



ORIGINAL RESEARCH PAPER (Marine Science)

Impact of Atmospheric Factors with Emphasis on Dust Concentration on Chlorophyll in the Southeast of the Caspian Sea (2007-2017)

Elham Mobarak Hassan ^{1*}¹ Department of Environment, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

ARTICLE INFO

Code: A-10-1236-3

Article History:

Received: 01/03/2020

Revised: 26/09/2021

Accepted: 01/07/2021

Keywords:

Surface dust concentration

Chlorophyll concentration

Caspian Sea

weather factors

*Corresponding author:

mobarak_e@yahoo.com

10.52547/joc.12.46.73

ABSTRACT

Background and Objectives: Marine phytoplankton masses are the primary source of aquatic ecosystems whose concentrations vary due to various factors such as dust. The Caspian Sea is affected by dust storms due to its proximity to the Turkmen deserts.**Methods:** The purpose of this study was to investigate atmospheric factors, especially dust, on chlorophyll concentration in the southeast of the Caspian Sea in the long-term period 2007 to 2017. For this purpose, Aqua satellite data and the Merra-2 model were used.**Findings:** The research findings show the maximum chlorophyll and surface dust concentration in autumn and the maximum aerosol optical depth (AOD) in summer. In autumn, chlorophyll increases significantly on the shores of Mazandaran and Guilan, so the highest chlorophyll concentration of 11.2 mg / m³ was obtained in September at Station No. 2 (near the coast of Mazandaran). The increasing wind speeds and solar radiation in the Balkans have increased surface dust concentrations transmitted to the Caspian Sea with western winds in autumn. Increasing solar radiation resulted in a decrease in chlorophyll (correlation coefficient of -0.41 to -0.57), while increasing wind speed resulted in an increase in chlorophyll (correlation coefficient of +0.2 to +0.54). When dust concentration increased, chlorophyll increased (+ 0.34 positive correlation) in September, and when dust decreased, chlorophyll decreased (-0.32 negative correlation) in spring.**Conclusion:** The relationship between dust and chlorophyll in years with different dust concentrations is not similar.

©2021 JOC. All rights reserved



NUMBER OF TABLES

3



NUMBER OF FIGURES

9



NUMBER OF REFERENCES

41

مقاله پژوهشی (علوم دریایی)

بررسی تأثیر عوامل جوی با تاکید بر گرد و خاک بر تغییرات کلروفیل در جنوب شرق دریای خزر

(۲۰۱۷-۲۰۰۷)

الهام مبارک حسن^{۱*}^۱ گروه محیط‌زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

اطلاعات مقاله

چکیده

پیشینه و اهداف: توده‌های فیتوپلانکتون دریایی اساس و منبع اصلی اکوسیستم آبی هستند که غلظت آن‌ها تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله گرد و خاک تغییر می‌کند. دریای خزر به واسطه نزدیکی به بیابان‌های ترکمنستان تحت تأثیر توفان‌های گرد و خاک قرار دارد.

روش‌ها: هدف از این مطالعه بررسی عوامل جوی به ویژه گرد و خاک بر غلظت کلروفیل در جنوب شرق دریای خزر در بازه بلندمدت ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۷ است. بدین منظور از داده‌های ماهواره آکوا و مدل Merra-2 استفاده شد.

یافته‌ها: یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد که بیشینه کلروفیل و غلظت گرد و خاک سطحی در فصل پاییز و به شینه عمق نوری هواویزها (AOD) در فصل تابستان است. در فصل پاییز، کلروفیل در سواحل مازندران و گیلان افزایش قابل توجهی می‌یابد. بیشترین غلظت کلروفیل ۱۱/۲ میلی‌گرم بر مترمکعب در سپتامبر در ایستگاه شماره ۲ (در نزدیکی سواحل مازندران) به دست آمد. در فصل پاییز افزایش سرعت باد و افزایش تابش خورشیدی دریافتی در منطقه بالکان منجر به افزایش غلظت گرد و خاک سطحی شده که همراه با بادهای غربی به دریای خزر انتقال می‌یابد. افزایش تابش خورشیدی منجر به کاهش کلروفیل شده (ضریب همبستگی ۰/۴۱- تا ۰/۵۷-) در حالی که افزایش سرعت باد منجر به افزایش کلروفیل (ضریب همبستگی ۰/۲+ تا ۰/۵۴+) می‌شود. در سپتامبر که غلظت گرد و خاک افزایش می‌یابد، کلروفیل نیز افزایش داشته (همبستگی مثبت ۰/۳۴+) و در بهار که غلظت گرد و خاک کاهش می‌یابد، کلروفیل کاهش (همبستگی منفی ۰/۳۲-) می‌یابد.

نتیجه‌گیری: رابطه گرد و خاک و کلروفیل در سال‌ها با غلظت گرد و خاک متفاوت، مشابه نیست.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۱۱
تاریخ بازبینی: ۱۴۰۰/۰۷/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۱۰

واژگان کلیدی:

غلظت گرد و خاک سطحی
غلظت کلروفیل
دریای خزر
عوامل جوی

*نویسنده مسئول

✉ mobarak_e@yahoo.com

مقدمه

رابطه مشخصی بین گردو خاک و کلروفیل به دست نیامده یا همبستگی بسیار ضعیفی بین آن دو مشاهده شده است، که می‌تواند بیان‌گر اثر منفی گردو خاک بر کلروفیل باشد [۲۱، ۲۲]. به‌طور کلی اثر گردو خاک بر منابع آبی کاملاً شناخته‌شده نبوده و با بر رشد انواع مختلف فیتوپلانکتون‌ها رابطه غیرخطی دارد. افزایش غلظت گردو خاک از حد معینی (آستانه) همراه با تأثیر عوامل جوی و دریایی دیگر در برخی موارد منجر به افزایش کلروفیل و در برخی دیگر منجر به کاهش آن می‌شود [۲۲].

آستانه مشخصی در میزان یا نحوه اثرگذاری (افزایش یا کاهش) گردو خاک بر کلروفیل نمی‌توان تعیین نمود [۲۲]. از طرفی فعالیت‌های صنعتی، انتقال آب رودخانه‌ها و فعالیت‌های لایه‌های زمین نیز بر غلظت کلروفیل مؤثر هستند. با توجه به نقش عامل‌های جوی، طبیعی و صنعتی در تغییر غلظت کلروفیل، تعیین اثر گردو خاک به‌آسانی قابل تفکیک نیست. علاوه بر آن نوع عنصرهای همراه با گردو خاک با توجه به منشأ شکل‌گیری آن، اهمیت ویژه‌ای در محیط‌های آبی دارد. نقش ساختار همدیدی، جهت میدان و کانون‌های گردو خاک در نوع عنصر، ترابرد و نهشت گردو خاک تأثیر گزار هستند. بادهای شمال غربی، گردو خاک را از شمال غرب و غرب عراق به سوی خلیج فارس انتقال داده و در آن پهنه آبی نهشت می‌نماید [۲۳].

هدف از این تحقیق بررسی رابطه بین عامل‌های جوی به‌ویژه گردو خاک و غلظت کلروفیل در خزر جنوبی است. در این تحقیق با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور توزیع مکانی و زمانی عامل‌های جوی و کلروفیل در خزر جنوبی در مجاورت منطقه بالکان مورد بحث قرار می‌گیرد. در مطالعه‌های پیشین به‌منظور بررسی اثر گردو خاک از عمق نوری هواویزها (Aerosol Optical Depth) استفاده شده است که نشان‌دهنده هواویزهای جوی است اما در تحقیق حاضر گردو خاک به‌دست‌آمده از داده‌های ماهواره استفاده شده است.

روش پژوهش

۱. منطقه مورد مطالعه

دریای خزر بزرگ‌ترین حجم آبی بسته جهان است [۲۴] که نسبت به محیط‌های آبی باز تنوع زیستی کمتری دارد. دریای خزر با در نظر گرفتن خصوصیات هیدرولوژیکی، موقعیت جغرافیایی، ساختار بستر و ساختار فیزیکی به سه بخش خزر شمالی، خزر میانی، خزر جنوبی تقسیم شده است. محدوده خزر جنوبی از خزر میانی تا کرانه‌های ساحل ایران بوده و دریای مازندران نیز نامیده می‌شود. خزر جنوبی نسبت به سایر نقاط دریا عمیق‌تر بوده و بیشترین عمق در این قسمت ۱۰۲۵ متر می‌باشد [۲۵]. بخش جنوبی دریای خزر به دلیل نزدیکی به بیابان‌های ترکمنستان تحت تأثیر گردو خاک می‌باشد (شکل ۱).

بیابان قره قوم یکی از بزرگ‌ترین و گرم‌ترین بیابان‌های دنیا است که از جهت غربی شرقی از دشت‌های آمودریا شروع شده و تا مسیر حدود ۱۲۲ کیلومتر ادامه می‌یابد. در طی سال‌های اخیر گرم شدن زمین

فیتوپلانکتون‌های دریایی اساس و منبع اصلی اکوسیستم آبی هستند. فیتوپلانکتون‌ها پس از دریافت انرژی خورشیدی، ترکیبات آلی تولید نموده و اولین حلقه زنجیره غذایی در اقیانوس‌ها محسوب می‌شوند [۱]. حدود نیمی از فعالیت فتوسنتز و اکسیژن تولیدشده در چرخه حیات در کره زمین و تولید بیش از ۹۰ درصد ماده آلی محلول در آب به فعالیت این موجودات وابسته است [۲، ۳].

فیتوپلانکتون‌ها به دلیل برخی مشخصه‌ها مانند عمر کوتاه، فراوانی زیاد و تنوع گونه‌ای، برای شناسایی آلودگی‌ها مناسب بوده و به‌طور کلی تغییر شرایط محیطی را نشان می‌دهند [۴]. تغییر مواد مغذی، فرایندهای هیدرولوژی و هواشناختی در تغییر فیتوپلانکتون‌ها مؤثر هستند [۵]. جو یکی از مهم‌ترین مسیرهای انتقال و پخش مواد مغذی، معدنی، میکروارگانسیم‌ها و فلزات کمیاب از سطح قاره‌ها به اقیانوس‌هاست. از جمله عامل‌های هواشناسی که بر تغییر فیتوپلانکتون‌های آبی تأثیر دارند، می‌توان شار تابش خورشید، بارش، سرعت باد، دمای سطح آب، هواویزها، شار گردو خاک، تابش در دسترس فتوسنتزی Photosynthetically available radiation را نام برد [۶].

عامل‌های جوی یاد شده می‌توانند مواد معدنی از جمله فسفر و نیترات، آهن و آلومینیوم را به محیط‌های آبی انتقال دهند. جذب آن‌ها، نرخ فتوسنتز و تولید اولیه توسط فیتوپلانکتون را افزایش می‌دهد [۶-۱۰]. کلروفیل عامل فتوسنتز و معرف میزان فراوانی فیتوپلانکتون‌ها می‌باشد. به‌منظور بررسی تأثیر شرایط محیطی و از جمله هواویزها و گردو خاک بر بیوژئوشیمی اقیانوس از غلظت رنگ‌دانه کلروفیل استفاده می‌شود [۱۱].

انتقال گردو خاک به‌عنوان یک نوع از هواویزها بر منابع آبی تأثیر به‌سزایی دارد. هواویزها و گردو خاک جوی به شکل‌های متفاوتی بر فعالیت‌های دریایی اثر دارند. هواویزها و گردو خاک منتقل شده به اقیانوس‌ها مستقیماً در تحریک رشد فیتوپلانکتون‌ها تأثیرگذار نبوده بلکه عناصر همراه با آن‌ها به دریاها و اقیانوس‌ها وارد می‌شوند [۱۲]. با نهشت گردو خاک حاوی آهن و آلومینیوم در منابع آبی، میزان حل شدن آن عناصر در آب‌های سطحی افزایش می‌یابد. ممکن است وجود گردو خاک بر تابش خورشید تأثیر اندکی داشته باشد، اما این فرآیند در جهت افزایش تولید اولیه فیتوپلانکتون‌ها عمل نموده و محرک رشد می‌باشد [۹-۱۱، ۱۳-۱۸]. بنابراین گردو خاک به‌عنوان منشأ خارجی در فراهم نمودن عنصرهای مورد نیاز فتوسنتز دریایی عمل می‌نماید. در برخی مواقع نیز اثر گردو خاک‌های بیابانی بر کلروفیل منفی است [۱۹، ۲۰].

هنگام وقوع گردو خاک کاهش تابش خورشیدی و در نتیجه کاهش فعالیت فتوسنتزی و تولید اولیه رخ می‌دهد [۱۹] که حاصل آن کاهش کلروفیل خواهد بود. در حالت دیگر در گردو خاک‌های بسیار شدید

می توان اثر هواویزها و گردوخاک را بر منابع آبی مورد تحقیق قرار داده و همچنین تغییر غلظت فیتوپلانکتون‌ها را تخمین زد [۲۷-۳۳]

در تنگه هرمز با استفاده از داده‌های سنجنده مودیس پارامترهای زیست‌محیطی به‌ویژه کلروفیل برآورد شده‌اند [۳۴]

عملکرد سنجنش‌ازدور در ارزیابی کیفیت آب توسط بازتاب طیف‌های^۱ نوری مختلف انجام می‌شود. تابش خورشیدی رسیده به سطح آب پس از پراکنده شدن توسط ذره و مولکول‌های آب به جو بازگشته و از سطح آب بازتاب می‌شود. الگوریتم‌های استاندارد که بر اساس داده‌های رنگ اقیانوس، عمل می‌کنند، برای آب‌های آزاد طراحی شده‌اند. این الگوریتم‌ها در منطقه آب‌های کم‌عمق ساحلی مقدار کلروفیل را بیشتر برآورد (overestimates) می‌کنند که یکی از دلایل آن وجود رنگ مواد آلی غیرقابل حل و مواد معلق موجود در آب می‌باشد [۳۵]. همچنین اگر در هوای نزدیک سطوح آبی گردوخاک و دیگر هواویزها افزایش یابند، طیف آبی خورشید را بیشتر جذب نموده و بر روی امواج دریافتی سنجنده تأثیر می‌گذارند؛ بنابراین در صورت وجود گردوخاک در هوا احتمال می‌رود، غلظت کلروفیل برآورد شده توسط ماهواره بیش از مقدار واقعی باش [۷، ۳۶].

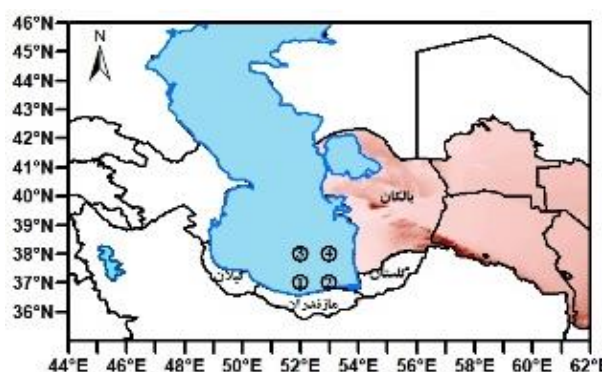
در این مطالعه به منظور بررسی عامل‌های جوی از جمله گردوخاک بر کلروفیل در جنوب شرق دریای خزر، از داده‌های ماهواره در طی دوره ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۷ استفاده شد. داده‌های مربوط به عامل‌های جوی شامل باد سطح ۹۲۵ هکتوپاسکال (متر بر ثانیه)، باد سطحی (متر بر ثانیه) و تابش خورشیدی Surface incoming shortwave flux (وات بر مترمربع)، داده‌های عمق نوری هواویزها (AOD) و غلظت گردوخاک (میکروگرم بر مترمکعب) از MERRA-2 تهیه شد. دومین بازنگری تحلیلی برای تحقیقات و برنامه‌های کاربردی Modern Era Retrospective-analysis for Research and Application 2 (MERRA2 نامیده شده و بر اساس نام دفتر ارزیابی و مدل جهانی ناسا^۲ [۳۷، ۳۸] و با استفاده از داده‌های مشاهداتی ماهواره شامل AVHRR^۳، MODIS^۴، MISR^۵ و AERONE^۶، اجرا می‌شود. محصولات باز تحلیل شده از سال ۱۹۸۰ تاکنون در دسترس هستند. داده‌ها در تفکیک مکانی 0.625°×0.5° شامل ۵۷۶ نقطه طول جغرافیایی و ۳۶۱ نقطه عرض جغرافیایی می‌باشند. داده‌های غلظت کلروفیل سطحی (میلی گرم بر مترمکعب) از محصولات ماهواره آکوا با تفکیک مکانی ۴ کیلومتر استخراج شد.

در بررسی‌ها فصل بهار شامل مارس، آوریل و مه (MAM)؛ فصل تابستان شامل ژوئن، ژوئیه و اوت (JJA)؛ فصل پاییز شامل سپتامبر، اکتبر و نوامبر (SON) و فصل زمستان شامل دسامبر، ژانویه و فوریه (DJF) در نظر گرفته شده‌اند. ابتدا توزیع فصلی متغیرهای مورد بررسی در گستره ایران ترسیم شده و سپس روند تغییرات بلندمدت درون

کاهش بارش و افزایش خشک‌سالی موجب افزایش بیابان‌زایی در صحرای قره قوم شده است [۲۶]. تأثیرپذیری بخش‌های مختلف دریای خزر با توجه به فاصله از کانون، سازوکار شکل‌گیری گردوخاک و همچنین سرعت و جهت باد یکسان نیست.

از دیدگاه هیدرولوژی رودهای مهم استان مازندران شامل هراز، چالوس، تجن، تالار و بابل به بخش جنوب شرق دریای مازندران می‌ریزند. انتقال آب رودخانه‌ها به خزر می‌تواند منشأ مواد مغذی برای تولید فیتوپلانکتون‌ها باشد. علاوه بر آن اگر همراه با مواد صنعتی و عناصر سمی باشد، منجر به کاهش کلروفیل خواهد شد. عمده منابع شناخته‌شده هیدروکربنی دریای خزر در منطقه خزر جنوبی واقع است. بیشتر مخازن نفت در منطقه‌ی بالکان در غرب ترکمنستان و سواحل شرقی خزر قرار دارد. صادرات نفت و گاز عمدتاً از طریق خط لوله و همچنین کشتی در دریای خزر صورت می‌گیرد. بندر ترکمن باشی (کراسنوسک) در استان بالکان در صادرات نفت و گاز ترکمنستان نقش کلیدی دارد؛ بنابراین بخش جنوب شرقی خزر تحت تأثیر عوامل محیطی طبیعی و صنعتی قرار دارد که هر یک از آن‌ها در تغییر غلظت کلروفیل نقش متفاوتی دارد.

به دلیل وسعت و تنوع ساختاری منابع آبی و با توجه به پهنه‌بندی گردوخاک و کلروفیل، در جنوب شرق دریای خزر چهار ایستگاه شاهد در بخش‌های غربی بالکان انتخاب شد (شکل ۱). دو ایستگاه ۱ و ۲ در نزدیکی مرز آبی مازندران و ایستگاه ۴ در نزدیکی سواحل ترکمنستان و ایستگاه ۳ در منطقه مرکزی جنوب خزر انتخاب شدند.



شکل ۱: موقعیت پهنه‌های آبی ایران

Fig. 1: Location of Iran's aqua areas

۲. داده‌ها

با توجه به گستردگی پهنه‌های آبی و محدودیت‌های متعدد، داده‌های مشاهداتی اندکی در دسترس می‌باشد. اندازه‌گیری‌های انجام‌شده توسط ماهواره، تنها داده موجود برای تهیه نقشه‌های بزرگ‌مقیاس منطقه‌ای و جهانی هستند. با استفاده از داده سنجنده‌های مختلف

^۱ Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

^۲ Multiangle Imaging Spectroradiometer

^۳ Aerosol Robotic Network

^۴ Spectral reflectance

^۵ NASA's Global Modeling and Assimilation Office (GMAO) - Goddard Earth Observing System Data Assimilation System Version 5 (GEOS-5 DAS)

^۶ Advanced Very High-Resolution Radiometer)

پ). به این ترتیب بیشینه توزیع افقی گردوخاک سطحی و AOD هماهنگ نیست به طوری که بیشینه گردوخاک سطحی در مرز ترکمنستان قرار داشته اما AOD تمام بخش‌های جنوبی دریای خزر را در بر گرفته است؛ بنابراین AOD لزوماً معرف گردوخاک نبوده و پیش‌تر هم اشاره شد که منابع مختلفی در تغییر مقدار آن مؤثر هستند. انتظار نمی‌رود، رابطه کلروفیل با گردوخاک و AOD مشابه باشد.

در هر چهار فصل دریافت تابش خورشید در بخش شرقی خزر جنوبی بیش از بخش غربی آن است (شکل ۵). انرژی دریافتی در فصل تابستان در حدود ۲۸۰ تا ۳۲۰ و در فصل زمستان بین ۸۰ تا ۱۲۰ وات بر مترمربع می‌باشد. در فصل بهار مقدار تابش دریافتی در ایستگاه ۱ با دیگر ایستگاه تفاوت دارد. در فصل پاییز افزایش انرژی تابشی خورشید در بخش‌های جنوبی بالکان دیده می‌شود. این شرایط در فصل‌های دیگر به چشم نمی‌خورد. به نظر می‌رسد افزایش انرژی تابشی خورشید در این منطقه در فصل پاییز عاملی در جهت افزایش گردوخاک نسبت به فصل‌های دیگر باشد.

سرعت و جهت باد در سطح ۹۲۵ هکتوپاسکال در فصل‌های مختلف سال متفاوت است (شکل ۶). در فصل بهار سرعت باد ۱/۵ متر بر ثانیه با جهت شمال شرقی در شرق خزر و جنوب شرقی در غرب خزر مشاهده می‌شود (شکل ۶ الف). سرعت باد در ایستگاه ۲ و ۴ بیشتر از دو ایستگاه دیگر است. با توجه به جهت وزش باد و بیشینه غلظت گردوخاک سطحی، باد می‌تواند گردوخاک را به بخش جنوب شرق خزر انتقال دهد. در فصل تابستان بیشینه سرعت باد با ۴ متر بر ثانیه و در راستای شمال شرقی مشاهده می‌شود که تقریباً تمامی بخش‌های خزر جنوبی را در برمی‌گیرد (شکل ۶ ب). سرعت باد در ایستگاه ۴ نسبت به سه ایستگاه دیگر بیشتر است. در پاییز باد شمالی با سرعت باد به ۱/۵ متر بر ثانیه در بخش شرقی خزر جنوب قرار داشته در حالی که بیشینه باد غربی در منطقه بالکان دیده می‌شود (شکل ۶ پ). در این فصل گرچه سرعت باد بر روی دریای خزر کمتر از تابستان است اما جهت وزش آن کاملاً متفاوت می‌باشد. افزایش انرژی تابشی خورشیدی در فصل پاییز (شکل ۵ پ) در منطقه بالکان همراه با افزایش سرعت باد (شکل ۶ پ) را می‌توان عامل مهمی در افزایش گردوخاک ترکمنستان در فصل پاییز دانست. جهت غربی باد در ترکمنستان، گردوخاک را از این مناطق به سوی دریای خزر انتقال داده و باد شمال شرقی بر روی خزر، گردوخاک را به بخش‌های جنوبی‌تر گسترش می‌دهند. در فصل زمستان سرعت باد نسبت به پاییز افزایش یافته و بادها غربی در سرتاسر خزر جنوبی، مشاهده می‌شوند (شکل ۶ ت). نکته قابل توجه کاهش سرعت باد در فصل بهار و زمستان در غرب منطقه بالکان می‌باشد.

سالانه در ایستگاه‌های انتخابی انجام شد. از آنجایی که داده‌های کلروفیل توزیع نرمال نداشته و چوله بودند به منظور بررسی رابطه کلروفیل و متغیرهای هواشناسی نیز از روش همبستگی اسپیرمن^۱ استفاده شد. نقشه‌ها توسط نرم‌افزار Grads و ArcGIS ترسیم شده و محاسبه‌های آماری توسط نرم‌افزار OriginPro انجام شده است.

نتایج و بحث

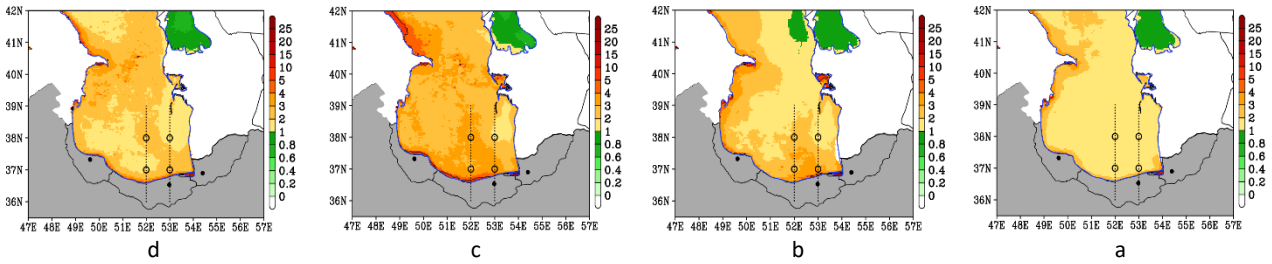
۱. پهنه‌بندی فصلی (۲۰۱۷-۲۰۰۷)

توزیع مکانی کلروفیل در طی چهار فصل مختلف سال در شکل ۲ آورده شده است. بیشترین غلظت کلروفیل در فصل پاییز و کمترین در فصل بهار مشاهده می‌شود. همچنین در فصل بهار در منطقه ساحلی استان مازندران غلظت کلروفیل نسبت به مناطق دور از ساحل بیشتر است (شکل ۲ الف). در فصل تابستان افزایش کلروفیل در سواحل مازندران دیده می‌شود (شکل ۲ ب). در فصل پاییز سواحل مازندران و گیلان افزایش فراوان کلروفیل را نشان می‌دهند (شکل ۲ پ). علت این افزایش را می‌توان انتقال آب رودخانه‌های استان مازندران همراه با مواد مغذی به خزر دانست. از دیگر دلایل نیز می‌توان به عمل کرد الگوریتم‌های برآورد مقدار کلروفیل اشاره نمود که در مناطق آب‌های کم عمق ساحلی مقدار کلروفیل را بیشتر برآورد (overestimates) می‌کنند که با نتیجه [۳۵] هماهنگی دارد. همچنین وجود فعالیت‌های صنعتی در این محدوده می‌تواند عاملی تأثیرگذار دیگری در غلظت کلروفیل باشد.

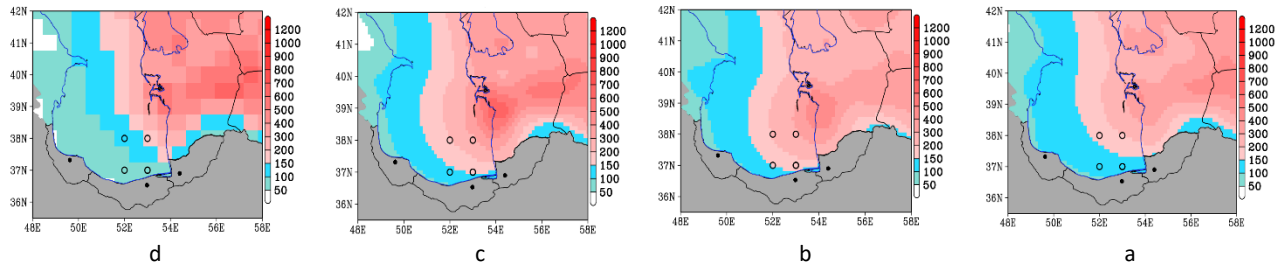
در بخش جنوب شرقی دریای خزر غلظت کلروفیل در مرز ترکمنستان نسبت به مناطق مرکزی کمتر است که با نتایج پیشین هماهنگ است [۳۹]. بر روی دریای خزر چهار نقطه شاهد انتخاب شد که به جز در فصل بهار در دیگر فصل‌ها غلظت کلروفیل در آن‌ها مشابه نیست (شکل ۲).

در توزیع افقی گردوخاک سطحی تقریباً تمامی ترکمنستان گردوخاکی بیش از ۱۵۰ میکروگرم بر مترمکعب دارد (شکل ۳)؛ اما در برخی مناطق این مقدار افزایش می‌یابد که می‌توان آن مناطق را به عنوان کانون گردوخاک در نظر گرفت. یکی دیگر از مناطق با بیشینه گردوخاک سطحی در مرز غربی ترکمنستان و در مجاورت مرز شرقی دریای خزر واقع شده است. بیشینه غلظت گردوخاک در این منطقه در فصل پاییز بوده (شکل ۳ پ) اما گسترش غرب سوی آن بر روی دریای خزر در تابستان و پاییز مشاهده می‌شود (شکل ۳ ب و ۳ ت). کمترین گسترش افقی گردوخاک بر روی دریای خزر در فصل زمستان دیده می‌شود (شکل ۳ ت). با مقایسه الگوهای فصلی کلروفیل و گردوخاک می‌توان دریافت که در فصل پاییز بیشینه گردوخاک سطحی و بیشینه کلروفیل بر روی دریای خزر تعیین شده است (شکل ۲ پ و شکل ۳

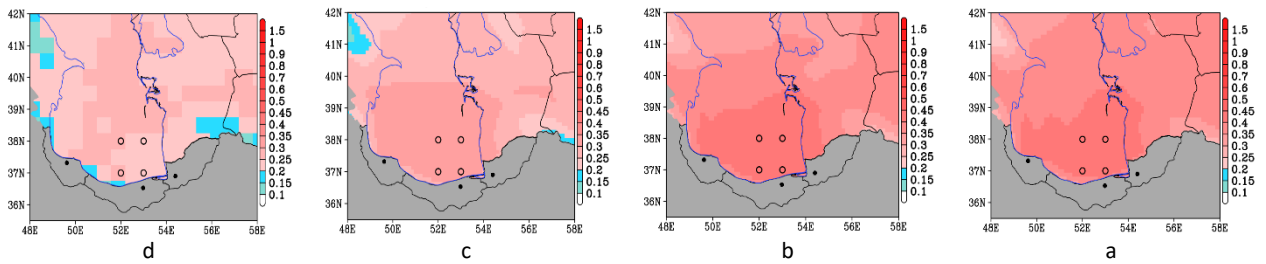
¹ Spearman



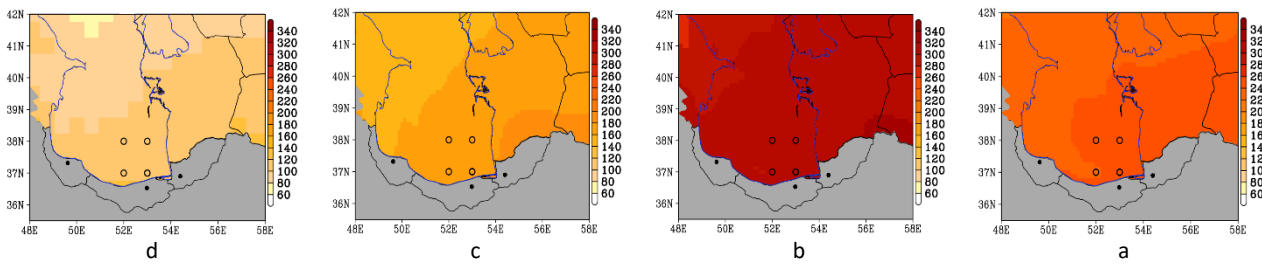
شکل ۲: میانگین فصلی غلظت کلروفیل mg/m^3 از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۷، (a) فصل بهار، (b) فصل تابستان، (c) فصل پاییز، (d) فصل زمستان
 Fig.2: Seasonal mean of chlorophyll concentration mg/m^3 during 2007 to 2017, a) Spring, b) Summer, c) Fall, d) Winter



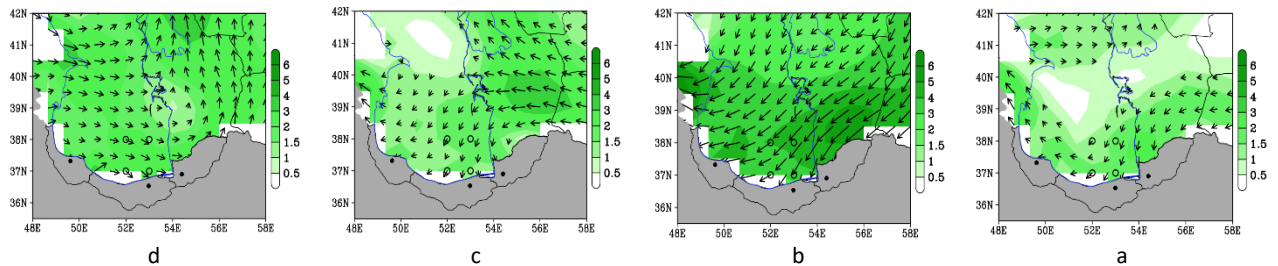
شکل ۳: میانگین فصلی گرد و خاک سطحی $\mu\text{g/m}^3$ از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۷، (a) فصل بهار، (b) فصل تابستان، (c) فصل پاییز، (d) فصل زمستان
 Fig.3: Seasonal mean of dust concentration $\mu\text{g/m}^3$ during 2007 to 2017, a) Spring, b) Summer, c) Fall, d) Winter



شکل ۴: میانگین فصلی غلظت AOD از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۷، (a) فصل بهار، (b) فصل تابستان، (c) فصل پاییز، (d) فصل زمستان
 Fig.4: Seasonal mean of AOD during 2007 to 2017, a) Spring, b) Summer, c) Fall, d) Winter



شکل ۵: میانگین فصلی تابش خورشیدی دریافتی $\frac{W}{m^2}$ از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۷، (a) فصل بهار، (b) فصل تابستان، (c) فصل پاییز، (d) فصل زمستان.
 Fig.5: Seasonal mean of solar radiation $\frac{W}{m^2}$ during 2007 to 2017, a) Spring, b) Summer, c) Fall, d) Winter



شکل ۶: میانگین سرعت باد $\frac{m}{s}$ و جهت باد سطح ۹۲۵ هکتوپاسکال از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۷، (a) فصل بهار، (b) فصل تابستان، (c) فصل پاییز، (d) فصل زمستان
 Fig.6: Seasonal mean of wind $\frac{m}{s}$ during 2007 to 2017, a) Spring, b) Summer, c) Fall, d) Winter

۲. توزیع درون سالانه^۱ و سالانه کلروفیل

ماه اوت ثبت شده است. بنابراین روند تغییرات ماهانه در ایستگاه‌های انتخابی مشابه نبوده و بیشینه غلظت کلروفیل در ماه‌ها و یا فصل‌های مشابهی رخ نمی‌دهد. بیشینه غلظت گردوخاک سطحی در هر چهار ایستگاه انتخابی در ماه‌های آوریل و سپتامبر رخ داده است. بیشینه کلروفیل در سپتامبر (پاییز) و کمینه آن در آوریل (بهار) مشاهده شد؛ بنابراین در بخش بعدی ضریب همبستگی کلروفیل، گردوخاک سطحی، سرعت باد سطحی، عمق نوری هواویزها و تابش کوتاه خورشیدی در این دو ماه مورد بررسی قرار گرفت.

در سپتامبر غلظت کلروفیل با $11/2$ میلی‌گرم بر مترمکعب، غلظت گردوخاک با 570 میکروگرم بر مترمکعب و عمق نوری با $0/61$ در سپتامبر نسبت به آوریل مقادیر بیشتری دارند در حالی که مقدار تابش خورشیدی با 247 وات بر مترمربع کمتر از مقدار آن نسبت به ماه آوریل می‌باشد (جدول ۱). در ایستگاه ۱ تابش خورشیدی در سپتامبر بیش از آوریل است. همچنین در ایستگاه ۲ سرعت باد در سپتامبر کمتر از آوریل بوده و در سه ایستگاه دیگر تقریباً مشابه است. به این ترتیب ایستگاه ۱ و ۲ در نزدیکی سواحل ایران تابش خورشیدی و سرعت باد متفاوتی در بهار و پاییز نسبت به ایستگاه ۳ و ۴ دارند.

به منظور بررسی رابطه کلروفیل با عامل‌های جوی از ضریب همبستگی استفاده شد. در فصل تابستان، بیشینه انرژی خورشید، افزایش گردوخاک، سرعت باد و AOD مشاهده می‌شود اما بین هیچ‌یک از متغیرهای مورد نظر با کلروفیل رابطه مشخصی به دست نیامد. ضریب همبستگی در ماه آوریل و سپتامبر در جدول ۲ ارائه شده است. ایستگاه شماره ۲ واقع در جنوب شرق دریای خزر در آوریل با تمام عوامل جوی ضریب همبستگی داشته در حالی که ایستگاه ۴ در سپتامبر همبستگی ضعیفی با باد دارد. در ماه آوریل گردوخاک در هر چهار ایستگاه رابطه منفی ($-0/3$ تا $-0/52$) با کلروفیل داشته و انتشار گردوخاک منجر به کاهش کلروفیل می‌شود. در حالی که عمق نوری هواویزها رابطه مثبتی ($0/31$ تا $0/66$) دارد به این ترتیب گردوخاک سطحی و عمق نوری هواویزها بر کلروفیل نه تنها اثر مشابه ندارند بلکه کاملاً متفاوت عمل می‌نمایند. تابش خورشید نیز در ایستگاه ۲ و ۳ اثر منفی و سرعت باد اثر مثبت بر کلروفیل دارد. به این ترتیب در ماه آوریل (بهار) افزایش گردوخاک و تابش منجر به کاهش کلروفیل می‌شود. در حالی که افزایش سرعت باد و عمق نوری هواویزها منجر به افزایش کلروفیل می‌شود.

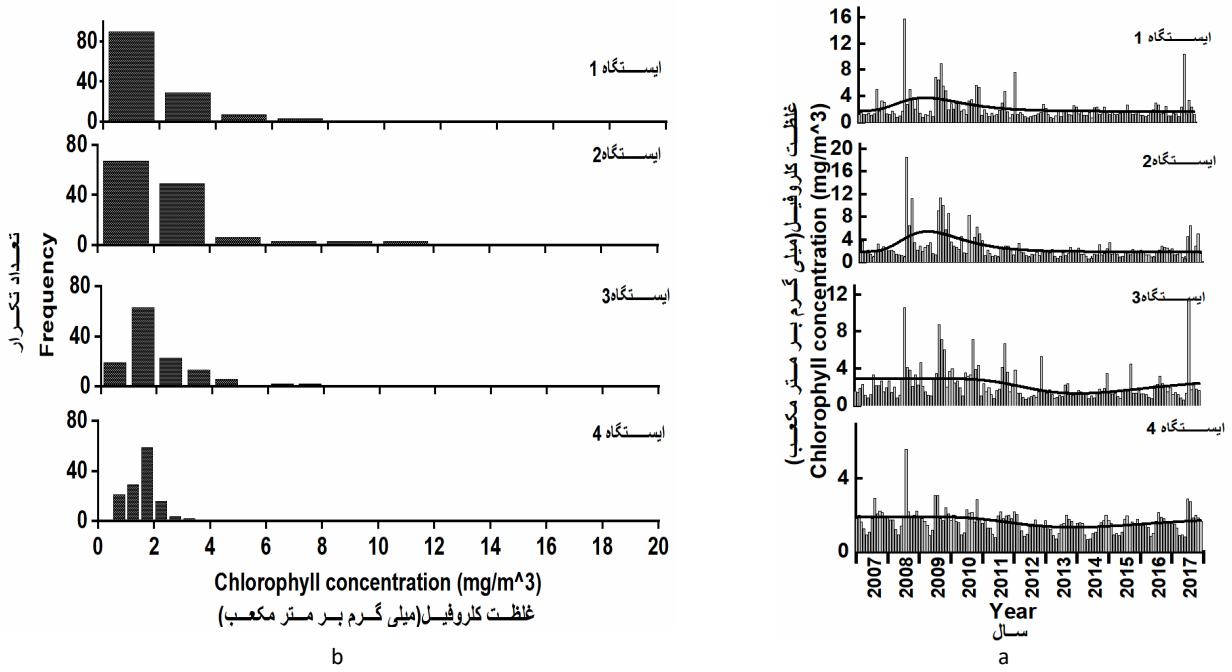
توزیع درون سالانه کلروفیل در چهار ایستگاه انتخابی روند تغییرات مشابهی را نشان نمی‌دهد (شکل ۷). در ایستگاه شماره ۱ و ۲ در طی سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۰ کلروفیل افزایش داشته و پس از آن روند تقریباً یکنواخت شده است اما در ایستگاه شماره ۳ و ۴ روند کاهشی در سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۴ دیده می‌شود (شکل ۷ الف)؛ بنابراین در منطقه جنوبی خزر در نزدیکی مرز ایران روند تغییرات کلروفیل مشابه عرض‌های بالاتر نیست. کلروفیل در سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۱ افزایش داشته و بیشترین آن در سال ۲۰۰۸ رخ داده است به طوری که در نزدیکی مرز ایران (ایستگاه ۱) کلروفیل به بیش از 16 میلی‌گرم بر مترمکعب می‌رسد (شکل ۷ الف). همچنین در سال ۲۰۱۷ نیز بیشینه دیگری رخ داده است به طوری که در ایستگاه شماره ۳ افزایش کلروفیل تا 10 میلی‌گرم بر مترمکعب ثبت شده است.

افزایش کلروفیل در ایستگاه ۱ و ۳ (غربی) بیش از ایستگاه ۲ و ۴ (شرقی) است. در این میان در برخی سال‌ها مانند ۲۰۱۲ در ایستگاه ۳ افزایش کلروفیل رخ داده اما در دیگر ایستگاه‌ها این افزایش مشاهده نمی‌شود. فراوانی غلظت کلروفیل در هر چهار ایستگاه، چولگی منفی داشته (شکل ۷ ب) و بیشترین تعداد تکرار مربوط به مقدار کمتر از 2 میلی‌گرم بر مترمکعب بوده است. چولگی در ایستگاه ۱ و ۲ بیش از ایستگاه ۳ و ۴ است (شکل ۷ ب). توزیع فراوانی و مقدار کلروفیل در ایستگاه ۱ و ۲ (نزدیکی مرز ایران) مشابه بوده و با دو ایستگاه دیگر متفاوت هستند. در ایستگاه ۱ و ۲ بیشترین غلظت کلروفیل با 16 و 20 میلی‌گرم بر مترمکعب به دست آمده در حالی که در ایستگاه ۳ و ۴ بین 6 تا 10 میلی‌گرم بر مترمکعب است.

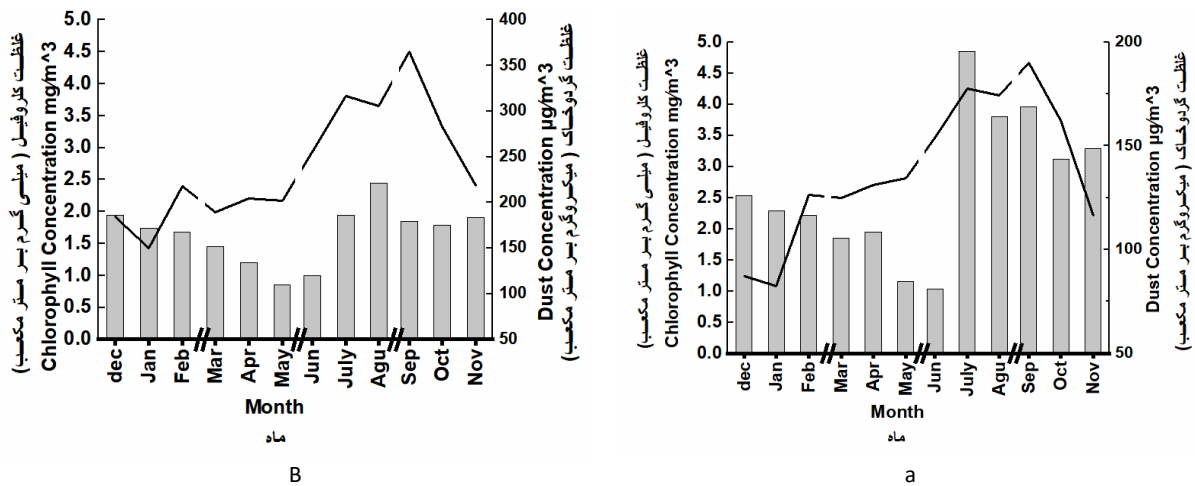
۳. توزیع ماهانه و تعیین ضریب همبستگی

توزیع ماهانه کلروفیل در ایستگاه ۱ و ۲ تقریباً مشابه بوده به همین دلیل فقط شکل مربوط به ایستگاه شماره ۲ آورده شد (شکل ۸ الف). از ماه ژوئن به ژوئیه افزایش قابل توجهی در مقدار کلروفیل مشاهده می‌شود. کمترین مقدار کلروفیل مربوط به ماه مه و ژوئن بوده و بیشترین مقدار کلروفیل در ماه ژوئیه ثبت شده است. توزیع ماهانه ایستگاه شماره ۴ ارائه می‌گردد (شکل ۸ ب). در ایستگاه شماره ۴ نیز افزایش کلروفیل از ماه مه به ژوئن دیده می‌شود و بیشترین غلظت کلروفیل مشابه در

¹ Inter-annual



شکل ۷: a: تغییرات درون سالانه غلظت کلروفیل mg/m^3 در هر چهار ایستگاه، b: توزیع فراوانی غلظت کلروفیل از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۷. Fig.7: a) Inter-annual of chlorophyll I concentration mg/m^3 for four station, b) chlorophyll I concentration frequency mg/m^3 , during 2007 to 2017



شکل ۸: توزیع ماهانه کلروفیل mg/m^3 و گرد و خاک سطحی $\mu g/m^3$ از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۷، a) ایستگاه ۲، b) ایستگاه ۴. Fig.8: monthly chlorophyll concentration mg/m^3 and dust concentration $\mu g/m^3$ distribution, during 2007 to 2017, a) Station 2, b) Station 4

جدول ۱: مقدار بیشینه کلروفیل و عامل‌های جوی میانگین ۲۰۰۷-۲۰۱۷ در ماه آوریل و سپتامبر

Table 1: Maximum of chlorophyll concentration mg/m^3 and meteorology factors during 2007 to 2017 in April and September

باد سطحی Surface Wind	تابش خورشید Solar Radiation	عمق نوری AOD	گرد و خاک Dust	کلروفیل Chlorophyll	آوریل April
۷	۲۰۹	۰/۵۳	۱۶۶	۳	ایستگاه ۱ Station1
۶	۲۶۱	۰/۵۰	۱۸۵	۴/۶	ایستگاه ۲ Station2
۶/۴	۲۵۵	۰/۵۳	۲۴۳	۲/۷	ایستگاه ۳ Station3
۶/۱	۲۵۸	۰/۵۳	۳۲۴	۱/۶	ایستگاه ۴ Station4
سپتامبر September					
۷	۲۳۹	۰/۶۰	۲۸۴	۸/۹	ایستگاه ۱ Station1
۵	۲۴۵	۰/۵۵	۲۹۳	۱۱/۲	ایستگاه ۲ Station2
۶/۴	۲۴۳	۰/۶۱	۴۲۱	۸/۷	ایستگاه ۳ Station3
۶/۲	۲۴۷	۰/۵۸	۵۷۰	۲/۲	ایستگاه ۴ Station4

جدول ۲: ضریب همبستگی کلروفیل و عوامل جوی میانگین ۲۰۱۷-۲۰۰۷ در آوریل و سپتامبر

Table 2: Correlation between chlorophyll concentration mg/m³ and meteorology factors during 2007 to 2017 in April and September

Surface Wind باد سطحی	Solar Radiation تابش خورشید	AOD عمق نوری	Dust گردوخاک	
ضریب همبستگی با کلروفیل Correlation Chlorophyll				
آوریل April				
+۰/۲۵			-۰/۵۲	ایستگاه ۱ Station1
+۰/۵۵	-۰/۵۳	۰/۵۱	-۰/۳۳	ایستگاه ۲ Station2
	-۰/۴۱	۰/۶۶	-۰/۳	ایستگاه ۳ Station3
+۰/۱۵		۰/۳۱	-۰/۴	ایستگاه ۴ Station4
مقادیر بیشینه Maximum				
سپتامبر September				
	-۰/۵	+۰/۳۷	+۰/۲۶	ایستگاه ۱ Station1
	-۰/۵۷	+۰/۶	+۰/۳۴	ایستگاه ۲ Station2
	-۰/۴۶	+۰/۲۶		ایستگاه ۳ Station3
+۰/۲				ایستگاه ۴ Station4

خزر انتقال یافته در افزایش کلروفیل مؤثر بوده و یا آن که عامل‌های جوی و محیطی دیگری در این افزایش تأثیرگذار بوده‌اند.

از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۶ کاهش کلروفیل مشاهده شده و پس از آن مجدداً در سال ۲۰۱۷ روند افزایش دارد. با وجود آن که در سال ۲۰۱۴ گردوخاک در هر چهار ایستگاه به شدت افزایش داشته اما غلظت کلروفیل تغییر چندانی نشان نمی‌دهد (شکل ۹).

در سال ۲۰۱۴ همه ایستگاه‌ها افزایش گردوخاک داشته‌اند که نشان می‌دهد تأثیر گردوخاک ناشی از کانون ترکمنستان در منطقه افزایش یافته اما تأثیر ویژه‌ای در کلروفیل نداشته است. در سال ۲۰۱۶ کاهش گردوخاک ترکمنستان منجر به کاهش کلروفیل در سه ایستگاه شده است.

به‌طور کلی تغییرات گردوخاک در ایستگاه ۱ و ۲ با ایستگاه ۳ و ۴ متفاوت است. این تفاوت به‌ویژه در سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۰ دیده می‌شود. با توجه به موقعیت ایستگاه ۱ و ۲ در نزدیکی مرز ایران می‌توان اثر گردوخاک‌های با منشأ عراق و یا مناطق مرکزی ایران را در تفاوت اثر گردوخاک بر کلروفیل نسبت به دو ایستگاه دیگر مؤثر دانست.

در سال ۲۰۰۹ بیشترین و در سال ۲۰۱۳ کمترین مقدار کلروفیل تعیین شده است. به‌منظور بررسی تأثیرگذاری عامل‌های مختلف هواشناختی به‌ویژه گردوخاک در تغییرات کلروفیل این دو سال انتخاب شدند. در سال ۲۰۰۹ در تمام ایستگاه‌ها بین گردوخاک سطحی و کلروفیل رابطه مستقیم (ضریب همبستگی بین ۰/۴۲ تا ۰/۵۷) وجود داشت. به این معنا که افزایش گردوخاک منجر به افزایش کلروفیل شده است. به نظر می‌رسد نقش مثبت گردوخاک در انتقال مواد معدنی به خزر منجر به افزایش تولید اولیه فیتوپلانکتون‌ها شده و به‌عنوان محرک رشد عمل می‌نماید. نتایج مشابهی نیز در خلیج فارس و دیگر منابع آبی به‌دست‌آمده است [۱۰، ۶] در سال ۲۰۰۹ دیگر عوامل جوی با کلروفیل رابطه مشخصی ندارند (جدول ۳)؛ اما در سال ۲۰۱۳ هیچ رابطه معنی‌داری بین آن کلروفیل و گردوخاک به دست نیامد. بلکه

در سپتامبر (پاییز) گرچه بیشترین غلظت گردوخاک در ایستگاه ۳ و ۴ مشاهده شده اما رابطه‌ای بین گردوخاک و کلروفیل به دست نیامد. در ایستگاه ۱ و ۲ افزایش گردوخاک منجر به افزایش کلروفیل شده است (جدول ۲). همچنین عمق نوری هواویزها با کلروفیل رابطه مثبت (+۰/۲۶ تا +۰/۶) و تابش خورشیدی رابطه منفی (-۰/۴۶ تا -۰/۵۷) دارد.

سرعت باد سطحی در ماه سپتامبر به‌جز ایستگاه ۴ در دیگر ایستگاه‌ها تأثیری در غلظت کلروفیل ندارد. با مقایسه ضریب همبستگی در ماه آوریل و سپتامبر به اثر افزایش عمق نوری و سرعت باد و اثر کاهش تابش خورشیدی در غلظت کلروفیل می‌توان اشاره نمود. گردوخاک در دو ماه آوریل و سپتامبر رفتاری متفاوت دارد به‌طوری که در سپتامبر افزایش غلظت گردوخاک با افزایش کلروفیل همراه بوده در حالی که در آوریل افزایش غلظت گردوخاک با کاهش کلروفیل همراه است.

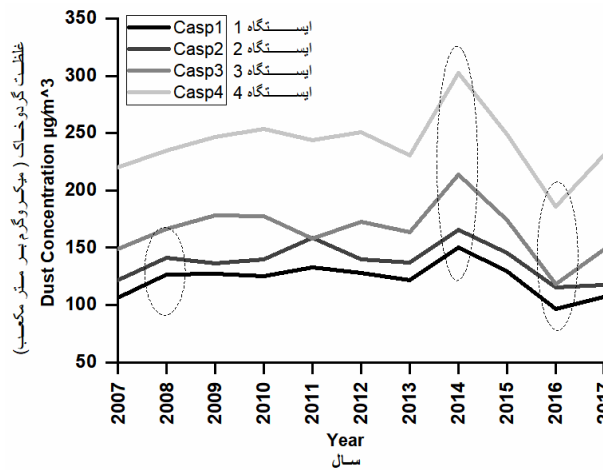
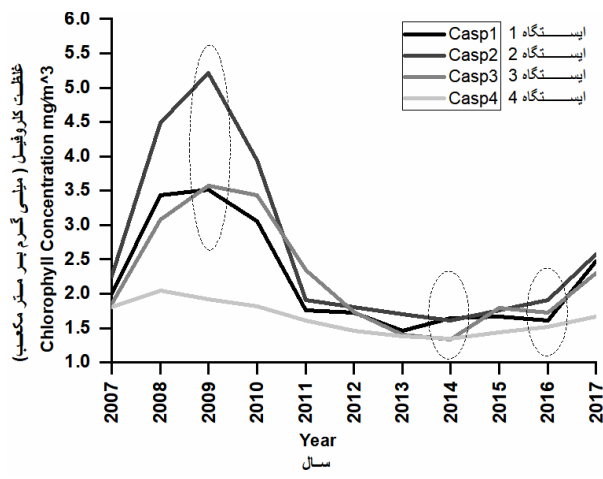
۴. توزیع سالانه و تعیین ضریب همبستگی

توزیع سالانه کلروفیل افزایش قابل توجهی را در طی سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۱ به‌ویژه در ایستگاه ۲ (استان گلستان و شرق مازندران) نشان می‌دهد (شکل ۹ الف). در این سال‌ها در ایستگاه ۱ و ۲ نیز افزایش گردوخاک ثبت شده است (شکل ۹ ب).

به‌این ترتیب به نظر می‌رسد افزایش گردوخاک در سال ۲۰۰۸ منجر به افزایش کلروفیل به‌ویژه در ایستگاه شماره ۱ شده است. با توجه به این که ایستگاه شماره ۱ دورترین فاصله را تا منشأ گردوخاک ترکمنستان دارد به نظر می‌رسد منشأ این گردوخاک مناطق مرکزی ایران و یا گردوخاک‌های عراق باشد. تأیید این موضوع مستلزم بررسی‌های بیشتر و به‌ویژه تشریح میدان باد در این سال دارد که در تحقیق حاضر میسر نیست. بیشترین میانگین غلظت کلروفیل در سال ۲۰۰۹ به‌ویژه در ایستگاه ۲ دیده می‌شود در حالی که گردوخاک در طی این سال افزایش چندانی نشان نمی‌دهد. بنابراین به نظر می‌رسد اثر مواد مغذی ناشی از رودخانه‌های استان گلستان و مازندران که به دریای

به کاهش کلروفیل شده اما مطالعه حاضر در سال ۲۰۱۳ نشان می‌دهد که افزایش سرعت باد با افزایش کلروفیل همراه بوده است. تابش خورشید رابطه منفی با کلروفیل نشان می‌دهد به این معنا که افزایش تابش خورشید با کاهش کلروفیل هماهنگ شده است.

بیشترین تأثیر در تغییر کلروفیل مربوط به تغییرات باد سطحی بود به طوری که ضریب همبستگی آن دوبین ۰/۸۵ تا ۰/۴۳ به دست آمد. گرچه در تحقیق [۲۲]، باد را عاملی در جهت پراکنده شدن مواد معدنی و آمیختگی آن در لایه‌های عمیق تر آب دانسته و اثر باد سطحی منجر



شکل ۹: (a) میانگین سالانه گردو خاک سطحی $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ، (b) میانگین سالانه کلروفیل mg/m^3 ۲۰۰۷-۲۰۱۷

Fig.9: Annual mean of a) and dust concentration $\mu\text{g}/\text{m}^3$, b) chlorophyll concentration mg/m^3 , during 2007 to 2017

جدول ۳: ضریب همبستگی کلروفیل و متغیرهای هواشناختی در سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۳

Table 3: correlation between chlorophyll concentration mg/m^3 and meteorology in 2009 and 2013

Surface Wind باد سطحی	Solar Radiation تابش خورشید	AOD عمق نوری	Dust گردو خاک
۲۰۰۹			
			ایستگاه ۱ Station1 ۰/۵۷
			ایستگاه ۲ Station2 ۰/۵۱
			ایستگاه ۳ Station3 ۰/۴۲
			ایستگاه ۴ Station4 ۰/۵۶
۲۰۱۳			
۰/۴۳	-۰/۴۵	-۰/۶۰	ایستگاه ۱ Station1
۰/۸۵	-۰/۷۰	-۰/۵۱	ایستگاه ۲ Station2
۰/۶۱			ایستگاه ۳ Station3
۰/۴۶			ایستگاه ۴ Station4

سطحی (۰/۸۵ و ۰/۴۳) رابطه مستقیم دارد؛ اما در ایستگاه ۳ و ۴ کلروفیل فقط با باد سطحی رابطه معنادار و مستقیم داشته و دیگر عوامل تأثیر معناداری در تغییرات آن ندارند.

نتیجه‌گیری

در جنوب دریای خزر، در توزیع فصلی بیشینه کلروفیل و غلظت گردو خاک سطحی در فصل پاییز و بیشینه AOD در فصل تابستان تعیین شد. در فصل پاییز سواحل مازندران و گیلان افزایش فراوان کلروفیل را نشان می‌دهند. همچنین در این فصل افزایش سرعت باد و افزایش تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین در منطقه بالکان منجر به افزایش انتشار گردو خاک در منطقه شده که همراه با بادهای

در دریای عرب و در طی تابستان رابطه کلروفیل با تابش خورشید نیز منفی (عکس) به دست آمده است [6]. به این معنا که افزایش تابش منجر به پیکنوکلین pycnoclineand شدید شده و ایجاد محدودیت در مواد مغذی می‌شود. رابطه هواویزها با کلروفیل نیز منفی (عکس) است. در خلیج فارس و دریای عمان در دوره گرم سال بین کلروفیل و هواویزها رابطه مستقیمی به دست آمده است [۱۰، ۴۰]؛ اما با افزایش میزان AOT به مرز ۰/۲۶ میزان کلروفیل a کاهش یافت [۴۰]. نتیجه حاصل از تحقیق حاضر نشان می‌دهد رابطه سالانه کلروفیل و هواویزها عکس بوده و افزایش هواویز منجر به کاهش کلروفیل می‌شود.

در ایستگاه‌های جنوبی (۱ و ۲) کلروفیل با عمق نوری (-۰/۵۱) و تابش خورشیدی (-۰/۴۵ و -۰/۷۰) رابطه عکس و با باد

درحالی‌که در سال ۲۰۱۳ که غلظت کلروفیل و مقدار گردوخاک کم بوده است، سرعت باد بیشترین تأثیر مثبت را در افزایش کلروفیل داشته است. در این سال تابش خورشید و هواویزها را تأثیر کاهش در کلروفیل دارند.

در سال ۲۰۱۴، گردوخاک افزایش قابل‌توجهی نشان می‌دهد درحالی‌که کلروفیل تغییر بارزی ندارد. در سال ۲۰۱۶ کاهش گردوخاک با کاهش کلروفیل همراه است. بنابراین گردوخاک به‌تنهایی عامل مؤثر در تغییر کلروفیل نبوده و عوامل دیگری می‌توانند نقش بارزتری در آن داشته باشند؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت گردوخاک‌های با منشأ ترکمنستان تأثیر کمتری بر کلروفیل دارند. اثر گردوخاک‌های عراق یا مرکز ایران نقش مؤثرتری در تغییر غلظت کلروفیل سواحل جنوبی خزر دارند. یا آن‌که اثر عوامل دیگر در کاهش غلظت کلروفیل بر نقش افزایش گردوخاک غالب شده است.

به‌طورکلی کلروفیل با تابش خورشید رابطه منفی (عکس) و با سرعت باد رابطه مثبت (مستقیم) دارد درحالی‌که اثر گردوخاک و هواویزها بر کلروفیل در ماه و یا سال‌های متفاوت، تغییر می‌کند. این تغییر به‌ویژه در مورد گردوخاک بسیار بارز است. در مطالعه‌های پیشین نیز به اثر متفاوت گردوخاک در تغییر غلظت کلروفیل اشاره شده است. علاوه بر آن عوامل دیگر جوی و آب ریز رودخانه‌ها و فعالیت‌های انسانی و صنعتی در مناطق ساحلی نیز بر کلروفیل مؤثر هستند که بررسی اثر آن‌ها مستلزم مطالعه‌های بیشتر می‌باشد. در این مطالعه اثر تعدادی از عوامل جوی مؤثر در کلروفیل موردبررسی قرار گرفت. پیشنهاد می‌شود در مطالعه‌های دیگر نهشت خشک و تر گردوخاک، دمای سطح آب و بارش را نیز مورد توجه قرار گیرد. [۴۱]

مشارکت نویسندگان

تمامی بخش‌های مقاله حاضر توسط نگارنده (الهام مبارک حسن) تهیه شده است.

تعارض منافع

این مقاله براساس «تعارض حرفه‌ای و مالکیت فکری: ارتقای سازمانی و نظریات تخصصی شخصی اینجانب الهام مبارک حسن به‌عنوان نویسنده مسئول گردآوری شده است.»

References

- Shuchman RA, Leshkevich G, Sayers MJ, Johengen TH, Brooks CN, Pozdnyakov D. An algorithm to retrieve chlorophyll, dissolved organic carbon, and suspended minerals from Great Lakes satellite data. *J Great Lake Res.* 2013;39:14-33. doi: 10.1016/j.jglr.2013.06.017
- Dacey JW, Wakeham SG. Oceanic dimethylsulfide: production during zooplankton grazing on phytoplankton. *Science.* 1986;233(4770):1314-1316.

غربی به دریای خزر انتقال می‌یابد. همچنین بادهای شمال و شمال شرقی گردوخاک را به بخش‌های جنوب شرق خزر گسترش می‌دهد. در توزیع فراوانی درون سالانه غلظت کلروفیل چولگی منفی به سمت مقدار کمتر از ۲ میلی‌گرم بر مترمکعب دیده شد. مقدار بیشینه آن در روند درون سالانه با ۶ تا ۱۶ میلی‌گرم بر مترمکعب، در سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۷ تعیین شد.

در ایستگاه شماره ۲ (جنوب شرق خزر و نزدیکی سواحل مازندران) بیشترین غلظت کلروفیل ۱۱/۲ میلی‌گرم بر مترمکعب در سپتامبر به دست آمد. ضریب همبستگی کلروفیل با گردوخاک ۰/۳۴+، با عمق نوری هواویزها ۰/۶+ و با تابش خورشید ۰/۵۷- تعیین شد. در ماه آوریل نیز در ایستگاه شماره ۲ کلروفیل با تمامی متغیرهای هواشناختی همبستگی معنی‌داری داشته و ضریب همبستگی کلروفیل با گردوخاک ۰/۳۲-، با عمق نوری هواویزها ۰/۵+، با تابش خورشید ۰/۵۲- و با سرعت باد ۰/۵۴+ تعیین شد. علاوه بر عامل‌های موردبررسی از جمله دیگر عوامل مؤثر در افزایش کلروفیل در ایستگاه شماره ۲ را می‌توان انتقال آب رودخانه‌ها همراه با مواد مغذی دانست. همچنین پیش‌تر اشاره شده است که عمل کرد الگوریتم‌های برآورد مقدار کلروفیل است که در مناطق آب‌های کم‌عمق ساحلی مقدار کلروفیل را بیشتر برآورد می‌کنند [۳۵].

با مقایسه ضریب همبستگی در ماه آوریل (بهار) و سپتامبر (پاییز) می‌توان به اثر افزایش عمق نوری و سرعت باد و اثر کاهش تابش خورشیدی در غلظت کلروفیل می‌توان اشاره نمود. اثر گردوخاک بر کلروفیل در این دو ماه رفتاری متفاوت دارد. در سپتامبر افزایش غلظت گردوخاک با افزایش کلروفیل و در آوریل کاهش غلظت گردوخاک، با افزایش کلروفیل همراه است.

در بررسی سالانه کلروفیل و گردوخاک در سال‌های مختلف رابطه متفاوتی بین آن دو به‌دست آمد. در سال ۲۰۰۸ به‌ویژه در ایستگاه ۱ با افزایش گردوخاک کلروفیل نیز افزایش می‌یابد. ایستگاه شماره ۱ و ۲ متأثر از گردوخاک‌های عراق هستند. به این معنا که گردوخاک‌های عراق می‌توانند مواد مغذی کافی را به این مناطق انتقال دهند.

در سال ۲۰۰۹ که بیشترین غلظت کلروفیل با ۱۱/۲ میلی‌گرم بر مترمکعب به‌دست آمده، کلروفیل بیشترین ضریب همبستگی را با گردوخاک داشته و دیگر عوامل جوی تأثیر معناداری نداشته‌اند.

doi: 10.1126/science.233.4770.1314 pmid: 17843360

- Falkowski PG. Evolution of the nitrogen cycle and its influence on the biological sequestration of CO₂ in the ocean. *Nature.* 1997;387(6630):272-275. doi: 10.1038/387272a0
- Castro J, Toro J, Salamero M, Guimerá E. The eating attitudes test: validation of the spanish version. *Evaluación Psicológica.* 1991;7(2):175-189.

5. Bilio M, Niermann U. Is the comb jelly to blame for it all? Mnemiopsis leidyi and the ecological concerns about the Caspian Sea. *Mar Ecol Prog Ser.* 2004;**269**:173-183. doi: 10.3354/meps269173
6. Prospero JM, Glaccum RA, Nees RT. Atmospheric transport of soil dust from Africa to South America. *Nature.* 1981;**289**(5798):570-572. doi: 10.1038/289570a0
7. Claustre H, Morel A, Hooker SB, Babin M, Antoine D, Oubelkheir K, et al. Is desert dust making oligotrophic waters greener? *Geophysic Res Letter.* 2002;**29**(10):107-101-107-104. doi: 10.1029/2001GL014056
8. Kaufman YJ, Koren I, Remer LA, Tanré D, Ginoux P, Fan S. Dust transport and deposition observed from the Terra-Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) spacecraft over the Atlantic Ocean. *J Geophysic Res Atmospheres.* 2005;**110**(D10):D10S12. doi: 10.1029/2003JD004436
9. Mahowald NM, Baker AR, Bergametti G, Brooks N, Duce RA, Jickells TD. Atmospheric global dust cycle and iron inputs to the ocean. *Global Biogeochem Cycle.* 2005;**19**(4):GB4025. doi: 10.1029/2004GB002402
10. Dadaizadeh M, Malekooti H. Dust Storms and their Ecological Effects on Chlorophyll Distribution in the Persian Gulf (In perisan). *J Aquatic Ecolog.* 2014;**4**(3):73-82.
11. Santos AMJ. Influence of Saharan Aerosols on Phytoplankton Biomass in the Tropical North Atlantic Ocean (Doctoral dissertation, University of Puerto Rico, Mayagüez Campus)2010.
12. Vink S, Measures CI. The role of dust deposition in determining surface water distributions of Al and Fe in the South West Atlantic. *Deep Sea Res Part II Topical Stud Oceanograph.* 2001;**48**(13):2787-2809. doi: 10.1016/S0967-0645(01)00018-2
13. Duce RA, Tindale NW. Atmospheric transport of iron and its deposition in the ocean. *Limnol Oceanograph.* 1991;**36**(8):1715-1726. doi: 10.4319/lo.1991.36.8.1715
14. Martin CM. Physical and numerical modelling of offshore foundations under combined loads (Doctoral dissertation, Oxford University, UK).1994.
15. De Baar HJ, de Jong JT, Bakker DC, Löscher BM, Veth C, Bathmann U, et al. Importance of iron for plankton blooms and carbon dioxide drawdown in the Southern Ocean. *Nature.* 1995;**373**(6513):412-415. doi: 10.1038/373412a0
16. Boyd PW, Watson AJ, Law CS, Abraham ER, Trull T, Murdoch R, et al. A mesoscale phytoplankton bloom in the polar Southern Ocean stimulated by iron fertilization. *Nature.* 2000;**407**(6805):695-702. doi: 10.1038/35037500 pmid: 11048709
17. Guieu C, Loÿe-Pilot MD, Ridame C, Thomas C. Chemical characterization of the Saharan dust end-member: Some biogeochemical implications for the western Mediterranean Sea. *J Geophysic Res Atmospheres.* 2002;**107**(D15):ACH-5.5-1-5-11. doi: 10.1029/2001JD000582
18. Jickells TD, An ZS, Andersen KK, Baker AR, Bergametti G, Brooks N, et al. Global iron connections between desert dust, ocean biogeochemistry, and climate. *Science.* 2005;**308**(5718):67-71. doi: 10.1126/science.1105959 pmid: 15802595
19. Mallet M, Chami M, Gentili B, Sempéré R, Dubuisson P. Impact of sea-surface dust radiative forcing on the oceanic primary production: A 1D modeling approach applied to the West African coastal waters. *Geophysic Res Letter.* 2009;**36**(15):L15828. doi: 10.1029/2009GL039053
20. Paytan A, Mackey KR, Chen Y, Lima ID, Doney SC, Mahowald N, et al. Toxicity of atmospheric aerosols on marine phytoplankton. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2009;**106**(12):4601-4605. doi: 10.1073/pnas.0811486106 pmid: 19273845
21. Gallisai R, Peters F, Volpe G, Basart S, Baldasano JM. Saharan dust deposition may affect phytoplankton growth in the Mediterranean sea at ecological time scales. *PLoS One.* 2014;**9**(10):e110762. doi: 10.1371/journal.pone.0110762 pmid: 25333783
22. Kotta D, Kitsiou D. Exploring Possible Influence of Dust Episodes on Surface Marine Chlorophyll Concentrations. *J Marine Sci Engineer.* 2019;**7**(2):50. doi: 10.3390/jmse7020050
23. Mobarak Hassan E, Tajbakhsh S, Ghaffarian P, Peghahfar N, Karimkhani M. Effective Synoptic Structures in the Supporting Dust Storms over the Persian Gulf. *JOC.* 2019;**10**(37):53-64. doi: 10.29252/JOC.2019.10.12362
24. Grigorovich IA, Therriault TW, MacIsaac HJ. History of aquatic invertebrate invasions in the Caspian Sea. *Biol Invasion.* 2003;**5**:103-115. doi: 10.1007/978-94-010-0169-4_9
25. Marret F, Leroy S, Chalié F, Françoise F. New organic-walled dinoflagellate cysts from recent sediments of Central Asian seas. *Rev Palaeobot Palynol.* 2004;**129**(1-2):1-20. doi: 10.1016/j.revpalbo.2003.10.002
26. Kordjezi M, Dadashi N, Rahmanna M. Investigating the Factors Causing Dust Occurrence in Golestan Province. In: Proceedings of Second National Conference on Coastal Water Resources Management, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources.12 Oct, Sari, Iran. (In Persian)2017.
27. Banse K, English DC. Seasonality of coastal zone color scanner phytoplankton pigment in the offshore oceans. *J Geophysic Res Ocean.* 1994;**99**(C4):7323-7745. doi: 10.1029/93JC02155
28. Longhurst A. Seasonal cycles of pelagic production and consumption. *Progress Oceanograph.* 1995;**36**(2):77-167. doi: 10.1016/0079-6611(95)00015-1
29. Falkowski PG, Behrenfeld MJ, Esaias WE. SeaWiFS Technical Report Series Volume 42 satellite primary

- productivity data and algorithm development:-a science plan for mission to planet Earth. *Oceanograph Literature Rev.* 1998;**6**(45):36.
30. Stegmann PM. Ocean-color satellites and the phytoplankton-dust connection. *Elsevier Oceanograph Series.* 2000;**63**:207-223. doi: [10.1016/S0422-9894\(00\)80012-4](https://doi.org/10.1016/S0422-9894(00)80012-4)
31. Kiyomoto Y, Iseki K, Okamura K. Ocean color satellite imagery and shipboard measurements of chlorophyll a and suspended particulate matter distribution in the East China Sea. *J Oceanograph.* 2001;**57**(1):37-45. doi: [10.1023/A:1011170619482](https://doi.org/10.1023/A:1011170619482)
32. McClain CR. A decade of satellite ocean color observations. *Ann Rev Mar Sci.* 2009;**1**:19-42. doi: [10.1146/annurev.marine.010908.163650](https://doi.org/10.1146/annurev.marine.010908.163650) pmid: [21141028](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21141028/)
33. Barale V, Gower JFR, Alberotanza L. Oceanography from space: revisited. Springer Science & Business Media. 2010.
34. Elmizadeh H, Fazelpoor K. Estimate the Numerical Values of Environmental Parameters Using MODIS Sensor in the Strait of Hormoz. *JOC.* 2016;**7**(27):29-39.
35. Muller-Karger FE, Hu C, Andréfouët S, Varela R, Thunell R. The color of the coastal ocean and applications in the solution of research and management problems. *Remote Sensing of Coastal Aquatic Environ.* 2007:101-127. doi: [10.1007/978-1-4020-3100-7_5](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-3100-7_5)
36. Ransibrahmanakul V, Stumpf RP. Correcting ocean colour reflectance for absorbing aerosols. *Int J Remote Sens.* 2006;**27**(9):1759-1774. doi: [10.1080/01431160500380604](https://doi.org/10.1080/01431160500380604)
37. Molod A, Takacs L, Suarez M, Bacmeister J, Song IS, Eichmann A. The GEOS-5 atmospheric general circulation model: Mean climate and development from MERRA to Fortuna2012.
38. Molod A, Takacs L, Suarez M, Bacmeister J. Development of the GEOS-5 Atmospheric General Circulation Model: Evolution from MERRA to MERRA2.. *Geoscientific Model Develop Discussion.* 2014;**7**(6):7575-7617. doi: [10.5194/gmdd-7-7575-2014](https://doi.org/10.5194/gmdd-7-7575-2014)
39. Kostianoy AG, Lebedev SA, Litovchenko KT, Stanichny SV, Pichuzhkina OE. Satellite remote sensing of oil spill pollution in the southeastern Baltic Sea. *Gayana (Concepción).* 2004;**68**(2):649-649. doi: [10.4067/S0717-65382004000300002](https://doi.org/10.4067/S0717-65382004000300002)
40. Solmani A, Mohmad Asgari H, Dadollahi SA, Alamizadeh H, Khazaei H. Investigation of the Impact of Microarrays on Primary Production in the Persian Gulf Using Remote Sensing Data, Natural Environment (In persian). *Iran Natural Resource.* 2016;**69**(3):715-728.
41. Nezhlin NP, Polikarpov IG, Al-Yamani FY, Rao DS, Ignatov AM. Satellite monitoring of climatic factors regulating phytoplankton variability in the Arabian (Persian) Gulf. *J Marine Sys.* 2010;**82**(1-2):47-60. doi: [10.1016/j.jmarsys.2010.03.003](https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2010.03.003)

AUTHOR(S) BIOSKETCHES

Mobarak Hassan, E., Department of Environment, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

(mobarak_e@yahoo.com)



HOW TO CITE THIS ARTICLE

Citation (Vancouver) Mobarak Hassan E. Impact of atmospheric factors with emphasis on dust concentration on chlorophyll in the southeast of the Caspian Sea (2007-2007). *J Oceanography.* 2021; 12(46):73-85.

doi <http://doi.org/10.52547/joc.12.46.73>

uri <http://joc.inio.ac.ir/article-1-1493-fa.html>

id <https://orcid.org/0000-0002-8311-5238>



COPYRIGHTS

©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.