پایش زمانی دمای سطح دریا و کلروفیل a با استفاده از تحلیل تصاویر دورسنجی در دریای خزر

ادب، ح.، عتباتی، آ.، امیراحمدی، ا. و اسماعیلی، ر.، ۱۳۸۹. پایش زمانی دمای سطح دریا و کلروفیل a با استفاده از تحلیل تصاویر دورسنجی در دریای خزر. مجله بیولوژی دریا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، سال دوم، شماره هشتم، زمستان ۱۳۸۹، صفحات ۱۲-۱.

حامد ادب*[۱]
آزاده عتباتی[۲]
ابوالقاسم امیراحمدی[۳]
رضا اسماعیلی[۴]

۱. دانشگاه تکنولوژی مالزی، دانشجوی دکتری سنجش از دور، کوالالامپور، مالزی
۲. دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، دانشجوی دکتری بیولوژی دریا، خرمشهر، ایران
۳. دانشگاه تربیت معلم سبزوار، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، استادیار گروه جغرافیا، سبزوار، ایران
۴. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نجف آباد، دانشجوی دکتری اقلیم شناسی، اصفهان، ایران

* **مسئول مکاتبات:** adabgeo@gmail.com

* تاریخ دریافت:
* تاریخ پذیرش:

چکیده

دمای سطح آب دریا به عنوان یک شاخص مهم اقلیمی و میزان غلظت کلروفیل a به عنوان یک شاخص بیومس فیتوپلانکتونی دو پارامتر مهم در مطالعات زیست دریایی هستند. دریای خزر به عنوان یک ذخیره گاه ویژه زیست آبی در دنیا مطرح است. از این رو پایش دمای سطح آب دریا و غلظت کلروفیل a جهت ارزیابی مسائل و تهدیدات آن ضروری است. بمنظور انجام این بررسی، داده های سنجنده مادیس ماهواره های آکوا و ترا از منطقه دریای خزر جمع آوری گردید. بعد از انجام عملیات پیش پردازش تصاویر، الگوریتم های استخراج دمای سطح دریا و کلروفیل a بر روی تصاویر اعمال گردید. سپس سری زمانی ماهانه دمای سطح دریا و کلروفیل a از ژانویه ۲۰۰۳ تا دسامبر ۲۰۰۹ تطویل گردید. نتایج آزمون روند من کندال فصلی نشان دهنده وجود روند افزایشی میزان غلظت کلروفیل a و عدم وجود روند در دمای سطح دریا در دوره مطالعاتی است. همچنین بر اساس آزمون پتیت یک تغییر معنادار در میزان غلظت کلروفیل a از نیمه سال ۲۰۰۶ مشاهده گردید. بررسی رابطه دمای سطح دریا با کلروفیل a به صورت یک همبستگی مثبت قابل توضیح است. به طوریکه ۶۵ درصد از غلظت کلروفیل a توسط دمای سطح دریا با استفاده از مدل رگرسیون خطی قابل توجیه است، که آزمون F فیشر معناداری این رابطه را تایید می کند.

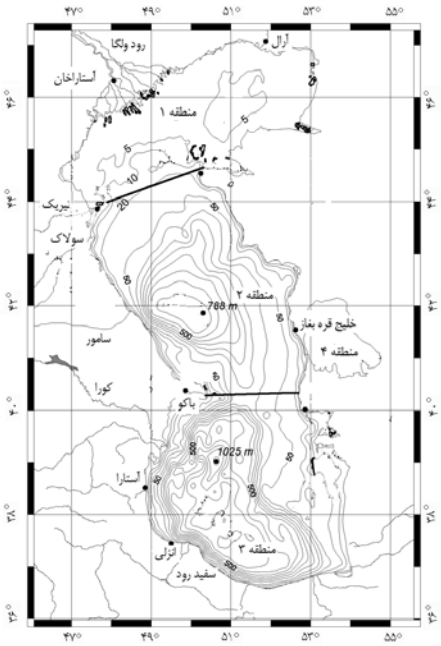
واژگان کلیدی: دمای سطح آب، کلروفیل a، دور سنجی، دریای خزر.

مقدمه

امروزه بهره برداری از منابع زیست دریایی با توجه به افزایش جمعیت جهان رو به فزونی است که متغیرهای اقلیمی یکی از عوامل موثر بر بهره برداری است. تغییرات اقلیمی کره زمین بر روی دریاها و اقیانوس‌ها مانند تغییر در دما، شیمی و بیولوژی آب مشخص است، این امر موجب می شود تا سیکل انرژی از تولید ذخایر با ارزش به سمت گونه های مضر تغییر روند دهد که موجب کاهش ذخایر آبزیان می گردد. اثرات اقلیمی موثر بر زیست دریا طی سال های ۲۰۰۶-۱۹۹۷ گزارش شده است که یک تغییر معناداری بین تولیدات اولیه اقیانوس و تغییرات اقلیمی وجود داشته است (Behrenfeld *et al.*, 2006). به علت وسعت اکوسیستم های دریایی، مسائل زیست محیطی آن دیر نمایان می گردد. مسائل در کوتاه مدت مشخص نمی شود و هنگام آشکار شدن غیر قابل جبران و یا به سختی حل می گردد.

دمای سطح دریا ((SST (Sea Surface Temperature) و کلروفیل a (Chlorophyll a) فاکتور بسیار مهمی برای کاربردهای شیلات و اقیانوس‌شناسی است. این پارامترها برای تجزیه و تحلیل بیوشیمیایی، بیولوژیکی و توصیف چرخه زیست اقیانوسی و دریاها و همچنین به عنوان یک شاخص برای بررسی تغییرات اقلیمی، بطور وسیع به کار می‌رود. دمای سطح دریا فاکتور بسیار مهمی برای کاربردهای اقیانوس شناسی است، زیرا تغییرات عمده آن اثرات بیولوژیکی مهمی را در شرایط زیستی بسیاری از موجودات زنده دریایی مانند پلانکتون ها، نرمتنان، ماهیان و پستانداران دریایی دارد. افزایش دمای آب باعث کاهش سطح اکسیژن حل شده در آب می شود که این امر نیز خود می تواند حیات آبی و کیفیت آن را متاثر سازد. درجه حرارت سطح دریا عبارت از درجه حرارت آب در عمق ۱ متری از سطح آب است (اسفندیارنژاد و همکاران، ۱۳۸۳).

مولکول کلروفیل یک فتورسپتور است و با جذب انرژی خورشید قادر به تولید ماده آلی در ساختار گیاهان سبز و فیتوپلانکتون ها است. تولید کنندگان اولیه با کمک کلروفیل a انرژی خورشید را جذب نموده و در طی فرآیند فتوسنتز از ترکیب آب و دی اکسید کربن، ماده آلی را سنتز می کنند. این فرآیند پایه و اساس زندگی را در کره زمین شکل می دهد. کلروفیل a، در میان رنگدانه های دخیل در تولیدات اولیه، رنگدانه اصلی است و بهمین دلیل در بررسی های ماهواره ای غلظت کلروفیل، به سنجش میزان کلروفیل a تمرکز می شود (Morel., 1991; Platt *et al.*, 1988) یکی از دلایل سنجش میزان غلظت کلروفیل a تخمین شدت تولیدات اولیه اقیانوسی است. الگوریتم های تولیدات اولیه به کمک اندازه گیری غلظت کلروفیل a توسط تکنیک های سنجش از دور گسترش یافته است. خصوصیت طیفی کلروفیل a به این صورت است که در محدوده طول موجهای آبی و قرمز عمل جذب و در محدوده طول موج سبز، عمل انعکاس را انجام می دهد، بطوریکه هنگام افزایش غلظت کلروفیل a در آب، رنگ آبی به سبز متمایل می شود (Raymont, 1984). از این رو سنجش از دور تکنیک ارزشمندی در ارزیابی مقادیر غلظت کلروفیل a سطحی محسوب می گردد (Kosarev and Kostianoy, 2005). دریای خزر به عنوان بزرگترین دریاچه دنیا مطرح است. کشیدگی در جهت نصف النهاری موجب گردیده که تغییرات دمایی آن از شمال به جنوب تفاوت داشته باشد. درجه حرارت پایین دمای آب به دلیل وجود رودخانه های نواحی مجاور قطبی در شمال دریای خزر و درجه حرارت بالا در نواحی جنوب و عرض های پایین آن است. دریای خزر در داخل قاره آسیا قرار گرفته و به عنوان بزرگترین حوضه بسته کره زمین شناخته شده است. مساحت آن در حدود ۳۹۰۰۰۰ هزار کیلومتر مربع با حجم آبی در حدود ۷۸۰۰۰ کیلومترمکعب، حداکثر عمق ۱۰۲۵ متر و با میانگین ۲۰۸ متر است (شکل ۱).



شکل ۱: منطقه بندی دریای خزر ۱. منطقه شمالی ۲. منطقه میانی ۳. منطقه جنوبی ۴. خلیج قره بغاز (Kosarev, 2005)

گرم شدن هوا و افزایش دمای آب خطر افزایش جلبکهای فیتوپلانکتون را در آبهای دریای خزر افزایش می‌دهد. افزایش این جلبکهای مرگ بار موجب وارد آمدن خسارات بسیاری به ماهیگیران، شیلات، ذخایر دریایی و محیط زیست آن خواهد شد. همچنین به علت ورود آلودگی رودخانه ای و ساحلی، به محیطی غنی از مواد غذایی تبدیل شده، با گرم شدن هوا بهترین شرایط برای شکوفایی پلانکتونی ایجاد می شود. بر اثر تولید مثل سریع پلانکتون گیاهی رنگدانه هایی در سلول های جلبکی به وجود می آید که رنگ آب را تغییر می دهد، تغییر رنگ آب می تواند قرمز، زرد، نارنجی، قهوه ای، سبز و ارغوانی باشد. از طرف دیگر غلظت و گسترش کلروفیل a می تواند بعنوان اندیکاتور فراوانی نوترینت ها و تخمین میزان تولیدات اولیه باشد (Behrenfeld and Falkowski, 1997) که خود نشانگر

مهمی جهت شناسایی محل تشکیل جمعیت های ماهیان است و ارزش اقتصادی بالایی دارد (Mansor *et al.*, 2001).
سنجنده MODIS دارای حساسیت رادیومتریکی بالا ۱۲بیت و در ۳۶ باند طیفی است. دامنه طیفی آن در باندهای ۱ تا ۱۹ از طول موجهای ۹۶۵-۶۲۰ نانومتر و در باندهای ۲۰ تا ۳۶ از طول موجهای ۱۴/۳۸-۳/۶۶ میکرومتر قرار دارد. این امر نشان دهنده تنوع وسیع کاربردهای داده ها در فرآیندهای سطح زمین، اتمسفر و اقیانوس است (Robinson, 2004). از میان ۳۶ باند سنجنده MODIS، باندهای ۲۰،۲۲ و ۲۳ در محدوده طیفی ۴ میکرومتر دارای تصویربرداری در محدوده طیفی فروسرخ میانی و باندهای ۳۱ و ۳۲ در محدوده طیفی ۱۰ تا ۱۲ میکرون در محدوده فروسرخ دور است که برای بهینه شدن و اندازه گیری دقیق تر SST در آن تعبیه شده اند (Martin, Acker 2004). و همکاران در سال ۲۰۰۹ به تجزیه و تحلیل سری زمانی کلروفیل a از ژانویه ۱۹۹۸ تا ژولای ۲۰۰۷ پرداختند. بدین منظور کلروفیل a از داده های سنجنده SeaWiFS برای ۹ رودخانه ساحلی محاسبه گردید، سپس روند آن با استفاده از روش رگرسیون خطی مشخص گردید. نتایج بدست آمده نشان داده است که مقدار غلظت کلروفیل a تحت تاثیر فعالیت های انسانی زیاد و کم می شود. Kumari و Babu در سال ۲۰۰۹ به بررسی رابطه ماهانه کلروفیل با دمای سطح آب دریا طی سال های ۲۰۰۵-۲۰۰۳ در خلیج بنگال و دریای عربی پرداخته اند. به این جهت داده های سنجنده SeaWiFS برای تهیه مقدار کلروفیل a، داده های سنجنده AVHRR برای تهیه دمای سطح دریا و داده های QuikScat برای بررسی شرایط باد تهیه گردید. نتایج نشان می دهد که رابطه کلروفیل a با دمای سطح دریا همیشه منفی نیست و در بعضی نواحی رابطه مثبت است. Saraceno و همکاران در سال ۲۰۰۵ به بررسی ارتباط داده های دمای سطح دریا با کلروفیل a با استفاده از داده های سنجنده SeaWiFS برای دوره ۲۰۰۳- ۱۹۹۸ در جنوب غربی اقیانوس آتلانتیک پرداختند. به نظر این محققین عامل بادهای محلی به عنوان عامل موثرتر از دمای سطح دریا در فصل بهار و تابستان بر غلظت کلروفیل a است. Tang و همکاران در سال ۲۰۱۰ اثرات تغییرات اقلیمی و دمای سطح دریا با استفاده از داده های سنجنده SeaWiFS طی سالهای ۲۰۰۷-۱۹۹۷ در دریای چین جنوبی بررسی نمودند. نتایج این تحقیق نشان می دهد که غلظت کلروفیل a بین درجه حرارت ۲۰ و ۱- سلسیوس افزایش و سپس در درجه حرارت بیشتر از ۲۰ درجه سلسیوس کاهش پیدا می یابد. Nezlin (۲۰۰۵) با بررسی سری زمانی کلروفیل a طی ۲۰۰۴-۱۹۹۴ سنجنده SeaWiFS در آب های شمالی دریای خزر پرداخت و مشخص گردید که غلظت کلروفیل a در یک همبستگی مثبت با دمای سطح دریا قابل تشریح است. Jamshidi و Bin Abu Bakar در سال ۲۰۱۱ به اندازه گیری میدانی غلظت کلروفیل a در اعماق مختلف آب در سواحل جنوب غربی ایران، بندر انزلی پرداخته اند. موبد و همکاران (۱۳۸۵) تغییرات کلروفیل a سطحی و عمقی را در آبهای خورموسی و شمال شرق خلیج فارس با کمک تکنیک دور سنجی مورد بررسی قرار داده اند. سواری و همکاران (۱۳۸۴) مقادیرکلروفیل سنجنده مادیس ماهواره ترا، میانگین کلروفیل سطحی و میانگین کل کلروفیل اعماق را در منطقه جزیره قشم و تنگه هرمز مورد مطالعه قرار دادند. مدل رگرسیون و آزمونF، مشخص کرد که میانگین کلروفیل a اعماق مورد بررسی با مقدار سنجیده شده ماهواره ارتباط نزدیکتری دارد. نتایج آزمون نشان دهنده همبستگی معکوس و قوی میان کلروفیل a و دمای اندازه گیری شده است. Kideys و همکاران (۲۰۰۸) به بررسی تغییرات زمانی ماهانه کلروفیل a و دمای سطح آب دریای خزر پرداخته اند. غلظت کلروفیل a با استفاده از تصاویر MODIS و SeaWiFS و دمای سطح آب با استفاده از تصاویر NOAA در سری زمانی ۲۰۰۶-۱۹۹۷ تهیه گردید. بخشی از نتایج نشان دهنده افزایش و کاهش غلظت کلروفیل a در دوره گرم و سرد سال است. در مطالعات صورت گرفته شده بررسی روند سری های زمانی کلروفیل a و دمای سطح آب دریای خزر از نظر آماری مورد بررسی قرار نگرفته است. از این رو این مطالعه ضمن بررسی تغییرات زمانی ماهانه و فصلی کلروفیل a و دمای سطح آب از دیدگاه آماری به بررسی روندهای زمانی آن و ارتباط این دو پارامتر می پردازد.

مواد و روش ها

هدف از این مطالعه بررسی روندهای زمانی دمای سطح دریا و غلظت کلروفیل a و همچنین بررسی ارتباط زمانی دمای سطح دریا با غلظت کلروفیل a در مقیاس ماهانه و فصلی دریای خزر است. تصاویر سنجنده مادیس آکوا و ترا از تاریخ ژانویه سال ۲۰۰۳ تا دسامبر ۲۰۰۹

دریافت گردید. جهت اعمال تصحیح اتمسفری و رادیومتریک برای تبدیل مقادیر عددی پیکسل ها به رادیانس و همچنین زمین مرجع نمودن تصاویر و توجیه کردن آن با مختصات حقیقی آن از نرم افزار ENVI 4.5 استفاده شده است. جهت انجام تحلیل داده در 9.3 ARC GIS لازم گردید تا داده ها از فرمت HDF به فرمت GeoTIFF[5] تبدیل گردد. برای محاسبه دمای سطح دریا و کلروفیل a از الگوریتم های کالیبره شده جهانی با دقت مناسب استفاده شده است.

به منظور محاسبه SST از مدل MCSST استفاده گردید، این مدل بر اساس الگوریتم های Split window است که به دلیل استفاده از زاویه زنیتی ماهواره و تصحیحات اتمسفری از دقت قابل توجهی برخوردار است.

رابطه (۱)

$$MODIS - SST = C_1 + C_2 * T_{31} + C_3 * T_{3132} + C_4 * (\sec(\theta) - 1) * T_{3132}$$

T31: دمای روشنایی باند ۳۱

T3132: اختلاف دمای روشنایی در دو باند ۳۱ و ۳۲

θ: زاویه دید ماهواره که از اطلاعات آغازین تصاویر استخراج است

سپس دمای روشنایی در دو باند ۳۱ و ۳۲ سپس با استفاده از ارزش های عددی گسیلندگی تصویر و به کمک قانون عکس پلانک محاسبه گردید رابطه (۲).

$$T = \frac{\left(\frac{hc}{k}\right)}{\lambda * \ln\left(\left(\frac{2hc^2}{L\lambda^5}\right) + 1\right)}$$

T: دمای روشنایی

λ: طول موج(m)

h: ثابت پلانک

C: سرعت نور

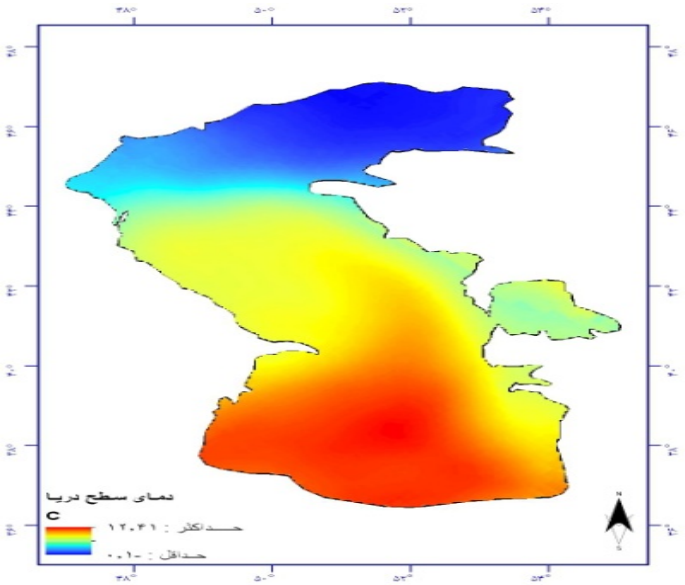
K: ثابت بولتزمان

L: گسیل انرژی

بمنظور محاسبه و کالیبره کردن SST بر اساس مدل MCSST، از ضرایب خروجی های مدل ECMWF استفاده شده است. این داده ها در فواصل ۱۰ درجه ای طول و عرض جغرافیایی قرار دارند و در زمانهای ۰۰/۰۰ و ۱۲/۰۰ UTC و در روزهای اول و شانزدهم هر دو ماه یکبار از سال ۱۹۹۶ برگرفته شده اند. ضرایبی که از این روش محاسبه می شوند، پایه الگوریتم تصحیح جوی برای محاسبه SST موجود در ماهواره است. میزان خطای پیش بینی شده در محاسبه مقادیر SST ۰/۳۴۵ کلوین است. (Brown and Minnett, 1999) (جدول ۱). با اعمال الگوریتم توضیح داده شده مقادیر دمای سطح آب تهیه گردید (شکل ۲). در نقشه دمای سطح آب تهیه شده در تاریخ ژانویه ۲۰۰۷، مشاهده می گردد که در دوره سرد سال، نواحی شمالی دریای خزر دمای کمتری نسبت به نواحی جنوبی دارد. این امر عمدتاً به علت عرض بالای جغرافیایی، کاهش زاویه میل خورشید و ورود آب سرد نواحی شبه قطبی ولگا است.

جدول ۱: ضرایب بدست آمده ECMWF برای محاسبه مقادیر SST از الگوریتم MCSST

	T30 - T31 > 0.7	T30 - T31 <= 0.7
c1	۱/۱۹۶۰۹۹	۱/۱۱۰۷۱
c2	۰/۹۸۸۸۳۶۶	۰/۹۵۸۶۸۶۵
c3	۰/۱۳۰۰۶۲۶	۰/۱۷۴۱۲۲۹
c4	۱/۶۲۷۱۲۵	۰/۸۷۶۷۵۲



شکل ۲: دمای سطح دریای خزر در ژانویه ۲۰۰۷

الگوریتم تهیه نقشه های کلروفیل a با استفاده از داده های سنجنده MODIS بر پایه مدلی نیمه تحلیلی و بیواپتیکی بنا شده است. بمنظور استخراج مقدار غلظت کلروفیل a از الگوریتم تجربی ضریب جذب مواد آلی رنگی محلول در آب (Colored Dissolved Organic Matter (CDOM) یا OC3M (Gelbstoff که توسط Carder و همکاران در سال ۲۰۰۳ ارائه گردید، استفاده شده است. رابطه (۳) این الگوریتم بر اساس داده های ۳۲۵۵۰ نقطه برداشت شده از دریاها و اقیانوس ها در پروژه جهانی Sea Bass طراحی و کالیبره شده است. میزان خطای پیش بینی شده در محاسبه مقادیر کلروفیل a ۰/۵۵۴ میلی گرم بر متر مکعب است (Sea Bass project, 2006).

رابطه (۳)

$$C_a = 10^{0.283-2.753R+1.457R^2+0.659R^4}$$

که در آن:

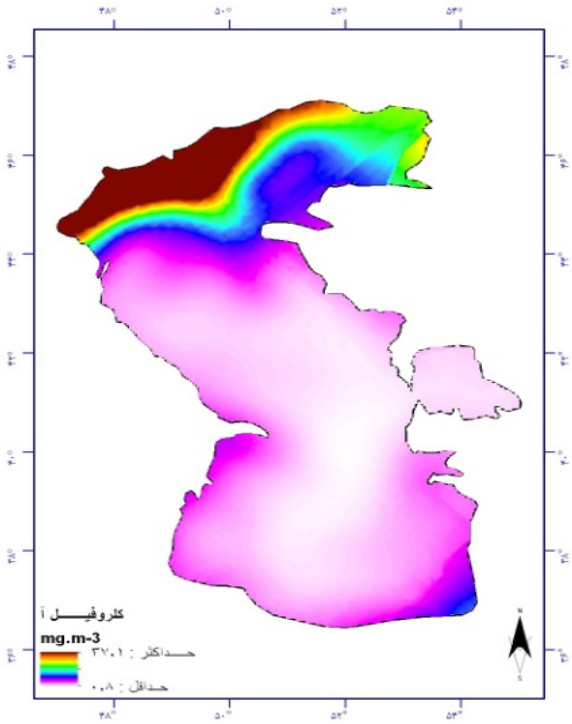
$$R = \log 10\left[\frac{R_{rs\,443} > R_{rs\,488}}{R_{rs\,551}}\right]$$

C_a : غلظت کلروفیل a بر حسب میلی گرم بر متر مکعب

R_{rs} : بازتابش سنجش از دور

R : نسبت باند آبی- سبز (بی بعد)

با اعمال الگوریتم توضیح داده شده مقادیر کلروفیل a آب تهیه گردید. (شکل ۳). در نقشه کلروفیل a دریا در تاریخ ژانویه ۲۰۰۷، مشاهده می گردد که بیشترین پهنه مقادیر غلظت کلروفیل a در نواحی شمال غربی به علت نزدیکی به دلتای ولگا ، وجود عمق کم و ورود آلاینده‌های شهری و کشاورزی به این نواحی است (Europe's Environment, 2007).



شکل ۳: کلروفیل a دریای خزر در ژانویه ۲۰۰۷

در آزمونهای ناپارامتریک تشخیص روند فرض می شود که سریهای زمانی فاقد توزیع آماری مشخصی هستند. این آزمونها تنها وجود روند را تشخیص می‌دهند (Hirsch and Slack, 1984). دو آزمون ناپارامتریک من کندال (Mann-Kendall) و پتیت (Pettitt's test) جهت شناسایی و آشکار سازی تغییرات سری های زمانی مورد استفاده قرار می گیرد (Dietz and Killeen, 1981; Khaled *et al.*, 1998). آزمون من کندال جهت تحلیل روند سری زمانی فصلی کلروفیل a و دمای سطح دریا استفاده شده است.

نتایج

بررسی سری زمانی ماهانه کلروفیل a طی دوره مورد مطالعه نشان می دهد که میزان حداقل و حداکثر غلظت کلروفیل a در ابتدای دوره مطالعاتی از اختلاف کمتری نسبت به انتهای دوره مطالعاتی دارد (شکل ۴). به عبارت دیگر دامنه تغییرات در سال ۲۰۰۳ نسبت به سال ۲۰۰۹ کمتر است. نحوه توزیع فصلی کلروفیل a در دوره مطالعاتی نشان می دهد که فصل زمستان از حداقل غلظت و فصل تابستان از حداکثر غلظت کلروفیل a برخوردار است (شکل ۵). مقدار غلظت کلروفیل a حاکی از روند افزایشی است، بطوریکه میانگین غلظت کلروفیل a در سال ۲۰۰۳ از ۲/۹۵ به مقدار ۴/۵۲ میلی گرم در متر مکعب در سال ۲۰۰۹ افزایش یافته است. به علت ظرفیت ویژه آب، حداقل و حداکثر درجه دمای آب با تاخیر زمانی نسبت به خشکی صورت می پذیرد. حداقل دمای ماهانه سطح آب در ماه فوریه و یک مورد در ماه مارس و حداکثر دمای سطح آب در ماه آگوست و یک مورد در ماه اکتبر رخ داده است. دامنه تغییرات دمای سطح آب از الگوی منظم تری نسبت به کلروفیل a برخوردار است (شکل ۶). همچنین حداقل دمای سطح دریا در فصل زمستان و حداکثر آن در فصل تابستان مشاهده می گردد. شیب تغییرات دما با افزایش یک روند ملایم مثبتی را نسبت به کلروفیل a نشان می دهد، به طوریکه میانگین دمای سطح دریا از ۱۵/۱ درجه سانتی گراد در سال ۲۰۰۳ به ۱۶/۱ درجه سانتی گراد در سال ۲۰۰۹ رسیده است (شکل ۷).

با توجه به p-value محاسبه شده برای کلروفیل a، فرض Ha مبنی بر وجود روند در سطح معنادار ۱ درصد تایید می شود، اما آزمون فوق برای دمای سطح دریا نشان دهنده رد فرض a و در نتیجه عدم وجود روند است (جدول ۲).

جدول۲: آزمون Mann-Kendall جهت تحلیل روند سری زمانی فصلی کلروفیل a و دمای سطح دریا

	کلروفیلa	دمای سطح دریا
Kendall's tau	۰/۳۷۸	۰/۰۳۳
p-value (Two-tailed)	۰/۰۰۹	۰/۸۱۵
Alpha	۰/۰۱	۰/۰۱

در آزمون پتیت فرض توزیع داده ها در نظر گرفته نمی شود. این آزمون بر اساس آزمون مان- ویتنی است که امکان شناسایی تغییرات در سری زمانی را می دهد (Pettitt, 1979) براساس جدول ۳، تغییرات سری زمانی ماهانه دمای سطح آب از نظر آماری معنادار نبوده و H1 در سطح معناداری ۰/۰۵ مبنی بر وجود تغییرات رد می شود، اما این فرض در مورد کلروفیل a قابل تایید است، بطوریکه جهش تغییرات در نیمه سال ۲۰۰۶ در مورد کلروفیل a قابل مشاهده بوده که این امر بیان کننده وجود تغییرات معنی دار در شرایط زیستی دریای خزر است (شکل ۸). بر اساس آزمون فوق تغییرات معنی داری در مورد دمای سطح دریا مشاهده نگردید (شکل ۹). این امر نشان دهنده آن است که جهشی در روند افزایشی دما در دریای خزر در دوره مطالعاتی مشاهده نگردیده است. به عبارت دیگر وجود آنومالی های حرارتی آب دریا طی دوره بررسی وجود نداشته است.

جدول ۳: آزمون Pettitt's جهت آشکار سازی تغییرات سری زمانی کلروفیل a و دمای سطح دریا

	کلروفیل a	دمای سطح دریا
t	۴۱	۲۸
p-value (Two-tailed)	۰/۰۲۲	۰/۸۱۱
Alpha	۰/۰۵	۰/۰۵

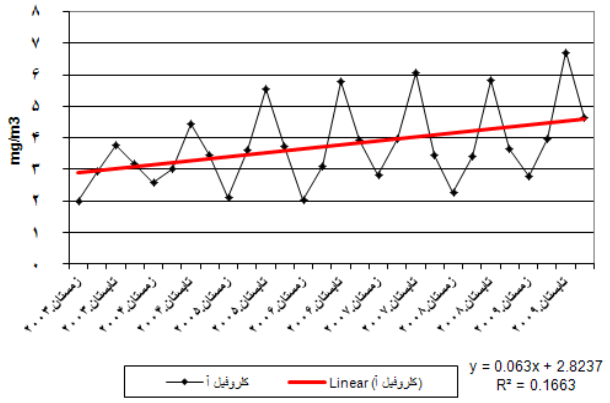
بررسی الگوی ماهانه غلظت کلروفیل a با الگوی ماهانه درجه حرارت سطح دریا نشان دهنده وجود همبستگی است، بطوری که با افزایش یا کاهش درجه حرارت سطح آب، مقدار غلظت کلروفیل a نیز رفتار افزایشی یا کاهشی را نشان می دهد (شکل ۱۰). همچنین میانگین متحرک فصلی بیانگر این رابطه است (شکل ۱۱). به این جهت رگرسیون خطی به عنوان بهترین مدل جهت برازش و توضیح این رابطه تعیین گردید (شکل ۱۲) (رابطه ۴). مقدار مجموع میانگین مربعات خطای مدل برابر با ۰/۸۸ میلی گرم بر متر مکعب است. R^2 تعدیل یافته نشان می دهد که ۶۵ درصد از غلظت کلروفیل a توسط دمای سطح دریا قابل توجیه است، همچنین F فیشر معناداری رابطه و توانمندی آن را تایید می کند (جدول ۴).

(رابطه ۴)

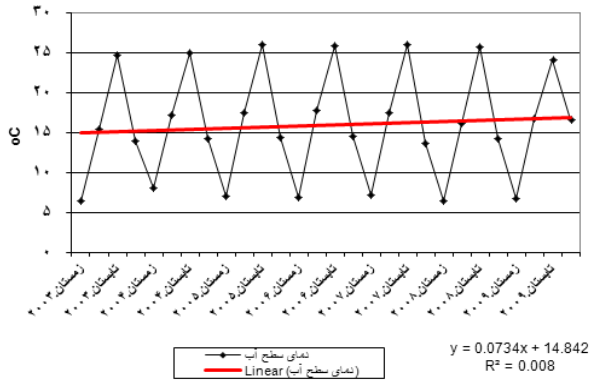
$$\text{Chlorophyl a}_{mg/m3} = 1.174 + 0.161 * SST$$

جدول ۴: خصوصیات آماری مدل رگرسیون خطی

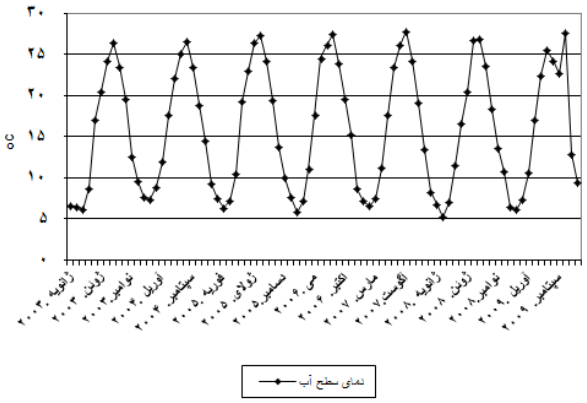
R^2	R^2 تعدیل یافته	RMSE	F	Pr > F
۰/۶۵۶	۰/۶۵۲	۰/۸۸	۱۵۶	<۰/۰۰۰۱



شکل ۴: سری زمانی ماهانه کلروفیل a در دریای خزر

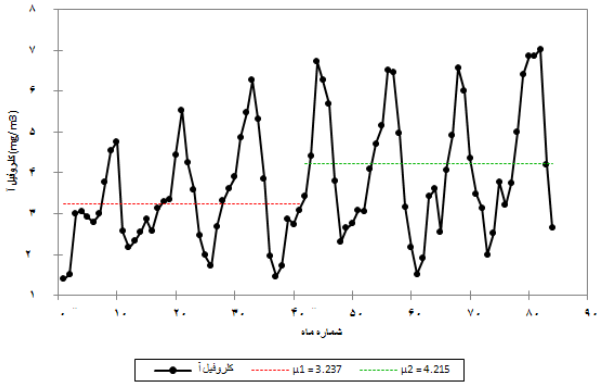


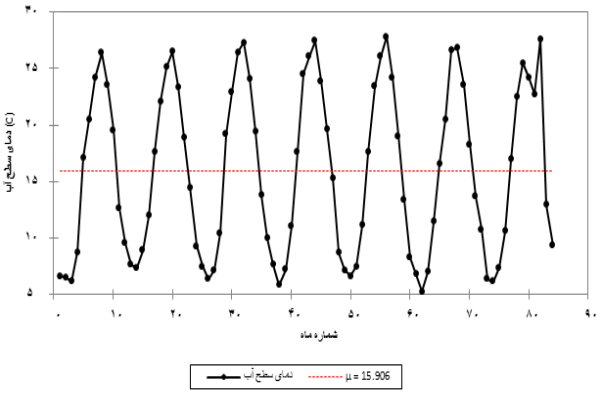
شکل ۵: سری زمانی فصلی کلروفیل a در دریای خزر



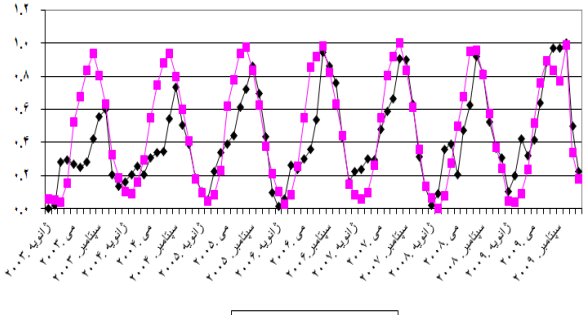
شکل ۶: سری زمانی ماهانه دمای در سطح دریای خزر

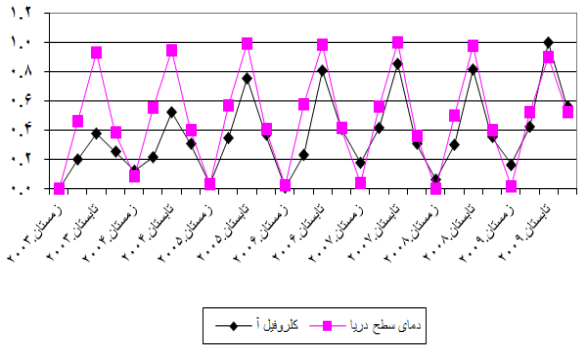
شکل ۷: سری زمانی فصلی دمای سطح در دریای خزر



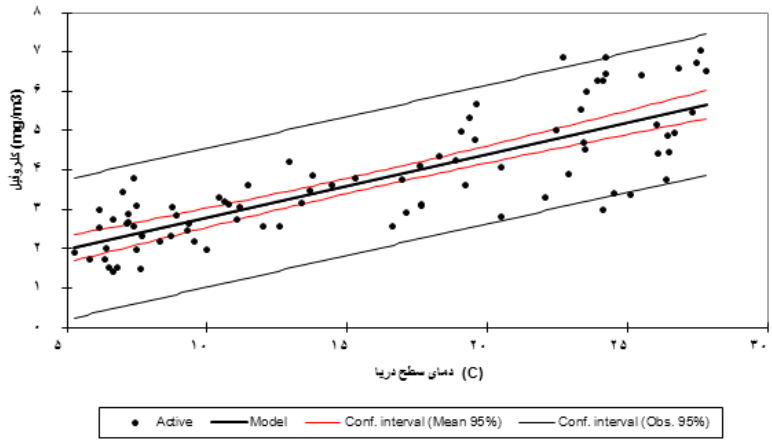


شکل۸: تغییرات سری ماهانه کلروفیل a (بر اساس آزمون پتیت) **شکل۹: تغییرات سری ماهانه دمای سطح دریا** (براساس آزمون پتیت)





شکل۱۰: الگوی ماهانه کلروفیلa و دمای سطح دریای خزر شکل۱۱: الگوی فصلی کلروفیلa و دمای سطح دریای خزر



شکل۱۲: رابطه رگرسیون خطی بین کلروفیل a با دمای سطح دریای خزر

بحث و نتیجه گیری

درک خصوصیات فیزیکی محیط های دریایی اهمیت زیادی دارد، چرا که توسعه و گسترش گونه های دریایی تحت تاثیر ویژگیهای فیزیکی قرار دارد (Marra *et al.*, 1990; Nel *et al.*, 2001). غلظت کلروفیل a شاخصی از زی توده تولیدکنندگان اولیه فیتوپلانکتون است. از طرفی میان دمای سطح آب دریا و غلظت کلروفیل همبستگی وجود داشته و دمای سطح آب به عنوان یکی از عوامل مهم در نحوه توزیع مکانی- زمانی غلظت کلروفیل a محسوب می گردد (Harding *et al.*, 1986). به همین دلیل در این پژوهش بطور هم زمان فاکتور فیزیکی دما و فاکتور بیولوژیک کلروفیل a مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج این بررسی ها نشان داد که با استفاده از سری های زمانی طولانی مدت داده های ماهواره ای امکان مطالعه پارامترهای زیستی دریا را فراهم می شود که به کمک آن می توان پدیده هایی را مانند اثرات مضر بلوم ها، کوکولیتوفر و تغییرات در اکوسیستم های دریایی را بررسی نمود. طبق نتایج بدست آمده از بررسی سری زمانی کلروفیل a و دمای سطح آب دریای خزر مشخص گردید که تغییرات افزایشی در غلظت کلروفیل a معنادار بوده، ولی در مقابل تغییرات دمای سطح آب معنادار نبوده است. در این مورد بخشی از مطالعات Kideys و همکاران (۲۰۰۸) در جنوب دریای خزر در دوره ۲۰۰۶-۱۹۹۷ موید این امر است. همچنین نتایج مطالعه Kopelevich و همکاران (۲۰۰۹) نشان داد که تغییرات افزایشی در غلظت کلروفیل a در قسمت های مختلف دریای خزر متفاوت بوده است. همچنین مقدار نواسانات ماهانه (همان) و فصلی نیز از مکانی به مکان دیگر متغیر است (نصرالله زاده ساروی و حسینی، ۱۳۸۳). از آنجایی که کلروفیل a نشان دهنده توان زیستی در آبها است (Longhurst ,1998) روند افزایشی آن در دریای خزر نشان دهنده افزایش ورود مواد مغذی گیاهی و مواد آلوده صنعتی و کشاورزی توسط رودخانه های ساحلی به دریا می باشد. این امر باعث افزایش غلظت فیتوپلانکتونی و در نتیجه ضررهای گوناگونی را به محیط جانوران آبی و در نهایت به انسان تحمیل می کند. این مسائل با توجه به عدم وجود جریان های بزرگ مقیاس در دریای خزر به دلیل بسته بودن آن و عدم ارتباط با آب های آزاد شدت بخشیده می شود. نتایج تحلیل رگرسیونی نشان داد که عامل رژیم حرارتی آب دریای خزر بر میزان غلظت کلروفیل a موثر است. این رابطه به صورت یک همبستگی مثبت بین میزان غلظت زمانی کلروفیل a و دمای سطح دریای خزر قابل توضیح است. از آنجایی که هدف این مطالعه بررسی تغییرات کلروفیل a و دمای سطح آب در کل پهنه دریای خزر بوده است، پیشنهاد می گردد جهت دستیابی به نتایج کاربردی تر بررسی های میان مقیاس یا منطقه ای (Gould and Arnone, 2004) و خوشه بندی های مکانی این دو پارامتر جهت مطالعه روندهای محلی این پارامترها در دریای خزر انجام گیرد.

منابع

اسفندیارنژاد، ا.، کمالیان، ر. و کیانی پور، م.، ۱۳۸۳. تعیین درجه حرارت سطح دریا (SST) با استفاده از داده های ماهواره ای.مجموعه مقالات ششمین همایش بین المللی سواحل، بنادر و سازه های دریایی.

سواری، ا.، رنگزن، ک.، خالدی، ه. و چینی پرداز، ر.، ۱۳۸۴. کاربرد تکنیکهای سنجش از دور (R.S) و (GIS) در تخمین تولید اولیه (فیتوپلانکتونهای) سواحل جزیره قشم و تنگه هرمز . مجموعه مقالات ششمین همایش علوم و فنون دریایی.

موبد، پ.، رنگزن، ک.، سواری، ا. و خالدی، ه.، ۱۳۸۵. استفاده از سنجنده های مختلف ماهواره ای در تعیین کلروفیل منابع آبی وبررسی این روشها در اندازه گیری کلروفیل آبهای جنوب استان. مجموعه مقالات هفتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه .

نصر الله زاده ساروی، ح. و حسینی، ع.، ۱۳۸۳. بررسی میزان همبستگی تغییرات کلروفیل a و عامل شفافیت در حوضه جنوبی دریای خزر. مجله شیلات ایران. شماره ۱۳. صفحات ۲۰۰-۱۹۱.

Acker James, G., McMahon, E ., Shen, S., Hearty, T. and Casey, N., 2009. Time-Series Analysis of Remotely-Sensed SEAWIFS Chorophyll in River-Influenced Costal Regions, EARSeL eProceedings 8, 2.,114-138.

Behrenfeld, M. J. and Falkowski, P. G., 1997. Photosynthetic rates derived from satellitebased chlorophyll a concentration. Limnology and Oceanography 42., 1-2.

Behrenfeld, M. J., O'Malley, R. T., Siegel, D. A., McClain, C. R., Sarmiento, J. L., Feldman, G. C., Milligan, A. J., Falkowski, P. G., Letelier, R. M. and Boss, E. S., 2006. Climate - driven trends in contemporary ocean productivity. Nature 444., 752–755.

Brown, O. B. and Minnett, P. J., 1999. MODIS Infrared Sea Surface Temperature Algorithm Algorithm Theoretical Basis Document. Version 2.0. University of Miami, FL 33149-1098., 16-20.

Carder, K. L., Chen, F. R., Lee, Z., Hawes, H. K. and Cannizzaro J. P., 2003. MODIS Ocean Science Team Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD 19), Case 2 2 Chlorophyll a. Version 7 Retrieved 21.,17.19.

Dietz, E. J. and Killeen, T. J., 1981. A nonparametric multivariate test for monotone trend with pharmaceutical applications. Journal of the American Statistical Association 76., 169-174.

Europe's environment report, 2007. The fourth assessment, marine and coastal environment. No 1. chapter5. 217-218.

Gould, W. R. and Arnone, A. R., 2004. Temporal and spatial variability of satellite sea surface temperature and ocean color in the Japan/East Sea, International Journal of Remote Sensing, 25(7-8).,1377-1382.

Harding, L. W., Meesoon, W. and Fisher, T. R., 1986. Phytoplankton production in two east coast estuaries: photosynthesis-light functions and pattern of carbon assimilation in Chesapeake and Delaware Bays. Estuarine Coastal and Shelf Science.23., 773-806.

Hirsch, R. M. and Slack, J. R., 1984. A nonparametric trend test for seasonal data with serial dependence. Water Resources Research, 20., 727-732.

Jamshidi, S. and Bin Abu Bakar, N., 2011. A study on distribution of chlorophyll-a in the coastal waters of Anzali Port, south Caspian Sea. Ocean Sci. Discuss., 8., 435–451.

Khaled, H., Hamed, A. and Rao, R., 1998. A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data, Journal of Hydrology, Volume 204, Issues 1-4.

Kideys, E., Roohi, A., Eker-Develi, A., Melin, E. F. and Beare, D., 2008. Increased Chlorophyll Levels in the Southern Caspian Sea Following an Invasion of Jellyfish. Research Letters in Ecology.

Kopelevich, O., Sheberstov, S., Bayanova, E., Burenkov, V. and Vazulya, S., 2009. Satellite Color Scanners Data Application for Bioecological Monitoring of Russian European Seas. Proceeding of the 4th international conference "earth from space – the most effective solutions.

Kosarev ,A. N. and Kostianoy, A. G., 2005. Book Chapter of the Caspian Sea Environment. The Handbook of Environmental Chemistry, 2005, Volume 5P., 257-268.

Kosarev, A. N., 2005. Physico-Geographical Conditions of the Caspian Sea. Book Chapter of the Caspian Sea Environment, Volume 5P, 5-31.

Kumari, B. and Babu, K. N., 2009. Provincial nature of chlorophyll and sea surface temperature observed by satellite, International Journal of Remote Sensing, Volume 30, Issue 4 ., 1091-1097.

Longhurst, A., 1998. Ecological Geography of the Sea. 398 pp.

Mansor, S. B., Chun Knee, T., Ibrahim, H. M., Sharif, A. R. M., 2001. Satellite Fish Forecasting In South China Sea Proc. ACRS 2001, 22nd Asian Conference On Remote Sensing, Vol. 2., 887-892.

Marra, J., Houghton, R. W., dan Garside, C., 1990. Phytoplankton growth at the shelf break front in the middle Atlantic Bight. Journal of Marine Research 48,.851-868.

Martin, S., 2004. An introduction to ocean remote sensing. Cambridge University Press. 172,173.

Morel, A., 1991. Light and marine photosynthesis: a spectral model with geochemical and climatological implications. Prog. Oceanogr., 26., 263–306.

Nel, D. C., Lutjeharms, J. R. E., Pakhomov, E. A., Ansorge, I. J., Ryan, P. G. and Klages, N. T. W., 2001. Exploitation of mesoscale oceanographic features by grey-headed albatross Thalassarche chrysostoma in the southern Indian Ocean. Marine Ecology Progress Series 217., 15–26.

Nezlin, P., In: (edition.), Kostianov, A.G. and Kosarev, A.N., 2005. Patterns of Seasonal and Interannual Variability of Remotely Sensed Chlorophyll. The Caspian Sea Environment (Handbook of Environmental Chemistry). Springer.143-157.

Pettitt, A. N., 1979. A non-parametric approach to the change-point problem. Appl. Statist., 28(2)., 126-135.

Platt, T., Sathyendranath, S., Caverhill, C. M., and Lewis, M. R., 1988. Ocean primary production and available light: further algorithms for remote sensing. Deep-Sea Res. I, 35, 855–879.

Platt, T., Sathyendranath, S., Caverhill, C. M. and Lewis, M. R., 1988. Ocean primary production and available light: further algorithms for remote sensing. Deep-Sea Res. I, 35, 855–879.

Raymont, J. E. G., 1984. Plankton and Productivity in the Oceans. Vol. 1. Phytoplankton. Pergamnon Press, Oxford.

Robinson, I. S., 2004. Measuring the oceans from space: the principles and methods of satellite oceanography. Springer.228.

Saraceno, M., Provost, C. and Piola, A. R., 2005. On the relationship between satellite-retrieved surface temperature fronts and chlorophyll a in the western South Atlantic. Journal of Geophysical Research, Vol. 110, C11016.

Sea Bass project, 2006. Sea bass validation data summary Retrieved 30 th October 2006 .from http://seabass.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/validation_cruises.cgi.

Tang, S., Dong, Q. and Liu, F., 2010. limate-driven chlorophyll-a concentration in terannual variability in the South China Sea. Springer-Verlag. Theor Appl Climatol.