The 2nd National Conference on
Geospatial Information Technology (NCGIT)

K.N.Toosi University of Technology
Faculty of Geomatics Engineering

18 January 2017

دومین کنفرانس ملی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی نقشه‌برداری
۲۹ دی ماه ۱۳۹۵

بررسی و مقایسه دمای سطح و کلروفیل آب‌ها با استفاده از تصاویر لندست-۸ (مطالعه موردی خلیج فارس)

فاطمه بیات[۱*]، نسرین مرادی[۲] ، مهدی حسنلو[۳]

۱- کارشناسی ارشد هیدروگرافی، دانشکده مهندسی نقشه¬برداری و اطلاعات مکانی،پردیس دانشکده¬های فنی، دانشگاه تهران
۲- کارشناسی ارشد هیدروگرافی، دانشکده مهندسی نقشه¬برداری و اطلاعات مکانی،پردیس دانشکده¬های فنی، دانشگاه تهران
۳- استادیار، دانشکده مهندسی نقشه¬برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده¬های فنی

چکیده :

دمای سطح آب و کلروفیل نوع آ فاکتور بسیار مهمی برای کاربردهای هواشناسی، شیلات و اقیانوس‌شناسی می‌باشد. این فاکتورها نمایانگر وضعیت فیزیکی دریاها و اقیانوس‌ها می‌باشند. این پارامترها برای توصیف چرخه اقیانوسی و دینامیک دریاها، پردازش‌های بیوشیمیایی و بیولوژیکی، فیزیک اقیانوس‌ها، استفاده در مدل‌های هواشناسی دریایی، مطالعات برهم کنش آب و هوا در سطح دریاها و به‌عنوان یک شاخص برای بررسی تغییرات اقلیمی به طور وسیع بکار برده می‌شود. سنجنده TIR ماهواره لندست-۸ امکان استفاده از تصاویر با توان تفکیک مکانی بالای ماهواره‌ای در برآورد دمای سطح و سنجنده‌ی OLI این ماهواره نیز امکان برآورد کلروفیل نوع آ را فراهم کرده‌اند. در این پژوهش با استفاده از تصاویر این ماهواره مقادیر دمای سطح آب و کلروفیل نوع آ را در برخی از روزهای سال ۹۲، در منطقه‌ای در خلیج فارس به‌دست آورده و تغییرات این دو پارامتر مورد بررسی قرار گرفته است. براساس نتایج حاصل از این بررسی (اثر هم‌افزایی (Synergy effect)) کاهش مقدار دمای سطح آب همراه با افزایش مقدار کلروفیل نوع آ در فصول مختلف مشاهده می‌شود.

واژه‌های کلیدی : دمای سطح آب ها، کلروفیل آ، لندست-۸، کشند قرمز، هم‌افزایی.

نویسنده مکاتبه کننده : فاطمه بیات
آدرس پستی : تهران، کارگرشمالی، بالاتر از جلال آل احمد، پردیس دانشکده¬های فنی، دانشگاه تهران، دانشکده مهندسی نقشه¬برداری
تلفن : ۶۱۱۱۴۵۲۵
آدرس پست الکترونیک : hasanlou@ut.ac.ir

۱- مقدمه

به‌طور کلی بهره‌مندی از داده‌های سنجش‌ازدوری در اقیانوس‌شناسی، برای استفاده از داده‌ها در اشتراک بین مدل‌ها از طریق روش‌های جذب داده‌ها ضروری است[۱]. اندازه‌گیری‌های متداول پارامترهای کیفی آب نیازمند نمونه‌برداری‌های درجا[1]، تجزیه و تحلیل و اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی است. این تکنیک‌ها بسیار گران‌قیمت و زمان‌گیر هستند. ماهواره‌های اقیانوس‌شناسی با ارائه مشاهدات سریع، همزمان و همدیدی[2] را می‌توان بطور معمول برای استخراج پارامترهای کیفی سطح آب‌ها که محیط‌زیست ساحلی را پوشش می‌دهد استفاده کرد. این پارامترها از عوامل اصلی مؤثر بر فرآیندهای زیست‌محیطی به عنوان شاخص سلامت سیستم می‌باشند[۱]. ایده اصلی سنجش‌ازدور در ارزیابی کیفیت آب، استفاده از تفاوت انعکاس طیفی[3] می‌باشد. این تفاوت طیفی در درجه اول مربوط به نور بالا آمده[4] از آب با توجه به نور پراکنده شده در جهت برگشت ذرات و مولکول‌های آب دریا است. این تنها بخشی از درخشندگی کلی مشاهداتی است که شامل اطلاعات کمی، مرتبط با غلظت ترکیبات اقیانوسی است، که توسط سنجنده‌های سنجش‌ازدوری اندازه‌گیری می‌شود. در نتیجه این تشعشعات طیفی مشاهداتی می‌توانند با تجزیه و اندازه‌گیری پارامترهای عمده کیفی آب (مانند کلروفیل نوع آ و دمای سطح دریاها) پس از تصحیح سیگنال سنجنده از لحاظ جذب اتمسفری و پراکندگی گازها و ذرات معلق هوا[5] تخمین زده شوند[۲]. از چالش‌های سنجش‌ازدور، برآورد دقیق پارامترهای ژئوفیزیکی از سطح زمین است. سنجش‌ازدور ماهواره‌ای، یک تکنیک مؤثر و منحصر به فرد می‌باشد که امکان اندازه‌گیری‌های دقیق از وضعیت سطح زمین در مقیاس بزرگ را به ما می‌دهد[۳]. با گسترش ابزارهای سنجش‌از دوری امکان برآورد پارامترهای ژئوفیزیک از سطح زمین با دقت بالا نیز فراهم شد. در این راستا می‌توان ماهواره لندست-۸ را نام برد که در سال ۲۰۱۳ به فضا پرتاب شده است. سنجنده OLI این ماهواره دارای نه باند طیفی در محدوده مرئی، مادون‌قرمز نزدیک و مادون‌قرمز میانی است، که امکان براورد کلروفیل-آ با استفاده از تصاویر با توان تفکیک مکانی متوسط ۳۰ متری را فراهم می‌کند. همچنین سنجنده TIR این ماهواره با دارابودن دو باند حرارتی در محدوده مادون‌قرمز حرارتی امکان استفاده از الگوریتم‌های پنجره مجزا در برآورد دمای سطح آبها را فراهم کرده است[۴]. با توجه به اینکه در سال ۱۳۸۷ و پس از آن در سواحل خلیج فارس و دریای عمان پدیده کشند قرمز مشاهده شده است، بررسی و مطالعه‌ی تصاویر کلروفیل-آ و دما در این مناطق اهمیت ویژه‌ای یافت[۵]. صمد حمزه‌ئی و همکاران در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که کاهش دمای آب تا ۲۵ درجه سانتیگراد باعث افزایش کشند قرمز شده است. همچنین بر اساس تحقیقات آنها در مناطقی که کشند قرمز رخ داده است، کلروفیل-آ و کربن آلی آب افزایش می‌یابند[۶]. مسعود مرادی نیز در سال ۲۰۱۳ در پژوهشکده فناوری و مهندسی دریا به این نتیجه رسیدند که کاهش مقدار دمای سطح آب همراه با افزایش کلروفیل-آ در فصول مختلف سال مشاهده می‌شود[۷].

یکی از ویژگی‌های کشورهای پیشرفته، داشتن پایگاه‌های اطلاعاتی معتبر و حجیم از داده‌های مختلف است. داشتن اطلاعات کافی و جامع از پارامترهای اقیانوس شناسی و هواشناسی از جمله مواردی هستند که اقتدار یک کشور را در عرصه دریاهای سرزمینی خود به نمایش می‌گذارند. این نوع پایگاه‌های داده برای مطالعات و تصمیم‌گیری در مورد دریاها بسیار ضروری و با اهمیت هستند. داشتن چنین بانک‌های اطلاعاتی می‌تواند تصویری روشن از وضعیت دریاهای کشور در اختیار محققیق و تصمیم‌گیران قرار دهد[۷]. بنابراین هدف اصلی از این مطالعه به‌کارگیری برنامه‌های کاربردی نوین مشاهدات سنجش‌ازدوری برای محاسبه و بازیابی پارامترهای فیزیکی کیفیت آب (مانند کلروفیل-آ و دمای سطح دریاها) در منطقه مورد مطالعه و بررسی هم‌افزایی این پارامترها بر یکدیگر می‌باشد.

---

[1] In situ
[2] Synoptic
[3] Spectral reflectance
[4] upwelling light
[5] Aerosol

۲- دمای سطح آب‌ها

دمای سطح آب‌ها (SST)[1] همانطور که از نامش پیداست به معنای دمای سطح آب دریا است که اندازه‌گیری آن به لایه‌های بالایی سطح آب مربوط است[۸]. SST فاکتور مهمی برای کاربردهای هواشناسی و شیلات می‌باشد، چرا که این عامل نمایانگر وضعیت فعلی و آینده‌ی اقیانوس می‌باشد و وابستگی زیادی به تولید ابر و مه در سطح آب در مناطق ساحلی دارد. این پارامتر شامل اطلاعاتی در مورد اطلاعات اقلیمی می‌باشد که مستقیماً بر روی سلامتی انسان، اقتصاد و امثال این امور تأثیر می‌گذارد[۹]. این پارامتر اقیانوسی برای توصیف جریان‌های اقیانوسی[2] و دینامیک دریاها و حتی در پردازش‌های بیوشیمیایی و فیزیکی اقیانوس، به‌عنوان یک موقعیت مرزی برای مدل‌های هواشناسی، به‌عنوان یک عامل اصلی در مطالعات چرخش دو جانبه‌ی آب‌وهوا[3] و به عنوان یک شاخص برای تغییرات اقلیمی به‌طور وسیعی به‌کار می‌رود[۱۰]. یکی از کاربردهای مهم این فاکتور در علوم اقیانوسی، استفاده از آن در کنار فاکتورهای دیگر از قبیل کلروفیل_آ (Chl-a) برای پایش مناطق مستعد حضور ماهی می‌باشد[۱۱]. در حال حاضر سنجنده‌های MODIS[4]، AVHRR، ASTER و Landsat بیشترین استفاده را در بازیابی دمای سطح دارند[۳]. میزان دقت برای این سنجنده‌ها برای روش‌های مختلف متفاوت است. دقت محصولات دمایی سنجنده MODIS برای مناطق آبی در حدود ۰/۵-۰/۳ درجه سانتیگراد می‌باشد[۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶ و ۱۷].

در این تحقیق در زمینه مدلسازی دمای سطح آب‌ها (SST) از تصاویر ماهواره ای لندست-۸، به دلیل توان تفکیک مکانی بالای آن‌ها و هم‌چنین وجود دو باند حرارتی که امکان استفاده از الگوریتم‌های پنجره مجزا[5] را فراهم می‌کند، استفاده شده است. روش‌های پنجره مجزا (SW) برای اولین‌بار توسط مک میلین[6] (۱۹۷۵) پیشنهاد شدند که با استفاده از تلفیق باندهای حرارتی مجاور به کاهش تأثیرات اتمسفری می‌پردازند[۱۸]. با توجه به خطای بوجودآمده از خطی‌سازی معادله انتقال تابشی و همچنین به دلیل تقریب‌های استفاده‌شده در الگوریتم‌های پنجره مجزا(SW)، مقدار دمای سطح که از این روش‌ها برای مناطق اتمسفری گرم و مرطوب بدست می‌آید دارای خطای تقریباً بالایی می‌باشد. برای کاهش این خطاها مدل‌های غیرخطی ارائه شدند[۱۹]. هوسودا[7] و همکارانش نیز به این نتیجه رسیدند که کیفیت الگوریتم‌های غیر خطی NLSST بهتر از الگوریتم‌های خطی MCSST است[۲۰]. با توجه به ویژگی‌های ماهواره لندست-۸ الگوریتم غیر خطی NLSST برای این پژوهش انتخاب گردید. در جدول (۱) معادلات مربوط به الگوریتم خطی MCSST و الگوریتم غیر خطی NLSST ارائه می‌شود.

جدول ۱: معادلات الگوریتم خطی MCSST و الگوریتم غیر خطی NLSST

الگوریتم	پدیدآورنده	معادله
MCSST	McClain, E.p, et al[۲۱]	$MCSST = a_0 + a_1T_i + a_2(T_i - T_j)$
NLSST	NOAA's operational SST algorithm [22]	$NLSST = a_0 + a_1T_i + a_2(T_i - T_j)$(MCSST)

[1] Sea Surface Temperature
[2] Ocean circulation
[3] Air sea fluxes
[4] Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
[5] Split Window
[6] McMillin
[7] Hosoda

۳- کلروفیل-آ

فیتوپلانکتون‌ها، ارگانیسم‌های میکروسکوپی هستند که به‌عنوان یک جزء اساسی در اکوسیستم‌های دریایی می‌باشند و تولیدکننده‌ی عمده ترکیبات آلی از انرژی خورشیدی و پایه‌ی زنجیره غذایی در اقیانوس هستند[۲۳]. در نتیجه‌ی شرایط مطلوب زیست‌محیطی شامل لایه‌بندی ستون آب، افزایش میزان نور در دسترس، دمای آب و یا سطح مواد مغذی تعداد سلول فیتوپلانکتون افزایش می‌یابد. توزیع جهانی کلروفیل، نماینده‌ی مستقیم برای زیست‌توده‌ی فیتوپلانکتون می‌باشد. اندازه‌گیری‌های استخراج شده از ماهواره از داده‌ی کلروفیل یک اندازه‌گیری اساسی از مبنای ذخیره‌ی غذایی فراهم می‌کند، که کلیدی برای اندازه‌گیری تغییرات اکوسیستم در یک مقیاس جهانی است[۲۴]. کارهای کلارک و همکاران در سال ۱۹۷۰ مشخص کرد که کلروفیل (و یا به طور کلی رنگدانه) موجود در فیتوپلانکتون در نزدیک سطح آب‌ها تغییرات سیستماتیکی در رنگ اقیانوس ایجاد می‌کند که می‌تواند از فضا مشاهده شود. در نتیجه سنجش‌ازدور طیفی با استفاده از رنگ آب به عنوان ورودی می‌تواند خواص مورد نظر مانند غلظت کلروفیل را تعیین کند[۲۵]. سنجنده‌ی CZCS[1] بر روی ماهواره Nimbas-7 اولین سنجنده ماهواره‌ای رنگ اقانوس است که نمونه اولیه برای بازیابی رنگ اقیانوس از فضا را با ارائه داده‌های جمع‌آوری شده در طی سالهای ۱۹۷۸_۱۹۸۶ فراهم‌کرد. کیفیت محصولات داده‌های CZCS به طور معنا داری به علت نبود اندازه‌گیری‌های میدانی برای فراهم‌کردن مقادیر حقیقی پارامترهای دریایی پایین بود[۲۶]. در ادامه از سال ۱۹۹۷ سنجنده SeaWIFS[2] و سنجنده‌هایی چون MODIS و MERIS[3] مطالعات رنگ اقیانوس ادامه یافت اما این سنجنده‌ها با توان تفکیک مکانی پایین و متوسط اطلاعات رنگ اقیانوسی را دریافت می‌کردند. در این بررسی از سنجنده OLI[4] که که برروی ماهواره لندست-۸ قرار دارد استفاده شد. این سنجنده اطلاعات را با توان تفکیک مکانی ۳۰ متر در نه باند طیفی جمع‌آوری می‌کند بنابراین در مقایسه با سنجنده‌های گذشته با داشتن توان تفکیک مکانی بسیار بهتر برای بررسی مناطق ساحلی بسیار مناسب‌تر می‌باشد. نور با ویژگی‌های طیفی شناخته شده وارد آب می‌شود و ویژگی‌های طیفی آن توسط ذرات معلق در آب از طریق جذب و پخش تغییر داده شده است. بخشی از نور حاوی این اطلاعات طیفی از آب خارج می‌شود (یعنی Lw) و مربوط به ویژگی‌های ژئوفیزیکی آب است. غلظت کلروفیل رایج‌ترین محصول رنگ اقیانوس به‌عنوان محصول اولیه است. محصولات اولیه با الگوریتم‌ها استخراج می‌شوند که بر Lw برای شرح محصولاتی مانند غلظت کلروفیل تکیه دارد. کلروفیل در درجه‌ی اول طیف آبی را جذب و طیف سبز را منعکس می‌کند. ازاین‌رو تغییر در نسبت آبی به سبز برای برآورد حضور کلروفیل استفاده می‌شود[۲۷]. غلظت کلروفیل می‌تواند از نظر تجربی وابسته به انعکاس خارج شده از آب در فرم‌های گوناگون باشد. این ارتباطات تجربی اغلب به صورت وسیعی استخراج شده‌اند. رایج‌ترین الگوریتم‌های رنگ اقیانوسی نسبت‌باند طیفی آبی-سبز تجربی هستند که برای بازیابی کلروفیل استفاده شده‌اند. بیشتر جذب فیتوپلانکتون در این بخش از طیف مرئی اتفاق می‌افتد. این الگوریتم‌ها اساساً از یک نسبت باند آبی/سبز استفاده می‌کند به صورتی که آبی طول موجی در حدود ۴۴۳، ۴۹۰ و ۵۱۰ نانومتر می‌باشد. الگوریتم نسبت باند آبی به سبز بر مبنای رگرسیون تجربی بین آبی به سبز و کلروفیل می‌باشد [۲۴]. الگوریتمی که در این مقاله برای بررسی غلظت کلروفیل مورد استفاده قرار گرفته است الگوریتم OC_4 می‌باشد. SeaWIFS از الگوریتم نسبت‌باندی OC_4 در باند طیفی آبی و سبز برای برآورد غلظت کلروفیل استفاده می‌کنند. این الگوریتم از یک نسبت انعکاسی با چهار باند بازتاب آبی-سبز استفاده می‌کند و به شکل رابطه یک می‌باشد.

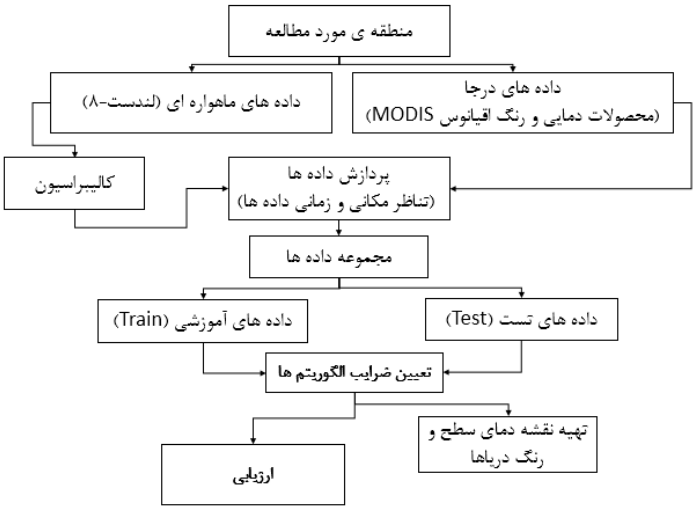
رابطه (۱) $c=10^{\sum_{i=0}^{n} a_i x^i}$, $x=log_{10}\frac{MAX\{Rrs(443)\ or\ Rrs(490)\ or\ Rrs(510)\}}{Rrs(555)}$

در اینجا c معرف غلظت کلروفیل و Rrs همان انعکاس سنجش‌ازدوری در طول‌موج مورد نظر یعنی λ می‌باشد[۲۸].

[1] Coastal Zone Color Scanner
[2] Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor
[3] Medium Resolution Imaging Spectrometer
[4] Operational Land Imager

۴- روش تحقیق

در راستای انجام این تحقیق، داده‌های لندست-۸ در چهار روز از سال ۱۳۹۲ که هر کدام در یک فصل از سال واقع شده بودند تهیه شد، پس از تهیه‌ی داده‌ها و اعمال تصحیحات رایومتریکی و جوی، مقادیر عددی پیکسل‌ها به انعکاس در باندهای مرئی و رادیانس در باندهای حرارتی تبدیل شدند. برای آنکه بتوان از داده‌های لندست-۸ جهت محاسبات استفاده کرد، لازم است که ابتدا تصحیحات جوی را با استفاده از ابزار تصحیح جوی FLAASH[1] نرم‌افزار ENVI 5.1 و با بکارگیری فایل فراداده تصاویر لندست-۸ و تنظیمات مرتبط با آن انجام داد. در پردازش‌های دما از تصحیح FLAASH که بر روی داده‌های OLI لندست-۸ قابل انجام است، نمی‌توان استفاده کرد. بنابراین در این پردازش‌ها از تصحیح جوی موجود در نرم‌افزار ENVI5.1 با نام Thermal Atmospheric Correction که برای داده‌های حرارتی لندست-۸ افزوده شده است، استفاده شد. سپس تناظر زمانی و مکانی داده‌های لندست-۸ و محصولات MODIS مورد بررسی قرار گرفت و مجموعه داده‌های آموزشی و تست مورد نیاز طراحی و انتخاب گردید. سپس با استفاده از روش کمترین مربعات ضرایب مدل پنجره مجزای مورد استفاده در تعیین دمای سطح دریاها و ضرایب الگوریتم OC4 مربوط به تعیین مقدار کلروفیل-آ محاسبه گردید و مورد ارزیابی قرار گرفت. پس از آن به تهیه نقشه دمای سطح آبها و نقشه رنگ دریاها پرداخته شد و نتایج حاصل مورد ارزیابی قرار گرفت. شکل (۱) نمایش شماتیک روند کلی اجرای بررسی مورد نظر را نشان می‌دهد.



شکل ۱: فلوچارت کلی اجرای طرح

۵- پیاده‌سازی و ارزیابی

در این قسمت روش پیاده سازی و الگوریتم‌های مورد استفاده در بررسی کلروفیل-آ و دمای سطح آب به طور جداگانه ارائه شده است.

۵-۱- دمای سطح آب‌ها

برای بازیابی ضرایب مدل پنجره مجزا در منطقه مورد مطالعه از محصولات دمایی سنجنده MODIS با دقت تقریبی ۰/۵-۰/۳ درجه سانتیگراد برای مناطق آبی، استفاده شد. ضرایب مدل با استفاده از روش کمترین مربعات برای ماهواره لندست-۸ برای مناطق ساحلی خلیج فارس تعیین شد. ضرایب روش در جدول ۲ ارائه شده است.

[1] Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes

جدول ۲: ضرایب مدل با استفاده از روش کمترین مربعات برای ماهواره لندست-۸ برای مناطق ساحلی خلیج فارس

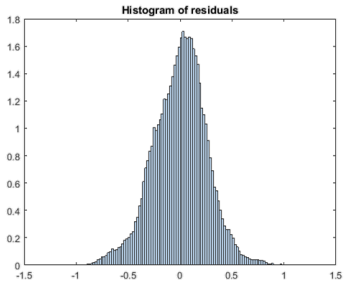
ضرایب	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
مقادیر	2.0775	1.0474	-0.054266	0.036453	-0.0018659

با استفاده از الگوریتم غیرخطی NLSST و کالیبره کردن آن برای منطقه مورد مطالعه و اعتبارسنجی نتایج به دقتی در حدود ۰/۲۶ دست یافتیم. بر این اساس ضرایب به‌دست آمده را با استفاده از محصولات دمایی سنجنده MODIS برای مناطق ساحلی خلیج فارس ارزیابی شد و نتایج ارزیابی‌ها در جدول (۳) ارائه شد.

جدول ۳: نتایج ارزیابی الگوریتم غیر خطی NLSST

ضرایب	MSE	RMSE	R^2	p-value	Num_Observations
مقادیر	0.066	0.26	0.99	0	80997

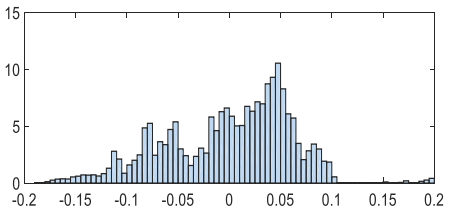
همانطور که در شکل (۲) مشاهده می‌کنیم خطای داده‌های مربوط به مناطق ساحلی خلیج فارس از توزیع نرمال پیروی می‌کنند.



شکل ۲: نمودار باقیمانده‌های الگوریتم غیرخطی NLSST

۵-۲- کلروفیل-آ

در منطقه‌ی مورد مطالعه کارایی الگوریتم OC_4 با استفاده از داده‌های سنجنده‌ی MODIS مورد ارزیابی قرار گرفت و الگوریتم OC_4 برای منطقه‌ی مورد مطالعه با استفاده از ضرایب جدید به صورت a_0=-0.0354، a_1=-0.0657، a_2=-0.3091، a_3=-0.0120، a_4=0.2150 بازنویسی شد. مقدار پارامترهای آماری الگوریتم OC_4 برای تعیین غلظت کلروفیل شامل RMSE برابر با ۰/۰۶۱ و R^2 برابر با ۰/۶۰۵ برآورد شد. نمودار باقیمانده‌ها برای الگوریتم OC_4 در شکل (۳) نمایش داده شده است.

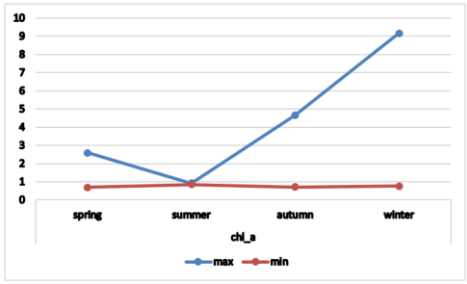


شکل ۳: نمودار باقیمانده‌های الگوریتم OC4

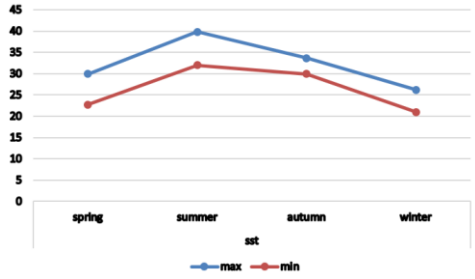
۶- نتیجه گیری

در شکل‌های (۴ و ۵) مقادیر بیشترین و کمترین پارامترهای مورد نظر در منطقه‌ی مورد نظر در فصل‌های مختلف نمایش داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌کنید کمترین مقدار دما مربوط به فصل زمستان و بیشترین مقدار دما مربوط به تابستان بوده است. در مورد کلروفیل نیز مقدار کمترین کلروفیل در تمامی فصول تقریباً دارای مقادیری

بسیار نزدیک به هم می‌باشد اما بیشترین مقدار کلروفیل با اختلاف نسبتاً زیادی نسبت به سایر فصول با مقدار تقریباً ۱۰ میلی‌گرم در مترمکعب در فصل زمستان رخ داده است. همچنین مقادیر بیشینه و کمینه کلروفیل-آ در فصل تابستان بسیار نزدیک به هم می‌باشد. طبق شکل‌های ۵ و۶ هنگامی که مقدار دما بیشینه است، مقدار کلروفیل-آ کمینه می‌باشد و تطابق منفی بین آنها مشاهده می‌شود. تطابق پیکسل به پیکسل بین دمای سطح آب و کلروفیل-آ حاکی از آن است که در فصل تابستان و زمستان سواحل خلیج فارس دارای بیشترین تطابق منفی می‌باشند. کاهش دمای سطح آب همزمان با افزایش مقدار کلروفیل در زمستان می تواند به عنوان وجود آب سرد حاوی مقادیر بالای مواد مغذی در نواحی ساحلی تعبیر شود.

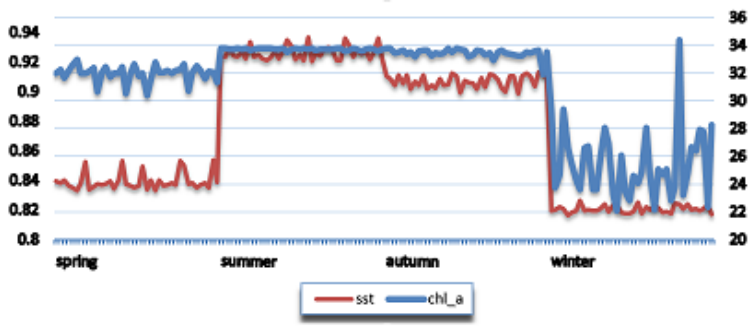


شکل ۵: مقدار بیشترین و کمترین مقدار chl_a در روزهای مختلف مورد بررسی



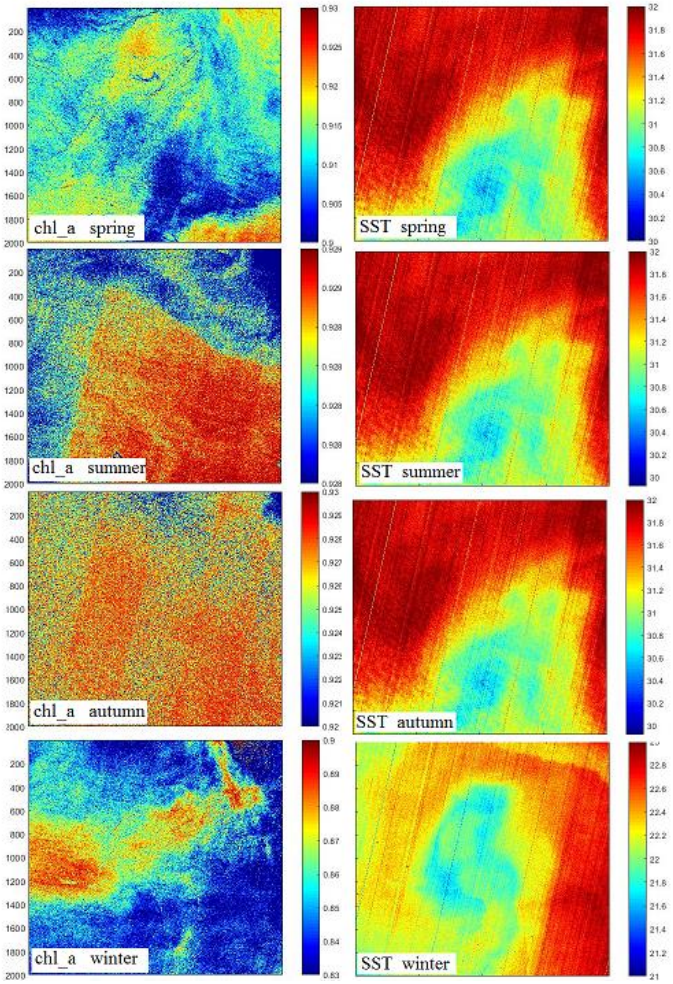
شکل ۴: مقدار بیشترین و کمترین مقدار SST در روزهای مختلف مورد بررسی

در شکل (۶) تغییرات دما و کلروفیل-آ در ۴۰ نقطه از منطقه‌ی مورد نظر در فصل‌های مختلف نمایش داده شده است. این ۴۰ نقطه به صورت اتفاقی انتخاب شده اند. همانطور که ملاحظه می‌کنید در این ۴۰ نقطه بالاترین مقدار دما و کلروفیل-آ مربوط به فصول تابستان و پاییز می‌باشد که دما در حدود ۳۰ تا ۳۵ درجه می‌باشد و مقدار کلروفیل به‌طور میانگین ۰.۹۲ میلی‌گرم برمترمکعب می‌باشد. کمترین مقدار دما مربوط به فصل زمستان است و به طبع آن مقدار کلروفیل در این فصل کمتر از سایر فصول است اما مقدار کلروفیل در این فصل در نقاط مختلف بیشترین تغییرات را نشان می‌دهد و دما در حدود ۲۲ درجه می‌باشد و کلروفیل در محدوده ۰/۸۲ تا ۰/۹۳ تغییر می‌کند. در فصل بهار نیز دما در حدود ۲۴ درجه بوده و کلروفیل نیز در جدود ۰/۹۱میلی‌گرم برمترمکعب می‌باشد.



شکل ۶: تغییرات دما و کلروفیل در ۴۰ نقطه از منطقه‌ی مورد نظر در فصل‌های مختلف

در شکل (۷) نقشه دما و کلروفیل در فصول مختلف برای منطقه مورد نظر نمایش داده شده است.



شکل ۷: نقشه دما و کلروفیل در فصول مختلف برای منطقه مورد نظر

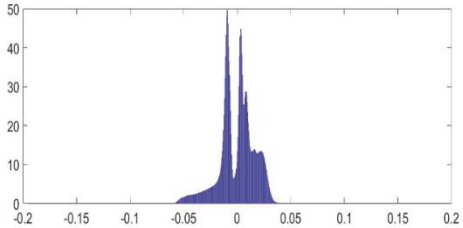
پس از تهیه نقشه دمای منطقه مورد مطالعه با استفاده از داده های موجود یک رگرسیون خطی بین داده های کلروفیل و دما انجام شد. براساس نتایج رگرسیون رابطه ی زیر بین دما و کلروفیل موجود است.

رابطه (۲) $$chl_a = 0.939 - 0.0099 \times SST - 0.114 \times SST^2$$

مقدار پارامترهای آماری این رابطه به‌صورت جدول (۴) برآورد شد. همچنین نمودار باقیمانده‌ها برای رابطـه ی فـوق در شکل (۸) نمایش داده شده است.

جدول ۳: نتایج ارزیابی رابطه ی بین کلروفیل و دمای سطح آب ها

ضرایب	MSE	RMSE	R^2	p-value	Num_Observations
مقادیر	0.00081	0.0286	0.495	0	4799810



شکل ۸: نمودار باقیمانده‌ها رابطه ی بین کلروفیل و دمای سطح آب ها

مراجع

[1] lablabla lablabla lablabla lablabla lablabla lablabla lablabla lablabla lablabla lablabla lablabla lablabla lablabla lablabla lablabla lablabla

[2] lablabla lablabla lablabla lablabla lablabla lablabla lablabla lablabla lablabla lablabla lablabla lablabla lablabla lablabla lablabla lablabla

[۳] لاب لاب لا لاب لاب لا لاب لاب لا لاب لاب لا لاب لاب لا لاب لاب لا لاب لاب لا لاب لاب لا لاب لاب لا لاب لاب لا لاب لا

[1] A. H. Nasr, B. M. El Leithy, and A. K. Helmy, “Assessment of some water quality parameters using MODIS data along the Red Sea Coast, Egypt,” in The International Congress for global Science and Technology, 2007, p. 29.

[2] D. K. Clark, “Bio-optical algorithms—Case 1 waters,” MODIS Algorithm Theor. Basis Doc. MOD-ATBD-18 Natl. Ocean. Atmospheric Adm. Natl. Environ. Satell. Serv. Wash. DC, 1997.

[3] دکتر سید کاظم علوی پناه, سنجش از دور حرارتی و کاربرد آن در علوم زمین. دانشگاه تهران, ۱۳۸۸.

[4] “Landsat 8 Overview « Landsat Science.” [Online]. Available: http://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-8/landsat-8-overview/. [Accessed: 07-Dec-2016].

[۵]محمد منشوری و سندس طبیعی یگانه, “بررسی علل پیدایش کشند سرخ و کنترل آن در آبهای خلیج فارس,” ۱۳۸۸.

[۶]ص. حمزه ئی, م. صدیق مرتضوی, ع. علی اکبری بیدختی and ,ا. غیبی, “بررسی وقوع و گسترش کشند قرمز در خلیج فارس و دریای عمان با تحلیل داده های سنجنده MODIS,” انسان و محیط زیست, vol. 9, no. 0, pp. 39–48, Sep. 2011.

[۷]مسعود مرادی, “بررسی رابطه بین تغییرات بلوم های کلروفیل حاصل از مونسون در شمال اقیانوس هند با دمای سطح آب و میدان باد حاصل از داده های ماهواره ای,” پژوهشکده اقانوس شناسی و علوم جوی, ۲۰۱۳.

[8] R. H. Stewart, Introduction to physical oceanography. Texas A & M University Texas, 2008.

[9] “CLIVAR Research Foci | www.clivar.org.” [Online]. Available: /about/research-foci. [Accessed: 07-Dec-2016].

[10] C. J. Donlon et al., “Toward Improved Validation of Satellite Sea Surface Skin Temperature Measurements for Climate Research,” J. Clim., vol. 15, no. 4, pp. 353–369, Feb. 2002.

[11] مهدی آخوندزاده هنزائی, “تهیه نقشه حرارتی سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره ای MODIS,” دانشگاه تهران, ۱۳۸۴.

[12] Z. Wan, Collection-5 MODIS Land Surface Temperature Products Users’ Guide. ICESS. 2007.

[13] C. Coll et al., “Ground measurements for the validation of land surface temperatures derived from AATSR and MODIS data,” Remote Sens. Environ., vol. 97, no. 3, pp. 288–300, Aug. 2005.

[14] Z. Wan, “New refinements and validation of the MODIS Land-Surface Temperature/Emissivity products,” Remote Sens. Environ., vol. 112, no. 1, pp. 59–74, Jan. 2008.

[15] Z. W. C. author, Y. Zhang, Q. Zhang, and Z.-L. Li, “Quality assessment and validation of the MODIS global land surface temperature,” Int. J. Remote Sens., vol. 25, no. 1, pp. 261–274, Jan. 2004.

[16] Z. Wan and Z.-L. Li, “Radiance-based validation of the V5 MODIS land-surface temperature product,” Int. J. Remote Sens., vol. 29, no. 17–18, pp. 5373–5395, Sep. 2008.

[17] Z. Wan, Y. Zhang, Q. Zhang, and Z. Li, “Validation of the land-surface temperature products retrieved from Terra Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer data,” Remote Sens. Environ., vol. 83, no. 1–2, pp. 163–180, Nov. 2002.

[18] L. M. McMillin, “Estimation of sea surface temperatures from two infrared window measurements with different absorption,” J. Geophys. Res., vol. 80, no. 36, pp. 5113–5117, Dec. 1975.

[19] Z.-L. Li et al., “Land surface emissivity retrieval from satellite data,” Int. J. Remote Sens., vol. 34, no. 9–10, pp. 3084–3127, May 2013.

[20] K. Hosoda, H. Murakami, F. Sakaida, and H. Kawamura, “Algorithm and validation of sea surface temperature observation using MODIS sensors aboard terra and aqua in the western North Pacific,” J. Oceanogr., vol. 63, no. 2, pp. 267–280, Apr. 2007.

[21] E. P. McClain, W. G. Pichel, and C. C. Walton, “Comparative performance of AVHRR-based multichannel sea surface temperatures,” J. Geophys. Res. Oceans, vol. 90, no. C6, pp. 11587–11601, Nov. 1985.

[22] X. Li, W. Pichel, P. Clemente-Colón, V. Krasnopolsky, and J. Sapper, “Validation of coastal sea and lake surface temperature measurements derived from NOAA/AVHRR data,” Int. J. Remote Sens., vol. 22, no. 7, pp. 1285–1303, Jan. 2001.

[23] R. A. Shuchman, G. Leshkevich, M. J. Sayers, T. H. Johengen, C. N. Brooks, and D. Pozdnyakov, “An algorithm to retrieve chlorophyll, dissolved organic carbon, and suspended minerals from Great Lakes satellite data,” J. Gt. Lakes Res., vol. 39, Supplement 1, pp. 14–33, 2013.

[24] D. Blondeau-Patissier, J. F. R. Gower, A. G. Dekker, S. R. Phinn, and V. E. Brando, “A review of ocean color remote sensing methods and statistical techniques for the detection, mapping and analysis of phytoplankton blooms in coastal and open oceans,” Prog. Oceanogr., vol. 123, pp. 123–144, Apr. 2014.

[25] V. Barale, J. F. R. Gower, and L. Alberotanza, Oceanography from Space: Revisited. Springer Science & Business Media, 2010.

[26] V. Barale and M. Gade, Remote Sensing of the European Seas. Springer Science & Business Media, 2008.

[27] Y. Wang, Remote Sensing of Coastal Environments. CRC Press, 2009.

[28] “Regional ocean-colour chlorophyll algorithms for the Red Sea.” [Online]. Available: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425715001662. [Accessed: 07-Dec-2016].