

تخمین غلظت کلروفیل a در دریاچه سد اکباتان با استفاده از تصاویر سنجش از دور

عبدالله طاهری تیزرو^۱، محمدرضا سراجیان^۲، مریم قشقایی^۳، کیوان ویسی^۴

۱. دانشیار دانشکده کشاورزی، گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه بوعلی سینا

۲. دانشیار گروه مهندسی نقشه برداری و ژئوماتیک دانشگاه تهران

۳. دانشجوی دکترا دانشکده کشاورزی، گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه بوعلی سینا

۴. مربی گروه مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی ایلام

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۳/۱۷ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۵/۱۰/۲۷ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۵/۹)

چکیده

پایش کیفی منابع آب و به ویژه مخازن سدها بسیار حیاتی می‌باشد اما نمونه‌برداری از آب دریاچه پشت سدها بسیار وقت‌گیر، هزینه‌بر و همراه با مخاطرات متعدد است. تصاویر ماهواره‌ای و هوایی از آب‌های سطحی را می‌توان به عنوان ابزاری مفید جهت پایش پارامترهای کیفیت آب در پیکره‌های آبی استفاده نمود. در این مطالعه امکان شناسایی و پایش غلظت کلروفیل a در مخزن سد اکباتان با استفاده از تصویر لندست ۷ بررسی شد. به این منظور تبدیلات مختلفی روی بازتابش باندها اعمال شد و رابطه بین غلظت کلروفیل با بازتابش بررسی و استخراج شد. سپس بهترین مدل برای تخمین غلظت کلروفیل a انتخاب شد. نتایج مطالعه نشان داد رابطه به دست آمده براساس نسبت باندها دقیق‌ترین تخمین را از بین مدل‌های به دست آمده ارائه می‌دهد. مقدار R^2_{Adj} برای این مدل برابر ۰/۹۱ و مقدار SE نیز معادل ۰/۰۴ به دست آمد. نتایج نشان می‌دهد که می‌توان با استفاده از تصاویر لندست ۷ غلظت کلروفیل a را با دقت قابل قبولی تخمین زد.

واژه‌های کلیدی: تغذیه‌گرایی، کیفیت آب، لندست ۷، مخزن سد

مقدمه

غلظت بالای مواد مغذی در رواناب خروجی از کاربری‌های مختلف از جمله مناطق کشاورزی، روستایی و شهری باعث تسریع رشد جلبک‌ها در پیکره‌های آبی درون خشکی از جمله دریاچه‌ها و مخازن سدها می‌شود. در نتیجه کیفیت آب در دریاچه‌ها و مخازن سدها کاهش می‌یابد. شکوفه‌های جلبکی باعث ایجاد شرایط تغذیه‌گرایی در پیکره‌های آبی می‌شوند که این پدیده نیز کاهش اکسیژن محلول، مرگ ماهی‌ها و سایر آبزیان را به دنبال دارد. همچنین رشد جلبک‌ها شفافیت آب را کاهش می‌دهد و باعث تولید سم می‌شود که هم برای انسان و هم برای آبزیان مضر است. استفاده صنعتی و جنبه زیبایی شناختی پیکره‌های آبی محدود شده و تحت تاثیر تغذیه‌گرایی و شکوفه‌های جلبکی قرار می‌گیرند.

در سال‌های اخیر میزان و فراوانی شکوفه‌های جلبکی در آب‌های ساحلی و درون خشکی در سراسر دنیا افزایش یافته است (Jin et al., 2005; Smith and Schindler, 2009). به طور کلی تولید جلبک اصلی‌ترین مشکل عمومی ایجاد شده در اثر

تغذیه‌گرایی است که برای عموم آزار دهنده است (Smith, 2003).

تغذیه‌گرایی و کاهش کیفیت آب اثرات اقتصادی بسیار منفی دارد و در سرتاسر دنیا توجه بسیاری را بخود جلب کرده است (Yu et al., 2011). مخازن معمولاً در خروجی حوضه آبریز واقع می‌شوند. کنترل کیفیت آب در بالادست مخزن آسان‌تر و مقرون به صرفه‌تر است. به این منظور استفاده از یک روش سودمند برای آگاه کردن مدیران از وضعیت کیفی آب ضروری به نظر می‌رسد، قبل از اینکه انجام هر اقدامی برای حفظ و نجات دریاچه سد دیر شود. اندازه‌گیری‌های میدانی به منظور بررسی کیفیت آب پشت سدها اغلب بسیار زمان‌بر است و هزینه‌های سنگینی دربر دارد. وجود نیروی ماهر برای این منظور نیز یک فاکتور مهم است. بعلاوه در برخی سدها به دلیل وجود رسوب بالا و عمق زیاد در نزدیکی بدنه سد، این کار بسیار مخاطره‌آمیز است. بنابراین نیاز به یک سیستم برای آگاهی از وضعیت کیفی آب مخزن که مستقل از اندازه‌گیری‌های میدانی باشد، الزامی است. این سیستم به عنوان یک ابزار از پیش آگاهی‌دهنده و هشداردهنده عمل می‌کند.

دوری را برای تخمین کیفیت آب دریاچه Champlain در شمال آمریکا استخراج نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد باندهای ۱، ۲ و ۳ همبستگی خوبی با تعداد سلول‌های سیانوباکتری نشان می‌دهد. همچنین Isenstein *et al.*, (2014) با استفاده از تصاویر لندست ۷ الگوریتم‌های کلروفیل a را استخراج نمودند تا مقدار فیتوپلانکتون و سیانوباکتری را تخمین بزنند. در این مطالعه آنها دریافتند که باند ۲ همبستگی خوبی با غلظت کلروفیل a نشان می‌دهد. از جمله مطالعات موجود در زمینه پدیده تغذیه‌گرایی در کشورمان می‌توان به مطالعه Tayebi و Sarajian (2013) اشاره کرد که در منطقه خلیج فارس انجام شده است. در این مطالعه پدیده کشند قرمز در خلیج فارس که در سال ۱۳۸۹ رخ داد، بررسی شد.

تصاویر ماهواره‌هایی که دقت مکانی بالاتری دارند مانند لندست ۷ برای مطالعه دریاچه‌های پشت سدها مناسب‌تر می‌باشند زیرا وسعت آنها بسیار کمتر از دریاها و مناطق ساحلی است. با استفاده از تصاویر لندست ۷ می‌توان اجزای موجود در آب از جمله کلروفیل a، را در دریاچه‌ها و مخازن پشت سدها تخمین زد. اگرچه کاربرد این تصاویر محدود به هر ۱۶ روز یکبار خواهد بود اما به دلیل اینکه از دقت مکانی بالاتری برخوردارند برای مطالعات کیفی این نوع منابع آبی مفید هستند. بعلاوه این تصاویر رایگان بوده و به راحتی برای همگان قابل دسترس‌اند.

از آنجا که زمان ماند آب در دریاچه‌ها و مخازن به اندازه کافی بالا است، رسوب معلق، مواد مغذی و فیتوپلانکتون در آن تجمع کرده و ویژگی‌های نوری و بصری آب پیچیده تر می‌شود (Darecki and Stramski, 2004; Dall'Olmo *et al.*, 2005) و ممکن است این مساله باعث بروز خطا در تخمین دقیق پارامترها گردد. به همین دلیل همبستگی باندهای مختلف با میزان کلروفیل a موجود در آب مقایسه شده و بهترین باندها یا ترکیبی از آنها برای استخراج یک الگوریتم یا مدل سنجش از دوری برای تخمین پارامتر مورد نظر استفاده می‌شود. همچنین الگوریتم‌های مختلفی با استفاده از بازتاب‌های قرمز و مادون قرمز توسعه یافته است تا غلظت کلروفیل a را بتوان به طور دقیق‌تری تخمین زد (Ruddick *et al.*, 2001; Dall'Olmo and Gitelson, 2005; Moses *et al.*, 2009a, 2009b; Yang *et al.*, 2010; Gurlin *et al.*, 2011; Gitelson *et al.*, 2011a) پارامترهای این الگوریتم‌ها را می‌توان با استفاده از مقایسه داده‌های حاصل از تصاویر و داده‌های میدانی اندازه‌گیری شده برای یک منطقه مطالعاتی مشخص به دست آورد. هدف از این تحقیق بررسی قابلیت تصاویر لندست ۷ برای تخمین غلظت

تصاویر سنجش از دور می‌توانند به دانشمندان کمک کنند تا اطلاعات خود را از اجزای آب و وضعیت آن کامل کنند. با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، مطالعه پدیده تغذیه‌گرایی و تغییرات کوتاه مدت و بلند مدت کیفیت آب مخازن ممکن خواهد بود. راهکارهای مدیریتی را می‌توان برای کنترل و حفاظت از آب سالم استفاده نمود.

بیشتر شکوفه‌های جلبکی را می‌توان با استفاده از سنسورهای چندطیفی کشف نمود چرا که رنگ آنها از هم متمایز است (Ruddick, 2001). غلظت کلروفیل a شاخصی از کیفیت آب می‌باشد (Schalles *et al.*, 1998; Honeywill *et al.*, 2002) و در تعیین درجه تغذیه‌گرایی یک سیستم آبی نقش مهمی دارد. تحقیقات بسیاری در مورد تغذیه‌گرایی با استفاده از روش‌های مختلف انجام شده است (Jarvie *et al.*, 2006; Kuo *et al.*, 2007; Smith and Schindler, 2009) نیز کاربرد سنجش از دور را در تخمین کلروفیل a بررسی کرده‌اند. بسیاری از این مطالعات در مورد آب‌های ساحلی و دریاها هستند و از تصاویر ماهواره‌های استفاده می‌کنند که تکرارپذیری بیشتری دارند از جمله MODIS. اما دقت مکانی این تصاویر غالباً کم بوده و در حد ۲۵۰، ۵۰۰ یا ۱۰۰۰ متر می‌باشد که برای دریاچه‌های کوچک مناسب نیستند.

محققینی از جمله Carder *et al.*, (2004) قابلیت تصاویر MODIS را برای تخمین غلظت کلروفیل a در چند منطقه ساحلی در آمریکا بررسی کردند. همچنین Vincent *et al.*, (2004) با استفاده از تصاویر لندست ۷ و لندست ۵ الگوریتم‌هایی برای تخمین تعداد سلول‌های فیکوسیانین و میزان کدروی در دریاچه Erie استخراج نمودند. در این مطالعه باندهای ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ برای مدل فیکوسیانین و لگاریتم نسبت باند ۲ به باند ۳ برای مدل کلروفیل a استفاده شد. مطالعات متعددی با استفاده از تصاویر MODIS و SeaWiFS انجام شده است تا کلروفیل a را در بخش مرکزی ساحل فلوریدای غربی تخمین بزنند از جمله Carvalho *et al.*, (2007). تصاویر MERIS نیز برای تخمین غلظت کلروفیل a و فیکوسیانین بکار رفته‌اند از جمله Wheeler *et al.*, (2011) که با استفاده از داده‌های رادینس مدلی برای کلروفیل و فیکوسیانین در خلیج Missisquoi و دریاچه Champlain استخراج کردند. همچنین Waxter (2014) امکان کشف و پایش شکوفه‌های جلبکی را با استفاده از تصاویر سنجش از دور در دریاچه‌های Tenmile را در سواحل Oregon تحلیل و بحث نمود. آنها از تصاویر لندست ۵ با اختلاف ± 3 روز از زمان نمونه‌برداری استفاده کردند. در تحقیقی Trescott *et al.*, (2013) با استفاده از تصاویر لندست ۷ مدل‌های سنجش از

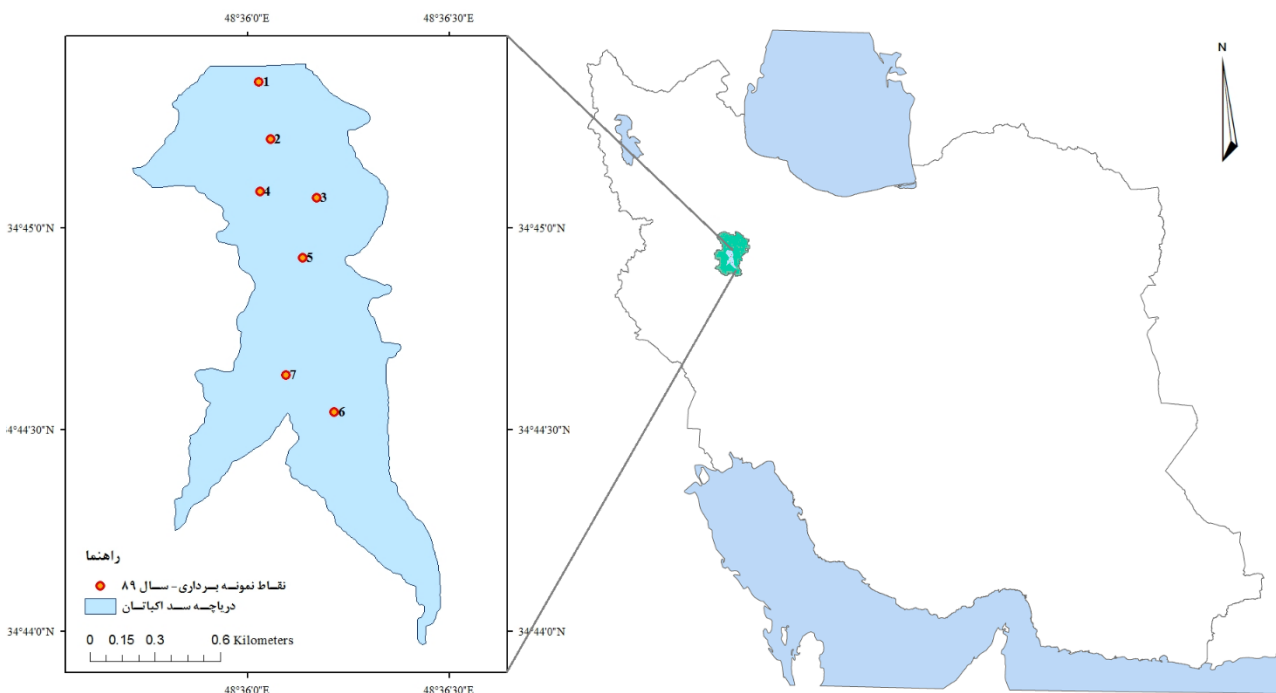
الوند و ارتفاع ۱۸۰۰ متری از سطح دریا قرار دارد. رودخانه آبشینه از کوه‌های الوند سرچشمه می‌گیرد و وارد دریاچه سد اکباتان می‌شود. این سد در جنوب شرقی همدان و بر روی رودخانه آبشینه قرار دارد. سد اکباتان در موقعیت جغرافیایی N ۲۴ ۴۵ ۳۴ و E ۱۰ ۳۶ ۴۸ قرار دارد. سطح نرمال این مخزن حدوداً $1/75 \text{ km}^2$ می باشد. شکل ۱ موقعیت منطقه مطالعاتی را نشان می دهد.

کلروفیل a موجود در دریاچه سد اکباتان و استخراج مدلی به این منظور می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

همدان شهری کوهستانی است که در غرب ایران واقع شده است. این شهر مرکز استان همدان می‌باشد که در دامنه کوه



شکل ۱- سد اکباتان

صافی، ۲ تا ۳ میلی‌متر استن ۹۰٪ به نمونه اضافه شد. سپس حجم کل محلول را با استون ۹۰٪ به ۵ میلی‌لیتر رسانده و به مدت ۲۰ دقیقه در سانتریفیوژ با دور ۵۰۰ زلال گشت. در مرحله بعد اسپکتروفوتومتر با استفاده از استون ۹۰٪ صفر شده و با استفاده از سل ۱ سانتی‌متری دانسیته نوری در طول موج-های ۶۴۷، ۶۶۴ و ۶۳۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. رابطه (۱) و (۲) برای تعیین غلظت کلروفیل a مورد استفاده قرار گرفت. غلظت کلروفیل a برحسب میلی‌گرم بر لیتر بیان می‌شود.

(رابطه ۱)

$$\text{chl}a = 11.85(\text{OD}_{664}) - 1.54(\text{OD}_{647}) - 0.08(\text{OD}_{630})$$

در رابطه ۱:

OD_{664} : دانسیته نوری در طول موج ۶۶۴

OD_{647} : دانسیته نوری در طول موج ۶۴۷

OD_{630} : دانسیته نوری در طول موج ۶۳۰

ساختمان اولیه این سد در سال ۱۳۴۲ به منظور تامین آب شرب و کشاورزی همدان احداث شد. ارتفاع این سد در سال ۱۳۸۷، ۲۵ متر افزایش یافت. سد اکباتان یکی از منابع آب شیرین است که برای شهر همدان استفاده می‌شود. این سد در سال‌های اخیر علائم تغذیه‌گرایی نشان داده است (Norouzi *et al.*, 2011). غلظت مواد مغذی در مخزن سد اکباتان نسبتاً بالاست (Samarghandi *et al.*, 2013).

داده‌های تحقیق

داده‌های میدانی پارامترهای کیفی آب از قبیل غلظت کلروفیل a برای دریاچه سد اکباتان در سال ۱۳۸۹ جمع آوری شد (Weysi, 2014). داده‌ها از عمق ۳۰ سانتی‌متری برداشت گردید. پس از صاف کردن نمونه‌ها با کاغذ صافی، غلظت کلروفیل a با استفاده از روش USM که یک روش امریکایی برای استخراج کلروفیل a می‌باشد، تعیین شد. در این روش پس از خرد کردن

منطقه‌ای با ابعاد ۱۷۰ × ۱۸۵ کیلومتر مربع از زمین را پوشش می‌دهد. محدوده مطالعاتی در یک فریم تصویر لندست ۷ قرار می‌گیرد. جدول ۱ مختصات ۷ نقطه اندازه‌گیری را نشان می‌دهد.

تصاویر ماهواره لندست ۷ از سایت مرکز علوم و مشاهدات تحقیقات زمین شناسی منابع زمینی آمریکا دریافت شده‌اند.^۱ جدول ۲ محدوده طول موج باندهای ۱ تا ۸ مربوط به تصویر ماهواره لندست ۷ را نشان می‌دهد. باند ۶ نیز باند حرارتی این تصویر می‌باشد که در این مطالعه مورد استفاده قرار نگرفته است.

1 <http://earthexplorer.usgs.gov>

در ماه‌های فروردین، خرداد و آذر داده‌های میدانی (۲۱ داده غلظت کلروفیل) از عمق ۳۰ سانتی‌متری آب برداشت گردید. تاریخ نمونه‌برداری‌ها نیز مربوط به ۱۷ فروردین، ۱۶ خرداد و ۱۵ آذر ۱۳۸۹ می‌باشد. تصاویر لندست ۷ مورد استفاده در این تحقیق نیز مربوط به ۱۸ فروردین، ۲۰ خرداد و ۱۲ آذر ماه ۱۳۸۹ می‌باشد. در این مطالعه تفاوت ± 4 روز برای فاصله زمانی داده‌های میدانی و تصاویر ماهواره‌ای در نظر گرفته شد (Stadelman et al., 2001; Isenstein et al., 2014). فاصله زمانی بین تصویر و داده‌های میدانی برای فروردین یک روز، آذر ماه سه روز و خردادماه چهار روز می‌باشد. همچنین در این فاصله زمانی بارشی روی سطح دریاچه رخ نداده است. از مجموع ۲۱ داده، ۱۵ داده برای واسنجی مدل و ۶ داده دیگر نیز برای صحت‌سنجی مورد استفاده قرار گرفت. هر تصویر لندست ۷

جدول ۱- مختصات نقاط اندازه‌گیری شده

شماره ایستگاه	مشخصات	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	نزدیک دیواره سد	"۱/۶۶' ۳۶° ۴۸"	"۲۳/۱۱' ۴۵° ۳۴"
۲	مرکز سد	"۳/۴۲' ۳۶° ۴۸"	"۱۳/۱۹' ۴۵° ۳۴"
۳	شرق دریاچه	"۱۰/۲۷' ۳۶° ۴۸"	"۴/۴۴' ۴۵° ۳۴"
۴	غرب	"۱/۸' ۳۶° ۴۸"	"۵/۴۴' ۴۵° ۳۴"
۵	مرکز دریاچه	"۸/۱۸' ۳۶° ۴۸"	"۵۵/۵۲' ۴۴° ۳۴"
۶	شاخه ورودی یلفان	"۱۲/۹۰' ۳۶° ۴۸"	"۳۲/۵۶' ۴۴° ۳۴"
۷	شاخه ورودی ابرو	"۵/۶۶' ۳۶° ۴۸"	"۳۸/۰۲' ۴۴° ۳۴"

جدول ۲- محدوده طول موج تصویر لندست ۷

باند	طول موج (میکرومتر)
باند ۱- آبی	۰/۴۵-۰/۵۲
باند ۲- سبز	۰/۵۲-۰/۶
باند ۳- قرمز	۰/۶۳-۰/۶۹
باند ۴- مادون قرمز نزدیک	۰/۷۷-۰/۹
باند ۵- مادون قرمز طول موج کوتاه	۱/۵۵-۱/۷۵
باند ۶- مادون قرمز حرارتی	۱۰/۴-۱۲/۵
باند ۷- مادون قرمز طول موج کوتاه	۲/۰۹-۲/۳۵
باند ۸- پانکروماتیک	۰/۵۲-۰/۹

پیش‌پردازش تصاویر

پیش‌پردازش داده‌ها معمولاً به منظور آماده‌سازی آنها برای بازیابی پارامترهای مختلف سطحی از جمله دما و یا بازتابش صورت می‌گیرد. نوع پیش‌پردازش کاملاً بستگی به نوع داده‌های مورد استفاده دارد. هر دسته از داده‌ها پردازش‌های مخصوص به خود را نیاز دارد. عمده‌ترین این روش‌ها برای تصاویر در طبقه-بندی عبارتند از: تصحیحات رادیومتریکی، هندسی و اتمسفری.

الف - تصحیح اتمسفری

تصحیح اتمسفری روی تصاویر به منظور حذف اثر بخار آب، گازهای مختلف، و گرد و خاک با استفاده از ENVI^۲ انجام شده است. به این منظور از ابزار Dark Subtraction و روش Band Minimum در ENVI استفاده شد.

2. version 5.0; Exelis, Inc., McLean, Virginia

تصویر لندست ۷ واقع شده است مشکل SLC-off در منطقه مطالعاتی مشاهده نمی‌شود. اثرات SLC-off بیشتر در امتداد لبه‌های یک منظره دیده می‌شود و به تدریج به سمت مرکز منظره از بین می‌رود (شکل ۲).

ب- تصحیح هندسی
در این مطالعه از تصاویر سطح 1G لندست ۷ استفاده شده است که تصحیح هندسی و رادیومتریکی در آنها انجام شده است. همچنین به دلیل اینکه منطقه مطالعاتی در قسمت مرکزی



شکل ۲- تصویر لندست ۷ از منطقه مطالعاتی: سد اکباتان

بعلاوه می‌توان این معادله را به صورت رابطه (۳) نیز

نوشت:

(رابطه ۳)

$$L_{\lambda} = ((LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}) / (QCALMAX - QCALMIN)) \times (QCAL - QCALMIN) + LMIN_{\lambda}$$

که در آن

QCAL: مقدار رقومی پیکسل کالیبره شده

LMIN_λ: برابر است با رادیانس طیفی موجود در سنجنده

که بر حسب [W/ (m² sr μm)] QCALMIN درجه بندی شده.

LMAX_λ: رادیانس طیفی موجود در سنجنده که بر

حسب [W/ (m² sr μm)] QCALMAX درجه بندی شده.

QCALMIN: حداقل ارزش رقومی پیکسل کالیبره شده

$$\bullet = (LMIN_{\lambda})$$

QCALMAX: حداکثر ارزش رقومی پیکسل کالیبره شده

$$225 = (LMAX_{\lambda})$$

LMINs و LMAXs تابش طیفی رقومی برای هر باند

LMINs and LMAXs نیز رادیانس‌های طیفی برای هر

باند بین اعداد ۰ و ۲۲۵ هستند.

بازتابش بالای اتمسفر

رابطه (۴) مقدار بازتابش بالای اتمسفر را به دست می‌دهد.

$$\rho_p = \frac{\pi L_{\lambda} d^2}{ESUN_{\lambda} \cos \theta_s} \quad (\text{رابطه ۴})$$

نتایج و بحث

پیاده سازی

پردازش تصاویر در نرم افزار ENVI5 انجام شده است. تصاویری که در آنها ابر وجود داشت کنار گذاشته شدند. در این مطالعه از بازتابش بالای اتمسفر برای تخمین مقدار کلروفیل a استفاده شده است. به منظور رسیدن به بازتابش خالص بالای اتمسفر انجام سه مرحله پردازش به ترتیب زیر روی این تصاویر الزامی است.

محاسبه مقدار تابش (رادیانس) طیفی

رابطه (۲) برای تبدیل Q_{cal} به رادیانس طیفی (L_λ) برای محصولات سطوح اول استفاده شده است.

$$L_{\lambda} = \text{Grescale} \times \text{QCAL} + \text{Brescale} \quad (\text{رابطه ۲})$$

L_λ: تابش طیفی در روزنه دیافراگم بر حسب [W/ (m² sr μm)]

QCAL: مقدار رقومی پیکسل کالیبره شده

Grescale: فاکتور gain (دست‌آورد) دوباره درجه‌بندی شده

باند مخصوص [watts / (m² × ster × μm)]

Brescale: فاکتور bias (انحراف) دوباره درجه‌بندی شده

باند مخصوص [watts / (m² × ster × μm)]

π : عدد پی که برابر ۳/۱۴ است.
 $L\lambda$: تابش (رادیانس) طیفی در روزنه سنسور برحسب $[W/(m^2 sr \mu m)]$
 d = فاصله زمین تا خورشید که براساس جدول ۳ به دست می‌آید.
 θ : زاویه زنیت خورشید که از فایل متا دیتای تصویر مربوط قابل استخراج است.
 $ESUN\lambda$: میانگین درخشش خورشیدی خارج از اتمسفر $[W/(m^2 \mu m)]$ و از جدول ۴ به دست می‌آید.

در جدول ۳ روزها براساس سال میلادی است.

جدول ۳- فاصله زمین تا خورشید

روز از سال	فاصله	روز از سال	فاصله	روز از سال	فاصله	روز از سال	فاصله	روز از سال	فاصله
۱	۰/۹۸۳۳۱	۷۴	۰/۹۹۴۴۶	۱۵۲	۱/۰۱۴۰۳	۲۲۷	۱/۰۱۲۸۱	۳۰۵	۰/۹۹۲۵۳
۱۵	۰/۹۸۳۶۵	۹۱	۰/۹۹۹۲۶	۱۶۶	۱/۰۱۵۷۷	۲۴۲	۱/۰۰۹۶۹	۳۱۹	۰/۹۸۹۱۶
۳۲	۰/۹۸۵۳۶	۱۰۶	۱/۰۰۳۵۳	۱۸۲	۱/۰۱۶۶۷	۲۵۸	۱/۰۰۵۶۶	۳۳۵	۰/۹۸۶۰۸
۴۶	۰/۹۸۷۷۴	۱۲۱	۱/۰۰۵۷۶	۱۹۶	۱/۰۱۶۴۶	۲۷۴	۱/۰۰۱۱۹	۳۴۹	۰/۹۸۴۲۶
۶۰	۰/۹۹۰۸۴	۱۳۵	۱/۰۱۰۸۷	۲۱۳	۱/۰۱۴۹۷	۲۸۸	۰/۹۹۷۱۸	۳۶۵	۰/۹۸۳۳۳

جدول ۴- تابیدگی طیفی خورشیدی در ETM⁺

باند	watts/(meter squared X μm)
۱	۱۹۷۰
۲	۱۸۴۲
۳	۱۵۴۷
۴	۱۰۴۴
۵	۲۲۵,۷
۷	۸۲/۰۶
۸	۱۳۶۹

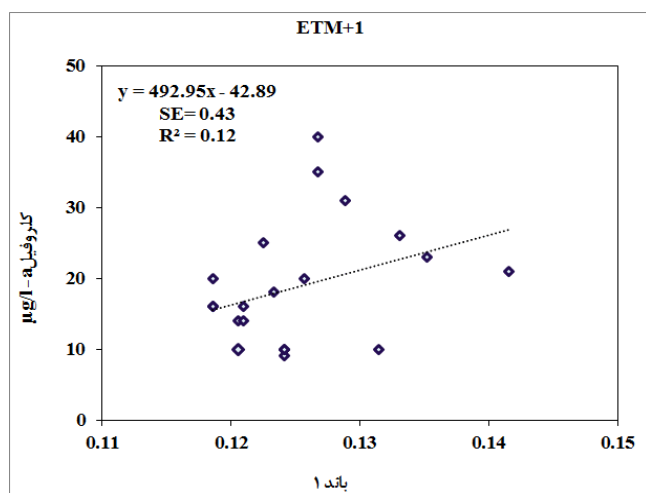
براساس نتایج به دست آمده غلظت کلروفیل a در دریاچه سد اکباتان همبستگی خوبی ($r > 0/65$) با شش باند از تصویر ماهواره لندست ۷ نشان می‌دهد. در ادامه مدل خطی تک بانندی برای کلروفیل a، براساس رابطه خطی بین غلظت کلروفیل a و هر یک از باندهای ۲ تا ۵ همچنین ۷ و ۸ و استخراج می‌شود. نتایج تخمین کلروفیل a در شکل ۳ تا ۹ در قالب شش نمودار ارائه شده است. رابطه خطی بین داده‌های مشاهده‌ای و مقادیر باندهای مختلف و همچنین مقدار R^2 و SE برای هر مدل در شکل ۳ تا ۹ قابل مشاهده می‌باشد. با توجه به نتایج موجود در این شکل‌ها مدل‌های تک بانندی برای تخمین غلظت کلروفیل مناسب نیستند. بنابراین در ادامه از تبدیلات و ترکیب باندها برای استخراج رابطه بین کلروفیل و مقادیر بازتابش استفاده خواهد شد.

مدل سازی و بررسی نتایج

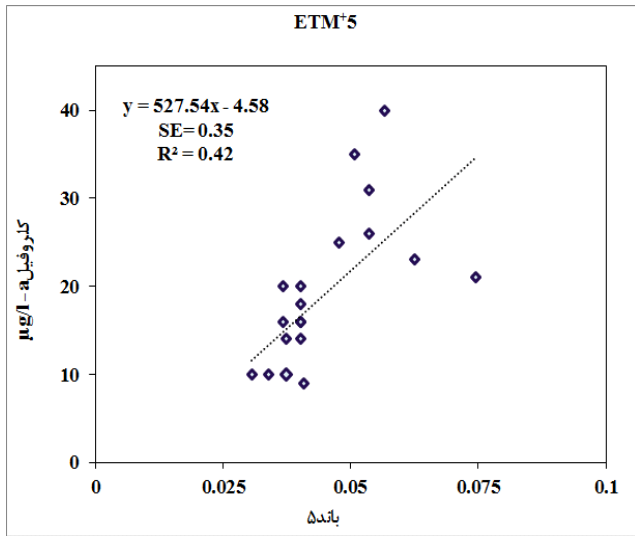
به منظور استخراج مدلی برای تخمین غلظت کلروفیل a ابتدا مقادیر متناظر داده‌های میدانی برای هر یک از باندهای یک تا ۵ بعلاوه ۷ و ۸، از فایل‌های تصحیح شده تصاویر استخراج شد. در این مرحله همبستگی میان داده‌های اندازه‌گیری شده و داده‌های استخراج شده از تصویر برای باندهای مختلف بررسی شد. برای تشخیص نحوه ارتباط بین غلظت کلروفیل a و مقدار بازتابش در هر باند از منحنی پراکنش استفاده می‌شود. در صورت منحنی الخط بودن شکل منحنی پراکنش، می‌توان با استفاده از تابعی خاص نظیر لگاریتم یا توان این ارتباط غیر خطی را به ارتباط خطی تبدیل نمود. در این بخش رابطه بین مقادیر بازتابش با کلروفیل a مورد بررسی قرار گرفته است. جدول ۵ مقدار همبستگی (r) بین مقادیر اندازه‌گیری شده غلظت کلروفیل a و باندهای تصویر لندست ۷ را نشان می‌دهد.

جدول ۵- ضریب همبستگی بین باندهای تصویر لندست ۷ و غلظت کلروفیل a

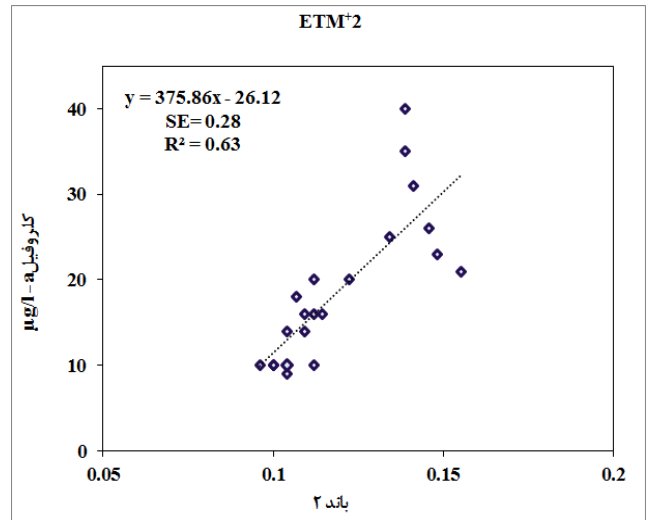
باند	۱	۲	۳	۴	۵	۷	۸
ضریب همبستگی	۰/۳۴	۰/۷۹	۰/۶۷	۰/۷۲	۰/۶۵	۰/۶۸	۰/۶۷



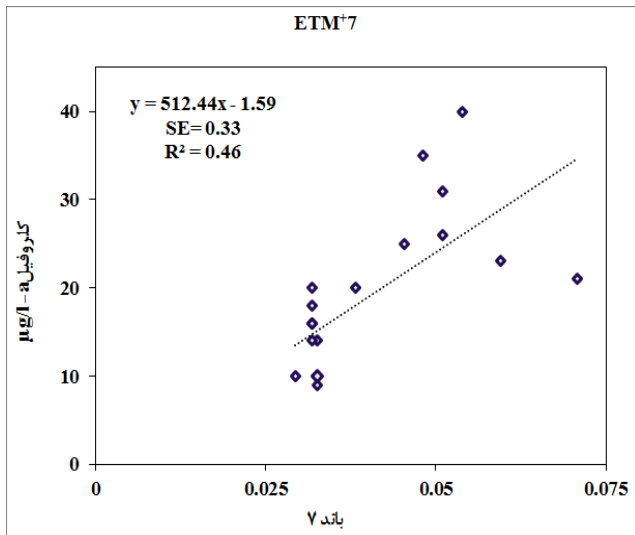
شکل ۳- نمودار پراکنش مقادیر بازتابش باند ۱ و غلظت کلروفیل a



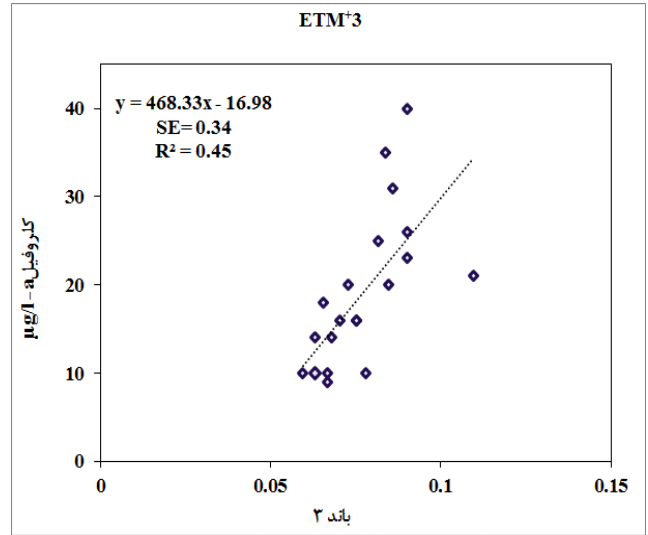
شکل ۷- نمودار پراکنش مقادیر بازتابش باند ۵ و غلظت کلروفیل a



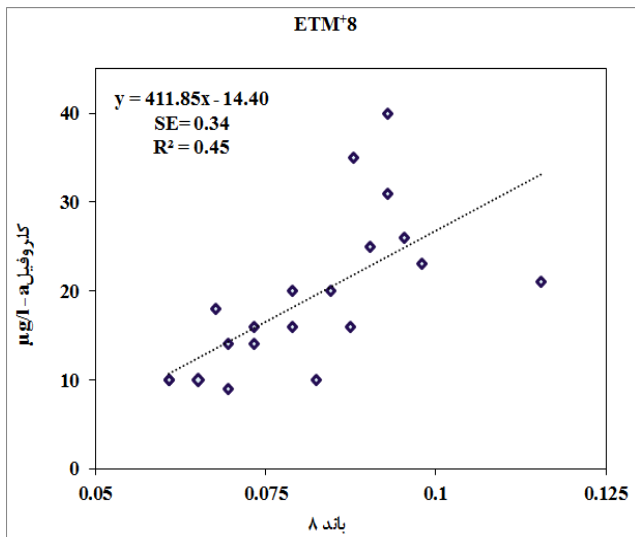
شکل ۴- نمودار پراکنش مقادیر بازتابش باند ۲ و غلظت کلروفیل a



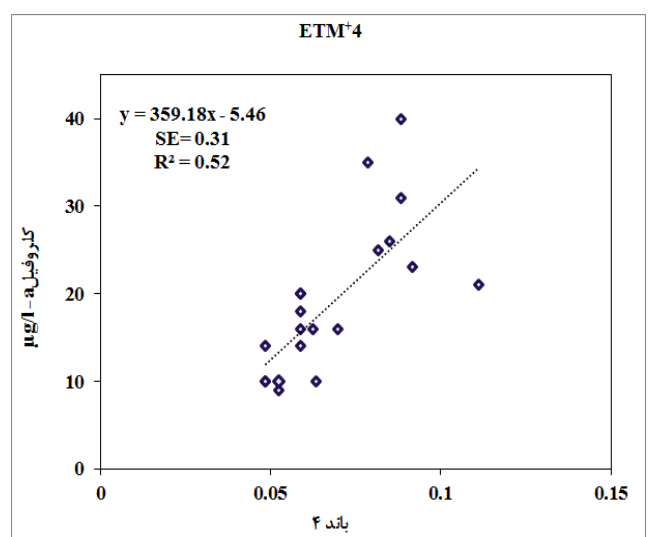
شکل ۸- نمودار پراکنش مقادیر بازتابش باند ۷ و غلظت کلروفیل a



شکل ۵- نمودار پراکنش مقادیر بازتابش باند ۳ و غلظت کلروفیل a



شکل ۹- نمودار پراکنش مقادیر بازتابش باند ۸ و غلظت کلروفیل a



شکل ۶- نمودار پراکنش مقادیر بازتابش باند ۴ و غلظت کلروفیل a

رابطه می‌باشد. شکل ۱۰ نتایج واسنجی و صحت‌سنجی مدل غلظت کلروفیل a را برای رابطه نسبت باندها نشان می‌دهد. دو سوم داده‌های اندازه‌گیری شده کلروفیل برای مرحله واسنجی و یک سوم این داده‌ها برای مرحله صحت سنجی استفاده شده است.

جدول ۶ نتایج به دست آمده را به صورت خلاصه نشان می‌دهد.

همچنین به منظور ارزیابی تاثیر استفاده از داده‌های با تفاوت زمانی بیش از ۳ روز روی نتایج مدل تخمین غلظت کلروفیل a یک‌بار نیز مراحل مدل‌سازی پس از حذف داده‌های خردماه انجام شد که نتایج این بخش نیز در جدول ۷ ارائه شده است. با توجه به نتایج به دست آمده در جدول ۷ مشخص می‌شود که با وجود اینکه تفاوت زمانی بین داده‌های میدانی و داده‌های ماهواره‌ای یک روز افزایش یافته است اما استفاده از تعداد داده‌های بیشتر دقت مدل را افزایش داده است. در این مطالعه رابطه به دست آمده براساس نسبت بازتابش باندها به عنوان مدل تخمینگر غلظت کلروفیل a انتخاب شد.

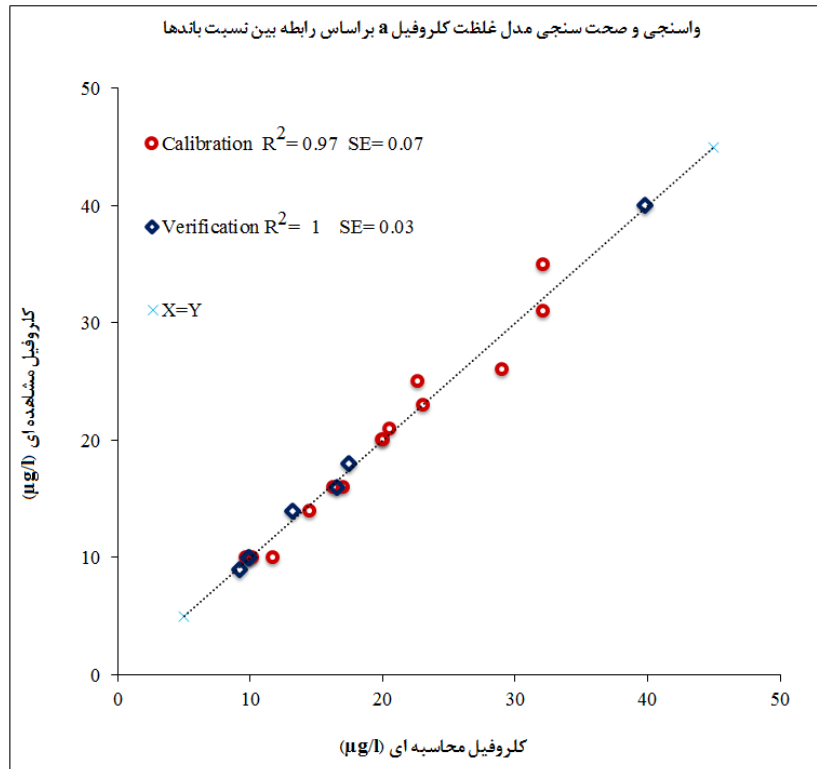
در این بخش مدل‌سازی غلظت کلروفیل a با استفاده از روابط مورد استفاده در جدول ۶ انجام شد. به این صورت که ابتدا مدل خطی که ترکیبی از باندهای مختلف تصویر لندست ۷ را برای تخمین کلروفیل a پیشنهاد می‌دهد، تعیین شد. سپس از تبدیل نسبت باندها و تفاضل باندها برای بررسی رابطه بین مقادیر بازتابش و غلظت کلروفیل a استفاده شد. همچنین تبدیلی با الهام از رابطه NDVI برای باندها استفاده شد. این رابطه که بین ترکیب دو به دوی باندها ساخته شده است (Normalized Difference Index) نام گرفت. مدل‌سازی برای تخمین غلظت کلروفیل a با استفاده از روابط غیر خطی نیز انجام شد. به این منظور از تبدیل لگاریتمی، نمایی (Exponential)، توانی (Power)، مربع و جذر مقدار بازتابش در باندهای تصویر استفاده و مدل‌سازی غلظت کلروفیل a مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده در جدول ۶ ارائه شده است. با توجه به این جدول مشخص می‌شود که بهترین گزینه برای مدل تخمینگر غلظت کلروفیل a رابطه به دست آمده براساس نسبت باندها می‌باشد زیرا بهترین مقدار R^2 و کمترین مقدار SE متعلق به این

جدول ۶- نتایج تخمین مدل‌های چند متغیره مختلف برای لندست ۷ (۳ ماه فروردین، آذر و خرداد)

رابطه	باندهای شرکت کننده در مدل	R^2	R^2_{Adj}	SE	NRMSE
ترکیب باندها	ETM1, ETM2	۰/۷۸	۰/۷۶	۰/۲	۰/۱۳
لگاریتم	ETM1, ETM2, ETM8	۰/۸	۰/۷۶	۰/۲	۰/۱۲
تابع نمایی	ETM1, ETM2, ETM8	۰/۸۱	۰/۷۸	۰/۲	۰/۱۲
جذر	ETM1, ETM2, ETM8	۰/۸۱	۰/۷۸	۰/۲	۰/۱۲
مربع	ETM1, ETM2, ETM8	۰/۸	۰/۷۶	۰/۲	۰/۱۲
نسبت	ETM1, ETM2, ETM3, ETM4, ETM5, ETM7, ETM8	۰/۹۵	۰/۹۱	۰/۱	۰/۰۴
NDI	ETM1, ETM2, ETM3, ETM4, ETM5, ETM7, ETM8	۰/۷۶	۰/۷	۰/۲۲	۰/۱۳
تفاضل	ETM1, ETM2	۰/۷۶	۰/۷	۰/۲	۰/۱۲

جدول ۷- نتایج تخمین مدل‌های چند متغیره مختلف برای لندست ۷ (بجز خردادماه)

رابطه	باندهای شرکت کننده در مدل	R^2	R^2_{Adj}	SE	NRMSE
ترکیب باندها	ETM2, ETM7	۰/۷۷	۰/۶۶	۰/۱۳۴	۰/۱۹
لگاریتم	ETM2, ETM7	۰/۶۹	۰/۶۴	۰/۱۵	۰/۱۹
تابع نمایی	ETM2, ETM7	۰/۶۹	۰/۶۳	۰/۱۵	۰/۱۹
جذر	ETM2, ETM7	۰/۶۹	۰/۶۳	۰/۱۳۳	۰/۱۹
مربع	ETM2, ETM7	۰/۶۸	۰/۶۲	۰/۱۶	۰/۲
نسبت	ETM1, ETM2	۰/۶۹	۰/۶۶	۰/۰۶	۰/۰۸
NDI	ETM2, ETM7	۰/۶۹	۰/۶۶	۰/۱۳	۰/۱۶
تفاضل	ETM1, ETM2	۰/۷	۰/۶۷	۰/۱۵	۰/۱۹



شکل ۱۰. واسنجی و صحت سنجی مدل غلظت کلروفیل با استفاده از نسبت باندها

برابر ۰/۸۸ به دست آمد. همچنین (Han and Jordan (2005) با استفاده از تصاویر لندست ۷ مطالعه‌ای روی خلیج Pensacola در امریکا انجام دادند که در آن از نسبت لگاریتم باند آبی به لگاریتم باند قرمز استفاده کردند. با استفاده از ۱۶ داده مشاهده-ای مقدار R^2 برای مطالعه آنان برابر ۰/۶۸ و مقدار SE برابر ۰/۱۹ به دست آمد. در مطالعه‌ای که (Wang *et al.*, (2006) با استفاده از تصاویر لندست ۵ روی دریاچه Reelfoot در امریکا انجام دادند از دو باند سبز و قرمز در یک مدل خطی استفاده نمودند. ۱۸ داده در این مدل‌سازی استفاده شد و مقدار R^2 برای کلروفیل a برابر ۰/۷۱ به دست آمد. در ترکیه نیز Alparslan *et al.*, (2007) مطالعه‌ای روی دریاچه سد Omerli انجام دادند. آنها مدلی را به منظور تخمین غلظت کلروفیل a در مخزن این سد به دست آوردند که از باندهای ۱ تا ۴ تصویر لندست ۷ استفاده می‌کرد. مقدار R^2 و SE این مدل به ترتیب برابر ۰/۴۹ و ۰/۵۸ به دست آمد. آنها ۴۹ داده برای این مطالعه در اختیار داشتند.

همچنین (Chen *et al.*, (2008) با استفاده از لندست ۷ مطالعه‌ای روی دریاچه سد Feitsui در تایوان انجام دادند که در آن از باندهای ۱ تا ۵ و باند ۷ استفاده می‌شد. مقدار R^2 و SE این مطالعه به ترتیب برابر ۰/۶۸ و ۰/۱ به دست آمد. آنها از یک مدل چند متغیره خطی و ۲۴ داده برای این تحقیق استفاده نمودند. در تحقیقی نیز (Narteh (2011) مطالعه‌ای روی دریاچه

معادله (۵) رابطه رگرسیون به دست آمده براساس نسبت باندها را نشان می‌دهد. در این رابطه نشان دهنده غلظت کلروفیل a می‌باشد. هر یک از باندها نیز با ETM مشخص شده است. معنی داری این معادله رگرسیون مورد بررسی قرار گرفت. مقدار F برابر ۲۰/۷۵ به دست آمد که از F جدول در سطح ۵٪ (۲/۹۸) بزرگتر و بنابراین فرض صفر (عدم وجود رابطه بین متغیرها و غلظت کلروفیل) رد می‌شود. همچنین مقدار P_{Value} برای تمامی متغیرها کوچکتر از ۰/۰۵ می‌باشد.

(رابطه ۵)

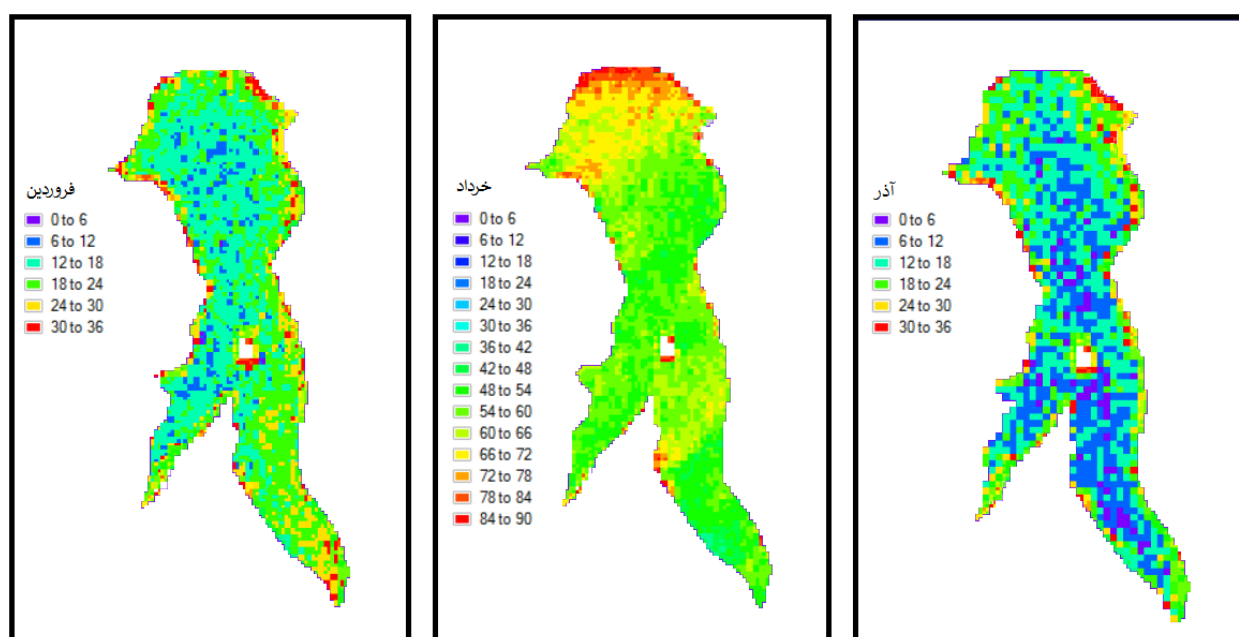
$$Chla = -2661 - 50.8 \left(\frac{ETM_2}{ETM_1} \right) + 2443 \left(\frac{ETM_3}{ETM_1} \right) + 70.2 \left(\frac{ETM_4}{ETM_3} \right) + 3750 \left(\frac{ETM_5}{ETM_1} \right) - 3956 \left(\frac{ETM_7}{ETM_1} \right) - 1682 \left(\frac{ETM_7}{ETM_2} \right) + 942 \left(\frac{ETM_7}{ETM_4} \right) + 1298 \left(\frac{ETM_7}{ETM_5} \right) - 1468 \left(\frac{ETM_8}{ETM_1} \right) + 733 \left(\frac{ETM_8}{ETM_3} \right)$$

مطالعاتی در گذشته با استفاده از تصاویر لندست روی دریاچه‌های مختلف انجام شده است که با استفاده از نسبت باندی غلظت کلروفیل a را در دریاچه‌های مختلف تخمین زده‌اند. از جمله (Brezonik *et al.*, (2005) مطالعه‌ای با استفاده از لندست ۵ روی ۱۵ دریاچه در Minnesota انجام دادند که در آن از یک مدل خطی چند متغیره برای تخمین غلظت کلروفیل a استفاده کردند. این مدل از نسبت باندهای آبی و قرمز ساخته شده در کل با استفاده از ۱۵ داده مشاهده‌ای مقدار R^2

توزیع کلروفیل a در سطح دریاچه در ماه‌های مختلف تغییر نموده است. کیفیت آب از نظر غلظت کلروفیل a در آذر بهتر از فروردین و خرداد می‌باشد. همچنین وضعیت کیفی آب دریاچه در خرداد تنزل کرده است. در ورودی به دریاچه و همچنین نزدیک بدنه سد غلظت کلروفیل افزایش نشان می‌دهد. این مساله در مورد توزیع کلروفیل در فروردین ماه نیز صادق است. در حالیکه در آذرماه کیفیت آب دریاچه در ورودی بهتر از نزدیکی بدنه سد می‌باشد. در هر سه ماه مشاهده می‌شود که بهترین کیفیت مربوط به مناطق میانی دریاچه می‌باشد.

Utah در امریکا انجام داد. او با استفاده از یک معادله چند جمله‌ای درجه ۳ که با استفاده از نسبت باند ۳ به باند ۴ لندست ۷ ساخته بود توانست مدلی برای تخمین غلظت کلروفیل a در این دریاچه استخراج کند که دارای ضریب تبیین برابر ۰/۹۳ بود.

در این مطالعه پس از انتخاب مدل غلظت کلروفیل a نقشه تغییرات کلروفیل در سطح دریاچه ترسیم شد. شکل ۱۱ مقایسه توزیع مقادیر غلظت کلروفیل را در ماه‌های فروردین، خرداد و آذر نشان می‌دهد که با استفاده از معادله نسبت باندها به دست آمده است. با توجه به شکل ۱۱ مشخص می‌باشد که مقدار و



شکل ۱۱. مقایسه توزیع مقادیر مختلف غلظت کلروفیل a در ماه‌های فروردین، خرداد و آذر ۱۳۸۹

همچنین نتایج این مطالعه نشان داد که علیرغم وجود فاصله زمانی بین داده‌های میدانی و تصاویر ماهواره‌ای، رابطه به دست آمده با استفاده از سه ماه فروردین، خرداد و آذر نتایج بهتری را برای کلیه مدل‌ها نشان می‌دهد. باتوجه به فاصله زمانی زیاد بین نمونه‌برداری و تصویر ماهواره‌ای، نتایج نشان می‌دهد با رعایت شرایطی از قبیل عدم بارش در این فاصله، تعداد داده بیشتر به استخراج مدلی با دقت بالاتر کمک می‌کند. به‌علاوه نتایج این مطالعه نشان داد توزیع کلروفیل در سطح دریاچه در زمان‌های مختلف بسیار متغیر می‌باشد. این مساله می‌تواند در اثر تغییر شرایط هیدرولوژیکی در دریاچه باشد. با تغییر حجم آب موجود در دریاچه غلظت کلروفیل a و توزیع آن تحت تاثیر قرار می‌گیرد.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه تصویر لندست ۷ برای استخراج یک رابطه تجربی به منظور تخمین غلظت کلروفیل a در دریاچه سد اکباتان همدان ارزیابی شد. ابتدا با استفاده از منحنی پراکنش، تک‌تک باندها برای استخراج مدل مورد بررسی قرار گرفتند. در این مطالعه ترکیب باندها و تبدیل‌های مختلفی از جمله مجذور، مربع، لگاریتم، تفاضل، تابع نمایی، و NDI و نسبت باندها مورد بررسی قرار گرفت. با بررسی تبدیل‌های مختلف روی باندهای تصویر لندست ۷ مشخص شد که استفاده از نسبت باندی برای این تصاویر بهترین نتیجه را برای تخمین غلظت کلروفیل a به دست می‌دهد. با توجه به مقادیر R^2_{Adj} برابر ۰/۹۱ و SE معادل ۰/۰۴ می‌توان گفت این تصویر قابلیت استفاده جهت تخمین غلظت کلروفیل a را دارد.

REFERENCES

- Alparslan, E., Aydoner, C., Tufekci, V. and Tufekci, H. (2007). Water quality assessment at Ömerli Dam using remote sensing techniques. *Environ Monit Assess.*, 135:391-398. Doi: 10.1007/s10661-007-9658-6.
- Brezonik, P., Menken, K. D. and Bauer, M. (2005). Landsat-based remote sensing of lake water quality characteristics, including chlorophyll and colored dissolved organic matter (CDOM). *Lake and Reservoir Management*, 21: 373–382.
- Carder, K.L., Chen, F.R., Cannizzaro, J.P., Campbell, J.W., Mitchell, B.G. (2004) Performance of the MODIS semi-analytical ocean color algorithm for chlorophyll-a. *Advances in Space Research*, 33:1152–1159.
- Carvalho, G. de A., Minnett, P., Baringer, W., Banzon, V. (2007) Detection of Florida “red tides” from SeaWiFS and MODIS imagery. *Anais XIII Simposio Brasileiro De Sensoriamento Remoto*, Florianopolis, Brasil, 21-26 Abril 2007, INPE, 4581-4588.
- Chen, L., Tan, C. H., Kao, S. J. and Wang, T. S. (2008). Improvement of remote monitoring on water quality in a subtropical reservoir by incorporating grammatical evolution with parallel genetic algorithms into satellite imagery. *Water Res.*, 42: 296–306.
- Dall’Olmo, G., Gitelson, A. A., Rundquist, D. C., Leavitt, B., Barrow, T., and Holz, J. C. (2005). Assessing the potential of SeaWiFS and MODIS for estimating chlorophyll concentration in turbid productive waters using red and near-infrared bands. *Remote Sensing of Environment*, 96(2): 176–187.
- Darecki, M., and Stramski, D. (2004) An evaluation of MODIS and SeaWiFS bio-optical algorithms in the Baltic Sea. *Remote Sensing of Environment*, 89(3): 326–350.
- Gitelson, A. A., Gurlin, D., Moses, W. J., and Yacobi, Y.Z. (2011a). Remote Estimation of Chlorophyll-a Concentration in Inland, Estuarine, and Coastal Waters. Chapter 18 in *Advances in Environmental Remote Sensing, Sensors: Algorithms, and applications*, CRC Press, Taylor and Francis Group, 449-478.
- Gurlin, D., Gitelson, A. A. and Moses, W. J. (2011) Remote estimation of chl-a concentration in turbid productive waters — Return to a simple two-band NIR-red model? *Remote Sensing of Environment*, 115(12): 3479–3490.
- Han, L. and Jordan, K. (2005). Estimating and mapping chlorophyll a concentration in Pensacola Bay, Florida using Landsat ETM data. *International Journal of Remote Sensing*, 26: 5245–5254.
- Honeywill, C., Paterson, D. M., and Hegerthey, S. E. (2002) Determination of microphytobenthic biomass using pulse-amplitude modulated minimum fluorescence. *European Journal of Phycology*, 37(4): 485–492.
- Isenstein E. M., Trescott, A. and Park, M. H. (2014) Multispectral Remote Sensing of Harmful Algal Blooms in Lake Champlain, USA. *Water Environ. Res.*, 86, 2271. (Volume 86, Number 12). doi:10.2175/106143014X13975035526149.
- Jarvie, H. P. C. N, P.J.A. Withers. (2006) Sewage-effluent phosphorus: A greater risk to river eutrophication than agricultural phosphorus?. *Science of the Total Environment* 360: 246– 253.
- Jin, X. C. Xu, Q. J. and Huang, C. Z. (2005) Current status and future tendency of lake eutrophication in China. *Sci China Ser C*, 48: 948–954.
- Kuo, J.T., M.H.Hsieh, W.S. Lung and N. She. (2007) Using artificial neural network for reservoir eutrophication prediction. *Ecological modeling*. 200. 171–177.
- Moses, W. J., Gitelson, A. A., Berdnikov, S. and Povazhnyy, V. (2009a) Estimation of chlorophyll-a concentration in case II waters using MODIS and MERIS data Successes and challenges. *Environmental Research Letters*, 4 045005(8pp), doi:10.1088/1748-9326 /4/ 4/ 045005.
- Moses, W., Gitelson, A., Berdnikov, S. and Povazhnyy, V. (2009b) Satellite estimation of chlorophyll-a concentration using the red and NIR bands of MERIS — The Azov Sea case study. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 4(6): 845–849.
- Narteh, V. N. A. (2011). Mapping and Modeling Chlorophyll-a Concentrations in Utah Lake Using Landsat 7 ETM+ Imagery. MSc Thesis. Brigham Young University, Utah, USA.
- Norouzi, J., Jelokhani, H. and Ghasemi, A. (2011) Investigating and evaluating the quality of potable water in Ekbatan reservoir. *International Conference of Water and Waste Water*, Tehran. (In Farsi).
- Ruddick, K. G., Gons, H. J., Rijkeboer, M., and Tilstone, G. (2001) Optical remote sensing of chlorophyll-a in case 2 waters by use of an adaptive two-band algorithm with optimal error properties. *Applied Optics*, 40(21): 3575–3585.
- Samarghandi, M.R., Weysi, K., Abouee Mehrizi, A., Kaseb, P. and Danaee, A. (2013) Investigating the water quality of ekbatan reservoir using NSFQI. *Journal of North Khorasan University of Medical Sciences*, 5(1): 63- 69. (In Farsi).
- Schalles, J. F., Gitelson, A. A., Yacobi, Y. Z., and Kroenke, A. E. (1998) Estimation of chlorophyll a from time series measurements of high spectral resolution reflectance in a eutrophic lake. *Journal of Phycology*, 34(2): 383–390.
- Smith, V. H. (2003) Eutrophication of freshwater and coastal marine ecosystems: A global problem. *Environ Sci Pollut Res*, 10: 126–139.
- Smith, V. H. and Schindler, D. W. (2009) Eutrophication science: where do we go from here? *Trends EcolEvol*, 24: 201–207.

- Stadelman, T.H., Brezonik, P. L. and Kloiber, S. (2001) Seasonal Patterns of Chlorophyll a and Secchi Disk Transparency in Lakes of East-Central Minnesota: Implications for Design of Ground- and Satellite-Based Monitoring Programs. *Lake and Reservoir Management*, 17 (4), pp. 299-314.
- Tayebi E. and Saradjian, M. R. (2013) Detection and Monitoring of Algal Blooms in Persian Gulf Using Modis Images. *International Geoinformatics Research and Development Journal*, 4(1): 14-20.
- Trescott, A. Isenstein E. M. and Park, M. H. (2013) Remote sensing of cyanobacterial blooms in Lake Champlain, USA. *Water Science & Technology Water Supply*. 13(5):1402. DOI: 10.2166/ws.2013.114.
- Vincent, R. K., Qin, X., McKay, R. M. L., Miner, J., Czajkowski, K., Savino, J. and Bridgeman, T. (2004) Phycocyanin detection from LANDSAT TM data for mapping cyanobacterial blooms in Lake Erie. *Remote Sensing of Environment*, 89(3):381-392.
- Wang, F., Han, L., Kung, H. T. and Arsdale, R. B. V. (2006). Applications of Landsat-5 TM imagery in assessing and mapping water quality in Reelfoot Lake, Tennessee. *International Journal of Remote Sensing*, 27: 5269-5283.
- Waxter, M. T. (2014) Analysis of Landsat Satellite Data to Monitor Water Quality Parameters in Tenmile Lake, Oregon. Master of Science in Civil and Environmental Engineering Civil and Environmental Engineering Master's Project Reports. Paper 2. Portland State University.
- Weysi K. (2014) Investigation on the trophic status of Ekbatan Reservoir: a drinking water supply reservoir in Iran. *J Res Health Sci*, 14:65-9.
- Wheeler S. M., Morrissey, L. A., Levine, S. N., Livingston, G. P. and Vincent, W. F. (2011) Mapping cyanobacterial blooms in Lake Champlain's Missisquoi Bay using QuickBird and MERIS satellite data. *Journal of Great Lakes Research*, 38:68-75. Doi: 10.1016 / j.jglr. 2011. 06. 009.
- Yang, W., Matsushita, B., Chen, J., Fukushima, T., and Ma, R. (2010) An enhanced three-band index for estimating chlorophyll-a in turbid case-II waters: Case studies of Lake Kasumigaura, Japan, and Lake Dianchi, China. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 7(4): 655-659.
- Yu, H. B., Xi, B. D., Jiang, J. Y., Heaphy, M. J., Wang, H. L. and Li, D. L. (2011) Environmental heterogeneity analysis, assessment of trophic state and source identification in Chaohu Lake, China. *Environ Sci Pollut Res*, 18: 1333-1342.