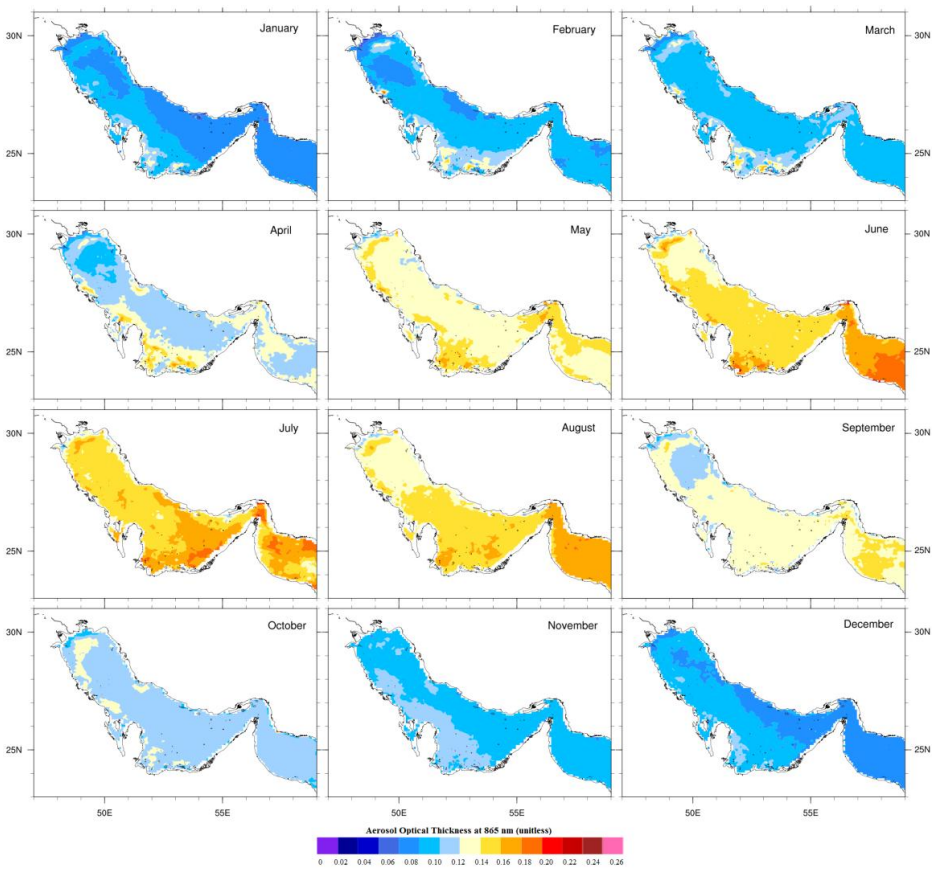
شکل ۱. (الف) نحوه شکل‌گیری رژیم باد شمال در منطقه خاورمیانه و خلیج فارس و (ب) چشمه‌های تولید و نشر غبار در منطقه (http://www.goes-r.gov/users/comet/mesoprim/dust/navmenu.php_tab_1_page_3.2.0.html)

رفتار زمانی- مکانی توزیع غبار (۲۰۰۷-۱۹۹۸)

میانگین اقلیمی ده ساله (۱۹۹۸-۲۰۰۷) مربوط به ضخامت اپتیکی ذرات معلق AOT برای هر ماه به صورت مجزا محاسبه شده است (شکل ۲). چنانکه از تصاویر مشاهده می‌شود همواره حاشیه جنوبی خلیج (سواحل امارات متحده) آستانه‌ای از حضور ذرات را در طول سال تجربه می‌کند. روند افزایشی گردوغبار در منطقه از اواخر بهار (ماه می) از سواحل جنوبی شروع شده و با گسترس تدریجی به سمت سواحل شمالی و غرب، تا اواسط تابستان (ماه جولای) به حداکثر میزان غلظت خود می‌رسد. تصاویر تهیه شده به وضوح نشان می‌دهد که ماه جولای بیشینه‌ی حضور ذرات معلق در خلیج فارس اتفاق می‌افتد و پس از آن با شروع یک روند کاهشی، در اوایل زمستان (ماه دسامبر) به کمترین میزان خود می‌رسد. دوره سه ماهه دسامبر تا فوریه (زمستان) پاکترین دوره از نظر حضور ذرات معلق روی خلیج فارس طبقه‌بندی می‌شود. بیشترین تراکم ذرات همواره در نیمه جنوبی و شرقی خلیج اتفاق افتاده است و در زمان کاهش تراکم، پسروی غلظت ذرات از جهت شمال‌غرب به جنوب‌شرق کاملاً مشهود است.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1393.4.3.7.5]



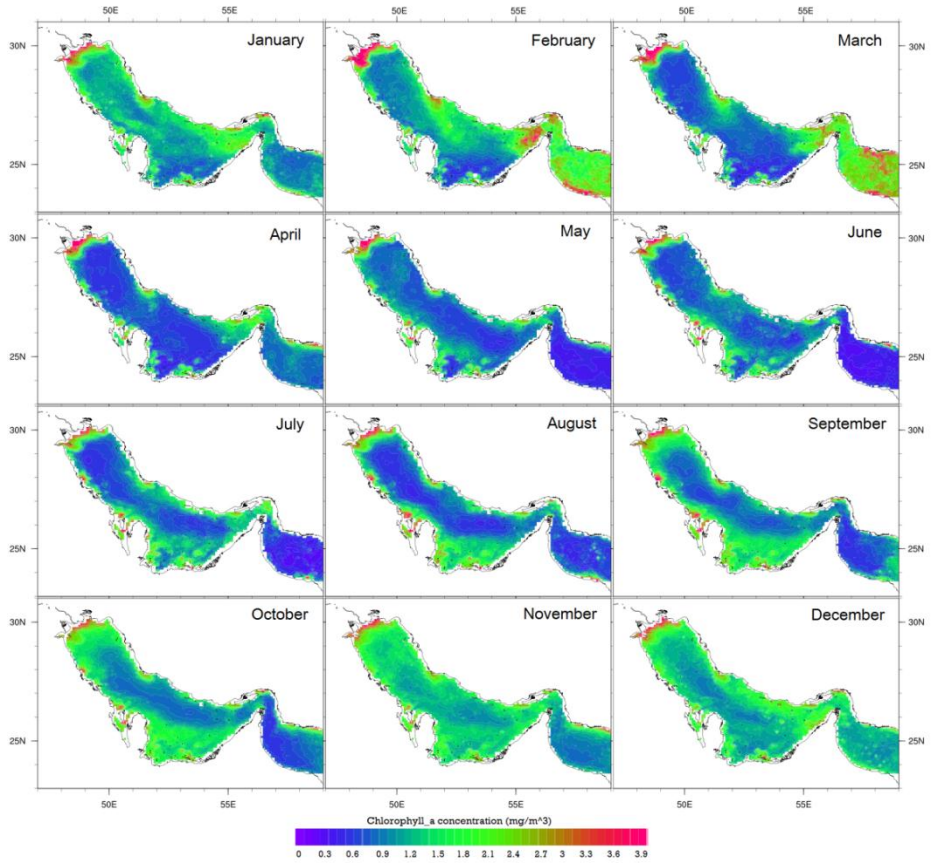
شکل ۲. میانگین اقلیمی ده ساله مربوط به پراکندگی ذرات معلق در منطقه خلیج فارس برای هر ماه به صورت مجزا

رفتار زمانی- مکانی توزیع کلروفیل (۲۰۰۷-۱۹۹۸)

همانند الگوی اقلیمی تهیه شده در دوره مورد مطالعه برای توزیع ذرات معلق روی خلیج فارس، الگوی اقلیمی ده ساله مربوط به کلروفیل نیز تهیه شده است (شکل ۳). تصاویر مربوط به میزان غلظت و پراکندگی کلروفیل، برای مناطق مختلف خلیج فارس در طول ماه‌های مختلف متفاوت است و همه نقاط از الگوی یکسانی پیروی نمی‌کنند. ناحیه شرقی خلیج فارس و تنگه هرمز بیشینه‌ی مقدار کلروفیل را از اواخر پاییز تا اواسط بهار (نوامبر تا آوریل) تجربه می‌کند. حداکثر غلظت کلروفیل در سواحل شمالی نیز در دوره سرد سال از نوامبر تا فوریه اتفاق می‌افتد و سهم شمال غرب نیز در حداکثر میزان کلروفیل مربوط به فصول بهار و سپس زمستان است. منتهی الیه شمال غرب خلیج به دلیل وجود جریان‌های رودخانه‌ای در طول سال، از نظر مواد مغذی غنی است و همواره بیشینه غلظت کلروفیل را تجربه می‌کند، اما بیشینه آن در دوره ماه‌های سپتامبر تا ژانویه اتفاق می‌افتد. در ناحیه جنوبی در فصول تابستان و پاییز (جولای تا دسامبر) غلظت کلروفیل به حداکثر رشد و پراکنش خود می‌رسد. آنچه از تصاویر دریافت می‌شود در بیشتر نقاط خلیج فارس بیشینه غلظت کلروفیل در فصول سرد رخ داده است و در فصول گرم فعالیت کلروفیل‌ها به کمترین میزان خود رسیده است در حالی که این الگو برای نقاط جنوبی کاملاً بر عکس عمل کرده و در این نواحی در فصل گرم سال افزایش در میزان غلظت کلروفیل مشاهده می‌شود.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-01-29]

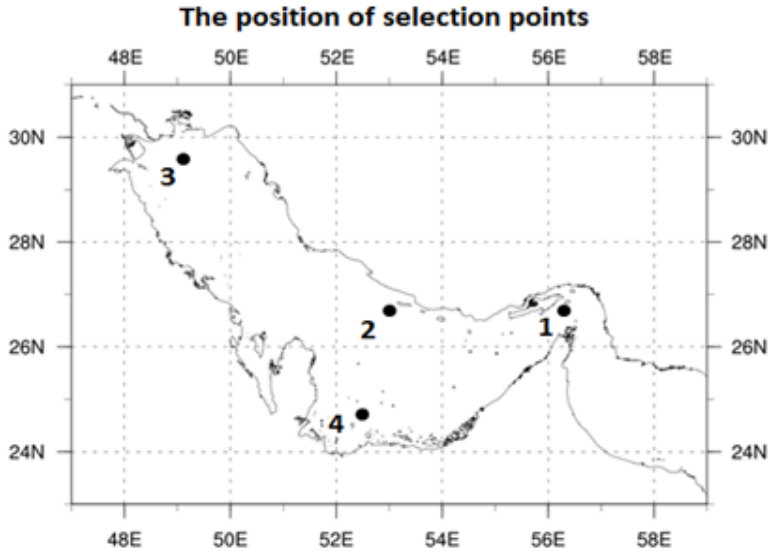
[DOR: 20.1001.1.23222751.1393.4.3.7.5]



شکل ۳. میانگین اقلیمی ده ساله تغییرات کلروفیل بر حسب میلی‌گرم بر متر مکعب در منطقه خلیج فارس برای هر ماه به صورت مجزا

بررسی همبستگی بین تراکم ذرات معلق و غلظت کلروفیل (۲۰۰۷-۱۹۹۸)

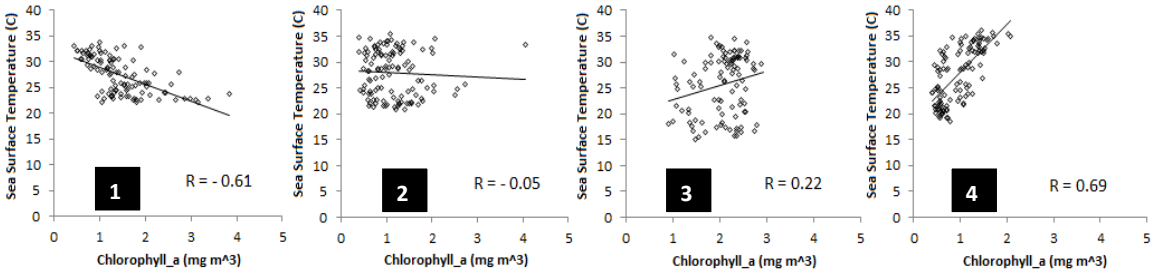
به منظور بررسی ارتباط بین دمای سطح آب و میزان افزایش کلروفیل، نقاطی برای نمونه در جهات چهارگانه خلیج فارس انتخاب شدند (شکل ۴) و نمودار همبستگی بین دو کمیت برای هر نقطه در شکل ترسیم گردید (شکل ۵). طبق نتایج به دست آمده، وضعیت کلروفیل در ناحیه جنوبی یک همبستگی مثبت را با دمای سطح آب نشان می‌دهد (شکل ۵-۴) در حالی که در سایر نقاط این همبستگی کمتر و حتی منفی بوده است.



شکل ۴. موقعیت نقاط انتخابی برای بررسی همبستگی بین کمیت‌های مورد مطالعه

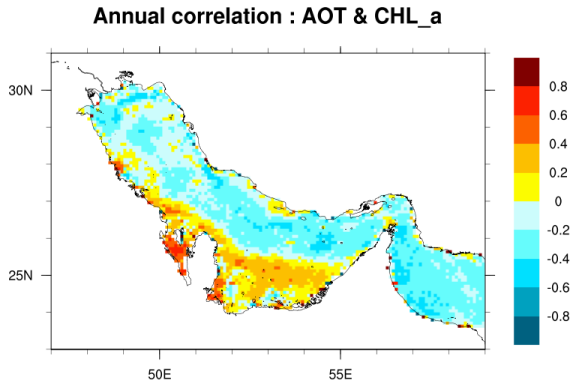
[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1393.4.3.7.5]

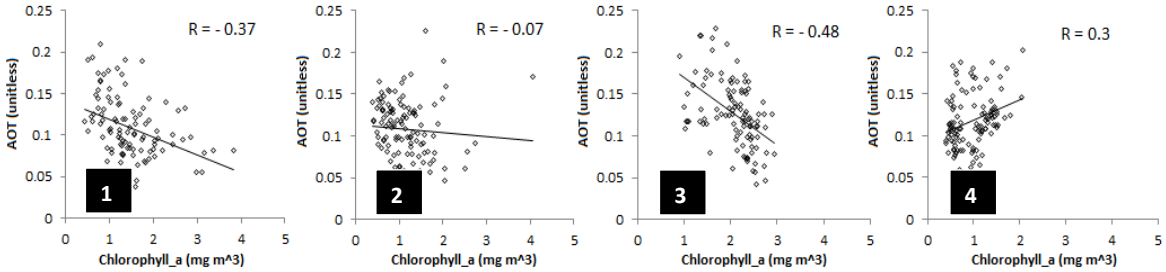


شکل ۵. نمودار همبستگی بین غلظت کلروفیل (محور افقی) و دمای سطح آب (محور عمودی) برای نقاط انتخابی

با توجه به اینکه سایر عوامل مؤثر در رشد کلروفیل، در این موقع از سال و در ناحیه جنوبی در وضعیت نامطلوب هستند، احتمالاً حضور ذرات معلق می‌تواند به عنوان عامل محرک در رشد کلروفیل عمل کند. برای اثبات این موضوع ابتدا میزان همبستگی بین ذرات معلق و کلروفیل برای هر ماه و نیز برای کل سال محاسبه شد. میانگین سالیانه همبستگی بین دو کمیت در عرض‌های جنوبی‌تر و نزدیک سواحل میزان بالاتری را نشان می‌دهد (شکل ۶). علاوه بر این نمودارهای همبستگی ترسیم شده بین غلظت کلروفیل و ذرات معلق نیز در همان نقاط چهارگانه میزان همبستگی بالاتر این دو کمیت را در ناحیه جنوبی نسبت به سایر نواحی خلیج فارس تأیید می‌کنند (شکل ۷).



شکل ۶. میانگین همبستگی سالانه بین میزان تراکم ذرات معلق و غلظت کلروفیل

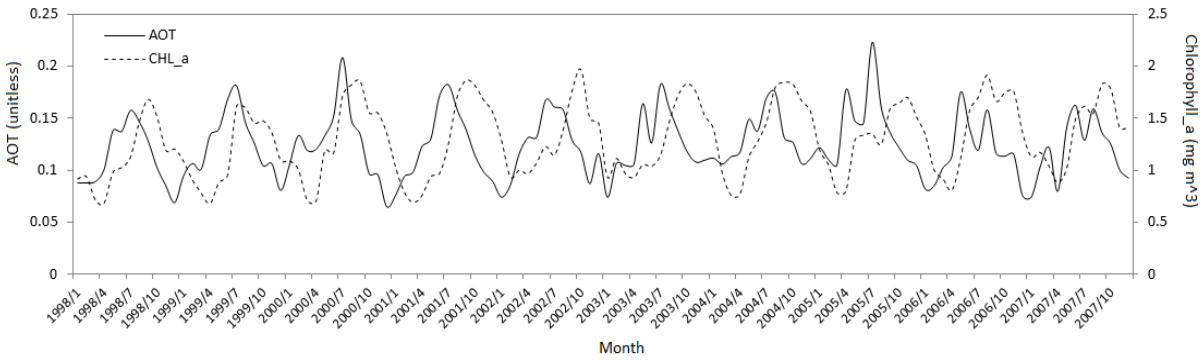


شکل ۷. نمودار همبستگی بین غلظت کلروفیل (محور افقی) و غلظت ذرات معلق (محور عمودی) برای نقاط انتخابی

در بررسی سری‌های زمانی نیز، موارد متعددی از افزایش همزمان دو کمیتِ غلظت ذرات معلق و کلروفیل، با هم مشاهده شد. نمونه‌ای از سری زمانی استخراج شده برای ناحیه جنوبی در شکل ۸ نشان داده شده است. با دقت در این نمودار مشاهده می‌شود که بیشینه‌ی کلروفیل همیشه همزمان با وقوع توفان اتفاق نمی‌افتد و در نمونه‌های متعددی تأثیر ذرات معلق بر تجمع کلروفیل‌ها با یک تأخیر زمانی همراه است. افزایش میزان همبستگی از ۰/۱۹ به ۰/۵۱ با در نظر گرفتن یک گام تأخیر زمانی،

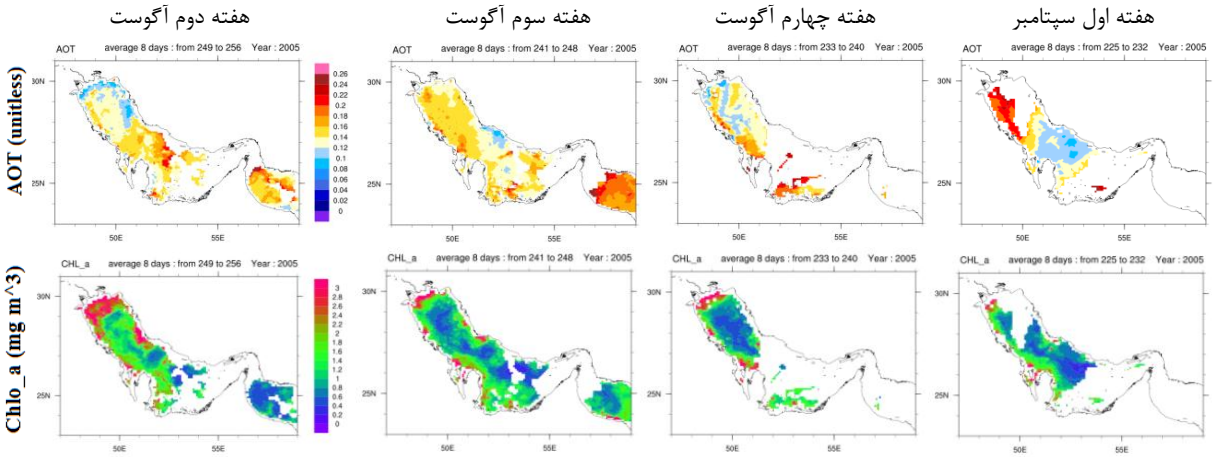
[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-01-29]
[DOR: 20.1001.1.23222751.1393.4.3.7.5]

این مسئله را تأیید می‌کند. این نتایج با مطالعات قبلی نیز همخوانی دارد (Martin *et al.*, 1989; Neuer *et al.*, 2004; Chase *et al.*, 2006; Chen *et al.*, 2007).



شکل ۹. سری زمانی تغییرات ذرات معلق و کلروفیل در دوره ده ساله ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۷ برای ناحیه جنوبی خلیج فارس

برای بررسی جزئی‌تر و ذکر مثال‌های مشخص، از مقایسه ماه‌های مشابه در کل سال‌های مورد مطالعه با هم و با الگوی میانگین، مواردی از وقوع توفان انتخاب شد و پس از استخراج داده‌های میانگین ۸ روزه برای هر دو کمیت در بازه زمانی یکسان، تصاویر هفتگی مربوط تهیه و با هم مقایسه گردید. نمونه‌های انتخابی، هفته وقوع توفان در هر منطقه از خلیج فارس و تغییرات کلروفیل قبل و بعد از وقوع توفان را نشان داد که نتایج، تأیید کننده افزایش میزان کلروفیل همزمان با وقوع توفان و حتی پس از آن است. نمونه‌ای از تصاویر تهیه شده در ادامه نمایش داده شده است (شکل ۱۰). در این مورد ملاحظه می‌شود که با شروع توفان در هفته دوم ماه آگوست و ادامه آن تا هفته چهارم میزان کلروفیل نیز در منطقه افزایش یافته است و پس از آن با کاهش توفان در هفته اول سپتامبر، همچنان غلظت کلروفیل در منطقه شمال غرب به روند افزایشی خود ادامه داده است.



شکل۱۰. تصاویر هفتگی از وقوع توفان در آگوست ۲۰۰۵ (بالا) و تغییرات کلروفیل (پایین) از چپ به راست

بحث

عوامل متنوعی بر میزان غلظت کلروفیل سطح آب اثرگذارند که از آن بین می‌توان به تابش نور خورشید، میزان بارش، سرعت باد، دمای سطح آب، شار غبار و میزان مواد مغذی در دسترس اشاره کرد. دو عامل اصلی در ازدیاد فیتوپلانکتون‌ها دما و مواد مغذی به خصوص مواد فسفردار و نتیرات است. تناوب تابش و بارندگی کمک بسزایی در رشد این موجودات می‌کند و وزش توفان و گردوغبار از طرف بیابان‌ها نیز باعث فراهم شدن ذرات آهن‌دار می‌شود. همانطور که ذکر شد تقریباً در تمام نواحی خلیج فارس به غیر از ناحیه جنوبی، میزان کلروفیل در فصول سرد با کاهش دمای سطح آب، افزایش می‌یابد. در طول ماه‌های گرم سال به دلیل دمای بالای آب، فعالیت فتوسنتز در تجمع کلروفیل‌ها محدود شده و پراکندگی آن‌ها به کمترین میزان خود می‌رسد. اما ناحیه جنوبی، درست در همین موقع از سال افزایش میزان و پراکندگی کلروفیل را در حد قابل ملاحظه‌ای نشان

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1393.4.3.7.5]

می‌دهد. با توجه به نامساعد بودن سایر عوامل فیزیکی از جمله بارش و دمای سطح آب در این مقطع زمانی و نیز عدم وجود منابع تأمین‌کننده مواد مغذی همچون جریان‌های فراچاهنده[7] و منابع تخلیه رودخانه‌ای در سواحل جنوبی، تنها دلیل برای افزایش فعالیت کلروفیل‌ها، وقوع توفان‌های پی در پی، در این فصل از سال است که مواد مغذی مورد نیاز را فراهم می‌کند. نتایج به دست آمده نیز این مسئله را تأیید کرد. اگرچه در نمونه‌های بسیاری نیز این واکنش با تأخیر زمانی همراه است. علت تأخیر واکنش کلروفیل، زمان مورد نیاز برای نشت و انحلال ذرات در آب و آماده شدن برای جذب توسط کلروفیل‌ها می‌باشد. در واقع آن چیزی که زیست توده‌های پلانکتونی را تحت تأثیر قرار می‌دهد شار ورودی گردوغبار نیست، بلکه میزان آهن حل شده در آب است. آهن زیستی در دسترس که به صورت محلول در آب دریا موجود است، یون آهن دوظرفیتی است که تمایل دارد همیشه در کمترین غلظت باقی بماند در حالی که بیشترین آهن رسیده به اقیانوس و اکوسیستم آبی از منابع خارجی را یون آهن سه ظرفیتی تشکیل می‌دهد. این تبدیل حالت بستگی به میزان تماس ذرات با اتمسفر و سطح آب دارد که معمولاً حدود یک هفته یا بیشتر زمان می‌برد (Bonnet and Guieu, 2004; Justiniano, 2010). بنابراین نشت گردوغبار می‌تواند عامل کلیدی در افزایش تولیدات اولیه در جوامع فیتوپلانکتونی به حساب آید. در مناطق نزدیک ساحل به دلیل وجود آلاینده‌های شهری از میزان تأثیر گردوغبار در تأمین مواد مغذی مورد نیاز کاسته می‌شود ولی مناطق دور از ساحل تأثیر گردوغبار بر بلوم‌های جلبکی را بیشتر نشان می‌دهد.

در این مطالعه رفتار توفان‌های گردوغبار در منطقه خلیج فارس برای دوره زمانی ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۷ و نیز تأثیر آن بر تغییرات کلروفیل بررسی گردید. آنالیز داده‌های میانگین ماهیانه از یک دوره ده ساله، بیشینه‌ی میزان گردوغبار را برای ماه‌های گرم و بیشترین میزان آن را برای ماه جولای (اواسط تابستان) نشان داد. بالاترین غلظت ذرات معلق نیز در حاشیه‌های جنوبی خلیج فارس مشاهده شد. بررسی الگوی تغییرات غلظت و پراکندگی کلروفیل نشان داد تقریباً در تمام نواحی به استثنای ناحیه جنوبی، غلظت کلروفیل با دمای آب رابطه‌ی معکوس دارد. بر اساس نتایج، حضور ذرات معلق در دوره‌ی گرم سال در ناحیه جنوبی، با توجه به نامساعد بودن سایر شرایط محیطی و به خصوص دمای سطح آب، عامل اصلی در تحریک رشد فیتوپلانکتون‌هاست. همچنین در نمونه‌های متعددی تأثیر ذرات معلق بر تجمع کلروفیل‌ها با یک تأخیر زمانی همراه بود که افزایش میزان همبستگی از ۰/۱۹ به ۰/۵۱ با در نظر گرفتن یک گام تأخیر زمانی، این مسئله را تأیید کرد. علت تأخیر در واکنش کلروفیل به حضور ذرات معلق، زمان مورد نیاز برای نهشت و انحلال ذرات در آب و آماده شدن برای جذب توسط کلروفیل‌ها می‌باشد.

منابـع

Bonnet, S., Guieu, C. 2004. Dissolution of atmospheric iron in seawater. Geophysical Research Letters. 31: 1-4.

Boyd, P.W. 2000. A mesoscale phytoplankton bloom in the polar Southern Ocean stimulated by iron fertilization. Nature. 407: 695-702.

Chao, S.Y., Kao, T.W., Al-Hajri, K.R. 1992. A numerical investigation of circulation in the Arabian Gulf. Journal of Geophysical Research. 97(7): 11219-11236.

Chase, Z., Paytan, A., Johnson, K.S., Street, J.H., Chen, Y. 2006. Input and cycling of iron in the Gulf of Aqaba, Red Sea. Global Biogeochemical Cycles. 20(3): GB3017.

Chen, Y., Mills, S., Street, J., Golan, D., Post, A., Jacobson, M., Paythan, A. 2007. Estimates of atmospheric dry deposition and associated input of nutrients to Gulf of Aqaba seawater. Journal of Geophysical Research- Atmospheres. 112: D04309.

Dacey, J.W., Wakeham, S.G. 1986. Oceanic dimethyl sulfide: production during zooplankton grazing on phytoplankton. Science. 233(4770): 1314-1316.

El-Sabh, M.L., Murty, T.S. 1989. Storm surges in the Persian Gulf. Natural Hazards. 1(4): 371-385.

Elshorbady, W., Azam, M.H., Taguchi, K. 2006. Hydrodynamic characterization and modeling of the Persian Gulf. Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering-ASCE. 132(1): 47-56.

[7] Up welling

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1393.4.3.7.5]

Husar, R.B., Prospero, J.M., Stowe, L.L. 1997. Characterization of tropospheric aerosols over the oceans with the NOAA advanced very high resolution radiometer optical thickness operational product. Journal of Geophysical Research-Atmospheres. 102(D14): 16889-16909.

Justiniano Santos, A.M. 2010. Influence of Saharan aerosols on phytoplankton biomass in the tropical north atlantic ocean. PHD Thesis in Marine Sciences (Biological Oceanography). University of Puerto Rico, Mayaguez campus.

Kumar, S.P., Roshin, R.P., Narvekar, J., Dinesh, Kumar, P.K., Vivekanandan, E. 2010. What drives the increased phytoplankton biomass in the Arabian Sea. Current Science. 99(1): 101-106.

Lavendera, S.J., Pinkerton, M.H., Moored, G.F., Aikend, J., Blondeau-Patissier, D. 2005. Modification to the atmospheric correction of SeaWiFS Ocean colour images over turbid waters. Continental Shelf Research. 25: 539-555.

Lin, Y.C., Chen, J.P. 2007. Impact of Atmospheric Input on Marine Phytoplankton. SOLAS Open Science Meeting. 6-9 March 2007, Xiamen, China.

Martin, J.M., Elbaz-Poulichet, F., Guieu, C., Loye-Pilot, M.D., Han, G. 1989. River versus atmospheric input of material to the Mediterranean Sea: An overview. Marine Chemistry. 28(3): 159-182.

Neuer, S., Torres, M.E., Rueda, M.J., Davenport, R., Wefer, G. 2004. Dust deposition pulses to the eastern subtropical North Atlantic gyre: Does ocean's biogeochemistry respond? Global Biogeochemical Cycles. 18(4): GB4020.

Reynolds, R.M. 1993. Physical oceanography of the Gulf, Strait of Hormuz, and the Gulf of Oman results from the MT Mitchell expedition. Marine Pollution Bulletin. 27: 35-59.

Patra, P.K., Kumar, M., Mahowald, N., Sarma, V.S. 2007. Atmospheric deposition and surface stratification as controls of contrasting chlorophyll abundance in the North Indian Ocean. Jornal of Geophysical Research. 112 (C0): 5029.

Schollaert, S.E., Yoder, J.A., O'Reilly, J.E., Westphal, D.L. 2003. Influence of dust and sulfate aerosols on ocean color spectra and chlorophyll a concentrations derived from SeaWiFS off the U.S. east coast. Journal of Geophysical Research. 108 (C6): 3191.

Swift, S.A., Bower, A.S. 2003. Formation and circulation of dense water in the Persian/Arabian Gulf. Journal of Geophysical Research-Oceans. 108(C1): 3004.

Toumazou, V., Cretaux, J. 2001. Using a Lanczos Eigen solver in the Computation of Empirical Orthogonal Functions. American Meteorological Society. 129: 1243-1250.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1393.4.3.7.5]