

## تخمین و مدل‌سازی کلروفیل-آ با استفاده از ماهواره لندست ۸ در آب‌های ساحلی دیلم

### چکیده

غلظت کلروفیل-آ یکی از پارامترهای اصلی کیفیت آب است که می‌تواند با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور اندازه‌گیری شود. در این مطالعه غلظت کلروفیل-آ و رفتار چندین الگوریتم جهانی با استفاده از تصاویر لندست ۸ و روش میدانی در آب‌های ساحلی بندر دیلم در آبان ماه ۱۳۹۵ مورد مطالعه و ارزیابی قرار گرفته است. پارامترهای آماری به‌کاربرده شده به‌منظور ارزیابی عملکرد الگوریتم‌های مختلف، شامل جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تعیین ( $R^2$ ) می‌باشد. همچنین ارتباط بین مقادیر انعکاس باندهای OLI و غلظت میدانی کلروفیل-آ جهت شناسایی باندهای حساس به غلظت کلروفیل-آ مورد آزمون قرار گرفت. کارایی شاخص‌های طیفی نسبت باندی جهت استخراج کلروفیل-آ در سواحل دیلم مورد بررسی قرار گرفت. الگوریتم POLDER با داشتن بزرگ‌ترین مقدار  $R^2$  (۰/۵۲) و کمترین RMSE (۰/۸۵) به‌عنوان مناسب‌ترین الگوریتم در منطقه مورد نظر انتخاب شد. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که بهترین نسبت باندی در منطقه مورد مطالعه نسبت باندی  $b5/b1$  و  $b5/b2$  می‌باشد. جهت تخمین کلروفیل-آ چندین مدل رگرسیونی با نسبت باندهای مختلف مورد آزمون قرار گرفت و بهترین مدل انتخاب گردید ( $R^2=0/43$ ). سپس نقشه توزیع مکانی کلروفیل-آ در سواحل دیلم با استفاده از لندست ۸ در آبان ۱۳۹۵ تهیه گردید. یافته‌های این تحقیق نشان داد که تصاویر لندست ۸ به‌خوبی می‌تواند جهت تخمین کلروفیل-آ در آب‌های ساحلی به کار رود.

لاله موسوی ده موردی<sup>۱\*</sup>

مهدی بنایی<sup>۲</sup>

۱ و ۲. استادیار گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیا، بهبهان، ایران

\*مسئول مکاتبات:

Lalehmosavi84@yahoo.com

کد مقاله: ۱۳۹۷۰۲۰۶۱۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۱۲

این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی است.

واژگان کلیدی: کلروفیل-آ، لندست ۸، آب‌های ساحلی دیلم.

### مقدمه

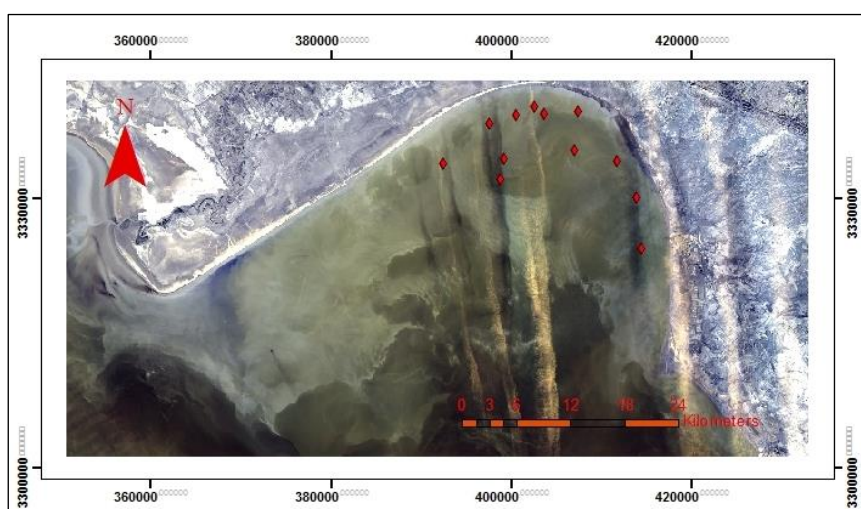
یکی از دلایل سنجش میزان کلروفیل-آ تخمین شدت تولیدات اولیه است. خصوصیت طیفی کلروفیل-آ به این صورت است که در محدوده طول موج‌های آبی و قرمز عمل جذب و در محدوده طول موج سبز، عمل انعکاس را انجام می‌دهد، هنگام افزایش غلظت کلروفیل-آ در آب رنگ آبی به سبز متمایل می‌شود. از این رو سنجش‌ازدور تکنیک ارزشمندی در ارزیابی مقادیر غلظت کلروفیل-آ سطحی محسوب می‌شود (Kosarev and Kostianoy, 2005). غلظت کلروفیل-آ یک شاخص اساسی و به‌عنوان نماینده فیتوپلانکتون برای بررسی شرایط کیفیت آب و وضعیت زیست‌شیمیایی به‌کاربرده می‌شود. بنابراین اطلاعات دقیق ما از غلظت کلروفیل در زمان و مکان می‌تواند به درک کیفیت آب‌ها کمک کند و برای مدیریت آب‌ها مفید باشد (Sun et al., 2014). الگوریتم‌های کلروفیل-آ که امروزه بسیار بدان توجه می‌شود در درک بهتر پویایی غذایی یک اکوسیستم آبی، خصوصیات بیوژئوشیمیایی منطقه، حمایت و حفاظت اهداف دریایی و جهت بررسی‌ها و آنالیزهای بیشتر منطقه در آینده بسیار مفید است (Leymarie et al., 2010). برخلاف اهمیت بالایی که منطقه خلیج فارس می‌تواند برای کشورهای حوضه آن داشته باشد تاکنون مطالعات کمی در این خصوص صورت گرفته است. موبد و همکاران (۱۳۸۵) میزان کلروفیل-آ را در شمال غربی خلیج فارس با استفاده از سنجش‌ازدور مورد بررسی قرار دادند. طبق گزارش این محققین میزان کلروفیل-آ سطحی در خوریات موسی مترمکعب/میلی‌گرم  $0/2-1/0$  و میزان کلروفیل عمقی مترمکعب/میلی‌گرم  $0/4-1/6$  بوده است. سواری و همکاران (۱۳۸۹) کلروفیل را با استفاده از سنجش‌ازدور در سواحل قشم مورد بررسی قرار دادند، نتایج این تحقیق نشان داد که میزان

کلروفیل در خلیج فارس بین ۰/۲ تا ۱/۶ میلی‌گرم بر مترمکعب بوده است و میان کلروفیل و دما همبستگی معکوس و قوی وجود دارد. خورسندی و همکاران (۱۳۸۹) میزان کلروفیل-آ را در یک دوره ۱۲ ساله در خلیج فارس مورد بررسی قرار دادند، نتایج این مطالعه نشان داد که در مناطق شرقی و در سواحل ایران از تنگه هرمز تا استان بوشهر بیشترین میزان کلروفیل در زمستان رخ می‌دهد، اما در نقاط دیگر متفاوت می‌باشد. مقایسه فصل‌های بهار و زمستان برای دوره ۱۲ ساله، افزایش میزان کلروفیل تا سال ۲۰۰۲ را نشان می‌دهد که بعد از آن تا سال ۲۰۰۴ روند نزولی داشته و سپس تا سال ۲۰۰۸ صعودی بوده است. مرادی و حسنلو (۱۳۹۴) با استفاده از تصاویر ماهواره MODIS الگوریتم‌های جهانی کلروفیل را در خلیج فارس بهینه‌سازی کردند و بهترین الگوریتم منطقه را مورد ارزیابی قرار دادند. در مطالعات قبلی کلروفیل-آ با استفاده از داده‌های سنجنش‌ازدور در خلیج فارس اندازه‌گیری شد مطالعات نشان داد که رشد فیتوپلانکتون‌ها در خلیج فارس در ماه دسامبر فراوان‌تر از ماه‌های گرم است (Kheirkhan *et al.*, 2012). همچنین محققان دیگری دمای سطحی و کلروفیل-آ را در خلیج فارس با استفاده از داده‌های سنجنش‌ازدور اندازه‌گیری نمودند. طبق این مطالعات بیشترین میزان دمای سطحی در آگوست بوده است که با میزان کلروفیل در منطقه همبستگی نداشته است (Moradi and Kabiri, 2015). تاکنون بررسی و بهینه کردن الگوریتم‌های کلروفیل-آ با استفاده از ماهواره لندست ۸ در آب‌های ساحلی ایران انجام نشده است. در این مقاله از داده لندست ۸ که دارای توان تفکیک مکانی بهتری نسبت به سنجنده های رنگ اقیانوسی قبلی است به منظور بررسی میزان غلظت کلروفیل در مناطق ساحلی و مقایسه نتایج با داده‌های میدانی و مدل‌سازی آن در منطقه انجام شده است.

## مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری از آب همزمان با عبور ماهواره لندست ۸ در آبان ماه ۱۳۹۵ در ۱۲ ایستگاه در آب‌های ساحلی دیلم انجام گردید. سپس موقعیت دقیق ایستگاه‌ها در محل با استفاده از GPS ثبت شد (شکل ۱). نمونه‌برداری آب به وسیله بطری نمونه‌بردار از سطح آب انجام گردید. به منظور اندازه‌گیری کلروفیل-آ نمونه‌های آب به وسیله فیلتراسیون صاف گردیده و فیلترها در حالت فریز شده جهت آزمایش‌های نهایی به آزمایشگاه منتقل شدند. در آزمایشگاه عصاره کلروفیل-آ به وسیله استون ۹۰ درصد هضم و استخراج سپس محتوی لوله‌ها را در درجه حرارت آزمایشگاه به مدت ۵ الی ۱۰ دقیقه با دور ۲۷۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردیدند و به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر با طول موج‌های ۶۶۴،۶۴۷،۶۳۰ نانومتر جذب نور صورت گرفته و با استفاده از فرمول زیر مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند (Clesceri *et al.*, 2003):

$$\text{Chl-a} = 11.85A_{666} - 1.54A_{617} - 0.08A_{630}$$



شکل ۱: نقشه جغرافیایی ایستگاه‌ها در منطقه مورد بررسی (آب‌های ساحلی دیلم).

جهت پیش‌پردازش تصاویر، ابتدا تصاویر لندست ۸ در روز نمونه‌برداری از سایت U.S. Geological Survey ([www.earthexplorer.usgs.gov](http://www.earthexplorer.usgs.gov)) دانلود گردید. و سپس پیش‌پردازش بر روی تصاویر انجام گردید. جهت اعمال تصحیحات اتمسفری از روش (Fast Line of sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes) FLAASH و نرم‌افزار ENVI نسخه ۵.۳ استفاده شده است. جهت استخراج کلروفیل-آ از ۶ الگوریتم جهانی به منظور انطباق با منطقه استفاده گردید. نام این الگوریتم‌ها همراه با معادله‌شان در جدول ۱ نشان داده شده است. داده‌های میزان کلروفیل-آ استخراج شده از هر الگوریتم با داده‌های اندازه‌گیری شده در منطقه مورد مطالعه با استفاده از شاخص اندازه‌گیری RMSE (مجذور میانگین مربعات خطا) و  $R^2$  مقایسه و مورد ارزیابی قرار گرفت. و با استفاده از روش نسبت باندی و آنالیز رگرسیون چندگانه، الگوریتم کلروفیل-آ در منطقه شناسایی گردید. سپس با استفاده از شاخص‌های مقایسه‌ای بهترین الگوریتم جهت استخراج کلروفیل-آ از تصاویر ماهواره‌ای در منطقه انتخاب شد. جهت کد نویسی و پردازش تصاویر به منظور استخراج کلروفیل-آ از نرم‌افزار MATLAB نسخه ۲۰۱۴ استفاده گردید. نقشه کلروفیل-آ نیز با استفاده از نرم‌افزار ARC GIS نسخه ۱۰ تهیه گردید.

جدول ۱: الگوریتم‌های بیوپتیکال کلروفیل مورد استفاده در این مطالعه (آب‌های ساحلی دیلم، ۱۳۹۵).

الگوریتم	معادله تجربی	منبع
Aiken-C	$C = \exp(a_0 + a_1 \ln(R))$ $R = Lw_{490} / Lw_{555}$ $a = [0.745, -2.252]$	(Aiken <i>et al.</i> , 1995)
POLDER	$C = 10^{(a_0 + a_1 R + a_2 R^2 + a_3 R^3)}$ $R = \log(Rrs_{443} / Rrs_{565})$ $a = [0.438, -2.114, 0.916, -0.851]$	(Morel, 1988)
Morel-3	$C = 10^{(a_0 + a_1 R + a_2 R^2 + a_3 R^3)}$ $R = \log(Rrs_{443} / Rrs_{555})$ $a = [0.20766, -1.828, 0.75, -0.739]$	(O'Reilly <i>et al.</i> , 1998)
OC2	$C = 10^{(a_0 + a_1 R + a_2 R^2 + a_3 R^3)} + a_4$ $R = \log(Rrs_{490} / Rrs_{555})$ $a = [0.319, -2.336, 0.879, -0.135, -0.071]$	(O'Reilly <i>et al.</i> , 1998)
OC4	$C = 10^{(a_0 + a_1 R + a_2 R^2 + a_3 R^3)} + a_4$ $R = \text{Log}(Rrs_{443} > Rrs_{490} > Rrs_{510} / Rrs_{555})^*$ $a = [0.366, -3.067, 1.93, 0.649, -1.532]$	(O'Reilly <i>et al.</i> , 1998)
OC3	$C = 10^{(a_0 + a_1 R + a_2 R^2 + a_3 R^4)}$ $R = \log(Rrs_{443} > Rrs_{488} / Rrs_{551})$ $a = [0.283, -2.753, 1.457, 0.659]$	(Carder <i>et al.</i> , 2003)

$Lw_{490}$  و  $Lw_{555}$  = تابش‌های ترک‌کننده بالارو آب در کانال‌های ۴۹۰ و ۵۵۵ نانومتر

$Rrs^*$  = بازتابش سنجش‌ازدور

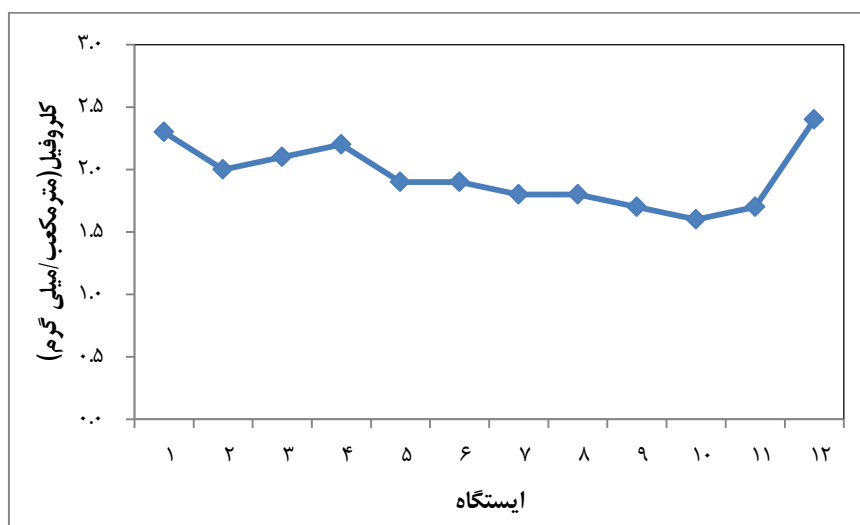
$C^*$  = غلظت کلروفیل برحسب میلی‌گرم بر مترمکعب

$R^*$  = نسبت باندی

$a^*$  = ضرایب ثابت

## نتایج

نتایج تغییرات کلروفیل-آ در ماه آبان در ایستگاه‌های مختلف نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل-آ در ایستگاه ۱۲ (۲/۴) مترمکعب/میلی‌گرم) و کمترین میزان آن در ایستگاه ۱۰ (۱/۶) مترمکعب/میلی‌گرم) بوده است. تغییرات کلروفیل-آ در ایستگاه‌های مختلف در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲: تغییرات کلروفیل-آ میدانی در ایستگاه‌های مختلف در ماه آبان ۱۳۹۵.

نتایج ارزیابی عملکرد الگوریتم‌های مختلف جهانی در منطقه نشان داد که مناسب‌ترین الگوریتم در منطقه الگوریتم POLDER می‌باشد. نتایج ارزیابی الگوریتم‌های مختلف جهانی در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲: نتایج RMSE، ضریب تعیین و ضریب همبستگی برای الگوریتم‌های مختلف کلروفیل-آ.

نام الگوریتم	RMSE	R <sup>2</sup>	R	بیشینه	کمینه	میانگین و انحراف معیار
Aiken-C	۲/۹	۰/۰۲	۰/۱۴	۷/۶۱	۲/۳۶	۴/۶±۰/۰۴
POLDER	۰/۸۵	۰/۵۲	۰/۷۲	۳/۹۰	۱/۶	۲/۵۷±۰/۱۲
Morel-3	۲/۳۸	۰/۰۰۳	۰/۰۵	۵/۷۲	۲/۰۵	۴/۰۳±۱/۰۲
OC2	۰/۹۸	۰/۰۰۱	۰/۰۳۱	۳/۱۰	۱/۲۸	۲/۳۹±۰/۱۹
OC4	۰/۵	۰/۰۵	۰/۲۲	۲/۶۴	۲/۰۸	۲/۳۳±۰/۹۸
OC3	۰/۸۳	۰/۰۲	۰/۱۴	۳/۲۲	۱/۷۶	۲/۴۶±۰/۱۶

نتایج ارزیابی نسبت باندهای مختلف، با داده‌های کلروفیل-آ میدانی نشان داد که بهترین نسبت باندی در منطقه مورد مطالعه نسبت باندی b5/b2 و b5/b1 می‌باشد. نتایج این ارزیابی‌ها در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳: نتایج RMSE، ضریب تعیین و ضریب همبستگی برای باندها و نسبت‌های باندی مختلف کلروفیل-آ.

میانگین و انحراف معیار	کمینه	بیشینه	R	R <sup>2</sup>	RMSE	باندها و نسبت‌های باندی
۰/۰۷۹±۰/۰۱	۰/۰۱۳	۰/۱۰۲	۰/۳۳	۰/۱۱	۱/۸۸	b1
۰/۰۹۴±۰/۰۴	۰/۰۵۱	۰/۱۰۷	۰/۱۷	۰/۰۳	۱/۸۷	b2
۰/۰۹۴±۰/۰۲	۰/۰۵۷	۰/۱۳۶	۰/۱۷	۰/۰۳	۱/۸۷	b3

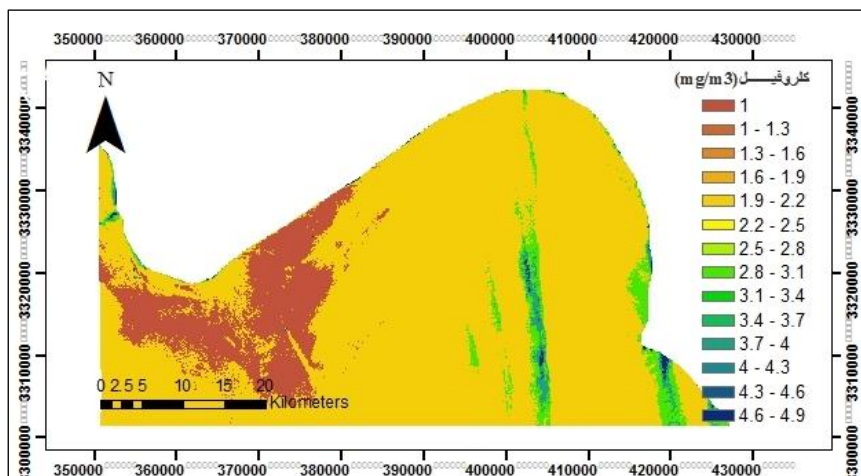
b4	۱/۹۲	۰/۰۴	۰/۲	۰/۰۵۲	۰/۰۱۵	۰/۰۳۶±۰/۰۳
b5	۱/۹۵	۰/۱۶	۰/۴	۰/۰۱۸	۰/۰۱۰	۰/۰۱۴±۰/۰۱
b1/b2	۱/۰۵	۰/۰۰۸	۰/۰۸	۰/۹۵	۰/۸۸	۰/۹۲±۰/۰۲
b2/b1	۰/۹	۰/۰۸	۰/۲۸	۱/۱۲	۱/۰۵	۱/۰۷±۰/۰۹
b2/b3	۱/۰۹	۰/۰۳	۰/۱۷	۰/۹۷	۰/۷۶	۰/۸۸±۰/۰۲
b3/b1	۰/۷۳	۰/۰۴	۰/۲	۱/۵۷	۱/۰۵	۱/۲۵±۱/۰۲
b3/b2	۰/۸۴	۰/۰۲	۰/۱۴	۱/۲۸	۰/۹۸	۱/۳۶±۱/۰۴
b4/b1	۱/۴۹	۰/۰۰۴	۰/۰۶	۰/۶۸	۰/۳۰	۰/۴۷±۰/۰۱
b4/b2	۱/۵۷	۰/۰۰۰۶	۰/۰۲	۰/۵۴	۰/۲۷	۰/۳۹±۰/۰۹
b4/b3	۱/۶	۰/۱۱	۰/۳۳	۰/۴۴	۰/۳۰	۰/۳۶±۰/۰۲
b5/b1	۱/۷۹	۰/۴۰*	۰/۶۳	۰/۲۳	۰/۱	۰/۱۶±۰/۰۶
b5/b2	۱/۸	۰/۳۱*	۰/۵۵	۰/۲۰	۰/۱	۰/۱۵±۰/۰۶
b5/b3	۱/۸۲	۰/۰۱۶	۰/۱۲	۰/۱۹	۰/۱	۰/۱۴±۰/۰۹
b5/b4	۱/۵۷	۰/۱۸	۰/۴۲	۰/۵۳	۰/۳	۰/۳۸±۰/۰۱

نتایج رگرسیون چندگانه میان باندها و نسبت باندهای مختلف و کلروفیل-آ میدانی نشان داد که بهترین مدل در منطقه مدلی است که بر مبنای باند ۱ و باند ۵ است ( $R^2=۰/۴۳$ ). نتایج ضریب تعیین مدل‌های مختلف در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴: نتایج رگرسیون چندگانه باندها و ضرایب تعیین.

باند‌ها و نسبت باندی	معادله	$R^2$	R	RMSE
b1, b5	$b5 = 0.1b1 + 4.378 - 1.582$	۰/۴۳	۰/۶۴	۰/۱۸۵
b5/b1	$b5/b1 = 0.14/4.84 + 1.202$	۰/۴	۰/۶۳	۰/۱۸۷
b5/b2	$b5/b2 = 0.24/4.05 + 1.349$	۰/۳۲	۰/۵۶	۰/۲۲

سپس با استفاده از مدل رگرسیونی اول ( $R^2=۰/۴۳$ ) نقشه کلروفیل-آ منطقه تهیه گردید. در شکل ۳ نقشه کلروفیل-آ در منطقه با استفاده از مناسب‌ترین مدل رگرسیونی نشان داده شده است.



### شکل ۳: توزیع کلروفیل-آ در منطقه بر اساس بهترین مدل.

#### بحث و نتیجه‌گیری

نتایج تغییرات کلروفیل-آ در آبان ماه در ایستگاه‌های مختلف نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل-آ در ایستگاه ۱۲ (۲/۴) مترمکعب/میلی‌گرم) و کمترین میزان آن در ایستگاه ۱۰ (۱/۶) مترمکعب/میلی‌گرم) بوده است. مطالعات قبلی محققین در شمال خلیج فارس نیز تغییرات کلروفیل-آ را در آبان ماه (مترمکعب/میلی‌گرم) ۲/۵-۱/۵ گزارش کرده بودند (Moabed *et al.*, 2006). نتایج حاصل از آزمون ۶ الگوریتم جهانی مهم کلروفیل-آ نشان داد که الگوریتم POLDER بهترین الگوریتمی است که با شرایط منطقه همخوانی دارد (RMSE=۰/۸۵، R<sup>2</sup>=۰/۵۲). Oreilly و همکاران (۱۹۹۸) تعداد زیادی از الگوریتم‌های بیوپتیکال تجربی و نیمه‌تحلیلی را در حین انجام مطالعات میدانی و ماهواره خود امتحان کردند. آن‌ها در حین انجام مطالعات به این نکته رسیدند که الگوریتم‌های تجربی بهتر از الگوریتم‌های نیمه‌تحلیلی با داده‌های میدانی همگام هستند. در میان این الگوریتم‌های تجربی الگوریتم OC2 و OC4 از همه الگوریتم‌ها بهتر با داده‌هایشان منطبق بود. نتایج میان همبستگی بین شاخص‌های طیفی و غلظت کلروفیل-آ میدانی در جدول ۲ نشان داد که باندهای سنجنده OLI و شاخص‌های طیفی حساسیت مختلفی به کلروفیل-آ دارند و هیچ همبستگی معنی‌داری بین میزان انعکاس باندهای ۱ تا ۵ و غلظت کلروفیل-آ وجود ندارد. از میان این باندها باند ۱ و باند ۵ کمی حساس‌تر هستند (R=۰/۴۰، R=۰/۳۳). Choi و Lim (۲۰۱۵) و Anderson و Yang (۲۰۱۶) نیز در مطالعات خود نشان دادند که باند ۵ (مادون قرمز نزدیک) نسبت به غلظت کلروفیل-آ حساس‌تر است (R=۰/۷۱، R=۰/۸۱). همچنین در این مطالعه همبستگی معنی‌داری بین شاخص‌های طیفی b<sub>5</sub>/b<sub>1</sub> و b<sub>5</sub>/b<sub>2</sub> و غلظت کلروفیل-آ میدانی مشاهده گردید (R=۰/۵۵، R=۰/۶۳). بقیه شاخص‌های طیفی به غلظت کلروفیل-آ حساس نبودند. Watanabe و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعات خود نشان دادند که نسبت‌های باندی b<sub>5</sub>/b<sub>4</sub> و b<sub>5</sub>/b<sub>2</sub> و b<sub>5</sub>/b<sub>1</sub> بیشترین ضریب تعیین را با غلظت کلروفیل-آ میدانی داشتند (R<sup>2</sup>=۰/۷). حساسیت بیشتر باند ۵ به دلیل انعکاس مثبت کلروفیل-آ در این باند است (Pepe *et al.*, 2001; Rundquist, 1996). اختلاف فصل عامل مهمی در تغییرات شاخص‌های طیفی آب‌های مختلف است. بسیاری از محققین نشان دادند که بهترین شاخص‌های طیفی برای استخراج کلروفیل-آ بستگی به خصوصیات طیفی آب‌های موردبررسی دارد و حتی به زمانی که این استخراج صورت می‌گیرد نیز بستگی دارد (Tilston *et al.*, 2012). زیرا آب‌های داخلی دارای خصوصیات نوری پیچیده هستند و انعکاسشان بستگی به جذب و پخش ذرات فیتوپلانکتونی، ذرات آلی و غیر آلی و مواد آلی محلول رنگی دارد (Gurlin *et al.*, 2012). این محققین گونه‌های فیتوپلانکتونی غالب مختلفی را در فصول مختلف گزارش دادند. زیرا تغییر در ترکیب و نوع گونه‌های مختلف باعث تغییر در شاخص‌های طیفی پهنه‌های آبی می‌شود (Gurlin *et al.*, 2012; Nel *et al.*, 2001). بنابراین اختلاف طیفی در پهنه‌های آبی باعث تغییر در حساسیت نسبت باندها به کلروفیل-آ در فصول مختلف می‌شود. در این مطالعه مدل‌های رگرسیونی مختلفی با غلظت کلروفیل-آ به‌عنوان متغیر وابسته و نسبت‌های باندی به‌عنوان متغیر مستقل مورد آزمون قرار گرفتند. نتایج نشان داد که بین غلظت کلروفیل-آ و باندهای ۱ و ۵ (RMSE=۰/۱۸۵) و پس از آن نسبت باندی b<sub>5</sub>/b<sub>1</sub> (RMSE=۰/۱۸۷) مدل‌های دقیق‌تری به دست می‌آید. با توجه به اینکه فصل مورد مطالعه پاییز است و در پاییز میزان ابرها در منطقه بیشتر است می‌تواند بر روی این مسئله تأثیرگذار باشد. برای مطالعات بعدی می‌توان تصاویر لندست ۸ را در فصول مختلف برای این مسئله مورد مقایسه قرارداد. برای اعتبار سنجی این رابطه‌ها نیز می‌توان چندین سال این مطالعات را تکرار کرد. همچنین نقشه توزیع کلروفیل-آ در منطقه نشان داد که در قسمت‌های غربی خلیج دیلم میزان کلروفیل-آ کمتر از قسمت‌های شرقی است. مطالعات قبلی در خلیج فارس نشان داده است که الگوی پخش کلروفیل-آ در چهار فصل متفاوت بوده و این مسئله ناشی از تفاوت دمای آب و وجود جریان ورودی آب از دریای عمان می‌باشد این الگو در زمستان بر الگوی دمای آب منطبق است (Khorsandi *et al.*, 2010). از آنجاکه افزایش کلروفیل-آ در دریاها نشان‌دهنده توان‌زیستی در آب‌ها است روند افزایشی آن در سواحل دیلم نشان‌دهنده افزایش ورود مواد مغذی گیاهی و مواد آلوده صنعتی و کشاورزی توسط رودخانه‌های ساحلی به

دریا می‌باشد (Longhurst, 1998). این امر باعث افزایش غلظت فیتوپلانکتونی می‌شود و در نتیجه ضررهای گوناگونی را به محیط جانوران آبی و در نهایت به انسان تحمیل می‌کند. در تحقیقی که Al-Hashmi و همکاران (۲۰۱۰) بر روی تغییرات کلروفیل-آ و ویژگی‌های محیطی آن در دریای عمان انجام دادند، نشان دادند که تغییرات فیتوپلانکتون‌های ساحلی با دینامیک درجه حرارت مرتبط بوده است. در این مطالعه با توجه به مطالعات انجام شده عملکرد تعدادی از الگوریتم‌ها به منظور برآورد غلظت کلروفیل-آ با استفاده از داده‌های ماهواره لندست ۸ در سواحل دیلم مورد ارزیابی قرار گرفتند و مناسب‌ترین الگوریتم در این منطقه مدل‌سازی شد. با استفاده از الگوریتم ارائه شده امکان تعیین غلظت کلروفیل-آ در مناطق نزدیک ساحل و همچنین با توجه به توان تفکیک مکانی بسیار بهتر سنجنده لندست ۸ امکان ارائه غلظت کلروفیل-آ با جزئیات بیشتر فراهم می‌شود. سنجنده لندست ۸ برخلاف اینکه توان تفکیک مکانی خوبی دارد اما قدرت تفکیک زمانی بسیار پایینی (هر ۱۶ روز یک‌بار) دارد و این مانع از مشاهده برخی فرایندهای با دوره کوتاه می‌شود و این یکی از مسائلی است که باید از طریق ترکیب چند سنجنده برطرف شود. به‌رحال یافته‌های این مطالعه نشان داد که تصاویر لندست ۸ می‌تواند برای تخمین غلظت کلروفیل-آ در آب‌های ساحلی به کار رود و نقشه کلروفیل-آ را در خلیج‌هایی مثل خلیج دیلم تهیه نماید.

## منابع

- خورسندی، ا.، مقدم، ا.، افتخار اردبیلی، ا. و رضایی، آ.، حمزه لو، س. و زارعی، ذ.، ۱۳۸۹. بررسی الگوی تغییرات ماهیانه کلروفیل خلیج فارس برای دوره ۱۲ ساله با استفاده از داده‌های ماهواره و بررسی تغییرات اقلیمی بر آن. چهارمین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم.
- سواری، ا.، رنگزن، ح.، خالدی، ه.، برزگر، ف. و چینی پرداز، ر.، ۱۳۸۹. کاربرد تکنیک‌های سنجش‌ازدور (RS) و (GIS) در تخمین تولید اولیه (فیتوپلانکتون‌های) سواحل جزیره قشم و تنگه هرمز. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، ۱۵۰ ص.
- مرادی، ن. و حسنی، م.، ۱۳۹۴. تخمین و مقایسه الگوریتم‌های مختلف تعیین کلروفیل در آب دریا با استفاده از تصاویر لندست ۸ (مطالعه موردی خلیج فارس). اولین کنفرانس مهندسی فناوری اطلاعات مکانی.
- موبد، پ.، رنگزن، ح.، سواری، ا. و خالدی، ه.، ۱۳۸۵. استفاده از سنجنده‌های مختلف ماهواره‌ای در تعیین کلروفیل منابع آبی و بررسی این روش‌ها در اندازه‌گیری کلروفیل آب‌های جنوب استان. مجموعه مقالات هفتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه.

**Aiken, J., Moore, J. F., Trees, C. C., Hooker, S. B. and Clark, D. K., 1995.** The SeaWiFS CZCS type pigment algorithm. *NASA Technology*, 10(4):24-44.

**Al-Hashmi, K., Claereboudt, M.R., Al-Azri, A. and Piontovski, R., 2010.** Seasonal changes of Chlorophyll a and environmental attributes of the plankton flora at Bushehr, Iran. *Hydrobiologia*, 79(6): 51-63.

**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 chlorophyll a. Version 7 retrieved, 21(8):17-19.

**Clesceri, L. S., Greenberg, A. E. and Trussel, R. R., 2003.** Standard methods for the examination of water and wastewater. 17th edition. American Public Health Association, New York, 120p.

Gurlin, D., Gitelson, A. A. and Moses, W. J., 2012. Remote estimation of chl-a concentration in turbid productive waters — Return to a simple two-band NIR-red model? *Remote Sensing of Environment*, 115(7):3479-3490.

**Kheirkhah, M., Chegini, V., Negarestan, H. and Tarahomjoo, Z., 2012.** Influence of sea surface temperature on primary productivity using satellite ocean color observations in Persian Gulf. ph.D. University of Tehran. Thesis, 180p.

**Khorsandi, E., Moghadam, A., Eftekharrdebili, A., Rezaee, A., Hamzehlo, S. and Zareii, Z., 2010.** Investigating of temporal pattern chlorophyll variability in the Persian Gulf for the period of 12 years using

- satellite data and analyzing climatic variables on it. Fourth Regional Climate Change Conference, University of Tehran, 230P.
- Kosarev, A. N. and Kostianoy, A. G., 2005.** Book Chapter of the Caspian Sea Environment. The Handbook of Environmental Chemistry, 5(7): 257-268.
- Leymarie, E., Doxaran, D. and Babin, B., 2010.** Uncertainties associated to measurements of inherent optical properties in natural waters. Applied Optics, 49(11):5415–5436.
- Lim, J. and Choi, M., 2015.** Assessment of water quality based on Landsat 8 operational land imager associated with human activities in Korea. Environmet Monitoring Assessesment, 187(6):384-390.
- Longhurst, A., 1998.** Ecological Geography of the Sea. American Public Health Association. New York, 398 pp.
- Moabed, P., Rangzan, K., Savari, A. and Khaledi, H., 2006. An overview of temporal and spatial patterns in satellite- derived chlorophyll imagery. Journal of marine biology, 4(7):34-45.
- Moradi, M. and Kabiri, K., 2015.** Spatio-temporal variability of SST and Chlorophyll-a from MODIS data in the Persian Gulf. Marine Pollution Bulletin, 98(5):14–25.
- Morel, A., 1988.** Optical modeling of the upper ocean in relation to its biogenous matter content (Case 1 waters). Journal of Geophysical Research, 93(3):10749–10768.
- Nel, D. C., Lutjeharms, J. R. E., Pakhomov, E. A., Ansonge, 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(8): 15–26.
- O'Reilly, J. E., Maritorena, S., Mitchell, B. G., Siegal, D. A., Carder, K. L., Graver, S. A., Kahru, M. and McClain, C., 1998.** Ocean color chlorophyll algorithms for SeaWiFS. Journal of Geophysical Research, 103(5): 24937-24953.
- Pepe, M., Giardino, C., Borsani, G., Cardoso, A. C., Chiaudani, G., Premazzi, G., Rodari, E. and Zilioli, E., 2001.** Relationship between apparent optical properties and photosynthetic pigments in the subalpine Lake Iseo. The Science of the Total Environment, 268(9):31-45.
- Rundquist, D. C., Han, L., Schalles, J. F. and Peake, J. S., 1996.** Remote measurement of algal chlorophyll in surface waters: the case for the first derivative of reflectance near 690 nm. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 62(5): 195-200.
- Sun, D., Hu, C., Qiu, Z., Cannizzaro, J. P. and Barnes, B. B., 2014.** “Influence of a red band-based water classification approach on chlorophyll algorithms for optically complex estuaries,” Remote Sensing of Environment, 155(3):289–302.
- Tilstone, G. H., Peters, S. W. M., van der Woerd, H. J., Eleveld, M. A., Ruddick, K., Schonfeld, W., Krasemann, H., Martinez-Vicente, V., Blondeau-Patissier, D., Rüdiger, R., Sørensen, K., Jørgensen, P. and Shutler, J., 2012.** Variability in specific-absorption properties and their use in a semianalytical ocean colour algorithm for MERIS in North Sea and Western English Channel coastal waters. Remote Sensing of Environment, 118(6):320–338.
- Watanabe, F. S., Alcântara, E., Rodrigues, T. W., Imai, N.N., Barbosa, C. C. and Rotta, L. H., 2015.** Estimation of chlorophyll-a concentration and the trophic State of the barra bonita hydroelectric reservoir using OLI/Landsat-8 images. International Journal of Environment Research Public Health, 12(6):391-417.
- Yang, Z. and Anderson, Y., 2016.** Estimating Chlorophyll-A Concentration in a Freshwater Lake Using Landsat 8 Imagery. Journal of Environment and Earth Science, 6(2):134-142.

