



بررسی تغییرات آلیبدوی سطح و نواحی ساحلی دریاچه ارومیه

احسان جلیوند^۱، سمیه سیما^۲، سروش سروانی^۳، مسعود تجریشی^۴

- ۱- دانشجوی دکتری مهندسی عمران گرایش مهندسی منابع آب، دانشگاه صنعتی شریف
- ۲- استادیار دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس
- ۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش منابع آب، دانشگاه صنعتی شریف
- ۴- استاد دانشکده مهندسی عمران، دفتر مطالعات آب و محیط زیست دانشگاه صنعتی شریف

E.jalilvand@mehr.sharif.ir

خلاصه

دریاچه ارومیه یکی از بزرگترین دریاچه‌های فوق شور جهان می‌باشد که کاهش تراز آن باعث افزایش سطح ناحیه خشک و شوری آب دریاچه شده است. در این مطالعه اثر تغییرات سطح آب دریاچه ارومیه بر روی آلیبدوی سطح دریاچه و نواحی خشک شده در دو طیف امواج با طول موج کوتاه و ماورای بنفش مورد بررسی قرار گرفته است. برای انجام این کار تصاویر آلیبدوی ۱۶ روزه سنجنده مادیس با قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متری دریافت و حداکثر مقدار آلیبدو سالانه در سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۳ در محدوده مکانی دریاچه و نواحی خشک شده در هر سال استخراج شده است. نتایج نشان می‌دهد در محدوده طول موج های کوتاه با کاهش تراز آب دریاچه، میانگین آلیبدوی سطح آن و مناطق خشک شده، به ترتیب تقریباً ۴ و ۱/۵ برابر شده است. همچنین همبستگی معکوس بالای ($R^2=0.97$) بین کاهش مساحت دریاچه و افزایش آلیبدوی سطح و همبستگی مستقیم ($R^2=0.74$) بین افزایش آلیبدوی سطح و افزایش چگالی آب دریاچه مشاهده می‌شود. در محدوده امواج فرابنفش نیز با نصف شدن سطح دریاچه مقدار آلیبدو سه برابر و مقدار آلیبدوی بخش خشک شده در فاصله سالهای ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۳ به طور پیوسته به مقدار ۵۰ درصد افزایش داشته است که علت آن تبدیل شدن پهنه های آبی به شوره زارها و بسترهایی ماسه ای که آلیبدوی فرابنفش بالاتری دارند، می‌باشد. افزایش مقدار آلیبدو به طور مستقیم در میزان کل تشعشعات فرابنفش موثر بوده و می‌توان احتمال وقوع بیماری‌هایی چون سرطان پوست و آب مروارید را در ساکنین منطقه افزایش دهد.

کلمات کلیدی: دریاچه ارومیه، آلیبدو، شوری آب، تغییرات زمانی-مکانی، امواج ماورای بنفش و طول موج کوتاه

۱. مقدمه

آلیبدوی سطح مقدار کل انرژی بازتاب شده به کل انرژی دریافتی در طول موج کوتاه بوده که یکی از پارامترهای مهم در توسعه مدل بیلان انرژی سطح و تبادلات انرژی سطح با اتمسفر مجاور آن است. به عبارتی هر چه مقدار آلیبدو بیشتر باشد مقدار انرژی جذب شده توسط زمین نیز کمتر خواهد بود [۱]. از طرف دیگر در طول موج فرابنفش افزایش مقدار آلیبدو به معنی افزایش تشعشعات فرابنفش در محیط بوده که برای سلامتی مضر است و می‌تواند عامل ایجاد اختلالات پوستی و سرطان در موجودات زنده از جمله انسان گردد [۲]. به طور کلی آلیبدوی سطح زمین تابع موقعیت جغرافیایی منطقه، زاویه سمت الرأس خورشید (زمان در طول روز)، ویژگی سطح، شرایط آب و هوایی و عمق اپتیکی ذرات اتمسفر (که شاخصی است از شفافیت اتمسفر) می‌باشد [۱].

^۱ دانشجوی دکتری مهندسی عمران، گرایش منابع آب، دانشگاه صنعتی شریف
^۲ استادیار دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس
^۳ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران، گرایش منابع آب، دانشگاه صنعتی شریف
^۴ استاد دانشکده مهندسی عمران، دفتر مطالعات آب و محیط زیست دانشگاه صنعتی شریف

در یک محدوده مکانی ثابت و در یک زمان مشخص در سالهای مختلف پارامترهایی مانند عرض جغرافیایی، زاویه تابش خورشید و شرایط آب و هوایی (با توجه به اینکه در چه فصلی از قرار داریم) تقریباً ثابت بوده و تغییر در شرایط سطح زمین تنها عامل تغییرات در آلبیدوی سطح خواهد بود. با توجه به کاهش تراز آب در دریاچه ارومیه سطح پیکره آبی این دریاچه، به تدریج کوچکتر و شوره زارها و زمین های بایر به جا مانده از خشک شدن دریاچه بزرگتر شده است؛ همچنین چگالی آب دریاچه ارومیه نیز افزایش یافته است. هدف این مطالعه بررسی زمانی- مکانی اثر تغییرات تراز، سطح و شوری آب دریاچه بر مقدار آلبیدوی سطح آب و همچنین بررسی مقادیر آلبیدو در ناحیه خشک شده دریاچه در دو محدوده از طیف الکترومغناطیس (امواج کوتاه و امواج ماورای بنفش) می باشد.

در توسعه مدل بیلان انرژی سطح، مهمترین ترم تشعشعی، ترم تابش خالص طول موج کوتاه می باشد. در مطالعات مختلف انجام گرفته روی بیلان انرژی دریاچه ها نیز از این ترم به عنوان ترم غالب شار انرژی یاد شده است [۱۰ و ۱۱]. از این رو برآورد آلبیدو در تعیین مقدار انرژی جذب شده سطح بسیار حائز اهمیت است. از طرفی مقادیر پیشنهادی جدول ۱ برای آلبیدوی آب غیر زلال محدوده نسبتاً وسیعی (از ۰/۱۵ تا ۰/۵) را دربر می گیرد؛ بنابراین لازم است باتوجه به وضعیت کیفیت آب دریاچه، برآورد دقیقتری از تغییرات آلبیدو در سطح دریاچه صورت گیرد.

جدول ۱- آلبیدوی سطوح مختلف [۳]

آلبیدو	نوع پوشش
۰/۲۵-۰/۱۵	گیاهان زراعی
۰/۶-۰/۱۵	خاک فاقد پوشش
۰/۱	جنگل
۰/۱۵-۰/۰	آب زلال
۰/۵۰-۰/۱۵	آب گل آلود
۱/۰۰-۰/۹۰	برف تازه
۰/۹۰-۰/۷۰	برف کهنه

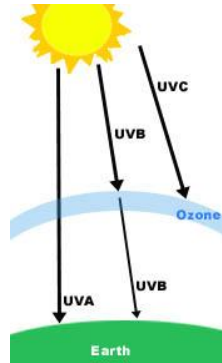
محققان مختلفی آلبیدوی طول موج کوتاه بدست آمده از تصاویر مودیس^۱ را با داده های زمینی مورد مقایسه قرار داده اند [۱۰-۶]. Nolin و Stroeve در سال ۲۰۰۰ در مطالعه ای آلبیدوی بدست آمده از تصاویر خام مودیس را با داده های زمینی برای سطح پوشیده از برف مورد مقایسه قرار دادند. نتایج آن ها نشان داد که آلبیدوی استخراج شده از سنجش از دور در محدوده ۶٪ از مقادیر اندازه گیری شده قرار دارد [۱۱]. Wang و همکاران (۲۰۱۰)، آلبیدوی مرئی و طول موج کوتاه واقعی بدست آمده از سنجنده MODIS (MCD43B3)، نسخه ۴ و ۵ را در ۱۸ سایت در سراسر دنیا در حدفاصل سالهای ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۷ مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که نسخه ۴ محصول آلبیدوی سنجنده MODIS نسبت به داده های زمینی دارای نا اریب منفی ۰/۰۰۸، انحراف معیار ۰/۰۲۳ و ضریب همبستگی ۰/۸۲ می باشد. مقادیر ضرایب برای نسخه ۵ به ترتیب عبارتند از: اریب منفی ۰/۰۰۹، انحراف معیار ۰/۰۲۳ و ضریب همبستگی ۰/۸۰ [۱۲]. در اکثر مطالعات تأیید اعتبار آلبیدو با داده های زمینی یک اریب منفی به اندازه چند صدم برای تصحیح نتایج داده های ماهواره ای با مقادیر اندازه گیری شده آلبیدو پیشنهاد شده است؛ که به این معنی است که آلبیدوی مستخرج از تصاویر ماهواره ای کمی کمتر از مقادیر واقعی است.

امواج ماورای بنفش طول موج کمتر و انرژی بیشتری نسبت به نور مرئی دارند و می توانند اثر مثبت یا منفی بر سلامت انسان داشته باشند. لایه ازن بیشتر تشعشعات ماورای بنفش را جذب کرده ولی بخشی از این پرتو از آن عبور می کند. تشعشعات UV به سه دسته اصلی تقسیم می شوند که لایه ازن برخی از آنها را جذب و برخی را عبور می دهد (جدول ۲ و شکل ۱). UVC که کمترین طول موج را داراست به طور کامل توسط لایه ازن جذب می شود در حالی که UVA به طور کامل و بخشی از UVB که از لایه ازن عبور می کنند می تواند عامل ایجاد بیماری هایی از قبیل سرطان پوست، آب مروارید، اختلال در سیستم ایمنی بدن و پیری زودرس پوست شود [۲].

¹ MODIS

جدول ۲- انواع تشعشعات ماورای بنفش

نام	محدوده طول موج (نانومتر)	مقدار جذب توسط لایه ازن
UVA	۳۱۵-۴۰۰	جذب نمی شود
UVB	۲۸۰-۳۱۵	بخش اعظم آن جذب می شود ولی مقداری از آن نیز به سطح می رسد
UVC	۱۰۰-۲۸۰	جذب کامل



شکل ۱- از انواع تشعشعات ماورای بنفش خورشیدی، UVC که مضرترین آنهاست به طور کامل و بخش اعظم UVB توسط لایه ازن جذب می شود ولی تمام UVA به زمین می رسد.

مقدار تشعشعات ماورای بنفش (UV) به ضخامت لایه ازن، زمان روز (موقعیت قرارگیری خورشید در آسمان)، زمان در سال (در فصلهای مختلف با توجه به موقعیت خورشید نسبت به زمین مقدار تشعشعات ماورای بنفش متفاوت است بیشترین آن در تابستان می باشد)، عرض جغرافیایی، ارتفاع از سطح زمین (با افزایش ارتفاع از سطح UV افزایش می یابد، هر ۳۰۰ متر ۴ درصد و هر ۱۰۰۰ متر ۱۰ تا ۱۲ درصد)، میزان ابرینگی (هر چقدر مقدار ابر و ضخامت آن بیشتر باشد مقدار UV کمتری عبور می کند) و میزان بازتاب از سطح بستگی دارد [۱۳].

سطوحی مانند سطوح برفی، ماسه‌ای، روسازی و آب بخشی از تابش رسیده را باز می گردانند؛ بنابراین شدت تشعشعات می تواند حتی در سایه نیز زیاد باشد [۱۲]. تحقیقات Long و همکاران در سال ۲۰۰۶ نشان می دهد که سطحی با آلیدوی ۰/۱ مقدار تشعشعات ماورای بنفش را به مقدار ۳٪ و سطحی با آلیدوی ۰/۷ مقدار تشعشعات UV را تا ۳۹٪ افزایش می دهد (جدول ۳) [۱۴].

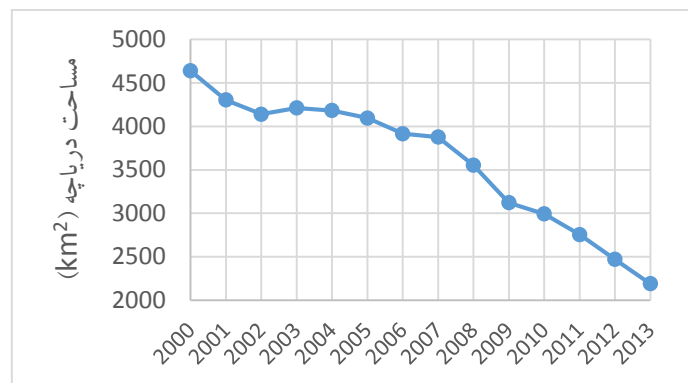
جدول ۳- درصد افزایش شدت تشعشعات ماورای بنفش در مقادیر مختلف آلیدوی سطح [۱۴]

درصد افزایش شدت تشعشعات فرابنفش	آلیدو	درصد افزایش شدت تشعشعات فرابنفش	آلیدو
۳	۰/۶	۳۱	۰/۱
۸	۰/۷	۳۹	۰/۲
۱۲	۰/۸	۴۷	۰/۳
۱۹	۰/۹	۵۷	۰/۴
۲۴	۱	۶۸	۰/۵

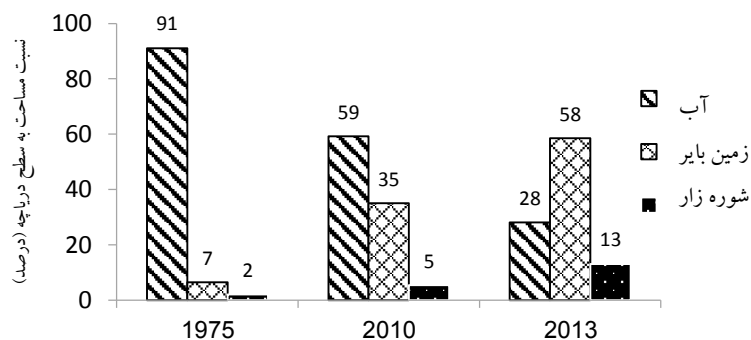
در یک موقعیت مکانی ثابت و در یک زمان مشخص در سالهای مختلف پارامترهایی مانند ارتفاع از سطح زمین، عرض جغرافیایی، زمان در روز و سال تغییری نمی کند. بنابراین در صورتیکه دو روز با ابرینگی یکسان را در نظر بگیریم تنها پارامتری که می تواند مقدار تشعشعات UV را تحت تاثیر قرار دهد مقدار آلیدوی می باشد که تابعی از مشخصات سطح است. بنابراین هر گونه تغییر در نوع سطحی که پرتوی ماورای بنفش به آن می رسد می تواند باعث تغییر مقدار آلیدوی سطح و متعاقباً افزایش یا کاهش تشعشعات UV شود که از نقطه نظر سلامتی حافظ اهمیت است.

۳. منطقه مورد مطالعه و داده ها

دریاچه ارومیه یکی از بزرگترین دریاچه‌های فوق شور جهان و بزرگترین دریاچه فوق شور خاورمیانه می‌باشد که در شمال غرب ایران واقع شده است [۱۵]. دریاچه در پرآب‌ترین حالت خود سطحی معادل ۶۱۰۰ کیلومتر داشته که از سال ۱۹۹۵ به صورت پیوسته کاهش یافته است [۱۶]. تغییرات مساحت دریاچه که با استفاده از نقشه عمق سنجی موسسه تحقیقات آب و تراز ثبت شده آب دریاچه از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ بدست آمده، در شکل ۲ نشان داده شده است. علاوه بر تغییرات سطح دریاچه، سطح بخش خاکی و پهنه نمکی اطراف دریاچه نیز دستخوش تغییر شده است. شکل ۳ مساحت هر یک از این بخشها را در سال ۱۹۷۵، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۳ با یکدیگر مقایسه کرده است. همانطور که در این شکل نشان داده شده، با کاهش سطح دریاچه مساحت زمینهای بایر و شورزارهای اطراف دریاچه زیاد شده است.



شکل ۲- تغییرات سطح دریاچه از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ میلادی [۱۷]



شکل ۳- نسبت مساحت دریاچه، پهنه خاکی و شورزارهای اطراف دریاچه به مساحت دریاچه در پر آب‌ترین حالت (بر حسب درصد)، در سالهای ۱۹۷۵، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۳ میلادی [۱۸]

در این مطالعه به منظور استخراج آلیدوی سطح دریاچه از محصولات آلیدو سنجنده MODIS استفاده شده است. محصولات آلیدوی این سنجنده مقدار آلیدو را در طول موجهای مختلف و در دو حالت آسمان سیاه (آلیدو در غیاب جز پخش شده تابش رسیده به سطح) و آسمان سفید (آلیدو در غیاب جز مستقیم تابش رسیده به سطح) ارائه می‌کند. محصول مورد استفاده در این مطالعه MCD43A3, B3- version 5 سنجنده MODIS بوده که مشخصات این محصول در جدول ۴ نمایش داده شده است. جدول ۴- مشخصات تصاویر ماهواره ای استفاده شده جهت محاسبه آلیدو

نام محصول	سکو	نوع رستر	دقت	دوره زمانی
MCD43A3	Combined	Tile	۵۰۰ متر	۱۶ روزه

آلبیدوی واقعی ترکیبی از آلبیدوی آسمان سیاه و سفید می باشد که به آن آلبیدوی آسمان آبی گفته می شود. این پارامتر با استفاده از رابطه زیر محاسبه می گردد:

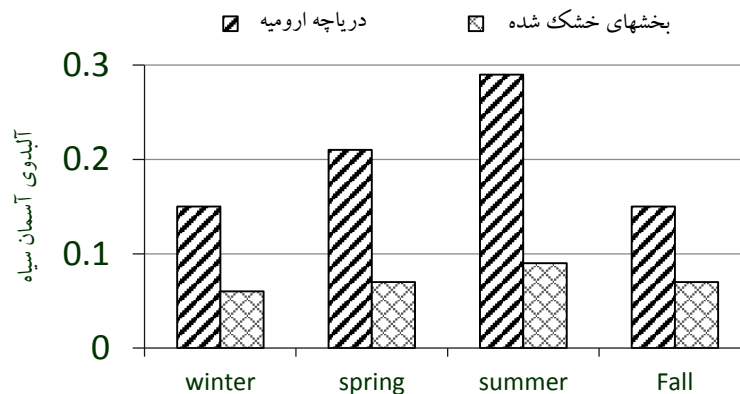
$$Bl \text{ Albedo (Actual Albedo)} = SKYL \times WS \text{ Albedo} + (1 - SKYL) \times BS \text{ Albedo} \quad (2)$$

$$\xrightarrow{BS \text{ Albedo} = WS \text{ Albedo}} \text{Actual Albedo} = WS \text{ Albedo} = BS \text{ Albedo}$$

که در آن BL Albedo آلبیدوی آسمان آبی، SKYL ضریب ترکیب خطی آلبیدو و WS Albedo و BS Albedo به ترتیب آلبیدوی آسمان سفید و سیاه می باشند؛ در صورتی که مقادیر آلبیدوی آسمان سفید و سیاه نزدیک به یکدیگر باشند، می توان از مقادیر هر یک از آنها به جای آلبیدوی آسمان آبی استفاده نمود. بررسی تغییرات آلبیدوی آسمان سفید و سیاه در محدوده دریاچه ونواحی خشک شده به جای مانده از آن حاکی از نزدیک بودن این دو پارامتر می باشد. بنابراین در این مطالعه از آلبیدوی آسمان سیاه به عنوان آلبیدوی سطح واقعی منطقه استفاده شده است.

۴. روش انجام کار

در این مطالعه تصاویر ماهواره ای جهت سنجش تغییرات آلبیدو روی محدوده دریاچه ارومیه و نواحی خشک اطراف آن به کار رفته است. در این راستا ابتدا محصول ۱۶ روزه ای که حداکثر مقدار آلبیدو در سال در آن اتفاق می افتد، انتخاب شده است. برای انجام این کار مقادیر آلبیدو در چهار بازه ۱۶ روزه از سال (هر بازه به نمایندگی از یک فصل سال) به صورت میانگین در محدوده دریاچه و نواحی به جا مانده از خشک شدن آن به طور جداگانه محاسبه شد. نتایج نشان می دهد که دوره ۱۶ روزه ای در فصل تابستان که از روز ۲۲۵ آغاز شده (با توجه به داشتن حداکثر روزهای غیر ابری در سالهای مختلف) هم در دریاچه و هم در نواحی اطراف آن حداکثر مقدار آلبیدو را به خود اختصاص داده است (شکل ۴). در این مطالعه آلبیدوی این دوره به عنوان نماینده ای از بیشترین مقدار آلبیدو در هر سال، مبنای مقایسه قرار گرفته است.



شکل ۴- تغییرات مقدار آلبیدوی آسمان سیاه در فصلهای مختلف

در ادامه با توجه به نقشه های ارتفاع سنجی و ارتفاع آب دریاچه در سالهای مختلف، محدوده آبی و محدوده باتلاقی و خشک دریاچه در تصاویر از یکدیگر تفکیک تا آلبیدوی سطوح آبی و سطوح خشک شده جداگانه مورد بررسی قرار گیرند. سپس با رسم تغییرات میانگین آلبیدوی سطح در سالهای مختلف در برابر تراز آب و مساحت دریاچه، وجود ارتباط معنی دار بین تغییرات آلبیدو سطح دریاچه با تغییر تراز و مساحت دریاچه و همچنین تغییرات آلبیدو در ناحیه باتلاقی با تغییر مساحت ناحیه باتلاقی بررسی گردید. در مرحله بعدی با توجه به داده های موجود از چگالی آب دریاچه در سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰، اثر تغییرات چگالی آب دریاچه بر روی آلبیدوی آب دریاچه نیز بررسی شده است.

با توجه به اینکه محصول آلیدوی سنجنده MODIS در محدوده طول موجهای فرابنفش داده آلیدو را ارائه نمی کند، در این مطالعه ابتدا داده های آلیدوی مرئی در محدوده مکانی مورد نظر استخراج، سپس با استفاده از جداولی که داده های آلیدوی مرئی را به آلیدوی فرابنفش مرتبط می سازند، تغییرات آلیدوی فرابنفش بررسی شد.

با توجه به توضیحاتی که در بخش مقدمه آورده شد، بخشی از امواج ماورای بنفش که از لایه ازن عبور کرده و به زمین می رسد، در مطالعات سلامتی حائز اهمیت است. بنابراین در این مطالعه سعی شده تغییرات آلیدوی امواج مرئی با میزان آلیدوی فرابنفش UVA و UVB مقایسه شود. Bray و همکاران در مطالعه ای در سال ۱۹۶۶ محدوده تغییرات آلیدو فرابنفش UVA و UVB را با آلیدوی مناظر مرئی روی سطوح مختلف مقایسه کردند [۱۹]. نتایج این مطالعه در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۵- مقایسه محدوده تغییرات آلیدو در محدوده مرئی با ماورای بنفش در سطوح مختلف

نوع سطح	آلیدوی UVA %	آلیدوی UVB %	سهم UVA از کل آلیدوی UV %	سهم UVB از کل آلیدوی UV %	آلیدوی طیف مرئی %
ماسه	۱۳	۹	۵۹	۴۱	۲۰-۳۰
چمن	۲	۲	۵۰	۵۰	۱۵-۲۵
آب	۷	۵	۵۸	۴۲	۳-۱۰
برف	۹۴	۸۸	۵۲	۴۸	۵۰-۹۵

همانطور که در جدول ۵ نشان داده شده است، مقدار آلیدوی مرئی در ماسه تقریباً ۴۰٪ از آلیدوی UV بیشتر است. در آب این دو مقدار تقریباً در یک محدوده قرار دارند. در سبزه زار مقدار آلیدوی مرئی ۱۰ برابر آلیدوی ماورای بنفش بوده که نشان دهنده جذب بالای UV در مناطق دارای پوشش گیاهی می باشد؛ بنابراین با داشتن تغییرات آلیدو طیف مرئی و با استفاده از جدول ۵، امکان تخمین مقادیر آلیدوی فرابنفش از روی آلیدوی طیف مرئی وجود دارد.

با توجه به توضیحات فوق و جدول ۵، تغییرات آلیدوی فرابنفش پهنه آبی مشابه تغییرات آلیدوی طیف مرئی و تغییرات آلیدوی فرابنفش پهنه خشک شده با حدود ۴۰ درصد کاهش روندی مشابه با تغییرات آلیدوی پهنه خشک شده دریاچه شده است. همچنین فرض شده اثری که چگالی آب روی مقدار آلیدوی طیف مرئی دارد، بر روی آلیدوی فرابنفش نیز خواهد داشت. به این ترتیب تغییرات آلیدوی فرابنفش با مقدار چگالی آب مشابه تغییرات آلیدوی طیف مرئی خواهد بود.

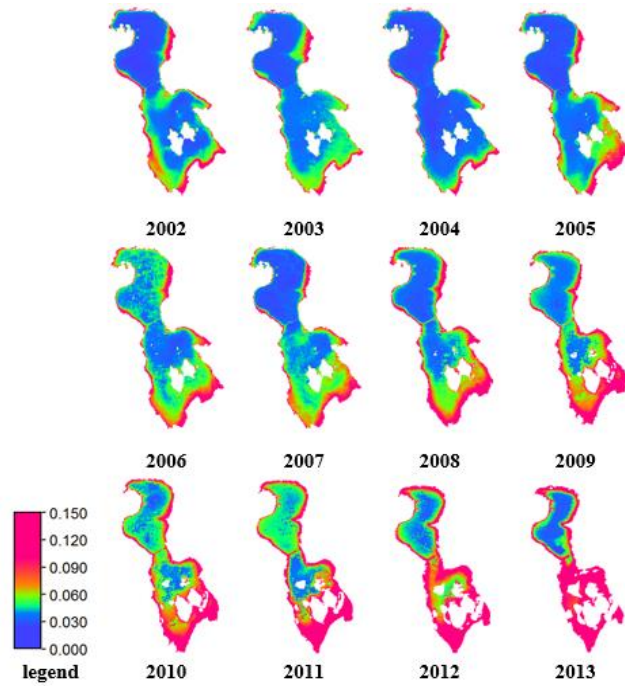
در ادامه نتایج بدست آمده از بررسی تغییرات آلیدو در محدوده امواج کوتاه و امواج فرابنفش از طیف الکترومغناطیس در دو حالت آسمان سیاه و سفید و همچنین به تفکیک دریاچه و ناحیه به جا مانده از خشک شدن دریاچه مورد بررسی قرار می گیرد.

۵. نتایج

در این قسمت ابتدا تغییرات مکانی و زمانی آلیدو در سطح دریاچه و بخش خشک شده دریاچه مورد بررسی قرار می گیرد. سپس برای ریشه یابی این تغییرات، مقادیر آلیدو در کنار مقادیر تراز، سطح و دانسیته دریاچه و همچنین سطح دریاچه خشک شده در سالهای مختلف رسم شده و همبستگی این پارامترها با مقادیر آلیدو محاسبه و پارامترهای تاثیر گذار در تغییر مقادیر آلیدو مشخص خواهند شد.

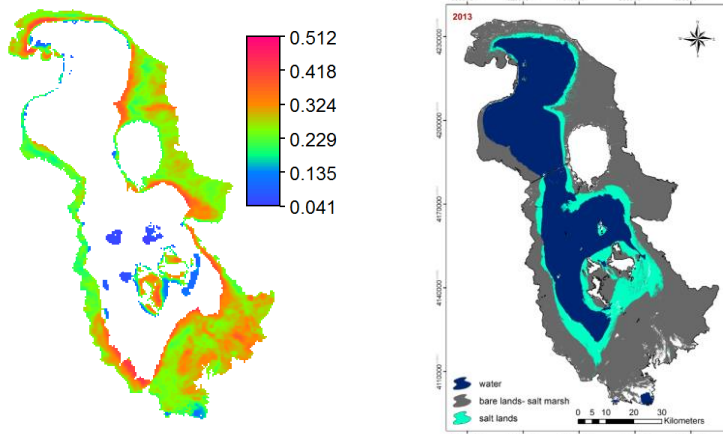
۵-۱- تغییرات مکانی آلیدوی دریاچه و نواحی خشک شده

همانطور که در شکل ۵ مشاهده می شود، مقادیر آلیدو در نواحی میانی دریاچه که عمیق تر است کمتر بوده و با نزدیک شدن به نواحی ساحلی دریاچه، مقادیر آلیدو نیز افزایش می یابد. از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۷ آلیدوی نیمه شمالی تغییر زیادی نداشته، اما آلیدوی نیمه جنوبی در قسمت جنوب و جنوب شرق آن افزایش پیدا کرده است. از سال ۲۰۰۷ تا سال ۲۰۱۳ تغییرات آلیدو در هر دو نیمه شمالی و جنوبی به وضوح شدت گرفته و مشاهده می شود که در سال ۲۰۱۳ آلیدوی نیمه جنوبی دریاچه در همه نواحی از ۱/۱۶ تجاوز کرده است.



شکل ۵- تغییرات مکانی - زمانی آلیبدوی طول موج کوتاه آسمان سیاه دریاچه ارومیه

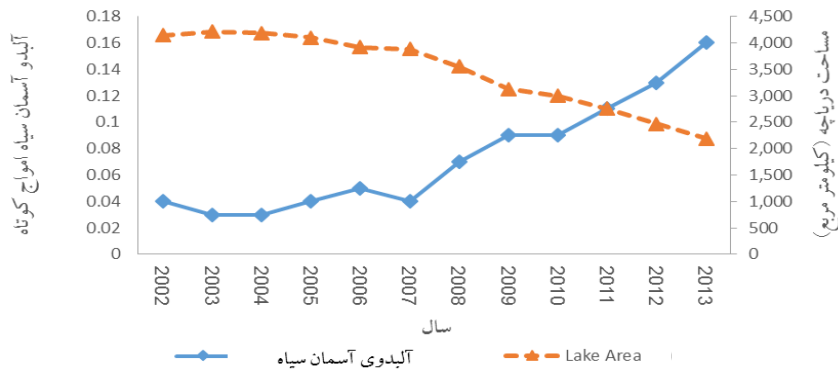
تغییرات مکانی آلیبدو در پهنه خشک شده اطراف دریاچه با توجه به کاربری زمین تغییر می کند [۱۷]. همانطور که در شکل ۶ مشاهده می شود، مقادیر آلیبدو در شوره زارهای دور دریاچه (با رنگ آبی کم رنگ مشخص شده اند) بیشترین مقدار و با دور شدن از ساحل دریاچه و در نواحی که بیشتر از زمین بایر تشکیل شده اند، مقدار آلیبدو نیز کاهش می یابد.



شکل ۶- تغییرات آلیبدو در نواحی خشک شده اطراف دریاچه در سال ۲۰۱۳ (نقشه سمت راست: نوع کاربری زمین در نواحی اطراف دریاچه، نقشه سمت چپ: مقدار آلیبدو آسمان سیاه در نواحی به جا مانده از خشک شدن دریاچه)

۲-۵- تغییرات زمانی آلیبدوی دریاچه و مساحت آن

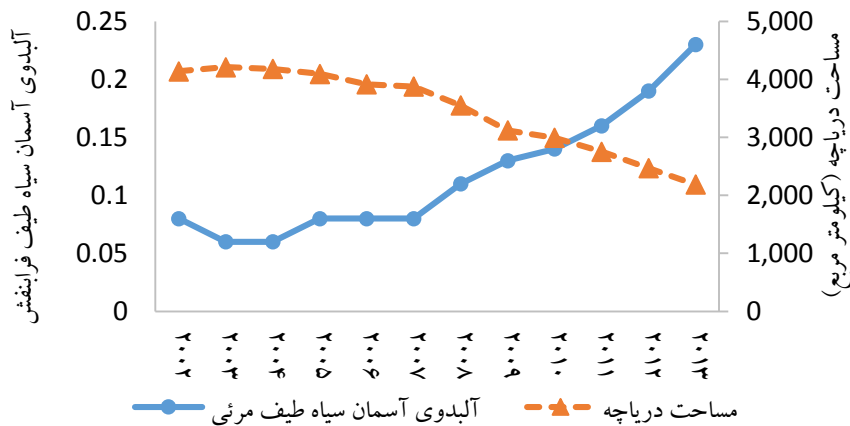
در شکل ۷ تغییرات آلیبدوی آسمان سیاه سطح دریاچه و مساحت آن را در سالهای ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۳ به طور همزمان نشان داده شده است. همانطور که در این نمودار مشخص است، به طور کلی با کاهش سطح دریاچه میزان آلیبدوی سطح آب آن افزایش یافته است. علاوه بر این موضوع با مقایسه نمودارها می توان دریافت که نرخ رشد مقدار آلیبدو از سال ۲۰۰۷ به بعد نسبت به سالهای گذشته افزایش داشته و این اتفاق زمانی رخ داده که تراز آب دریاچه از ۱۲۷۳ متر پایین تر رفته است.



شکل ۷- تغییرات زمانی مساحت دریاچه ارومیه و میزان آلودگی آسمان سیاه برای روز ۲۲۵

۳-۵- تغییرات زمانی آلودگی طیف فرابنفش در سطح دریاچه

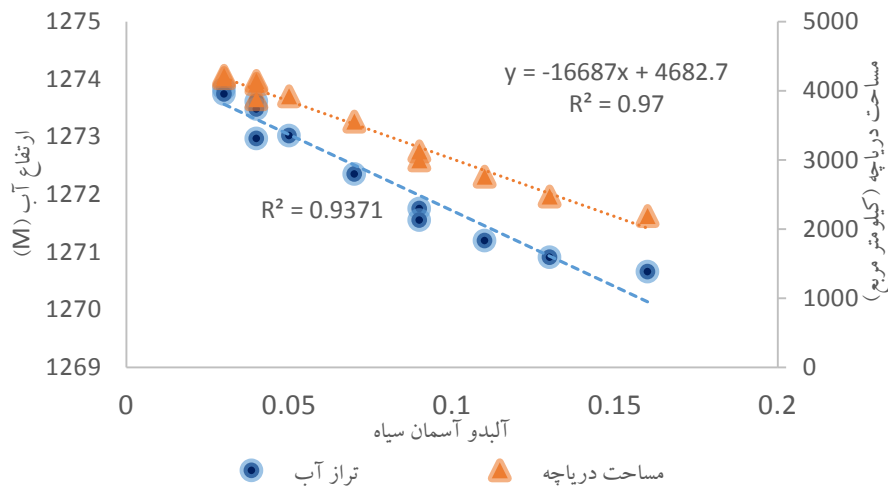
همانطور که در بخش ۴ (روش انجام کار) توضیح داده شد، مقدار آلودگی فرابنفش در پهنه آبی تقریباً مشابه آلودگی طیف مرئی می باشد؛ بنابراین نمودار تغییرات آلودگی طیف مرئی را می توان برای طیف فرابنفش نیز در نظر گرفت. بر این اساس مقدار آلودگی آسمان سیاه محدوده دریاچه تا سال ۲۰۰۷ تقریباً تغییر محسوسی نداشته، ولی از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۳ به طور پیوسته افزایش یافته به طوری که در سال ۲۰۱۳ مقدار آن تقریباً ۳ برابر مقدار سال ۲۰۰۷ شده است (شکل ۸). با افزایش تشعشعات فرابنفش تا بیش از ۱۰ درصد (جدول ۳)، مخاطراتی برای سلامتی ساکنین حاشیه دریاچه ایجاد شده است.



شکل ۸- تغییرات زمانی آلودگی آسمان سیاه طیف مرئی و مساحت دریاچه ارومیه برای روز ۲۲۵ هر سال

۴-۵- همبستگی آلودگی با تراز و کیفیت آب دریاچه

همانطور که در شکل ۹ نشان داده شده است، با کاهش ارتفاع آب میزان آلودگی آن با روندی خطی افزایش می یابد. این افزایش آلودگی می تواند ناشی از کاهش مساحت دریاچه یا افزایش شوری آب دریاچه باشد. عمق پهنه آبی که خورشید به آن می تابد نیز ممکن است روی میزان آلودگی تاثیر گذار باشد که این مساله نیز در ادامه بررسی می شود. در شکل ۹ میزان تغییرات آلودگی با توجه به تغییرات مساحت و تراز دریاچه رسم و مقدار همبستگی با هر پارامتر دریاچه محاسبه شده است. مطابق این نمودار با افزایش سطح و تراز آب در دریاچه میزان آلودگی کاهش می یابد.



شکل ۹- تغییرات تراز آب و مساحت دریاچه ارومیه در مقابل میزان آلبدو آسمان سیاه برای روز ۲۲۵ سالهای ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۳

۴-۵- همبستگی آلبدو با میانگین چگالی آب دریاچه

نمونه گیری‌های انجام شده روی آب دریاچه ارومیه نشان می‌دهند که تغییرات چگالی آب دریاچه بین سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۰ مطابق جدول ۶ بوده است [۲۰].

جدول ۶- چگالی آب دریاچه ارومیه در سالهای ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ میلادی (کیلوگرم بر متر مکعب)

سال	۲۰۰۱	۲۰۰۲	۲۰۰۳	۲۰۰۴	۲۰۰۵	۲۰۰۶	۲۰۰۷	۲۰۰۸	۲۰۰۹	۲۰۱۰
چگالی (kg/m ³)	۱۳۰۹/۰۱	۱۳۲۲/۶۱	۱۲۹۸/۵۹	۱۳۲۳/۴۱	۱۳۲۵/۹۳	۱۳۲۸/۹۶	۱۳۲۹/۸۹	۱۳۳۵/۶۱	۱۳۴۶/۶۳	۱۳۵۹/۲۰

نمودار چگالی آب دریاچه در مقابل آلبدو WSA و BSA در شکل ۱۰ رسم شده است. مشاهده می‌شود با افزایش چگالی آب دریاچه، آلبدو سطح آن نیز افزایش یافته است. اما از آنجایی که تراز آب نیز افت کرده و عمق آب کم شده نمی‌توان با قطعیت استنباط کرد که این افزایش آلبدو به علت افزایش غلظت آب دریاچه بوده است.

۶. نتیجه گیری

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد، محدوده تغییرات آلبدوی سطح دریاچه ارومیه از ۰/۰۲ تا ۰/۱۶ طی سال‌های مختلف متغیر بوده است. به لحاظ تغییرات مکانی، آلبدوی سطح دریاچه با افزایش عمق از نواحی ساحلی به طرف نواحی مرکزی کاهش می‌یابد. همچنین در محدوده خشک شده اطراف دریاچه، شوره‌زارها آلبدوی بیشتری نسبت به زمینهای بایر دارند. مقایسه تغییرات آلبدو با تراز چگالی آب دریاچه نشان دهنده وجود همبستگی معکوسی بین تراز آب دریاچه و میانگین آلبدوی سطح و همبستگی مستقیم بین چگالی آب دریاچه و میانگین آلبدو آن می‌باشد. شیب رابطه آلبدو- چگالی نشان می‌دهد که تغییر اندکی در میزان چگالی می‌تواند آلبدوی آب را به شدت تغییر دهد؛ اگرچه همبستگی موجود بین تراز و آلبدو بیشتر از چگالی آب دریاچه و آلبدو می‌باشد.

بررسی تغییرات زمانی آلبدو طول موج کوتاه و فرابنفش در محدوده دریاچه و نواحی خشک شده اطراف آن نشان می‌دهد از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۳ آلبدوی سطح آب دریاچه ۴ برابر و آلبدوی کل محدوده دریاچه و نواحی خشک شده اطراف دریاچه ۲/۵ برابر شده است. از طرفی مقدار آلبدوی فرابنفش با نصف شدن سطح دریاچه سه برابر شده است.



با توجه به جدول (۲) تغییر در مقدار آلبدو ارتباط مستقیم با تغییر در مقدار تشعشعات ماورای بنفش دارد؛ بنابراین تبدیل شدن پهنه آبی به شوره‌زار و ماسه خشک، با افزایش مقدار آلبدو (جدول ۶) مقدار کلی تشعشعات ماورای بنفش را نیز افزایش داده است. نکته قابل توجه در مورد آلبدوی فرابنفش، مقدار اندک آن در مناطق دارای پوشش گیاهی مانند چمن‌زارهاست (آلبدوی UV در سطوح ماسه‌ای در حدود ۱۲ درصد است، در حالیکه آلبدوی چمن‌زار در حدود ۲٪ می‌باشد (جدول ۵)) بنابراین بررسی و مدیریت پوشش گیاهی در نواحی خشک شده از اهمیت زیادی برخوردار است.

۱۳. قدردانی

بدین وسیله از مرکز تحقیقات سنجش از دور دانشگاه صنعتی شریف (RSRC) که انجام این تحقیق با حمایت این مرکز میسر گردید، قدردانی می‌گردد.

۱۲. مراجع

1. Wang, K. Liu, J. Zhou, X. Sparrow, M. Ma, M. Sun, Z. and Jiang, W. (2004a), "Validation of the MODIS global land surface albedo product using ground measurements in a semidesert region on the Tibetan Plateau", *J. Geophys. Res.*, **109**, D05107, doi:10.1029/2003JD004229.
2. EPA fact sheet. 2010. UV radiation. Office of Air and Radiation (6205J); June 2010; EPA 430-F-10-025
3. Lensky, N. G. Y. Dvorkin, V. Lyakhovskiy, I. Gertman, and I. Gavrieli (2005), "Water, salt, and energy balances of the Dead Sea", *Water Resour. Res.*, **41**, W12418, doi:10.1029/2005WR004084.
4. Dos Reisa, R.J. Diasb, N. L. (1998), "Multi-season lake evaporation: energy-budget estimates and CRLE model assessment with limited meteorological observations", *Journal of Hydrology*, **208**, pp 135–147.
5. Burman, R. and Pochop, L.O. (1994), "Evaporation, evapotranspiration and climate data. Amsterdam: Elsevier, The Netherlands.
6. Jin, Y. Schaaf, C. B. Woodcock, C. E. Gao, F., Li, X. Strahler, A. H. Lucht, W. and Liang, S. (2003), "Consistency of MODIS surface bidirectional reflectance distribution function and albedo retrievals: 2. Validation", *J. Geophys. Res.*, **108**(D5), 4159, doi:10.1029/2002JD002804.
7. Liang, S. Fang, H. Chen, M. Shuey, C. J. Walthall, C. Daughtry, C., Strahler, A (2002), "Validating MODIS land surface reflectance and albedo products: Methods and preliminary results", *Remote Sensing of Environment*, **83**(1–2), 149–162. [http://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00092-5](http://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00092-5)
8. Lucht, W., Hyman, A.H., Strahler, A.H., Barnsley, M.J., Hobson, P. and Muller, J.P. (2000), "A comparison of satellite-derived spectral albedos to ground-based broadband albedo measurements modeled to satellite spatial scale for a semidesert landscape", *Remote Sensing of Environment*, **74**(1), pp.85-98.
9. Salomon, J. G., Schaaf, C. B., Strahler, A. H., Gao, F. and Jin, Y. (2006), "Validation of the MODIS bidirectional reflectance distribution function and albedo retrievals using combined observations from the Aqua and Terra platforms", *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, **44**, pp 1555–1565.
10. Stroeve, J., Box, J., Gao, F., Liang, S., Nolin, A., Schaaf, C. (2005), "Accuracy assessment of the MODIS 16-day snow albedo product: Comparisons with Greenland in situ measurements, *Remote Sens. Environ.*, **94**, pp 46–60.



11. Stroeve, J., Nolin, A. (2002), "Comparison of modis and misr-derived surface albedo with in situ measurements in Greenland", Proceedings of EARSeL-LISSIG-Workshop Observing our Cryosphere from Space, Bern, March 11 – 13, 2002.
12. Wang, K., Liang, S., Schaaf, C. L. and Strahler, A. H. (2010), "Evaluation of Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer land surface visible and shortwave albedo products at FLUXNET sites", J. Geophys. Res., 115, D17107, doi:10.1029/2009JD013101.
13. Chadyšienė, R. and Girgždys, A. (2008), "Ultraviolet radiation albedo of natural surfaces", Journal of environmental engineering and landscape management, **16**(2), pp 83–88
14. Long, C. (2006), UV Index. National Oceanic and Atmospheric Administration, National Weather Service, National Centers for Environmental Prediction, Climate Prediction Center.
15. Pengra, B. (2012), "The drying of Iran's Lake Urmia and its environmental consequences", UNEP-GRID, Sioux Falls, UNEP Global Environmental Alert Service (GEAS). JOUR.
16. Eimanifar, A. and Mohebbi, F. (2007), "Urmia Lake (northwest Iran): a brief review" Saline systems, **3**(1), pp.1.
۱۷. موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو. (۱۳۹۲). منحنی سطح-حجم-ارتفاع دریاچه ارومیه، وزارت نیرو، موسسه تحقیقات آب، تهران
۱۸. مرکز تحقیقات سنجش از دور دانشگاه صنعتی شریف. (۱۳۹۳). گزارش تعیین کاربری اراضی حوضه آبریز ارومیه در سال ۱۳۹۳، دانشگاه صنعتی شریف، تهران
19. Bray, J.R. Sanger, J.E. and Archer, A.L. (1966), "The visible albedo of surfaces in central Minnesota". Ecology, **47**(4), pp.524-531.
۲۰. حسین پور، ا.، (۱۳۹۱). "شیمی فیزیک دریاچه ارومیه محاسبه پارامترهای شیمی فیزیکی از شورابه ی دریاچه ارومیه". پایان نامه دکتری، دانشگاه ارومیه، دانشکده شیمی.