

Monitoring Spatiotemporal Variation of Lake Urmia Surface Albedo Using MODIS Satellite Data

A. Darzi¹ and S. Sima^{2*}

Abstract

Albedo is one of the important factors affecting the energy balance of lakes. This study investigates the spatiotemporal variation of shortwave albedo over the entire boundary of Lake Urmia. For this purpose, first, the boundaries of the lake water body, salt flats, and bare lands have been extracted. Secondly, monthly time series of shortwave albedo have been analyzed using the MODIS albedo product (MCD43A3). The validation results showed that MODIS data underestimates the lake surface albedo. Moreover, along with the significant lake level drop from 2008 to 2017 (compared to the previous decade), the surface albedo of Lake Urmia has extremely increased (up to 150%). This, in turn, can lead to a decrease in surface temperature, evaporation, and thermal storage capacity of the lake and impair its function in regulating the micro-climate of its surrounding region. Despite an increase in the bare land and salt flat areas, albedo of these surfaces have remained pretty constant and no trend has been observed during the study period. Results of this study indicated the inefficiency of the MODIS albedo data (MCD43A3 v.6) in monitoring Lake Urmia albedo. Findings can also provide insights into the performance improvement of the next version of MODIS albedo products, particularly over saline lakes.

Keywords: Shortwave Radiation, Saline Lakes, Water Level, Validation.

Received: April 20, 2021

Accepted: August 25, 2021

پایش تغییرات مکانی- زمانی آلبدوی سطح دریاچه ارومیه با استفاده از داده‌های سنجنده MODIS

امیر درزی^۱ و سمیه سیما^{۲*}

چکیده

آلبدوی طول موج کوتاه سطح یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر روی بیلان انرژی دریاچه‌ها است. این پژوهش با هدف بررسی تغییرات مکانی- زمانی آلبدوی طول موج کوتاه در محدوده مرز کلی دریاچه ارومیه انجام شد. برای این منظور ابتدا مرز پهنه‌های آبی، نمکی و نواحی بایر استخراج شده و سپس سری زمانی ماهانه آلبدو با استفاده از محصول آلبدوی سنجنده MODIS (MCD43A3) بررسی گردید. نتایج اعتبارسنجی نشان داد که داده‌های MODIS، آلبدو را کمتر از مقادیر مشاهداتی برآورد می‌کند. همچنین، با کاهش تراز دریاچه طی بازه سال‌های ۲۰۰۸ الی ۲۰۱۷ نسبت به دهه قبل از آن، مقدار آلبدوی سطح (تا ۱۵۰٪) افزایش یافته است که می‌تواند منجر به کاهش دمای سطح آب، تبخیر و ظرفیت نگهداشت حرارتی دریاچه شده و در نتیجه نقش دریاچه در تعدیل و تنظیم میکرو اقلیم منطقه را کاهش دهد. علیرغم افزایش سطح خاک بایر و نمک طی این دوره، آلبدوی این محدوده‌ها بدون روند و نسبتاً ثابت بوده است. نتایج این پژوهش حاکی از عدم کارایی مناسب داده‌های محصول آلبدوی سطح (MCD43A3 v.6) در پایش آلبدوی دریاچه ارومیه است و می‌تواند به بهبود عملکرد محصولات آلبدوی سنجنده MODIS در نسخه‌های بعدی کمک کند.

کلمات کلیدی: تابش طول موج کوتاه، دریاچه‌های شور، تراز آب، اعتبارسنجی.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۱/۳۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۶/۳

1- M.Sc. of Engineering and Water Resource Management, Civil & Environmental Engineering Department, University of Tarbiat Modares, Tehran, Iran. Email: amir.darzi@modares.ac.ir

2- Assistant Professor, Civil & Environmental Engineering Department, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. Email: s.sima@modares.ac.ir

*- Corresponding Author

Dor: [20.1001.1.17352347.1400.17.2.13.6](https://doi.org/10.1001.1.17352347.1400.17.2.13.6)

۱- کارشناس ارشد مهندسی و مدیریت منابع آب، گروه مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس.

۲- استادیار گروه مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس.

*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان پائیز ۱۴۰۰ امکانپذیر است.

۱- مقدمه

آلودگی سطح (که بنا به تعریف مقدار کل انرژی بازتاب شده به کل انرژی دریافتی در طول موج مشخص می‌باشد) یکی از پارامترهای مهم در تبادلات انرژی سطح با اتمسفر اطراف محسوب شده (Dickinson, 1983) و نقش کلیدی را در مدل‌های اقلیمی سطح زمین ایفا می‌کند (Kiehl et al., 1996). آلودگی سطحی دریاچه‌ها بیان انرژی دریاچه را کنترل کرده و بر روی اکوسیستم دریاچه و اقلیم محلی منطقه اثرگذار است (Eugster et al., 2000)، از این رو تغییرات آن می‌تواند منجر به تغییر دمای سطح دریاچه و ظرفیت نگهداشت حرارتی شده و بر روی میزان تبخیر از سطح نیز اثر بگذارد (Wetzel and Likens, 2013; Argaman et al., 2012).

عوامل متعددی بر روی آلودگی سطح اثرگذار هستند که از آن جمله می‌توان به زاویه زینت (سنسور و خورشید)، رطوبت، شرایط آب و هوایی و یخ زدگی سطح (Argaman et al., 2012; Katsaros et al., 1985) اشاره کرد. همچنین، در پهنه‌های آبی وسیع و کم عمق به ویژه در دریاچه‌های شور علاوه بر تغییرات مکانی، تغییرات بین‌سالی و فصلی آلودگی سطحی نیز قابل توجه است و در نظر گرفتن یک مقدار ثابت در طی سال برای برآورد تبخیر و توسعه بیان انرژی دریاچه کفایت نمی‌کند.

برای محاسبه آلودگی سطح دریاچه‌ها از دو روش کلی استفاده می‌شود: (۱) اندازه‌گیری‌های میدانی (با استفاده از دستگاه پیرانومتر^۱ و یا آلودسنج^۲) و (۲) داده‌های سنجنش از دور (Salleh et al., 2014). استفاده از داده‌های سنجنش از دور در دهه‌های اخیر، به طور گسترده برای اندازه‌گیری آلودگی سطح زمین توسط ماهواره‌ها و سنجنده‌های مدنظر قرار گرفته است (Qu et al., 2015). از جمله سنجنده‌های چند طیفی مورد استفاده در پایش آلودگی سطح می‌توان به سنجنده‌های AVHRR، MODIS، ASTER، MISR، Landsat TM/ETM⁺، SEVIRI، GOES و Sentinel اشاره نمود که با قدرت تفکیک مکانی ۰/۱۵ تا ۲/۵ درجه و در گام زمانی روزانه، ۸ روزه، ۱۰ روزه و غیره داده‌ها را ارائه می‌دهند (Rutan et al., 2006). در این بین سنجنده MODIS با استفاده از توسعه مدل تابع دوطرفه بازتاب (BRDF^۳) برای سطوح مختلف، آلودگی سطح را در طول موج‌های مختلف در قالب یک محصول (MCD43) از سال ۲۰۰۰ محصول با قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متر به صورت روزانه ارائه می‌دهد. این سنجنده در مقایسه با دیگر موارد به دلیل داشتن تعداد باندهای مناسب در محدوده طیف مرئی و مادون قرمز نزدیک و همچنین قدرت تفکیک زمانی مناسب از قابلیت خوبی برای پایش پیوسته آلودگی سطح

برخوردار است و کاربرد گسترده‌تری هم نسبت به سایر داده‌های ماهواره‌ای داشته است (Stroeve et al., 2005). در جدیدترین نسخه محصول آلودگی MODIS (نسخه ۶) داده‌ها به صورت روزانه در یک بازه ۱۶ روزه با مرکزیت روز ۹ام ارایه می‌شود. در این نسخه از تمام مشاهدات بدون ابر و معتبر هر دو ماهواره Terra و Aqua برای بازیابی آلودگی استفاده می‌شود، از این رو با افزایش تعداد مشاهدات نتایج با کیفیت مطلوب (وارونگی کامل) افزایش می‌یابد (Wang et al., 2018). محصول آلودگی طول موج کوتاه سنجنده MODIS در هر نقطه از زمین مقدار آلودگی سطح را در دو حالت آلودگی آسمان سیاه و سفید بدست می‌آورد. این دو حالت نمایانگر اجزای مقدار آلودگی واقعی سطح زمین هستند. آلودگی آسمان سیاه مقدار آلودگی سطح را در غیاب جزء پخش شده تابش رسیده به سطح و آلودگی آسمان سفید مقدار آلودگی سطح را در غیاب جزء مستقیم تابش رسیده به سطح محاسبه می‌کند. مقدار آلودگی واقعی سطح زمین (آلودگی آسمان آبی) را می‌توان به عنوان مجموع وزنی آلودگی آسمان سیاه و سفید بر اساس نسبت تابش مستقیم و منتشر شده رسیده به سطح زمین تعریف نمود (Qu et al., 2015; Salomon et al., 2006).

مطالعات بسیار محدودی در خصوص تغییرات آلودگی سطح دریاچه‌های شور انجام شده است. از آن جمله می‌توان به مطالعات بر روی آلودگی پهنه نمکی Bonneville در اطراف دریاچه بزرگ نمک یوتا در جنوب غرب آمریکا با استفاده از محصول آلودگی MCD43A3 نسخه ۶ سنجنده MODIS اشاره کرد. به دلیل وجود پیکسل‌های بدون داده محصول MCD43A3 در اطراف دریاچه، در این مطالعه امکان اعتبارسنجی این محصول فراهم نشده است (Craft and Horel, 2019). آنالیز مقادیر آلودگی سطح دریاچه شور Elton با استفاده از محصول آلودگی MODIS نشان داد که طی سال‌های ۲۰۰۵ الی ۲۰۱۱ آلودگی سطح دریاچه به طور چشم‌گیری افزایش یافته و از مقدار ۰/۱۴ به حدود ۰/۴ رسیده است. نتایج نشان می‌دهد که تا قبل از سال ۲۰۰۵، حداکثر آلودگی ثبت شده ۰/۲ بوده است، اما بعد از سال ۲۰۰۵ این مقدار به دلیل فعالیت‌های انسانی و تغییر اقلیم به حدود ۰/۴ رسیده است (Argaman et al., 2012). بررسی‌های انجام شده بر روی آلودگی دریاچه ارومیه در فصول گرم سال نیز، نشانگر افزایش آلودگی طول موج کوتاه در تابستان با کاهش تراز دریاچه و شوری آن (در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ میلادی) است. نتایج نشان می‌دهد در محدوده طول موج‌های کوتاه با کاهش تراز آب دریاچه، میانگین آلودگی طول موج کوتاه سطح آب و مناطق خشک شده، طی فصل تابستان به ترتیب تقریباً ۴ و ۱/۵ برابر شده است (Jalilvand et al., 2017). با توجه به اینکه افزایش ۱۰ درصدی در آلودگی طول موج کوتاه دریاچه ارومیه، تا ۱/۵ درصد می‌تواند منجر به

سال ۱۹۹۶ نزدیک به ۶/۵ متر کاهش داشته است (Sima et al., 2021).

۲-۲- داده‌های مورد استفاده

۲-۲-۱- داده‌های ماهواره‌ای

به منظور استخراج مرز پهنه آب، نمک و خاک بایر طی دوره ۲۰ ساله (۲۰۲۰-۲۰۰۰) از داده‌های تصاویر Landsat ۵، ۷ و ۸ طی روزهای بدون ابر استفاده شد. همچنین، از داده‌های نسخه ۶ محصول آلبدوی سنجنده MODIS (MCD43A3) در محدوده طول موج کوتاه برای پایش آلبدوی سطح آب، پهنه نمک و خاک بایر در محدوده مرز دریاچه ارومیه از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ در گام زمانی ماهانه استفاده شده است. این محصول از ترکیب مشاهدات سنجنده MODIS بر روی دو ماهواره Terra و Aqua حاصل شده است. تصاویر محصول آلبدوی طول موج کوتاه سنجنده MODIS (نسخه ۶) به صورت روزانه تهیه شده است (Wang et al., 2018). این محصول مقادیر آلبدو را در ۱۰ لایه محاسبه می‌کند به طوری که ۷ لایه آن به صورت تک باند بوده و سه لایه آن به صورت باند گسترده در محدوده طول موج مرئی (μm) و $0.7 - 0.3$ مادون قرمز ($5 \mu\text{m} - 0.7$) و طول موج کوتاه ($5 \mu\text{m}$) - 0.3 است (Román et al., 2009; Schaaf et al., 2002). در این مطالعه از لایه آلبدو در محدوده طول موج کوتاه استفاده شده است.

۲-۲-۲- داده‌های زمینی

دو ایستگاه پایش برخط دریاچه ارومیه متغیرهای هواشناسی، تراز و دمای آب را در اعماق مختلف اندازه‌گیری می‌کنند. ایستگاه DWP^۴ در شمال دریاچه (شکل ۱-ا) و ایستگاه SWP^۵ در زیر پل میانگذر (شکل ۱-ب) نصب شده‌اند. در هر دو ایستگاه برای محاسبه تابش ورودی خورشیدی و تابش برگشتی از پیرانومتر استفاده شده است. برداشت داده‌های تابش از سپتامبر ۲۰۱۶ شروع شده و به صورت پیوسته در هر ده دقیقه ثبت شده است. موقعیت این دو ایستگاه در شکل ۱ نشان داده شده است.

سنسورهای پیرانومتر، مورد استفاده، تابش‌هایی در محدوده ۰ تا ۲۰۰۰ وات بر متر مربع، را می‌توانند اندازه‌گیری کنند. این سنسورها محدوده طول موج ۳۰۰ تا ۳۰۰۰ نانومتر را پوشش می‌دهند و برای شرایط مختلف محیطی و برای اهداف گوناگون همچون آب و هواشناسی، هیدرولوژی، تحقیقات آب و هوا، انرژی خورشیدی و غیره طراحی شده‌اند. برای محاسبه آلبدوی طول موج کوتاه در محل ایستگاه‌ها، از داده‌های تابش ورودی طول موج کوتاه و تابش خالص ایستگاه‌های مرکزی و شمالی دریاچه استفاده شده است. مراحل پیش

کاهش نرخ تبخیر از دریاچه شود (Khorsand Movaghar, 2017)، اهمیت تغییرات مکانی- زمانی آلبدوی دریاچه بر بیلان آب و لیمنولوژی دریاچه مشخص می‌شود. باتوجه به اینکه مطالعه قبلی انجام گرفته بر روی دریاچه ارومیه (Jalilvand et al., 2017) بدون انجام اعتبارسنجی و درگام زمانی فصلی صورت گرفته است، لازم است ضمن اعتبارسنجی عملکرد محصول MCD43A3، تغییرات زمانی آلبدو در گام‌های زمانی کوچکتر از فصلی (روزانه و ماهانه) که در مطالعات هیدرولوژی و منابع آب به کار می‌رود، مورد بررسی قرار گیرد. از آنجاییکه محصول آلبدوی سنجنده MODIS دارای کاربردهای وسیعی در مطالعات هیدرولوژیکی دریاچه‌ها است، هر گونه بازخورد از دقت آن‌ها می‌تواند به افزایش کارایی این داده‌ها کمک کند (Liang et al., 2002). بر این اساس این مطالعه اهداف مقابل را دنبال می‌کند: ۱) اعتبارسنجی محصول آلبدوی روزانه نسخه ۶ سنجنده MODIS بر روی دریاچه ارومیه با استفاده از اندازه‌گیری‌های زمینی در دو ایستگاه پایش برخط داخل دریاچه و ۲) محاسبه سری زمانی ماهانه تغییرات آلبدوی پهنه آب، نمک و خاک بایر طی سال‌های ۲۰۰۰ الی ۲۰۲۰ با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS.

۲- داده‌ها و روش‌شناسی

در بخش اول این پژوهش پس از اخذ و پیش پردازش تصاویر محصول آلبدوی طول موج کوتاه سنجنده MODIS، داده‌های بدست آمده در لایه‌های مدنظر مورد ارزیابی قرار گرفته و با استفاده از داده‌های موجود (داده‌های پایش برخط) اعتبارسنجی می‌شوند. فرآیند اخذ این تصاویر در بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۰ الی ۲۰۲۰ انجام شده است. در بخش دوم پس از اخذ تصاویر آلبدوی طول موج کوتاه، مرز پهنه آب، نمک و خاک بایر توسط تصاویر Landsat به صورت ماهانه استخراج شده و مقادیر آلبدوی طول موج کوتاه در این محدوده محاسبه شده است.

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

دریاچه ارومیه در شمال غربی ایران یکی از بزرگ‌ترین دریاچه‌های فوق شور دائمی در جهان است (Alipour, 2006). طی دوره ۲۰ ساله ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۶، تراز آب دریاچه حدود ۸ متر کاهش یافته است که منجر به کاهش ۷۰ درصدی مساحت دریاچه (از ۵۸۱۶ کیلومتر مربع در سال ۱۹۹۶ به ۱۸۰۲ کیلومتر مربع در سال ۲۰۱۶) و ۹۰ درصدی حجم آب دریاچه (از ۳۴/۲۲ میلیون متر مکعب در سال ۱۹۹۶ به ۱/۲۴ میلیون متر مکعب در سال ۲۰۱۶) شده است (Danesh-Yazdi and Ataie-Ashtiani, 2019). طی سال‌های ۱۳۹۶-۱۳۹۹ تراز دریاچه با افزایش رو به رو شده است به طوری که در مرداد ۱۳۹۹ به ۱۲۷۱/۵ متر رسیده است اما نسبت به حداکثر تراز ثبت شده ۱۲۷۸/۴۱ متر در

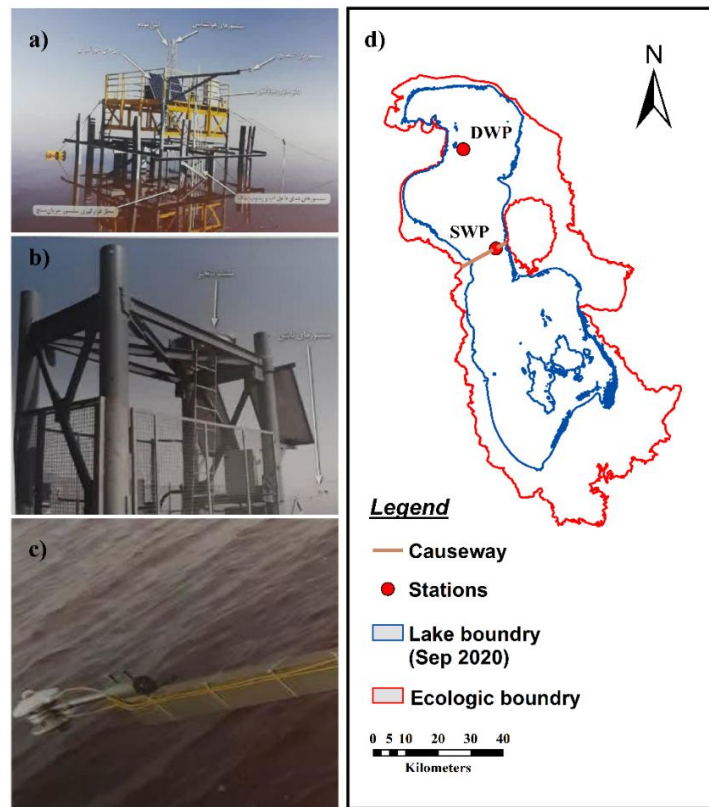


Fig. 1- Location of Urmia Lake causeway and stations a) DWP station, b) SWP station, c) pyranometer
 شکل ۱- موقعیت میانگذر و ایستگاه‌های دریاچه ارومیه (a) ایستگاه DWP، (b) ایستگاه SWP، (c) پیرانومتر

مقایسه با نتایج مطالعات دیگر، حدآستانه مناسب بر روی تصاویر شاخص NDWI اعمال شده و مرز پهنه آب جدا شد.

$$NDWI = \frac{\rho_{green} - \rho_{nir}}{\rho_{green} + \rho_{nir}} \quad (1)$$

در مطالعات متعددی از شاخص‌های طیف شوری برای آشکارسازی نمک و شوری خاک در مقاصد گوناگون با استفاده از تصاویر Landsat استفاده شده است (Khan et al., 2001). در این مطالعه نیز برای استخراج ماهانه تغییرات مرز پهنه نمکی اطراف دریاچه ارومیه از شاخص شوری ارائه شده توسط Kappa et al. (2015) استفاده شده است (رابطه ۲).

$$SI = (G^2 + R^2 + NIR^2)^{0.5} \quad (2)$$

در این رابطه مقادیر G، R و NIR به ترتیب بیانگر مقدار بازتاب در محدوده باند سبز، قرمز و مادون قرمز نزدیک تصاویر Landsat می‌باشد. برای اطمینان از نتایج بدست آمده به وسیله این شاخص، مرز پهنه نمکی تهیه شده با تصاویر ترکیب رنگ کاذب و نتایج دیگر مطالعات مقایسه شده است. با مشخص شدن مرز پهنه آب و محدوده پهنه نمکی، پهنه بایر اطراف دریاچه از محدوده اکولوژیک دریاچه ارومیه (شکل ۲-d) جداسازی شد. کلیه پردازش‌های تصاویر و محاسبات در محیط سامانه محاسبات ابری Google Earth Engine انجام شد.

پردازش داده‌های زمینی شامل ۱) حذف مقادیر پرت پس از رسم سری زمانی ماهانه داده‌های تابش ورودی و خالص و ۲) درونیابی و تکمیل داده‌ها برای بازسازی سیکل تغییرات روزانه و فصلی قبل از استفاده در اعتبارسنجی، می‌باشد.

۲-۳- استخراج مرز پهنه آب، نمک و خاک بایر در محدوده مرز دریاچه ارومیه

یکی از روش‌های مناسب و متداول تعیین پهنه‌های آبی و بررسی تغییرات سطح دریاچه‌ها با استفاده از سنجنش از دور حد آستانه‌گذاری بر روی شاخص‌ها (مانند NDWI، NDVI و غیره) است (Mouchot et al., 1991; Xu, 2006). در یک مطالعه انجام شده کارایی انواع شاخص‌های سنجنش از دوری در استخراج سطح دریاچه ارومیه ارزیابی شد و شاخص NDWI^۱ به عنوان مناسب‌ترین شاخص معرفی شد (Rokni et al., 2014). از این رو در این مطالعه نیز از شاخص NDWI که بر اساس بازتاب باندهای سبز (ρ_{green}) و مادون قرمز (ρ_{nir}) مطابق رابطه ۱ محاسبه می‌شود (Mcfeeters, 1996)، جهت استخراج پهنه آب استفاده شده است. سپس با بررسی هیستوگرام و

۴-۲- آلودگی آسمان آبی طول موج کوتاه

مقادیر آلودگی سطح پهنه آب دریاچه ارومیه بر اساس داده‌های محصول آلودگی طول موج کوتاه سنجنده MODIS (طی سال‌های ۲۰۰۰ الی ۲۰۲۰) در محدوده پهنه آب، پهنه نمک و خاک بایر در محدوده مرز اکولوژیک دریاچه ارومیه بررسی و تحلیل شد. مقادیر آلودگی آسمان سیاه و سفید در سال‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت و با توجه به نزدیک بودن آلودگی آسمان سیاه و سفید به یکدیگر (شکل ۲) و از آنجا که آلودگی واقعی (آلودگی آسمان آبی) ترکیب خطی از آلودگی آسمان سیاه و آسمان سفید است (Lewis and Barnsley, 1994)، بر اساس رابطه ۳، آلودگی آسمان آبی برابر آلودگی آسمان سیاه در نظر گرفته شد:

$$\text{Actual Albedo} = \text{SKYL} \times \text{WSA} + (1 - \text{SKYL}) \times \text{BSA} \quad (3)$$

که در این رابطه، SKYL: ضریب ترکیب خطی آلودگی و BSA، WSA و Actual Albedo به ترتیب آلودگی آسمان سفید و آسمان سیاه و آلودگی واقعی (آلودگی آسمان آبی) می‌باشند.

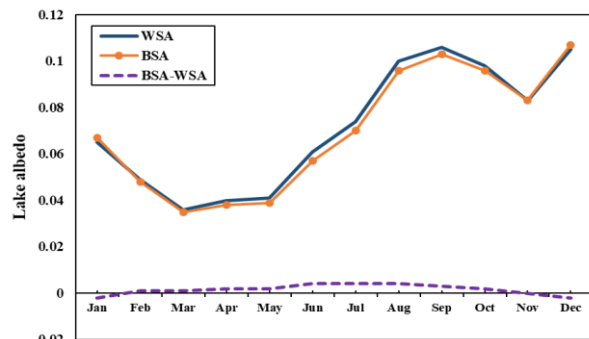


Fig. 2- Monthly time series of black sky albedo (BSA) and white sky albedo (WSA) and the difference between them in the water body of Lake Urmia in 2016

شکل ۲- سری زمانی ماهانه آلودگی آسمان سیاه و سفید و اختلاف بین آن‌ها در پهنه آب دریاچه ارومیه در سال ۲۰۱۶

۴-۵- اعتبارسنجی محصول آلودگی طول موج کوتاه سنجنده MODIS

مقایسه داده‌های ماهواره‌ای با داده‌های آلودگی اندازه‌گیری شده، در دو مقیاس لحظه‌ای (ظهر محلی) و روزانه انجام گردید. برای بدست آوردن آلودگی روزانه بر اساس داده‌های تابش ورودی و خالص اصلاح شده نیز از روش مستقیم (Wang et al., 2015) استفاده شده که بر مبنای آن می‌توان آلودگی لحظه‌ای را به آلودگی روزانه تبدیل کرد. در این روش میانگین آلودگی روزانه بر اساس میانگین وزنی آلودگی مطابق روابط ۴ و ۵ محاسبه می‌شود (Wang et al., 2015).

$$\alpha^{\text{daily}} = \sum_i [\alpha(t_i) \times W(t_i)] \quad (4)$$

$$W(t_i) = \frac{I_d(t_i)}{\sum_i I_d(t_i)} \quad (5)$$

در این روابط $I_d(t_i)$ ، $\alpha(t_i)$ و $W(t_i)$ به ترتیب، نشان دهنده تابش لحظه‌ای ورودی در زمان t ، آلودگی لحظه‌ای در زمان t و وزن در زمان t است. همچنین، فواصل برداشت داده نیز در طول روز با i نشان داده شده است.

از آنجا که محصول آلودگی طول موج کوتاه سنجنده MODIS آلودگی طول موج کوتاه ۱۶ روزه را در ظهر محلی^۶ انجام می‌دهد (Salomon et al., 2006)، در این روش برای تطابق بهتر با این محصول، تنها آلودگی ظهر محلی، با استفاده از داده‌های تابش ورودی و خالص خورشید، محاسبه می‌گردد. پس از استخراج آلودگی لحظه‌ای در ظهر محلی، مقادیر آن با داده‌های محصول آلودگی طول موج کوتاه MODIS مقایسه و اعتبارسنجی می‌شود. لازم به ذکر است که این روش به عنوان روش مبنا و اصلی فرآیند اعتبارسنجی در نظر گرفته خواهد شد. مطالعات مختلف دیگر نیز برای انجام اعتبارسنجی محصول آلودگی طول موج کوتاه بر روی زمین از داده‌های ظهر محلی برای محاسبه آلودگی استفاده کرده‌اند (Jin et al., 2003; Salomon et al., 2006).

۴-۶- تحلیل روند (آزمون من-کندال)

آزمون آماری من-کندال (رابطه ۶)، آزمون ناپارامتریک جهت بررسی روند سری‌های زمانی می‌باشد که (Kendall, 1961; Mann, 1945) توسط سازمان جهانی هواشناسی برای کاربردهای عمومی توصیه شده است (Jaiswal et al., 2015). به منظور تحلیل روند تغییرات سطح آب و آلودگی دریاچه ارومیه از این آزمون استفاده شد.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (6)$$

n تعداد مشاهدات سری، x_j و x_k به ترتیب داده‌های j ام و k ام سری می‌باشند. برای تحلیل روند سری زمانی‌های موجود در این مطالعه، بازه‌ها و سال‌های شکست انتخاب شده بر اساس آزمون پیتیت و نتایج تحلیل میانگین متحرک انتخاب شده است.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تغییرات مساحت پهنه آب، نمک و خاک

سری زمانی ماهانه تغییرات سطح دریاچه ارومیه و پهنه نمکی و بایر سواحل خشک شده در داخل مرز اکولوژیک طی بازه ۲۰ ساله (۲۰۰۰-۲۰۲۰) در شکل ۳ ارائه شده است. طی سال‌های ۲۰۰۰ الی ۲۰۰۷،

۳-۲- تغییرات آبدوی طول موج کوتاه دریاچه ارومیه بر اساس داده‌های زمینی

در شکل ۴ مقادیر آبدوی طول موج کوتاه ظهر محلی بر اساس داده‌های زمینی در دو ایستگاه پایش بر خط دریاچه ارومیه نشان داده شده است. براین اساس می‌توان دریافت که داده‌های زمینی در هر دو ایستگاه سیکل مشخصی را دارد به طوریکه مقادیر آبدوی زمینی در ماه‌های نوامبر تا ژانویه میلادی به حداکثر مقدار و در ماه‌های آوریل تا ژوئن به کمترین مقدار خود می‌رسد.

مساحت پهنه آبی و سواحل نمکی خشک شده تقریباً ثابت بوده است، اما در طی سال‌های ۲۰۰۸ الی اکتبر ۲۰۱۵ مساحت پهنه آبی دریاچه روند کاهشی ($425 \text{ km}^2/\text{yr}$) و پهنه نمکی ($164 \text{ km}^2/\text{yr}$) و خاک بایر ($259 \text{ km}^2/\text{yr}$) روند افزایشی قابل توجهی داشته است. در فاصله سالهای ۲۰۱۶ الی ۲۰۲۰ مساحت پهنه آبی دریاچه افزایش و مساحت پهنه نمکی و خاک بایر در سواحل خشکیده کاهش یافته است. در این بازه با افزایش بارندگی‌ها (به خصوص در سال ۲۰۱۶ و ۲۰۱۹) و جریان ورودی به دریاچه (Saemian et al., 2020) و افزایش مساحت پهنه آب، سطح پهنه نمک و خاک در مرز اکولوژیک دریاچه کاهش یافته است. در جدول ۱ نتایج تحلیل روند نشان داده شده است.

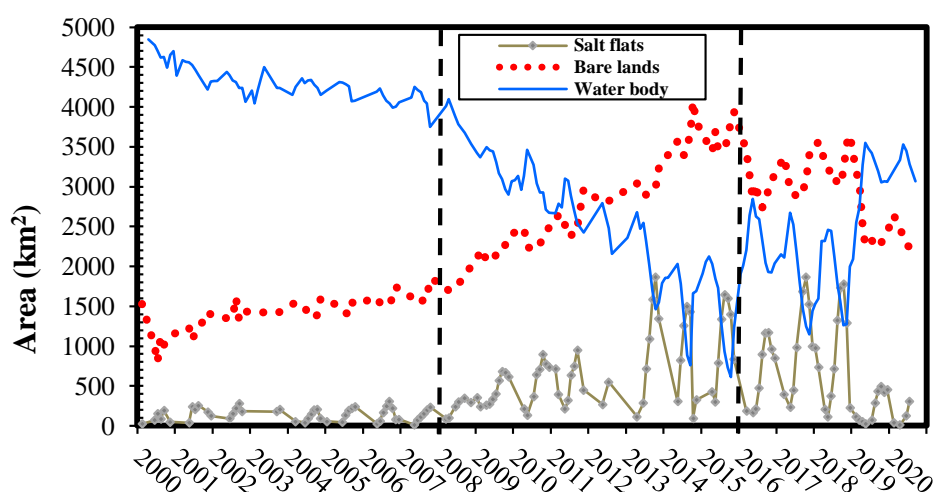


Fig. 3- Changes in the area of water body, salt flat, and bare land in the ecological boundary of the Urmia Lake during the years 2000 to 2020

شکل ۳- تغییرات مساحت پهنه آب، نمک و خاک در مرز اکولوژیک دریاچه طی سال‌های ۲۰۲۰ الی ۲۰۰۰

Table 1- Summary of the results of the trend analysis of water body, salt flat, and bare land area of Urmia Lake using non-parametric Mann-Kendall test

جدول ۱- خلاصه نتایج تحلیل روند مساحت پهنه آب، نمک و خاک بایر دریاچه ارومیه با استفاده از آزمون غیرپارامتریک روش

من-کندال

Trend analysis	Period	Mean (km ²)	Sen's slope	p-value
Water body	2000-2007	4300	-6.26	<0.0001
	2008-2015	2508	-27.42	<0.0001
	2016-2020	2390	22.28	0.001
Salt flat	2000-2007	144	0.29	0.51
	2008-2015	653	10.11	<0.0001
	2016-2020	634	-10.32	0.039
Bare land	2000-2007	1427	5.67	<0.0001
	2008-2015	2727	21.11	<0.0001
	2016-2020	2369	-13.75	0.018

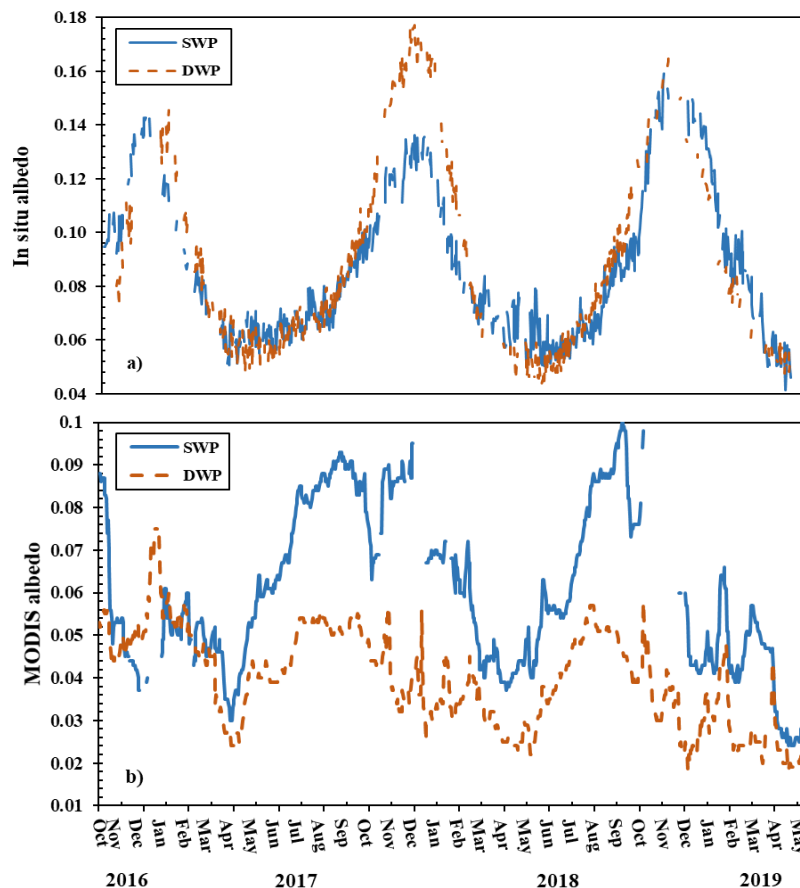


Fig. 4- Local noon time series of albedo based on, a) ground data, b) MODIS data, at SWP and DWP online stations in the center and north of the lake from 2016 to 2019

شکل ۴- مقادیر آلبدوی ظهر محلی بر اساس، (a) داده‌های زمینی، (b) داده‌های MODIS، در دو ایستگاه پایش برخط در شمال و مرکز دریاچه طی سال‌های ۲۰۱۶ الی ۲۰۱۹

نتایج اعتبارسنجی محصول آلبدوی طول موج کوتاه MODIS (MCD43A3)، در مقیاس زمانی لحظه‌ای (ظهر محلی) در دو ایستگاه پایش برخط (شکل ۴-a و ۴-b) نشان می‌دهد محصول آلبدوی طول موج کوتاه سنجنده MODIS (MCD43A3)، مقادیر آلبدوی طول موج کوتاه را دست کم برآورد می‌کند و ارتباط معنی‌داری با داده‌های اندازه‌گیری نشان نمی‌دهد. این اختلاف در ماه‌های نوامبر تا ژانویه بیشترین و در ماه‌های می تا سپتامبر به کمترین می‌رسد (شکل ۴).

در بسیاری از مطالعات برای انجام اعتبارسنجی تنها از داده‌های فصل بهار و تابستان استفاده شده است. برای این منظور در این مطالعه نیز داده‌های این دو فصل و طی ماه‌های می تا سپتامبر میلادی استخراج شده و فرآیند اعتبارسنجی برای آن‌ها صورت گرفته است. نتایج اعتبارسنجی برای داده‌های این دو فصل از کیفیت بالاتری نسبت به ماه‌های دیگر برخوردار بوده و ارتباط معناداری بین آن‌ها وجود دارد.

۳-۳- اعتبارسنجی آلبدوی حاصل از داده‌های سنجنده MODIS

اعتبارسنجی داده‌های آلبدوی حاصل از سنجنده MODIS در ظهر محلی با داده‌های آلبدوی روزانه در دو ایستگاه SWP و DWP (اشکال ۵-a و ۵-b) همبستگی خوبی را نشان نمی‌دهد. برای بررسی دقیق‌تر، فرآیند اعتبارسنجی برای هر کد کیفیت تصاویر سنجنده MODIS به طور مجزا نیز انجام شد. نمودارهای ۵-c و ۵-d به ترتیب تصاویر MODIS با کد کیفیت صفر (هفت یا بیش از هفت تصویر با کیفیت برای محاسبه آلبدو در دسترس باشد (بازیابی کامل)) و یک (بین ۲ تا ۷ تصویر با کیفیت برای استخراج آلبدو در دسترس باشد) (الگوریتم وارونگی پشتیبان)) برای ایستگاه SWP و نمودارهای ۵-e و ۵-f تصاویر مادیس با کد کیفیت صفر و یک برای ایستگاه DWP را نشان می‌دهد.

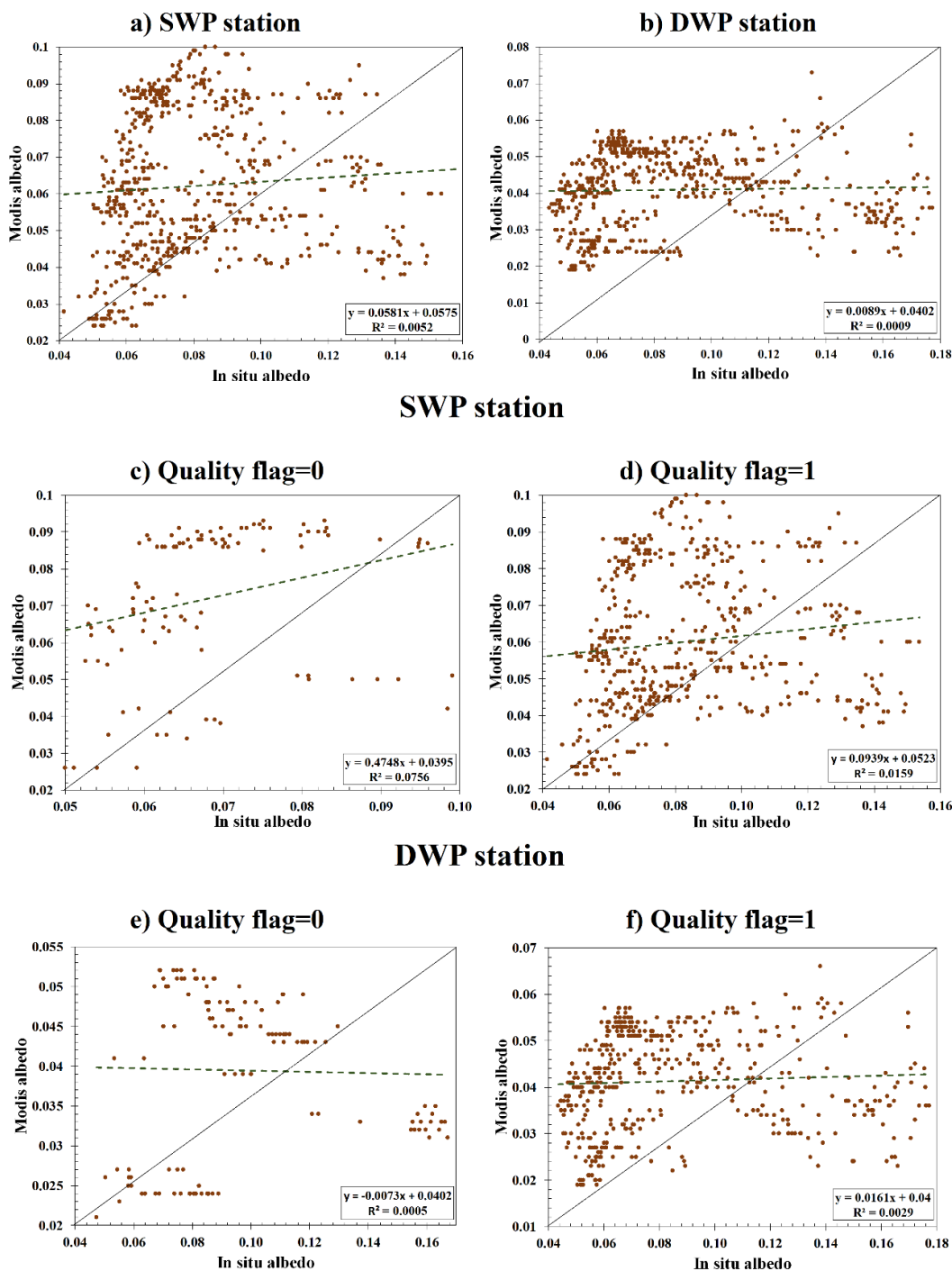


Fig. 5- Validation results of MODIS albedo product with ground data (local noon) at SWP and DWP online stations in the center and north of the lake: a) SWP station, b) DWP station, c) SWP station with zero quality code, d) SWP station with quality code one, e) DWP station with zero quality code, f) DWP station with quality code one

شکل ۵- نتایج اعتبارسنجی محصول آلبدوی طول موج کوتاه سنجنده MODIS با داده‌های زمینی (ظهر محلی) در ایستگاه‌های پایش بر خط SWP و DWP در مرکز و شمال دریاچه: (a) ایستگاه SWP، (b) ایستگاه DWP، (c) ایستگاه SWP با کد کیفیت صفر، (d) ایستگاه SWP با کد کیفیت یک، (e) ایستگاه DWP با کد کیفیت صفر، (f) ایستگاه DWP با کد کیفیت یک.

سال‌های ۲۰۰۰ الی ۲۰۰۷، در نمودار روند وجود نداشته و تغییرات متوسط سالانه آلودگی طول موج کوتاه و تراز ناچیز است. در بازه دوم (سال‌های ۲۰۰۸ الی ۲۰۱۷)، روند صعودی در سری زمانی آلودگی طول موج کوتاه و روند نزولی در تغییرات تراز مشخص است و تغییرات درون‌سالی و دامنه نوسانات آلودگی طول موج کوتاه تا انتهای ۲۰۱۷ افزایش پیدا کرده است. طی سال‌های ۲۰۱۸ الی ۲۰۲۰، آلودگی طول موج کوتاه کاهش و تراز دریاچه افزایش پیدا کرده اما روند در نمودار مشخص نیست. با بررسی نتایج در تمام بازه (۲۰۰۰-۲۰۲۰) می‌توان به وجود روند صعودی در نمودار اشاره کرد. بر این اساس، مقدار میانگین آلودگی طول موج کوتاه پهنه آب از ۰/۰۰۸ در دسامبر سال ۲۰۰۱ به ۰/۱۳ در دسامبر سال ۲۰۱۷ افزایش یافته است و محدوده تغییرات آلودگی طول موج کوتاه طی بازه ۲۰ ساله در این بازه قرار دارد. لازم به ذکر است که بازه‌ها و سال‌های شکست انتخاب شده برای تحلیل روند سری زمانی بر اساس آزمون پتیت و نتایج تحلیل میانگین متحرک انتخاب شده است.

دامنه نوسان سالانه آلودگی طول موج کوتاه، به خصوص در بخش جنوبی دریاچه، بیش از ۴/۵ برابر افزایش پیدا کرده است. این موضوع نشان می‌دهد طی سال‌های ۲۰۰۸ الی ۲۰۱۷ با کاهش تراز دریاچه تغییرات فصلی سطح نیز شدیدتر شده است. در سال ۲۰۰۸، نوسان آلودگی طول موج کوتاه در ماه‌های مختلف سال اندک است (شکل ۷)، اما در سال ۲۰۱۷ و با کاهش تراز و مساحت دریاچه علاوه بر مقدار آلودگی طول موج کوتاه، نوسانات نیز افزایش پیدا کرده است. به طوریکه در ماه‌های پر آب همچون آوریل و می آلودگی طول موج کوتاه کاهش یافته و در ماه‌های با تراز پایین همچون اگوست و سپتامبر آلودگی طول موج کوتاه افزایش پیدا کرده است (شکل ۸).

به طوریکه مقادیر R^2 و RMSE در ایستگاه SWP به ترتیب، ۰/۳۶ و ۰/۱۵ و در ایستگاه DWP به ترتیب، ۰/۲۵ و ۰/۰۲۵ می‌باشد. این مقادیر نشان می‌دهد که داده‌ها در ایستگاه مرکزی (SWP) ارتباط بهتری با یکدیگر دارند. همچنین، از نتایج این دو نمودار می‌توان به اعتبار بالاتر داده‌های محصول آلودگی سنجنده مادیس در فصول گرم سال (بهار و تابستان) پی برد. اما با این وجود همچنان همبستگی داده‌های ماهواره‌ای آلودگی طول موج کوتاه MODIS (MCD43A3) و زمینی ضعیف است. بررسی شاخص‌های خطای برآورد آلودگی طول موج کوتاه سنجنده MODIS با مقادیر زمینی در سال‌های ۲۰۱۶ الی ۲۰۱۹ نشان می‌دهد که کل نتایج اعتبارسنجی مطلوب نیست، اما در فصول گرم سال (اواخر بهار و تابستان) مقادیر شاخص‌های RMSE و MAD کمتر است.

بر اساس نتایج این مطالعه لازم است مدل‌های تابع دوطرفه بازتاب توسعه داده شده برای این سطوح در محصول آلودگی سطحی سنجنده MODIS و ضرایب کالیبراسیون آن مورد بازنگری و اصلاح قرار گیرد. همچنین، با توجه به محدود بودن مطالعات انجام شده در این رابطه روی دریاچه‌های شور، لازم است با انجام مطالعات مشابه روی سایر دریاچه‌های شور نیز عملکرد مدل BRDF و محصول آلودگی طول موج کوتاه این سنجنده بررسی شود و تاثیر عوامل محیطی، شرایط کیفیت آب و امواج سطحی دریاچه بر این امر مورد ارزیابی دقیق‌تر قرار گیرد.

۳-۴- تغییرات مکانی- زمانی آلودگی طول موج کوتاه دریاچه ارومیه

با توجه به تحلیل روند صورت گرفته بر روی نمودار شکل ۶ طی

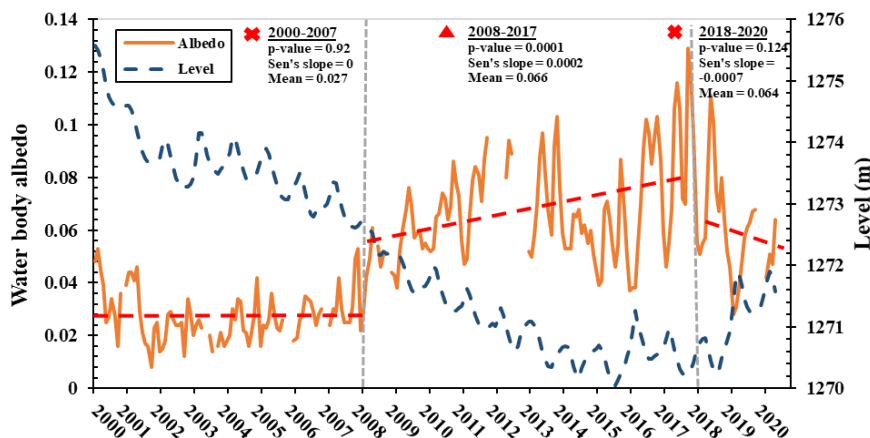


Fig. 6- Monthly average time series of the shortwave albedo of Urmia Lake with water level and trend analysis results during 2000 to 2020

شکل ۶- سری زمانی متوسط آلودگی پهنه آب دریاچه ارومیه به همراه تراز آب و نتایج تحلیل روند طی سال‌های ۲۰۰۰ الی ۲۰۲۰

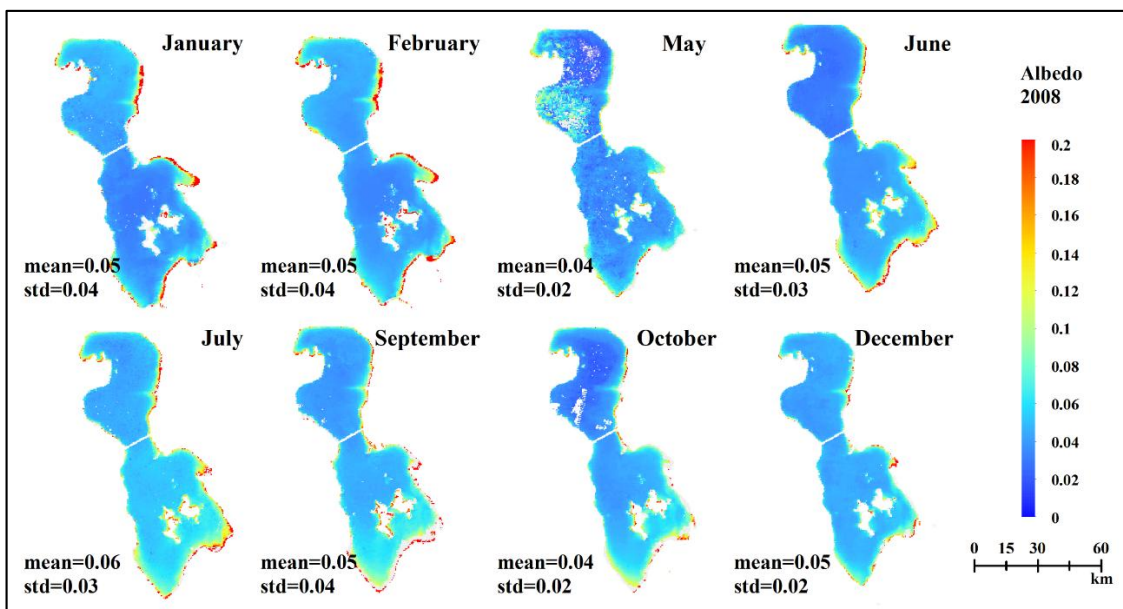


Fig. 7- Variation of monthly shortwave albedo of Urmia Lake water body in 2008

شکل ۷- تغییرات ماهانه آلبودی طول موج کوتاه پهله آب دریاچه ارومیه در سال ۲۰۰۸

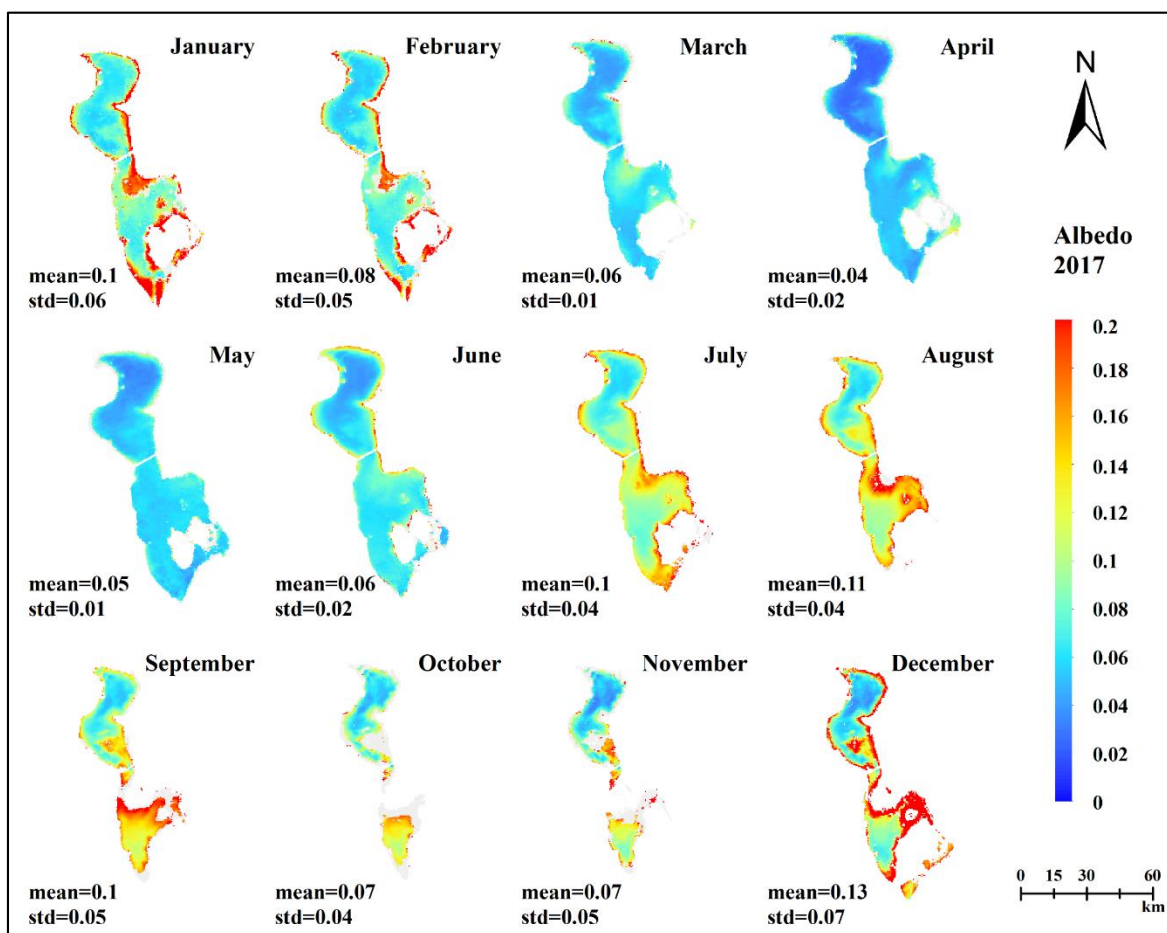


Fig. 8- Monthly spatial variations of the shortwave albedo of Urmia Lake water body in 2017

شکل ۸- تغییرات ماهانه آلبودی طول موج کوتاه پهله آب دریاچه ارومیه در سال ۲۰۱۷

۳-۵- تغییرات زمانی آلودگی طول موج کوتاه پهنه نمک و خاک
 براساس شکل‌های ۹ و ۱۰، روند خاصی در سری زمانی آلودگی طول موج کوتاه پهنه نمک و خاک محدوده دریاچه وجود ندارد و نوسانات درون‌سالی آن در تمام سال‌ها تقریباً برابر است. عدم وجود روند در نمودار و ثابت بودن آلودگی طول موج کوتاه طی سال‌های مختلف می‌تواند نشانگر عدم تغییر در ترکیب و ویژگی‌های خاک و نمک باشد. مقدار میانگین آلودگی طول موج کوتاه پهنه نمک و خاک طی دوره ۲۰۰۸ ساله، به ترتیب، برابر با ۰/۱۲۳ و ۰/۱۱۹ می‌باشد. آلودگی طول موج کوتاه پهنه نمکی از حداقل ۰/۰۰۹ تا ۰/۲۶۶ و خاک بایر از ۰/۰۵۲ تا ۰/۲۲۴ تغییر داشته است. مقادیر حداکثر آلودگی طول موج کوتاه در فصل تابستان رخ می‌دهد، هر چند در برخی سال‌ها (همچون سال ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸)، ماه دسامبر دارای حداکثر آلودگی طول موج کوتاه است. همچنین، فصل بهار و ابتدای پاییز نیز دارای حداقل مقادیر آلودگی طول موج کوتاه پهنه نمکی و خاک بایر هستند. مقادیر آلودگی طول موج کوتاه سنجنده MODIS در محدوده پهنه نمکی اطراف دریاچه ارومیه در مقایسه با مقادیر آلودگی طول موج کوتاه پهنه نمکی واقع در شمال آفریقا (تمام مناطق نمکی شمال آفریقا (شمال ۱۲°N))، جنوب آمریکا (تمام مناطق بیابانی جنوب کانال پاناما) و مناطقی از استرالیا (پهنه نمکی دریاچه Eyre در مرکز استرالیا) کمتر است. در این مناطق مقادیر آلودگی طول موج کوتاه پهنه نمکی، به ترتیب، ۰/۴۵۴، ۰/۲۴ و ۰/۳ برآورد شده است (Tsvetsinskaya et al., 2006).

مقدار آلودگی طول موج کوتاه در لایه‌های بیرونی و مرزی دریاچه بالاتر است، بدین صورت که با حرکت از لایه‌های بیرونی به سمت مرکز دریاچه مقدار آلودگی طول موج کوتاه تا بیش از ۹۰ درصد کاهش می‌یابد. علاوه بر این، آلودگی طول موج کوتاه بخش جنوبی در اکثر مواقع نسبت به بخش شمالی بیشتر است. در برخی از ماه‌های سال ۲۰۰۸ به دلیل عدم وجود تصویر مناسب امکان استخراج مقادیر آلودگی طول موج کوتاه دریاچه وجود ندارد. همچنین، در برخی بخش‌های تصویر آلودگی طول موج کوتاه، پیکسل بدون داده وجود دارد (همچون می ۲۰۰۸).

حداکثر مقدار آلودگی طول موج کوتاه می‌تواند در فصل تابستان، زمستان و پاییز باشد. اما در اکثر سال‌ها، فصل تابستان و زمستان دارای آلودگی طول موج کوتاه بالایی است. مقدار میانگین آلودگی طول موج کوتاه پهنه آب طی بازه ۲۰ سال در کل دریاچه، بخش شمال و جنوب، به ترتیب، برابر با ۰/۰۵۱، ۰/۰۴۳ و ۰/۰۵۹ می‌باشد. میانگین آلودگی طول موج کوتاه دریاچه در بازه سال‌های ۲۰۰۸ الی ۲۰۱۷ نزدیک به ۱۵۰ درصد نسبت به دوره ۲۰۰۰ الی ۲۰۰۷ افزایش یافته است. با توجه به اینکه افزایش ۱۰ درصدی آلودگی طول موج کوتاه می‌تواند تا ۱/۵ درصد منجر به کاهش تبخیر شود (Khorsand movaghar, 2017)، ۲/۵ برابر شدن آلودگی طول موج کوتاه در سال‌های ۲۰۰۸ الی ۲۰۱۷ نسبت به ۲۰۰۰ الی ۲۰۰۷، می‌تواند منجر به کاهش ۲۲/۵ درصدی نرخ تبخیر سطح دریاچه ارومیه شود. آلودگی طول موج کوتاه سطح در دسامبر سال ۲۰۱۷ نیز بیش از ۲/۵ برابر نسبت به دسامبر سال ۲۰۰۸ افزایش پیدا کرده است، که این مقدار می‌تواند نرخ تبخیر را تا بیش از ۲۲/۵ درصد کاهش دهد.

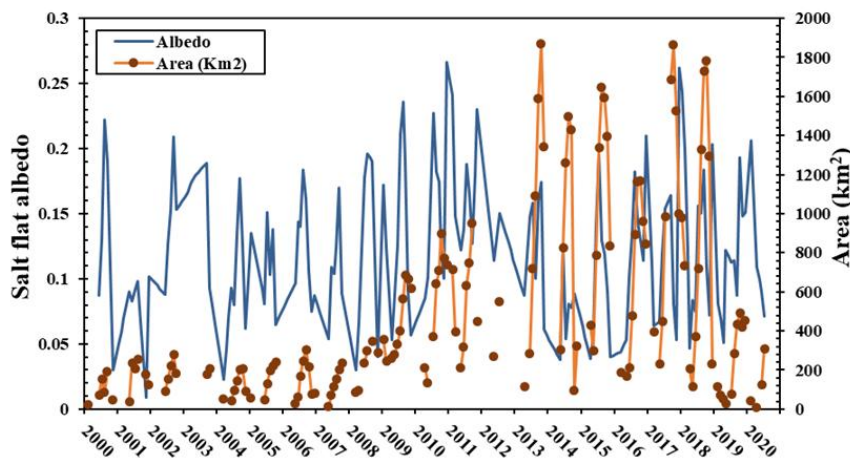


Fig. 9- Time series of mean monthly area and MODIS-derived albedo over the salt flats of Urmia Lake
 شکل ۹- سری زمانی تغییرات مساحت و میانگین آلودگی طول موج کوتاه MODIS پهنه نمکی دریاچه ارومیه

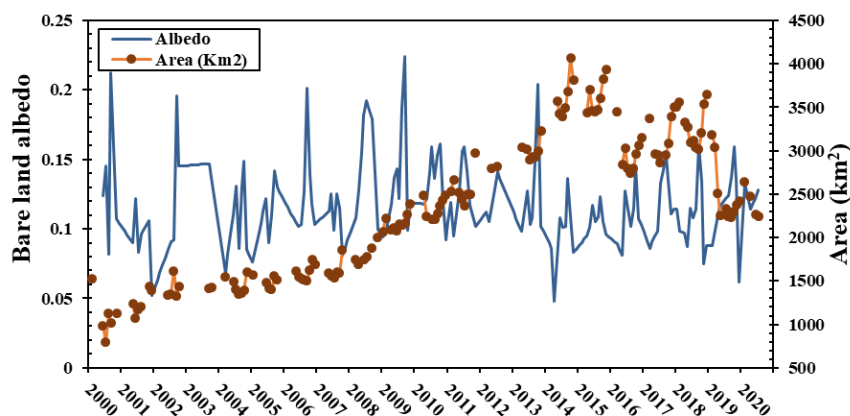


Fig. 10- Time series of mean monthly area and MODIS-derived albedo over the bare land of Urmia Lake
 شکل ۱۰- سری زمانی تغییرات مساحت و میانگین آلبدوی ماهانه طول موج کوتاه MODIS پهینه خاک بایر اطراف دریاچه ارومیه

۴- جمع بندی

در این پژوهش پس از استخراج مرز پهینه آب، نمک و خاک دریاچه ارومیه با استفاده از شاخص‌های مبتنی بر داده‌های سنجنش از دور، تصاویر آلبدوی طول موج کوتاه سنجنده MODIS (MCD43A3) تحلیل شده و مقادیر آلبدوی طول موج کوتاه سطح در این پهینه‌ها و الگوی تغییرات مکانی-زمانی آن به صورت ماهانه طی بازه سال‌های ۲۰۰۰ الی ۲۰۲۰ مورد بررسی قرار گرفته است.

مقدار آلبدوی طول موج کوتاه در برآورد تبخیر دریاچه‌های شور و بزرگ نظیر دریاچه ارومیه صحیح نبوده و می‌تواند خطای قابل توجهی (تا ۲۲/۵ درصد) ایجاد کند. با افزایش آلبدوی سطح دریاچه و کاهش جذب انرژی تابشی خورشید، دمای سطح دریاچه نیز کاهش پیدا می‌کند. کاهش دمای سطح و کاهش تبخیر ناشی از آن منجر به کاهش ظرفیت نگهداشت حرارتی دریاچه شده و این موضوع باعث می‌شود که دریاچه نتواند نقش خود در تعدیل و تنظیم اقلیم منطقه را به درستی ایفا کند. مشاهده دماهای بسیار زیاد در تابستان (تا ۳۹ درجه سانتیگراد) و دماهای بسیار کم در زمستان (تا ۱۷/۴- درجه سانتیگراد) (به ترتیب در سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۲)، مؤید این موضوع است (ULRP, 2021). اثر کاهش تراز دریاچه ارومیه، بر روی کاهش ظرفیت تنظیم‌گری آن در میکرواقلیم منطقه اطراف آن و ایجاد تغییرات دما، سرعت نسیم و رطوبت نسبی محلی در سایر مطالعات نیز تأیید شده است (Dehghanipour et al., 2020).

نتایج اعتبارسنجی نشان داد که داده‌های محصول آلبدوی طول موج کوتاه نسخه ۶ سنجنده MODIS (MCD43A3) در حالت کلی مقادیر آلبدوی ماهانه طول موج کوتاه سطح آب دریاچه ارومیه را (احتمالاً به علت عمق کم آب و انعکاس رسوبات بستر) کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده برآورد می‌کند. این نتیجه برخلاف نتایج مطالعات اعتبارسنجی این محصول روی سایر انواع اراضی است که عمدتاً عملکرد خوب این محصول را گزارش کرده‌اند (Lang et al., 2018; Susaki et al., 2007; Wang et al., 2010). از این رو به نظر می‌رسد لازم است مطالعات گسترده‌تری در خصوص اعتبارسنجی محصول آلبدوی طول موج کوتاه سنجنده MODIS روی دریاچه‌های شور و کم عمق انجام گیرد تا در صورت تکرارپذیری این نتیجه روی سایر دریاچه‌های شور، مدل‌های BRDF توسعه داده شده برای این سطوح که مبنای محاسبه محصول آلبدوی سطحی سنجنده MODIS و ضرایب کالیبراسیون آن در نسخه‌های بعدی مورد بازنگری و اصلاح قرار گرفته و عملکرد نسخه‌های بعدی محصولات آلبدوی سنجنده MODIS بر روی این پهینه‌های آبی بهبود یابد.

نتایج این پژوهش حاکی از اهمیت تغییرات مکانی-زمانی آلبدوی سطح دریاچه‌های شور در مطالعات هیدرولوژی و منابع آب این دریاچه‌ها و احتمال اثرگذاری تغییرات آن روی خدمات اکوسیستمی این دریاچه‌ها است. یافته‌های این پژوهش علاوه بر کمک به بهبود داده‌های ماهواره‌ای آلبدوی طول موج کوتاه سنجنده MODIS در نسخه‌های آتی، می‌تواند به بهبود دقت مدل‌های بیلان انرژی و آب دریاچه ارومیه کمک کند.

۵- تشکر

بدین وسیله از حمایت ستاد احیای دریاچه ارومیه در انجام این تحقیق، قدردانی می‌گردد.

همچنین تغییرات مکانی قابل توجه آلبدوی سطح آب دریاچه در فصول مختلف (تا بیش از ۱۵۰ درصد) نشان داد که فرض ثابت در نظر گرفتن

- Jaiswal RK, Lohani AK, and Tiwari HL (2015) Statistical Analysis for change detection and trend assessment in climatological parameters. *Environmental Processes* 2(4):729–749
- Jin Y, Schaaf CB, Woodcock CE, Gao F, Li X, Lucht W, and Liang S (2003) Consistency of MODIS surface bidirectional reflectance distribution function and albedo retrievals: 2. Validation. *Journal of Geophysical Research* 108(D5):4159
- Katsaros KB, McMurdie LA, Lind RJ, and Devault JE (1985) Albedo of a water surface, spectral variation, effects of atmospheric transmittance, sun angle and wind speed. *Journal of Geophysical Research* 90(C4):7313–7321
- Kendall MG (1961) The advanced theory of statistics. *Technometrics* 5(4):525–528
- Khorsand Movaghar M (2016) Estimating evaporation from saline lakes with developing a RS-based energy balance model (Case study Urmia lake). Tarbiat Modares University
- Khan NM, Rastoskuev V V, Shalina E V, and Sato Y (2001) Mapping salt-affected soils using remote sensing indicators-A simple approach with the use of GIS IDRISI. 22nd Asian Conference on Remote Sensing, 5-9 November 2001, Singapore
- Kiehl JT, Hack JJ, Bonan GB, Boville BA, Briegleb BP, Williamson DL, and Rasch PJ (1996) Description of the NCAR Community Climate Model (CCM3). NCAR Technical Note NCAR/TN-420+STR (September):159
- Lang J, Lyu S, Li Z, Ma Y and Su D (2018) An investigation of ice surface albedo and its influence on the high-altitude lakes of the Tibetan Plateau. *Remote Sensing* 10(2):218
- Liang S, Fang H, Chen M, Shuey CJ, Walthall C, Daughtry C, Morisette J, Schaaf C, and Strahler A (2002) Validating MODIS land surface reflectance and albedo products: Methods and preliminary Results. *Remote Sensing of Environment* 83(1-2):149–162
- Mann HB (1945) Nonparametric tests against trend. *Econometrica* 13(3):245
- Mcfeeters SK (1996) The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing* 17(7):1425-1432
- Mouchot MC, Alfoldi T, De Lisle D, and McCullough G (1991) Monitoring the water bodies of the Mackenzie Delta by remote sensing methods. *Arctic* 44(Suppl. 1):21–28
- 1- Pyranometer
2- Albedo Meter
3- Bidirectional Reflection Distribution Function
4- Deep Water Platform
5- Shallow Water Platform
6- Normalized Difference Water Index
- ۶- مراجع
- Abbas A, Khan S, Hussain N, Hanjra MA, and Akbar S (2013) Characterizing soil salinity in irrigated agriculture using a remote sensing approach. *Physics and Chemistry of the Earth. Elsevier Ltd* 55–57:43–52
- Al-khaier F (2003) Soil salinity detection using satellite remote sensing. *African Journal of Environmental Science and Technology* 2(4):7–20
- Alipour S (2006) Hydrogeochemistry of seasonal variation of Urmia Salt Lake. *Chinese Journal of Geochemistry* 25(S1):193–194
- Argaman E, Keesstra SD, and Zeiliger A (2012) Monitoring the impact of surface albedo on a saline lake in SW Russia. *Land Degradation and Development. John Wiley & Sons, Ltd* 23(4):398–408
- Craft KM and Horel JD (2019) Variations in surface albedo arising from flooding and desiccation cycles on the Bonneville salt flats, Utah. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 58(4):773–785
- Danesh-Yazdi M and Ataie-Ashtiani B (2019) Lake Urmia crisis and restoration plan: Planning without appropriate data and model is gambling. *Journal of Hydrology* 576:639–651
- Dehghanipour AH, Panahi DM, and Mousavi H (2020) Effects of water level decline in Lake Urmia, Iran, on Local Climate Conditions. *Water (Switzerland)* 12(8):2153
- Dickinson RE (1983) Land surface processes and climate-surface albedos and energy balance. *Advances in Geophysics* 25(C):305–353
- Eugster W, Rouse WR, Pielke RA, Mcfadden JP, Baldocchi DD, Kittel TGF, Chapin FS, Liston GE, Vidale PL, Vaganov E, and Chambers S (2000) Land-atmosphere energy exchange in Arctic tundra and boreal forest: Available data and feedbacks to climate. *Global Change Biology* 6(SUPPLEMENT 1):84–115
- Jalilvand E, Sima S, and Saravani S (2017) Examining variation of Lake Urmia surface albedo and its coasts and environmental consequences. 10th National Congress of Civil Engineering, Tehran

- Sima S, Rosenberg DE, Wurtsbaugh WA, Null SE, and Kettenring KM (2021) Journal of hydrology: Regional studies managing Lake Urmia, Iran for diverse restoration objectives: Moving beyond a uniform target lake level. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, Elsevier B.V. 35(September 2020):100812
- Stroeve J, Box JE, Gao F, Liang S, Nolin A, and Schaaf C (2005) Accuracy assessment of the MODIS 16-day albedo product for snow: Comparisons with Greenland in situ measurements. *Remote Sensing of Environment* 94(1):46–60
- Susaki J, Yasuoka Y, Kajiwara K, Honda Y, and Hara K (2007) Validation of MODIS albedo products of paddy fields in Japan. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 45(1):206–217
- Tsvetinskaya EA, Schaaf CB, Gao F, Strahler AH, and Dickinson RE (2006) Spatial and temporal variability in Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer-derived surface albedo over global arid regions. *Journal of Geophysical Research Atmospheres* 111(20):1–10
- Wang D, Liang S, He T, Yu Y, Schaaf C and Wang Z (2015) Estimating daily mean land surface albedo from MODIS data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 120(10):4825–4841
- Wang K, Liang S, Schaaf CL, and Strahler AH (2010) Evaluation of moderate resolution imaging spectroradiometer land surface visible and shortwave albedo products at FLUXNET sites. *Journal of Geophysical Research* 115(D17):D17107
- Wang Z, Schaaf CB, Sun Q, Shuai Y, and Román MO (2018) Capturing rapid land surface dynamics with Collection V006 MODIS BRDF/NBAR/Albedo (MCD43) products. *Remote Sensing of Environment* 207(September 2016):50–64
- Wetzel RG and Likens GE (2000) *The Heat Budget of Lakes*. Limnological Analyses. Springer, New York, 45–56
- Xu H (2006) Modification of Normalised Difference Water Index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing* 27(14):3025–3033
- Qu Y, Liang S, Liu Q, He T, Liu S, and Li X (2015) Mapping surface broadband albedo from satellite observations: A review of literatures on algorithms and products. *Remote Sensing* 7(1):990–1020
- Rokni K, Ahmad A, Selamat A, and Hazini S (2014) Water feature extraction and change detection using multitemporal landsat imagery. *Remote Sensing* 6(5):4173–4189
- Román MO, Schaaf CB, Woodcock CE, Strahler AH, Yang X, Braswell RH, Curtis PS, Davis KJ, Dragoni D, Goulden ML, ... Wofsy SC (2009) Remote sensing of environment the MODIS (Collection V005) BRDF/ albedo product: Assessment of spatial representativeness over forested landscapes. *Remote Sensing of Environment*, Elsevier Inc. 113(11):2476–2498
- Rutan D, Charlock TP, Rose F, Kato S, Zentz S, and Coleman L (2006) Global surface albedo from CERES/TERRA Surface and Atmospheric Radiation Budget (SARB) data product. 12th Conference on Cloud Physics, and 12th Conference on Atmospheric Radiation, 1–6
- Saemian P, Elmi O, Vishwakarma BD, Tourian MJ, and Sneeuw N (2020) Analyzing the Lake Urmia restoration progress using ground-based and spaceborne observations. *Science of the Total Environment*, Elsevier B.V. 739:139857
- Salleh SA, Latif ZA, Pradhan B, Wan Mohd WMN, and Chan A (2014) Functional relation of land surface albedo with climatological variables: A review on remote sensing techniques and recent research developments. *Geocarto International* 29(2):147–163
- Salomon JG, Schaaf CB, Strahler AH, and Measurements ASA (2006) Validation of the MODIS Bidirectional reflectance distribution function and albedo retrievals using combined observations from the Aqua and Terra Platforms. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 44(6):1555–1565
- Schaaf CB, Gao F, Strahler AH, Lucht W, Li X, Tsang T, Strugnell NC, Zhang X, Jin Y, Muller JP, ... Roy D (2002) First operational BRDF, albedo nadir reflectance products from MODIS. *Remote Sensing of Environment* 83(1–2):135–148