

جمهوری اسلامی ایران



دبیرخانه کارگروه ملی نجات دریاچه ارومیه  
دفتر برنامه ریزی و تلفیق ستاد احیای دریاچه ارومیه

بررسی تغییرات آلودگی موج کوتاه و فرابنفش دریاچه ارومیه و محدوده  
خشک شده به جای مانده از آن

مرداد ۱۳۹۶

باسمه تعالی

## گزارش

بررسی تغییرات آلودگی موج کوتاه و فرابنفش دریاچه ارومیه و

محدوده خشک شده به جای مانده از آن

تهیه کننده:

مرکز تحقیقات سنجش از دور دانشگاه صنعتی شریف

نویسنده:

احسان جلیوند- سید فرید فاضل مجتهدی- سروش سراوانی - سمیه

سیما

مرداد ۱۳۹۶

۱	عنوان سند	بررسی تغییرات آلودوی موج کوتاه و فرابنفش دریاچه ارومیه و محدوده خشک شده به جای مانده از آن	
۲	بندهای شرح خدمات	عنوان فعالیت	شماره بند
		بخش	عنوان
۳	کد سند	OC11RN9605002	
۴	تهیه کننده	مرکز تحقیقات سنجش از دور دانشگاه صنعتی شریف	
۵	نویسنده	احسان جلیوند- سید فرید فاضل مجتهدی- سروش سراوانی- سمیه سیما	
۶	محتویات سند	در این گزارش اثر تغییرات سطح آب دریاچه ارومیه بر روی آلودوی سطح دریاچه و نواحی به جای مانده از خشک شدن دریاچه در محدوده دو طیف طول موج کوتاه و مرئی طیف الکترومغناطیس مورد بررسی قرار گرفته است.	
۷	تاریخ نشر	مرداد ۱۳۹۶	
۸	نوبت ویرایش	نهایی	

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## پیش‌گفتار

قرارگیری دریاچه ارومیه در آستانه بحرانی زیست‌محیطی در مقیاس بین‌المللی در سال‌های منتهی به سال ۱۳۹۲ شمسی و مطالبات مردم شریف منطقه، هیأت محترم وزیران را بر آن داشت که در اولین جلسه خود در دولت یازدهم، طی مصوبه شماره ۴۹۵۰۳/۱۱۱۱۴۶ مورخ ۱۳۹۲/۰۵/۲۸، تشکیل کارگروه نجات دریاچه ارومیه را به تصویب رسانند که پس از بررسی‌های گروه‌های کارشناسی، ۱۹ طرح اولویت‌دار جهت نجات دریاچه ارومیه در جلسه ۱۳۹۲/۰۷/۱۶ کارگروه نجات دریاچه ارومیه تصویب گردید.

به منظور تمرکز و تسریع در روند اقدامات مرتبط با احیای دریاچه ارومیه، پیشنهاد تشکیل «کارگروه ملی نجات دریاچه ارومیه» در جلسه مورخ ۱۳۹۲/۱۱/۰۲ هیأت محترم وزیران مطرح و به موجب اختیارات اصل ۱۳۸ قانون اساسی، طبق مصوبه شماره ۴۹۵۰۳/۱۷۰۰۹۲ مورخ ۱۳۹۲/۱۱/۱۲، مقرر گردید که ریاست کارگروه بر عهده معاون اول محترم رئیس‌جمهور باشد و جناب آقای دکتر عیسی کلانتری به عنوان دبیر کارگروه و مدیر اجرایی احیای دریاچه ارومیه تعیین گردیدند. ۷ وزیر، ۲ معاون رئیس‌جمهور و ۳ استاندار حوضه آبریز نیز به عنوان اعضای این کارگروه معرفی شدند.

در گام بعدی، ستاد احیای دریاچه ارومیه ضمن ایجاد کمیته‌های تخصصی شش‌گانه، ۲۰ کارگروه تخصصی، انجام مطالعات تطبیقی و ایجاد شوراهای منطقه‌ای، ضمن برگزاری ۹۸ جلسه متنوع کارشناسی و مدیریتی و بهره‌گیری از نظرات بیش از ۷۵۰ نفر از متخصصان داخلی و بین‌المللی در بازه زمانی ۱۳۶ روزه (از ۱۳۹۲/۱۱/۰۲ تا ۱۳۹۳/۰۳/۱۷)، اقدام به تدوین و اجرای یک نقشه راه جامع در راستای احیای دریاچه ارومیه نمود که نقشه راه مذکور در جلسه مورخ ۱۳۹۳/۰۴/۰۸ به ریاست رئیس‌جمهور محترم جناب آقای دکتر روحانی، ارائه و مورد تصویب قرار گرفت و دستور شروع عملیات اجرایی راه‌کارهای مصوب توسط ایشان صادر گردید. کارگروه ملی نجات دریاچه ارومیه نیز طی مصوبه شماره ۴۹۵۰۳/۵۷۵۴۲ مورخ ۱۳۹۳/۰۵/۲۵ به طور رسمی مسئولیت مطالعه و طراحی طرح نجات دریاچه ارومیه را به دانشگاه صنعتی شریف سپرد.

در کنار دستاوردهای میدانی متعدد حاصل از طرح ملی نجات دریاچه ارومیه از جمله قرار گرفتن دریاچه در مسیر احیای پایدار و رفع مخاطرات بهداشتی و سلامتی، نقش محوری دانشگاه‌های ملی و استانی در کلیه امور مطالعه و پایش، شاخصه‌ای کم‌نظیر در پروژه بوده که توانسته است ضمن خلق تعاملی پویا و چندسویه با دستگاه‌های اجرایی، روح اقدامات علمی-پژوهشی را در کالبد همه پروژه‌های ذیل طرح، جاری نمایند.

لذا با هدف شفاف‌سازی اقدامات مطالعاتی و پژوهشی انجام شده و نیز به منظور فراهم شدن امکان استفاده مجامع علمی در رشته‌های مختلف دانشگاهی از آب (هیدرولوژی، آب زیرزمینی، هیدرولیک و هیدرودینامیک)، محیط‌زیست، اکولوژی و لیمنولوژی گرفته تا اقتصاد و جامعه‌شناسی از دانش بومی تولید شده در این طرح ملی، کلیه مطالعات انجام شده توسط دبیرخانه کارگروه در کتابخانه مرکزی دانشگاه صنعتی شریف در دسترس پژوهشگران محترم قرار گرفته است. یقیناً تدارک مطالعه و پژوهش در این منابع بومی ارزشمند که حاصل سال‌ها تلاش مجدانه محققان تراز اول داخلی و بین‌المللی بوده، سرآغازی خواهد بود برای تداوم نهضت علمی شکل گرفته و به زودی با بروز جهشی علمی در بستر استثنایی پدید آمده، شاهد شکوفا شدن برکات این گردش آزاد اطلاعات در اقصی نقاط کشور خواهیم بود.

کلیه تعابیر، نتایج و تفاسیری که در این اثر ذکر شده‌اند، محصول تلاش‌های نویسندگان (یا نویسندگان) آن بوده و لزوماً منعکس‌کننده دیدگاه‌های دبیرخانه کارگروه ملی نجات دریاچه ارومیه نیست. لذا مسئولیت صحت کلیه اطلاعات و نتایجی که توسط این اثر در دسترس عموم قرار می‌گیرد، به عهده نویسندگان (یا نویسندگان) آن می‌باشد.

## چکیده

دریاچه ارومیه در شمال غرب ایران یکی از بزرگ ترین دریاچه‌های فوق شور جهان می‌باشد که از سال ۱۹۹۵ سطح آن به صورت پیوسته کاهش یافته است. کاهش ارتفاع آب دریاچه باعث کاهش سطح و افزایش شوری آب آن و افزایش سطح ناحیه خشک شده است. در این مطالعه اثر تغییرات سطح آب دریاچه ارومیه بر روی آلبدوی سطح دریاچه و نواحی به جای مانده از خشک شدن دریاچه در محدوده دو طیف طول موج کوتاه و مرئی طیف الکترومغناطیس مورد بررسی قرار گرفته است. برای انجام این کار تصاویر آلبدوی ۱۶ روزه سنجنده MODIS با قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متری طی سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۳ میلادی دریافت و مقادیر آلبدو در محدوده مکانی دریاچه و مناطق به جای مانده از خشک شدن دریاچه در هر سال استخراج شد. سپس تغییرات زمانی درازمدت مقادیر آلبدو، تراز آب و سطح دریاچه مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج نشان می‌دهد مقادیر میانگین آلبدوی سطح دریاچه در محدوده طول موج کوتاه، تقریباً ۴ برابر شده و میانگین آلبدوی سطح مناطق باقی مانده از خشک شدن دریاچه تقریباً ۵۰٪ افزایش یافته است. همچنین با کاهش مساحت دریاچه، میانگین آلبدوی سطح آب افزایش یافته است و بین این دو متغیر همبستگی معکوس ( $R^2=0.97$ ) وجود دارد. چگالی آب نیز با میانگین آلبدوی آب همبستگی خطی مستقیم ( $R^2=0.74$ ) دارد. همچنین در محدوده امواج فرابنفش با نصف شدن سطح دریاچه مقدار آلبدوی آن سه برابر شده است. مقدار آلبدوی بخش خشک شده دریاچه تغییر چندانی نداشته، ولی در فاصله سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۳ میلادی به طور پیوسته به مقدار ۵۰ درصد زیاد شده است. احتمالاً علت آن تبدیل شدن پهنه‌های آبی با آلبدوی فرابنفش کم به شوره زارها و بسترهای ماسه ایی که آلبدوی فرابنفش بالاتری دارند می‌باشد. افزایش مقدار آلبدو به طور مستقیم در میزان کل تشعشعات فرابنفش موثر بوده و می‌توان احتمال افزایش وقوع بیماری‌هایی چون سرطان پوست و آب مروارید را در ساکنین منطقه در آینده انتظار داشت.

**کلید واژه‌ها:** دریاچه ارومیه، آلبدو، شوری، تغییرات زمانی-مکانی، امواج با طول موج کوتاه، امواج ماورای

بنفش، امواج مرئی

## فهرست مطالب

د	فهرست مطالب
ه	فهرست تصاویر
ز	فهرست جدول‌ها
۱	۱- مقدمه
۳	۱-۱- اهمیت مطالعه آلبدو و تغییرات آن
۳	۱-۱-۱- امواج با طول موج کوتاه
۴	۱-۲- امواج ماورای بنفش
۵	۱-۳- انواع تشعشعات ماورای بنفش
۷	۲- محصولات آلبدوی سنجنده MODIS
۸	۳- آلبدوی آسمان سفید، سیاه و آبی
۹	۴- هدف از انجام این مطالعه
۱۰	۲- منطقه مورد مطالعه
۱۱	۳- روش انجام کار
۱۲	۳-۱- نحوه انتخاب مقطع زمانی انجام مطالعه
۱۴	۳-۲- روش انجام کار برای امواج کوتاه
۱۴	۳-۳- روش انجام کار برای امواج فرابنفش
۱۵	۴- نتایج
۱۶	۴-۱- تفاوت آلبدوی آسمان سیاه و سفید در محدوده دریاچه اطراف آن
۱۷	۴-۲- تغییرات مکانی آلبدو
۲۰	۴-۳- تغییرات زمانی آلبدو
۲۰	۴-۳-۱- محدوده دریاچه
۲۳	۴-۳-۲- پهنه باقی مانده از خشک شدن دریاچه
۲۶	۴-۴- همبستگی آلبدو با تراز و کیفیت آب دریاچه
۲۷	۴-۴-۱- بررسی همبستگی تغییرات چگالی و آلبدو
۲۸	۴-۵- جمع بندی نتایج
۳۰	۵- نتیجه گیری
۳۰	۵-۱- امواج با طول موج کوتاه
۳۱	۵-۲- امواج ماورای بنفش
۳۲	۶- پیشنهادات
۳۳	۷- مراجع

## فهرست تصاویر

- شکل ۱- بیان تشعشعی زمین برگرفته از سایت USGS ..... ۲
- شکل ۲- انواع تشعشعات ماورای بنفش و محدوده طول موج‌های آنها ..... ۵
- شکل ۳- 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. .... ۶
- شکل ۴- تغییرات سطح دریاچه از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ (موسسه تحقیقات آب، ۱۳۹۲) ..... ۱۱
- شکل ۵- نسبت مساحت دریاچه، پهنه خاکی و شوره زارهای اطراف دریاچه به مساحت دریاچه در پر آب ترین حالت (بر حسب درصد)، در سال های ۱۹۷۵، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۳ ..... ۱۱
- شکل ۶- نمودار مراحل استخراج آلدوی متوسط سطح دریاچه ..... ۱۲
- شکل ۷- تغییرات مقدار آلدوی آسمان سیاه در فصل های مختلف ..... ۱۳
- شکل ۸- تفاوت مقادیر آلدوی آسمان سیاه و سفید در سال های ۲۰۱۰ (بالا) و ۲۰۱۳ (پایین) در محدوده دریاچه (چپ) و دریاچه خشک شده (راست) ..... ۱۷
- شکل ۹- تغییرات مکانی - زمانی آلدوی طول موج کوتاه آسمان سیاه در محدوده آبی دریاچه ارومیه ..... ۱۸
- شکل ۱۰- مقدار آلدو آسمان سیاه در نواحی به جا مانده از خشک شدن دریاچه در سال ۲۰۱۳ ..... ۱۹
- شکل ۱۱- نوع کاربری زمین در نواحی اطراف دریاچه در سال ۲۰۱۳ ..... ۱۹
- شکل ۱۲- تغییرات زمانی مساحت دریاچه ارومیه و میزان آلدو آسمان سیاه برای روز ۲۲۵ ..... ۲۰
- شکل ۱۳- تغییرات زمانی آلدو طول موج کوتاه آسمان سفید و مساحت دریاچه ارومیه برای روز ۲۲۵ ..... ۲۱
- شکل ۱۴- تغییرات زمانی آلدوی آسمان سیاه طیف مرئی و مساحت دریاچه ارومیه برای روز ۲۲۵ ..... ۲۲
- شکل ۱۵- تغییرات زمانی آلدوی آسمان سفید طیف مرئی و مساحت دریاچه ارومیه برای روز ۲۲۵ ..... ۲۲
- شکل ۱۶- تغییرات زمانی مساحت بخش خشک شده دریاچه و میزان آلدوی در روز ۲۲۵ ..... ۲۳
- شکل ۱۷- نمودار تغییرات آلدو طول موج کوتاه آسمان سفید و سطح برای ناحیه خشک شده اطراف دریاچه دریاچه ارومیه در روز ۲۲۵ ..... ۲۴
- شکل ۱۸- نمودار تغییرات آلدو طیف مرئی و فرابنفش آسمان سیاه و سطح بخش خشک شده دریاچه در روز ۲۲۵ ..... ۲۵
- شکل ۱۹- نمودار تغییرات آلدو طیف مرئی و فرابنفش آسمان سفید و سطح بخش خشک شده دریاچه در روز ۲۲۵ ..... ۲۵
- شکل ۲۰- تغییرات تراز آب و مساحت دریاچه ارومیه در مقابل میزان آلدو آسمان سیاه برای روز ۲۲۵ سالهای ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۳ ..... ۲۶
- شکل ۲۱- تغییرات تراز آب و مساحت دریاچه ارومیه در مقابل میزان آلدو آسمان سفید برای روز ۲۲۵ سالهای ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۳ ..... ۲۷
- شکل ۲۲- نمودار رابطه چگالی آب دریاچه ارومیه با آلدوی سطح آن در روز ۲۲۵ سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۰ ..... ۲۸

### فهرست جدول‌ها

- جدول ۱- آلودگی سطوح مختلف (Burman and Pochop, 1994) ..... ۳
- جدول ۲- انواع تشعشعات ماورای بنفش (EPA fact sheet, 2010) ..... ۵
- جدول ۳- درصد افزایش شدت تشعشعات ماورای بنفش در مقادیر مختلف آلودگی سطح (Long, 2006b) ..... ۷
- جدول ۴- محصولات آلودگی سنجنده MODIS و ویژگی‌های آن ..... ۸
- جدول ۵- مشخصات تصاویر ماهواره ای استفاده شده جهت محاسبه آلودگی ..... ۱۲
- جدول ۶- مقایسه محدوده تغییرات آلودگی در محدوده مرئی با ماورای بنفش در سطوح مختلف (Chadyšienė, 2008) ..... ۱۴
- جدول ۷- تفاوت مقادیر آلودگی آسمان سیاه و سفید در محدوده دریایچه و پهنه خشک شده دریایچه در سالهای ۲۰۱۰ و ۲۰۱۳ ..... ۱۶
- جدول ۸- چگالی آب دریایچه ارومیه در سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ (کیلوگرم بر متر مکعب) ..... ۲۷
- جدول ۹- تغییرات مقادیر آلودگی دریایچه در فاصله سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۷، ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۳ و ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۳ برای خود دریایچه، نواحی باقی مانده از خشک شدن آن و مجموع این دو ..... ۲۹
- جدول ۱۰- تغییرات مقادیر آلودگی دریایچه در فاصله سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۷، ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۳ و ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۳ برای خود دریایچه، نواحی باقی مانده از خشک شدن آن و مجموع این دو (ادامه) ..... ۲۹
- جدول ۱۱- مقدار ضریب  $R^2$  بین آلودگی و پارامترهای تراز، سطح و چگالی آب دریایچه در محدوده دریایچه و پهنه خشک شده دریایچه برای امواج کوتاه ..... ۳۰

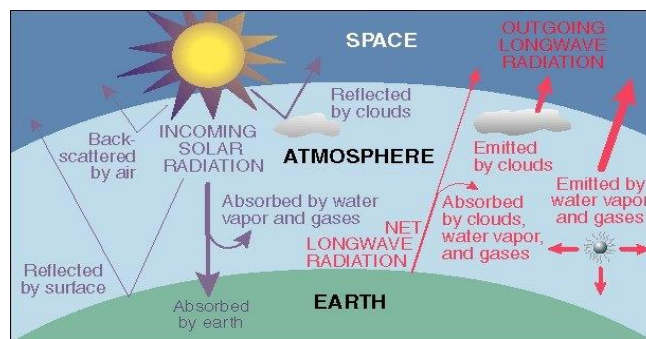
## ۱- مقدمه

آلودگی<sup>۱</sup> سطح (مقدار تابش بازگشتی به کل تابش رسیده به سطح) تابعی از ویژگی‌های سطح، پارامترهای اتمسفری و موقعیت خورشید می‌باشد. در یک موقعیت مکانی ثابت، زاویه خط الراس خورشید تغییری نکرده و پارامترهای اتمسفری در یک ماه خاص، از سالی به سال دیگر تغییر محسوسی نمی‌کنند. بنابراین تغییر در میزان آلودگی می‌تواند نشان دهنده تغییر در شرایط سطح زمین باشد. نوع خاک، زبری زمین، مقدار و نوع پوشش گیاهی و یا غلظت املاح موجود در آب و شفافیت و عمق آن، از ویژگی‌هایی هستند که بر مقدار آلودگی سطح تاثیر می‌گذارند. به دلیل نقش آلودگی در محاسبه شار خالص تابش خورشیدی طول موج کوتاه که مهم‌ترین شار انرژی دریافتی در محاسبه بیلان انرژی سطح می‌باشد، تغییرات آلودگی سطح در تغییرات تبادلات انرژی بین سطح و اتمسفر و در نتیجه شرایط اقلیم محلی اثر گذار است. از این رو پایش درازمدت تغییرات آلودگی سطح در محدوده طول موج‌های کوتاه می‌تواند به تحلیل تغییرات بیلان انرژی حوضه و اثر آن روی شرایط اقلیمی کمک نماید. از طرف دیگر تغییر در ماهیت سطوح می‌تواند با افزایش مقدار آلودگی در محدوده طول موج پرتوهای فرابنفش، مقدار کلی تشعشعاتی مانند فرابنفش را که برای سلامتی انسان مضر است افزایش دهد. اما به علت بالابودن پراکنش اتمسفری در این محدوده، تصاویر ماهواره‌های چند طیفی امکان پایش بازتابش سطح در این محدوده را ندارد. مطالعات مختلف نشان داده‌اند که آلودگی محدوده فرابنفش با آلودگی محدوده مرئی در ارتباط است. از این رو با استفاده از پایش آلودگی در محدوده طول موج مرئی به طور غیر مستقیم می‌توان تغییرات آلودگی سطح در محدوده فرابنفش را نیز پایش نمود.

اجزای بیلان تشعشعی سطح زمین در شکل (۱) نشان داده شده است. از کل تابش خورشیدی به سمت زمین (زمانی که خورشید در بالاترین نقطه آسمان است)، تقریباً ۳۰ درصد آن قبل از رسیدن به سطح زمین توسط ذرات اتمسفر و ابرها پخش شده و یا به اتمسفر منعکس می‌شود. گازهای موجود در اتمسفر برای جذب تابش خورشیدی نسبتاً ضعیف هستند و تنها قادر به جذب ۲۰ درصد تابش موجود در لبه خارجی اتمسفر می‌باشند. باقی تابش خورشید در قالب تابش مستقیم و نفوذی مسیر خود به سمت زمین را ادامه می‌دهد. کل تابش

<sup>1</sup> Albedo

خورشیدی گسیل شده به طرف زمین<sup>۱</sup> دارای دو بخش می باشد: جزء مستقیم تابش<sup>۲</sup> و جزء نفوذی تابش<sup>۳</sup>. تابش نفوذی بخشی از تابش خورشیدی است که تحت تأثیر پخش<sup>۴</sup> اتمسفری قرار می گیرد و سپس به سطح زمین می رسد و عامل اصلی تغییر رنگ آسمان است. تابش مستقیم بخشی از تابش طول موج کوتاه می باشد. که قادر است بدون اینکه تحت تأثیر اجزای اتمسفر قرار گیرد، به درون اتمسفر نفوذ کند (Ritter, 2006). آلبدوی سطح زمین عبارت است از نسبت کل تابش خورشیدی (ترم Incoming solar radiation) ، به کل تابش برگشتی از سطح (ترم Reflected by surface) ، که در شکل (۱) نشان داده شده است. آلبدو می تواند شاخصی از میزان قابلیت ذخیره انرژی سطح باشد. سطوح با آلبدوی بالا توان ذخیره انرژی کمتری نسبت به سطوح با آلبدوی پایین دارند. آلبدوی متوسط سطح کره زمین ۰/۳ می باشد.



شکل ۱- بیان تشعشی زمین [برگرفته از سایت USGS]

به طور کلی آلبدوی سطح زمین تابع عوامل زیر است (حسین پور، ۱۳۹۱):

۱. موقعیت جغرافیایی منطقه
۲. زاویه سمت الرأس خورشید (زمان در طول روز)
۳. ویژگی سطح
۴. شرایط آب و هوایی
۵. عمق اپتیکی ذرات اتمسفر (که شاخصی است از شفافیت اتمسفر)

<sup>1</sup> Incoming solar radiation

<sup>2</sup> Direct radiation

<sup>3</sup> Diffuse radiation

<sup>4</sup> Scattering

## ۱-۱- اهمیت مطالعه آلبدو و تغییرات آن

### ۱-۱-۱- امواج با طول موج کوتاه

در توسعه مدل بیلان انرژی سطح، مهم ترین 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 (از جمله: Dos Reisa, Diasb, 1998; Lensky, et al., 2005). از این رو برآورد آلبدو به عنوان عامل تعیین کننده در ترم شار انرژی خالص خورشیدی رسیده به سطح بسیار حائز اهمیت است. از طرفی مقادیر پیشنهادی جدول (۱) برای آلبدوی آب غیر زلال محدوده نسبتاً وسیعی (از ۰/۱۵ تا ۰/۵) را دربر می گیرد. بنابراین لازم است با توجه به وضعیت کیفیت آب دریاچه، برآورد درستی از تغییرات آلبدو در سطح دریاچه صورت گیرد.

جدول ۱- آلبدوی سطوح مختلف (Burman and Pochop, 1994)

آلبدو	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 آلبدوی طول موج کوتاه بدست آمده از تصاویر سنجنده MODIS را با داده های زمینی مورد مقایسه قرار داده اند (Jin et al., 2003; Liang et al., 2002; Lucht et al., 2000; Stroeve et al., 2006; Salomon et al., 2005). به عنوان نمونه Stroeve و Nolin در سال ۲۰۰۲ در مطالعه ای آلبدوی بدست آمده از تصاویر خام MODIS را با داده های زمینی برای سطح پوشیده از برف مورد مقایسه قرار دادند. نتایج آن ها نشان داد که آلبدوی استخراج شده از سنجنش از دور در محدوده ۶٪ از مقادیر اندازه گیری شده قرار دارد. Wang و همکاران (۲۰۱۰)، آلبدوی 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 ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۷ مورد ارزیابی قرار دادند.

نتایج آنان نشان داد که نسخه ۴ محصول آلودگی سنجنده MODIS نسبت به داده های زمینی دارای اریبی<sup>۱</sup> ۰/۰۰۸-، انحراف معیار ۰/۰۲۳ و ضریب همبستگی ۰/۸۲ می باشد. مقادیر ضرایب برای نسخه ۵ به ترتیب عبارتند از: اریبی منفی ۰/۰۰۹، انحراف معیار ۰/۰۲۳ و ضریب همبستگی ۰/۸۰. Pape و Vohland (۲۰۱۰)، آلودگی بدست آمده از تصاویر TM و MODIS (MCD43A3) را با داده های زمینی در نزدیکی لوکزامبورگ در آلمان در ۳ ایستگاه اندازه گیری مقایسه کردند. نتایج حاکی از همبستگی بالا ( $r=0.996$ ) بین آلودگی TM و MODIS می باشد. همچنین داده های آلودگی استخراج شده از تصاویر ماهواره ای با یک اریبی منفی تطبیق قابل قبولی را با اندازه گیری های زمینی نشان می دهد.

در اکثر مطالعات تأیید اعتبار آلودگی با داده های زمینی یک اریبی منفی در حد چند صدم برای تصحیح نتایج داده های ماهواره ای با مقادیر اندازه گیری شده آلودگی پیشنهاد شده است؛ که به این معنی است که آلودگی مستخرج از تصاویر ماهواره ای کمی کمتر از مقادیر واقعی است.

#### ۱-۲-۱- امواج ماورای بنفش

خورشید انرژی خود را در طول موجهای مختلف به سمت زمین می فرستد؛ نور مرئی که قابل رویت است، امواج مادون قرمز که گرمای آن را حس می کنیم و امواج ماورای بنفش که نه دیده می شوند و نه حس شدنی هستند. این امواج طول موج کمتر و انرژی بیشتری نسبت به نور مرئی دارند و می توانند اثر مثبت یا منفی بر سلامت انسان داشته باشند. به عنوان مثال قرار گرفتن کوتاه مدت در معرض این امواج باعث تولید ویتامین D در پوست شده ولی طولانی شدن زمان یا افزایش مقدار تشعشعات می تواند منجر به آفتاب سوختگی شود. خوشبختانه لایه ازن بیشتر تشعشعات ماورای بنفش را جذب کرده و از ما در برابر این پرتو محافظت می کند؛ ولی بخشی از این پرتو که از لایه ازن عبور می کند می تواند مشکلات زیر را ایجاد کند (EPA fact sheet, 2010):

۱. سرطان پوست
۲. آب مروارید
۳. اختلال در سیستم ایمنی بدن
۴. پیری زودرس پوست

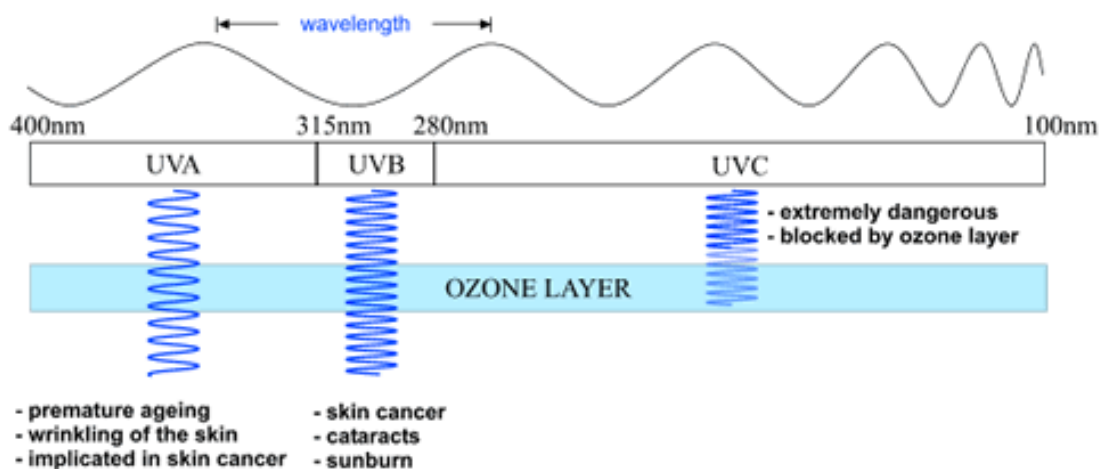
<sup>1</sup> Bias

### ۱-۱-۳- انواع تشعشعات ماورای بنفش

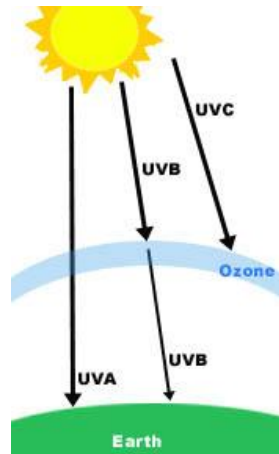
تشعشعات UV به سه دسته اصلی تقسیم می شوند که لایه ازن برخی از آنها را جذب و برخی را عبور می دهد. جدول و شکل (۲) انواع تشعشعات ماورای بنفش را با محدوده طول موج آنها نشان می دهد. همان طور که در این شکل و جدول نشان داده شده است، UVC که کمترین طول موج را داراست، به طور کامل توسط لایه ازن جذب می شود؛ در حالی که UVA به طور کامل و بخشی از UVB که از لایه ازن عبور می کنند عامل ایجاد بیماری ها و اختلالات ذکر شده می باشند (شکل ۳).

جدول ۲- انواع تشعشعات ماورای بنفش (EPA fact sheet, 2010)

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 ۲- انواع تشعشعات ماورای بنفش و محدوده طول موج های آن ها



شکل ۳- انواع تشعشعات ماورای بنفش خورشیدی

مقدار تشعشعات ماورای بنفش به موارد زیر بستگی دارد (EPA fact sheet, 2010):

۱. **ضخامت لایه ازن:** ضخامت لایه ازن در همه جای استراتوسفر یکسان نیست. به علاوه استفاده از کلرو فلورو کربن (CFC ها) در خوشبو کننده‌ها باعث نازک شدن آن در برخی مناطق شده است. پیش‌بینی می‌شود احیای لایه ازن تا اواخر قرن ۲۱ به طول انجامد.

۲. **زمان روز:** در ظهر که خورشید در بالاترین نقطه قرار دارد و پرتوی آن کم‌ترین مسافت را برای رسیدن به زمین طی می‌کند، مقدار UVB بیش‌ترین می‌باشد. اما در صبح زود و زمان غروب خورشید که پرتوها باید مسافت زیادی را در اتمسفر زمین طی کنند، مقدار آن کمتر می‌شود (EPA fact sheet, 2010). ۶۰٪ کل تابش UV دریافتی بین ساعات ۱۰ صبح تا ۱ بعد از ظهر رخ می‌دهد (Chadyšienė, 2008).

۳. **زمان در سال:** در فصل‌های مختلف با توجه به موقعیت خورشید نسبت به زمین مقدار تشعشعات ماورای بنفش متفاوت است. بیش‌ترین آن در تابستان می‌باشد.

۴. **عرض جغرافیایی:** در استوا با توجه به تابش مستقیم خورشید مقدار UV بیشتر می‌باشد. همچنین لایه ازن در نواحی نزدیک به استوا نازک‌تر است، اما با افزایش عرض جغرافیایی هم لایه ازن ضخیم‌تر شده و هم خورشید به طور مایل به زمین می‌تابد؛ که این باعث می‌شود پرتوهای UV مدت زمان بیشتری را در اتمسفر دارای ازن زیاد حرکت کنند و مقدار زیادی از آن جذب شود.

۵. **ارتفاع از سطح زمین:** با افزایش ارتفاع از سطح، UV افزایش می‌یابد (هر ۳۰۰ متر ۴ درصد و هر ۱۰۰۰ متر ۱۰ تا ۱۲ درصد).

۶. ابرینگی: هر چقدر مقدار ابر و ضخامت آن بیشتر باشد، مقدار UV کمتری از آن عبور می کند؛ هر چند امکان سوختگی در یک روز ابری نیز وجود دارد (EPA fact sheet, 2010). ۹۰٪ تشعشعات UV از ابرهای روشن عبور می کند (Chadyšienė, 2008).

۷. بازتاب از سطح (آلودگی): سطوحی مانند سطوح برفی، ماسه‌ای، روسازی و سطح آب بخشی از آلودگی را باز می گرداند. بنابراین شدت آلودگی می تواند حتی در سایه نیز زیاد باشد (EPA fact sheet, 2010). تحقیقات Long و همکاران در سال ۲۰۰۶ نشان می دهد که سطحی با آلودگی ۰/۱ مقدار تشعشعات ماورای بنفش را به مقدار ۳٪ و سطحی با آلودگی ۰/۷ مقدار تشعشعات UV را تا ۳۹٪ افزایش می دهد (جدول ۳).

جدول ۳- درصد افزایش شدت تشعشعات ماورای بنفش در مقادیر مختلف آلودگی سطح (Long, 2006)

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

مواد مختلف مقادیر متفاوتی از UV را از خود بازتابش می کنند. برف تمیز و خالص می تواند تا ۸۰ درصد UV رسیده را بازتابش کند که می تواند باعث سوختگی شود (آفتاب سوختگی در پیست های اسکی در فصل زمستان از همین موضوع نشات می گیرد). ماسه نیز ۲۵ درصد UV رسیده را باز می گرداند. در یک موقعیت مکانی ثابت و در یک زمان مشخص در سال های مختلف پارامترهایی مانند ارتفاع از سطح زمین، عرض جغرافیایی، زمان در روز و سال تغییری نمی کند. بنابراین در صورتی که دو روز با ابرینگی یکسان را در نظر بگیریم، تنها پارامتری که می تواند مقدار تشعشعات UV را تحت تاثیر قرار دهد، مقدار آلودگی 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 آلودگی سطح و متعاقباً افزایش یا کاهش تشعشعات UV شود که از نقطه نظر سلامتی دارای اهمیت است.

## ۱-۲- محصولات آلودگی سنجنده MODIS

انواع محصولات آلودگی سنجنده MODIS و ویژگی های آن در جدول (۴) آمده است. به منظور استخراج آلودگی سطح دریاچه محصول MCD43A3, B3- version 5 به دلایل زیر مورد استفاده قرار گرفت:

- داشتن بالاترین قدرت تفکیک مکانی (۵۰۰ m) در بین انواع محصولات آلودگی

- استفاده از تصاویر ترکیبی سکوهاى Aqua و Terra که منجر به افزایش تعداد تصاویر می شود و بنابراین منجر به کاهش خلأهای ناشی از کمبود تصاویر در روزهای ابری می شود.

- در محصول نسخه ۵ آلبدو هر ۸ روز تولید شده است، گرچه که برداشت داده همان ۱۶ روز صورت گرفته است.

Temporal Granularity	Resolution (m)	Raster Type	MODIS Product	Platform	Short name
16 Day	500m	Tile	Albedo	Combined	<a href="#">MCD43A3</a>
16 Day	1000m	Tile	Albedo	Combined	<a href="#">MCD43B3</a>
16 Day	5600m	CMG	Albedo	Combined	<a href="#">MCD43C3</a>
16 Day	500m	Tile	Albedo	Terra	<a href="#">MOD43A3</a>
16-Day	1km	Tile	Albedo	Terra	MOD43B3
16-Day	5600m	CMG	Albedo	Terra	MOD43C1

جدول ۴- محصولات آلبدوی سنجنده MODIS و ویژگی های آن

به عنوان مثال محصول آلبدو ۲۰۰۹۰۰۱، شامل آلبدوی ۱۶ روزه از روز ۱ تا ۱۶ و محصول آلبدوی ۲۰۰۹۰۰۹ آلبدو در بازه زمانی بین روزهای ۹ تا ۲۴ سال می باشد. هریک از محصولات آلبدوی MODIS شامل ۲۰ لایه اطلاعات می باشد. این ۲۰ لایه شامل آلبدوی آسمان سیاه (BSA<sup>۱</sup>) و آلبدوی آسمان سفید (WSA<sup>۲</sup>)، برای ۱۰ باندها (باندهای ۱ تا ۷ سنجنده MODIS) که در تولید محصولات زمین به کار می روند و سه باندها با محدوده طول موج گسترده شامل: محدوده طول موج مرئی<sup>۳</sup> (۰/۴-۰/۷μm)، نزدیک مادون قرمز (۲/۵μm-۰/۷) و کل طول موج کوتاه (۰/۴-۲/۵μm) می باشد. در واقع چون پارامتر آلبدو به ویژگی های جو و سطح که در معرض تابش هستند بستگی دارد، با ارائه محصول آلبدو به صورت آلبدوی آسمان سیاه و سفید در ظاهر محلی، آلبدو از ویژگی های اتمسفر مستقل می شود و تنها تابع ویژگی های سطح خواهد بود.

### ۱-۳- آلبدوی آسمان سفید، سیاه و آبی

آلبدوی آسمان سفید (Bio-hemispherical reflectance): آلبدو در غیاب جزء مستقیم تابش رسیده به سطح، یعنی آلبدوی ناشی از جزء نفوذی تابش خورشید در حالتی که جزء نفوذی در همه جهات یکسان باشد

<sup>۱</sup> Black Sky Albedo

<sup>۲</sup> White Sky Albedo

<sup>۳</sup> Visible

(Isotropic). در واقع آلبدوی ناشی از بخشی از تابش خورشیدی است که تحت تأثیر پخش اتمسفری قرار می گیرد. آلبدوی آسمان سفید تابعی است از عمق اپتیکی ذرات اتمسفر.

آلبدوی آسمان سیاه (Directional hemispherical reflectance): عبارت است از آلبدو در غیاب جزء نفوذی تابش رسیده به سطح که تابع زاویه سمت الرأس خورشید است.

آلبدوی آسمان آبی<sup>۱</sup>: همان طور که اشاره شد آلبدوی آسمان سفید و آلبدوی آسمان سیاه دو حالت حدی از آلبدوی واقعی هستند. در حالت طبیعی تابش رسیده به سطح، ترکیبی خطی از تابش مستقیم و نفوذی است. بنابراین آلبدوی واقعی نیز ترکیب خطی از آلبدوی آسمان سیاه و آسمان سفید است و از رابطه (۱) محاسبه می شود:

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

$$SKYL = f(SZN, BAND, OD, AMT)$$

پارامترهای این رابطه عبارتند از:

SKYL: ضریب ترکیب خطی آلبدو

SZN: زاویه سمت الرأس خورشید (زاویه خورشید با NADIR در هر پیکسل از تصویر) که از محصولات

MOD04 (پارامترهای غبار) و MOD05 (پارامترهای آب قابل بارش) موجود می باشد.

BAND: شماره باندهای که آلبدو برای آن محاسبه می شود؛ ۱ تا ۷ برای باندهای MODIS و ۸ تا ۱۰ برای

باندهای گسترده (مرئی، نزدیک مادون قرمز و کل طول موج کوتاه)

OD: عمق اپتیکی ذرات جو که از محصول MOD04 قابل دستیابی است.

AMT: نوع مدل اتمسفر

بدین ترتیب، براساس زاویه سمت الرأس خورشید، عمق اپتیکی ذرات، نوع مدل اتمسفر ضریب ترکیب خطی آلبدوی باند مدنظر به دست می آید.

#### ۱-۴- هدف از انجام این مطالعه

هدف این مطالعه بررسی زمانی- مکانی اثر تغییرات تراز، سطح و شوری آب دریاچه بر مقدار آلبدوی سطح آب و همچنین بررسی تغییرات مقدار آلبدو در ناحیه خشک شده دریاچه در دو محدوده از طیف الکترومغناطیس

<sup>1</sup> Blue Sky Albedo

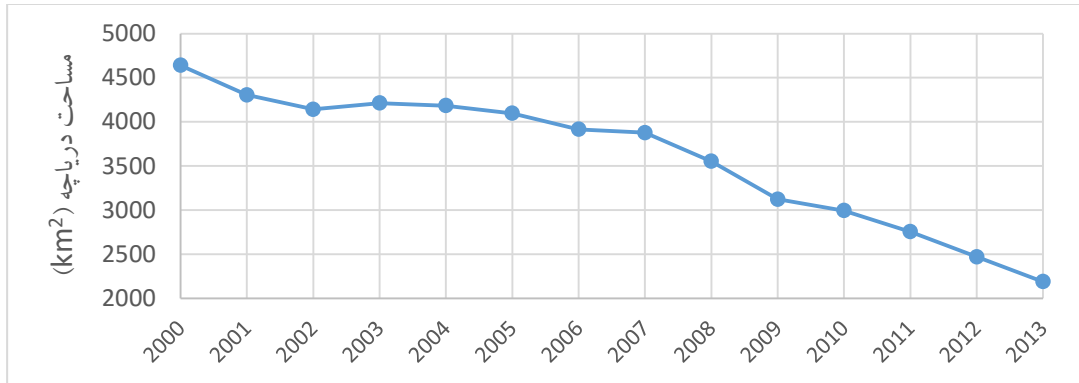
(امواج طول موج کوتاه و امواج ماورای بنفش) می باشد. سوالاتی که در این مطالعه به دنبال جواب آنها هستیم عبارتند از:

۱. تصاویر ماهواره ای نشان می دهند که مقدار آلودگی طول موج کوتاه دریایچه با گذر زمان افزایش یافته است، آیا این موضوع در اثر افزایش شوری آب دریایچه صورت گرفته یا کاهش عمق آن؟
۲. همبستگی میانگین آلودگی سطح دریایچه با هر یک از پارامترهای شوری و تراز آب دریایچه به چه میزان می باشد؟
۳. بخش زیادی از دریایچه به پهنه خشک تبدیل شده، با توجه به نقش مهم آلودگی طول موج کوتاه در مدل بیلان انرژی سطح آیا میانگین آلودگی این پهنه و همچنین مجموع دریایچه و بخش های خشک شده آن تغییری پیدا کرده است؟
۴. تغییرات آلودگی طول موج کوتاه با عمق به چه صورت است؟ با حرکت از نواحی عمیق به سمت ساحل مقدار آلودگی طول موج کوتاه به چه صورت تغییر پیدا می کند؟
۵. تحقیقات محققین نشان می دهد که امواج فرابنفش اثر منفی بر سلامتی انسان دارند. از طرف دیگر افزایش آلودگی فرابنفش اثر مستقیم در میزان کل تشعشعات آن خواهد داشت. تغییرات آلودگی فرا بنفش در سطح دریایچه و بخش های خشک شده آن در طول زمان به چه صورت بوده است؟
۶. آیا تبدیل پهنه آبی دریایچه به نواحی خشک، باعث افزایش تشعشعات فرابنفش در منطقه شده است؟

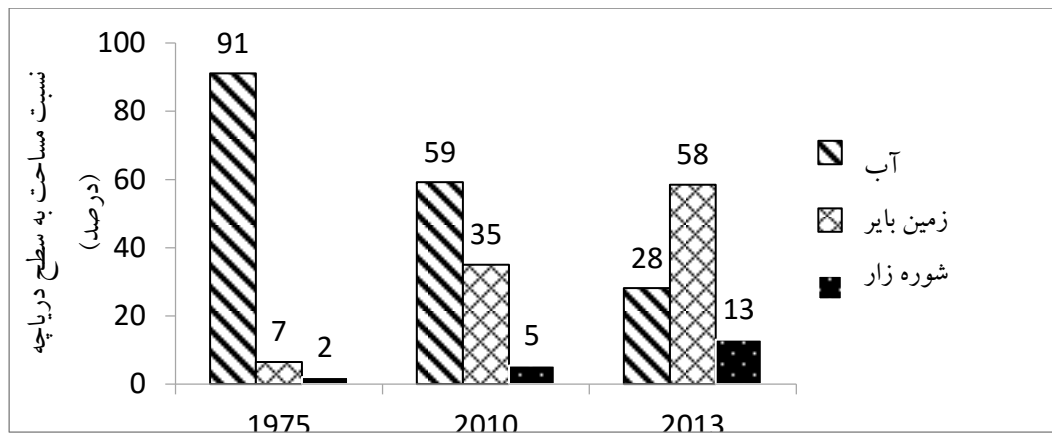
## ۲- منطقه مورد مطالعه

دریایچه ارومیه یکی از بزرگترین دریایچه های فوق شور جهان و بزرگترین دریایچه فوق شور خاورمیانه می باشد که در شمال غرب ایران واقع شده است (UNEP and GEAS, 2012). دریایچه در پرآب ترین حالت خود سطحی معادل ۶۱۰۰ کیلومتر داشته که از سال ۱۹۹۵ به صورت پیوسته کاهش یافته است. تغییرات مساحت دریایچه که با استفاده از نقشه عمق سنجی موسسه تحقیقات آب و تراز ثبت شده آب دریایچه از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ به دست آمده، در شکل (۴) نشان داده شده است. علاوه بر تغییرات سطح دریایچه، سطح بخش خاکی و پهنه نمکی اطراف دریایچه نیز دستخوش تغییر شده است. شکل (۵) مساحت هر یک از این بخش ها را در سال

۱۹۷۵، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۳ با یکدیگر مقایسه کرده است. همان طور که در این شکل نشان داده شده، با کاهش سطح دریاچه مساحت زمین های بایر و شوره زارهای اطراف دریاچه زیاد شده است.



شکل ۴- تغییرات سطح دریاچه از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ (موسسه تحقیقات آب، ۱۳۹۲)



شکل ۵- نسبت مساحت دریاچه، پهنه خاکی و شوره زارهای اطراف دریاچه به مساحت دریاچه در پر آب ترین حالت (بر حسب درصد)، در سال های ۱۹۷۵، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۳

### ۳- روش انجام کار

در این تحقیق تصاویر ماهواره ای جهت سنجش تغییرات آلبدو روی محدوده دریاچه ارومیه به کار خواهد رفت. مراحل انجام کار به صورت خلاصه در شکل (۶) نشان داده شده است. جهت محاسبه میزان آلبدوی سطح آب دریاچه و ناحیه باتلاقی اطراف آن از محصول آلبدو سنجنده MODIS که مشخصات آن در جدول (۵) نشان داده شده، استفاده خواهد شد.



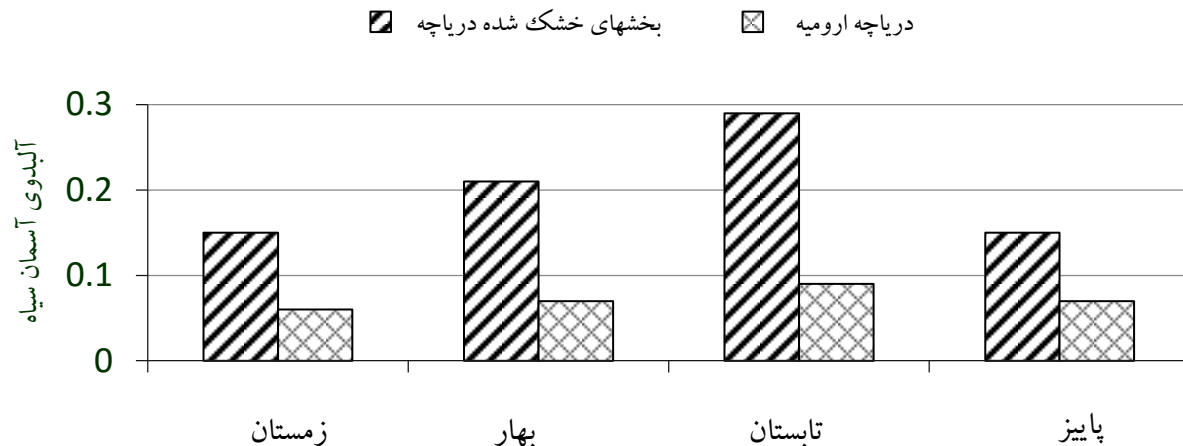
شکل ۶- نمودار مراحل استخراج آلودگی متوسط سطح دریایچه

جدول ۵- مشخصات تصاویر ماهواره ای استفاده شده جهت محاسبه آلودگی

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

### ۳-۱- نحوه انتخاب مقطع زمانی انجام مطالعه

ابتدا مقادیر آلودگی آسمان سیاه و سفید در چهار روز مختلف از سال (هر روز به نمایندگی از یک فصل سال) به صورت میانگین در محدوده دریایچه و نواحی به جا مانده از خشک شدن آن به طور جداگانه محاسبه شد. نتایج نشان می دهد که روز ۲۲۵ (ماه آگوست) که به نمایندگی از فصل تابستان انتخاب شده بود (با توجه به داشتن حداکثر روزهای غیر ابری در سال های مختلف)، هم در دریایچه و هم در نواحی اطراف آن حداکثر مقدار آلودگی را به خود اختصاص داده است (شکل ۷). در این مطالعه آلودگی روز ۲۲۵ به عنوان نماینده ای از بیش ترین مقدار آلودگی در هر سال، مبنای مقایسه قرار گرفته است.



شکل ۷- تغییرات مقدار آلودگی آسمان سیاه در فصل های مختلف

ابتدا مقدار حداکثر سالانه آلودگی آسمان سیاه در محدوده طول موج های کوتاه برای سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ میلادی استخراج و میانگین ضرایب آلودگی سطح دریاچه و ناحیه اطراف آن محاسبه گردید. در تصاویری که برای روز ۲۲۵ گرفته شده بود، تصاویر سال های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ کیفیت مناسبی نداشته و تعداد سلول های بدون مقدار<sup>۱</sup> در آنها زیاد بود؛ به همین دلیل داده های این سال ها در تحلیل ها مورد استفاده قرار نگرفت. سایر تصاویر از کیفیت خوبی برخوردار بودند؛ بنابراین نهایتاً بازه زمانی مطالعاتی از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۳ میلادی انتخاب شد. فایل دریافتی دارای چندین لایه مختلف می باشد که هر لایه آلودگی سطح را برای باند مشخصی از امواج الکترومغناطیس در خود ذخیره کرده است. مجموع این لایه ها در فایلی با فرمت hdf ذخیره شدند. پس از دریافت تصاویر با فرمت hdf، ناحیه مربوط به دریاچه ارومیه از تصاویر جدا و سپس لایه مورد نظر انتخاب و با فرمت tif ذخیره شد. این لایه می تواند آلودگی موج کوتاه یا آلودگی مرئی باشد. با توجه به منحنی تراز- سطح- حجم توسعه داده شده توسط موسسه تحقیقات آب در سال ۱۳۹۲ و تراز فصلی آب دریاچه در سال های مختلف، محدوده آبی و محدوده خشک شده دریاچه در تصاویر از یکدیگر تفکیک شده، تا آلودگی سطوح آبی و سطوح خشک شده جداگانه مورد بررسی قرار گیرند. همچنین برای محاسبه میانگین وزنی آلودگی کل محدوده، از مساحت های بدست آمده برای پهنه آبی و بخش خشک شده استفاده گردید. با توجه به این که پردازش روی چه لایه ای انجام شده، روش انجام کار متفاوت است. در ادامه ابتدا روش انجام کار در امواج کوتاه و سپس امواج مرئی آورده می شود.

<sup>۱</sup> No value

### ۲-۳- روش انجام کار برای امواج کوتاه

ابتدا تصاویر طول موج کوتاه به نرم افزار ILWIS وارد شده و پس از جدا کردن سطوح آبی و خشک دریاچه با رسم تغییرات میانگین آلودگی سطح در سال های مختلف در برابر تراز آب و مساحت دریاچه، وجود ارتباط معنی دار بین تغییرات آلودگی سطح دریاچه با تغییر تراز و مساحت دریاچه بررسی شد. همچنین تغییرات آلودگی بخش خشک شده دریاچه با تغییر مساحت ناحیه باتلاقی بررسی گردید. در ادامه با توجه به داده های موجود از چگالی آب دریاچه در سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰، اثر تغییرات چگالی آب دریاچه بر روی آلودگی آب دریاچه مورد بررسی قرار گرفت.

### ۳-۳- روش انجام کار برای امواج فرابنفش

با توجه به اینکه محصول آلودگی سنجنده MODIS در محدوده طول موج های فرابنفش داده آلودگی را ارائه نمی کند، در این مطالعه ابتدا داده های آلودگی مرئی در محدوده مکانی مورد نظر استخراج گردید. سپس با استفاده از جداولی که داده های آلودگی مرئی را به آلودگی فرابنفش مرتبط می سازند، تغییرات آلودگی 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 آلودگی امواج مرئی با میزان آلودگی فرابنفش UVA و UVB مقایسه شود. Bray و همکاران در مطالعه ای در سال ۱۹۶۶ محدوده تغییرات آلودگی فرابنفش UVA و UVB را با آلودگی متناظر مرئی روی سطوح مختلف مقایسه کردند. نتایج این مطالعه در جدول (۶) آورده شده است.

جدول ۶- مقایسه محدوده تغییرات آلودگی در محدوده مرئی با ماورای بنفش در سطوح مختلف (Chadyšienė, 2008)

نوع سطح	آلودگی UVA %	آلودگی UVB %	سهم UVA از کل آلودگی UV %	سهم UVB از کل آلودگی UV %	آلودگی 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

همان طور که در جدول (۶) نشان داده شده است، مقدار آلودگی مرئی در ماسه تقریباً ۴۰٪ از آلودگی UV بیشتر است. در آب این دو مقدار تقریباً در یک محدوده قرار دارند. در سبزه‌زار مقدار آلودگی مرئی ۱۰ برابر آلودگی ماورای بنفش بوده، که نشان دهنده جذب بالای UV در مناطق دارای پوشش گیاهی می‌باشد و در برف نیز بیشترین مقدار بازتابش را در هر دو طیف داریم که حداکثر آلودگی آنها با یکدیگر برابر است. همچنین مقدار آلودگی UVA و UVB در سطوح مختلف تقریباً در یک محدوده می‌باشد. بنابراین با داشتن تغییرات آلودگی طیف مرئی و با استفاده از جدول (۶)، امکان تخمین مقادیر آلودگی فرابنفش از روی آلودگی طیف مرئی وجود دارد.

با توجه به این توضیحات در خصوص دریاچه ارومیه، تغییرات آلودگی فرابنفش پهنه آبی مشابه تغییرات آلودگی طیف مرئی و تغییرات آلودگی فرابنفش پهنه خشک شده با حدود ۴۰ درصد کاهش روندی مشابه با تغییرات آلودگی پهنه خشک شده دریاچه خواهد داشت. فرضیات زیر در انجام تحلیل‌ها روی آلودگی فرابنفش در نظر گرفته شده است:

۱. اثری که چگالی آب روی مقدار آلودگی طیف مرئی دارد بر روی آلودگی فرابنفش نیز خواهد داشت. به این معنا که تغییرات آلودگی فرابنفش با مقدار چگالی آب مشابه تغییرات آلودگی طیف مرئی خواهد بود.
۲. همچنین با توجه به نبودن داده از بازتابش UV از سطح شوره‌زار، جنس غالب بستر خشک شده دریاچه، ماسه ایی فرض شده است. بنابراین نمودار تغییرات آلودگی فرابنفش با یک جابه‌جایی ۴۰ درصدی مشابه نمودار تغییرات آلودگی مرئی خواهد بود.

در ادامه نتایج بدست آمده از بررسی تغییرات آلودگی 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 می‌گیرد.

## ۴- نتایج

در این قسمت ابتدا مقادیر آلودگی آسمان سیاه و سفید در محدوده دریاچه و دریاچه خشک شده برای دو سال ۲۰۱۰ و ۲۰۱۳ به عنوان نمونه با هم مقایسه شده و نشان داده می‌شود که تفاوت چندانی بین مقادیر این دو پارامتر وجود ندارد و تقریباً مقادیر آنها در سطح دریاچه و دریاچه خشک شده یکسان می‌باشد.

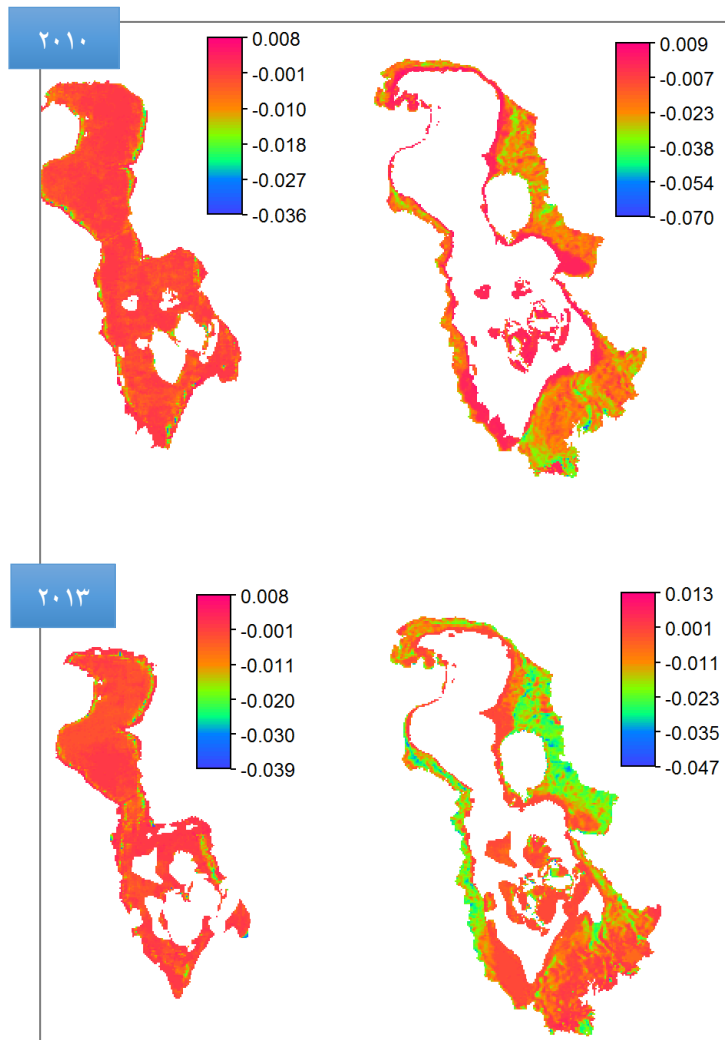
در ادامه تغییرات مکانی و زمانی آلودگی در سطح دریاچه و بخش خشک شده دریاچه مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای ریشه‌یابی این تغییرات، مقادیر آلودگی در کنار مقادیر تراز، سطح و چگالی آب دریاچه و همچنین سطح دریاچه خشک شده در سال‌های مختلف رسم شده و همبستگی این پارامترها با مقادیر آلودگی محاسبه می‌شود. نهایتاً پارامترهای موثرتر در تغییر مقادیر آلودگی مشخص خواهند شد.

#### ۴-۱- تفاوت آلودگی آسمان سیاه و سفید در محدوده دریاچه و اطراف آن

آلودگی آسمان آبی با استفاده از رابطه (۱) که در بخش (۱-۳) آورده شده است، از روی مقدار آلودگی آسمان سیاه و سفید ساخته می‌شود. در صورتی که آلودگی آسمان سیاه و سفید اختلاف کمی با یکدیگر داشته باشند، می‌توان گفت آلودگی آسمان آبی همان آلودگی آسمان سیاه یا سفید است و می‌توان از یکی از آن‌ها به جای آلودگی آسمان آبی استفاده کرد. همان‌طور که در شکل (۸) و جدول (۷) نشان داده شده است، مقادیر اختلاف بین آلودگی آسمان سیاه و سفید در محدوده دریاچه و حوضه ناچیز بوده؛ به طوری که میانگین وزنی تفاوت‌ها تقریباً در دریاچه و نواحی اطراف آن برابر صفر می‌باشد. البته این اختلاف در نواحی اطراف دریاچه به طور متوسط بیش‌تر از خود دریاچه می‌باشد، ولی با توجه به کوچک بودن این اختلاف می‌توان از آن صرف نظر کرد. بنابراین می‌توان در ادامه کار، تحلیل‌ها را براساس آلودگی آسمان سیاه یا سفید به عنوان نماینده‌ای از آلودگی آسمان آبی انجام داد. در این تحقیق تغییرات زمانی - مکانی هر دو نوع آلودگی (آسمان سیاه و سفید) مورد بررسی قرار گرفته است.

جدول ۷- تفاوت مقادیر آلودگی آسمان سیاه و سفید در محدوده دریاچه و پهنه خشک شده دریاچه در سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۳

پهنه خشک شده دریاچه			دریاچه			تفاوت آلودگی آسمان سیاه و سفید
میانگین	حداکثر	حداقل	میانگین	حداکثر	حداقل	
-۰/۰۱	۰/۰۰۹	-۰/۰۰۷	۰	-۰/۰۳۶	۰/۰۰۸	سال ۲۰۱۰
-۰/۰۱	۰/۰۱۳	-۰/۰۴۷	۰	-۰/۰۳۹	۰/۰۰۸	سال ۲۰۱۳

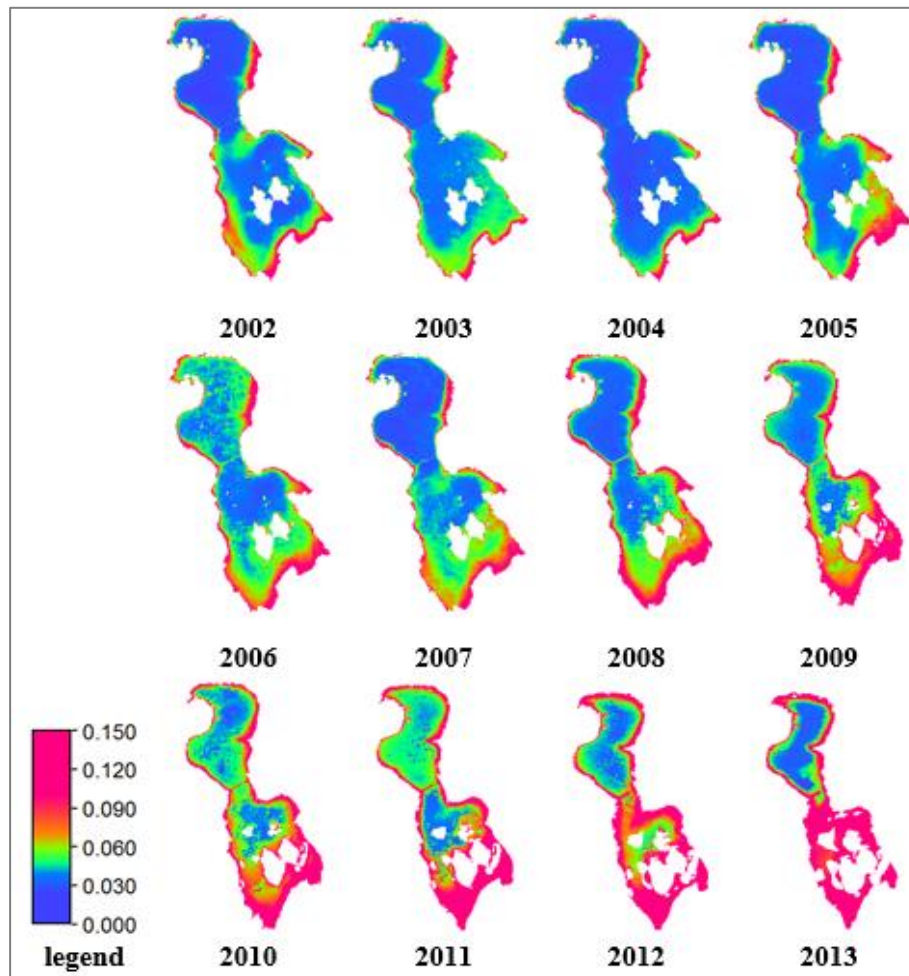


شکل ۸- تفاوت مقادیر آلبدوی آسمان سیاه و سفید در سالهای ۲۰۱۰ (بالا) و ۲۰۱۳ (پایین) در محدوده دریاچه (چپ) و دریاچه خشک شده (راست)

#### ۴-۲- تغییرات مکانی آلبدو

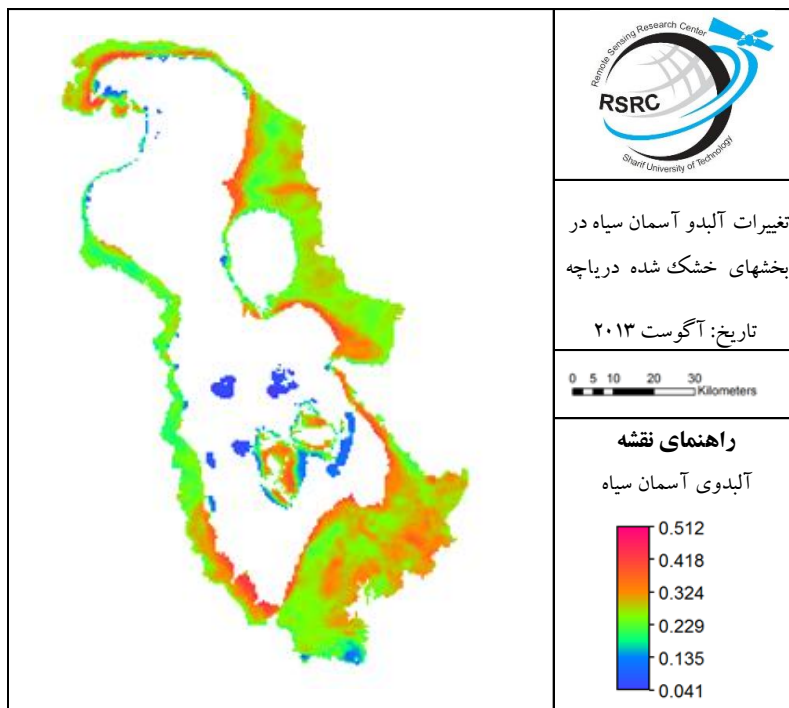
همان طور که در شکل (۹) مشاهده می‌شود، مقادیر آلبدو در نواحی میانی دریاچه که عمیق تر است، کمتر بوده و با نزدیک شدن به نواحی ساحلی دریاچه، مقادیر آلبدو نیز افزایش می‌یابد. از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۷ میلادی، آلبدو نیمه شمالی تغییر زیادی نداشته، اما آلبدو نیمه جنوبی در قسمت جنوب و جنوب شرق آن افزایش پیدا کرده است. از سال ۲۰۰۷ تا سال ۲۰۱۳ تغییرات آلبدو در هر دو نیمه شمالی و جنوبی به وضوح شدت گرفته

است. در قسمت شمالی نیز مساحت دریاچه کم شده و مشاهده می‌شود که میانگین آلودگی ناحیه شمالی نیز در سال ۲۰۱۱ تا ۰/۰۷ افزایش پیدا کرده است.

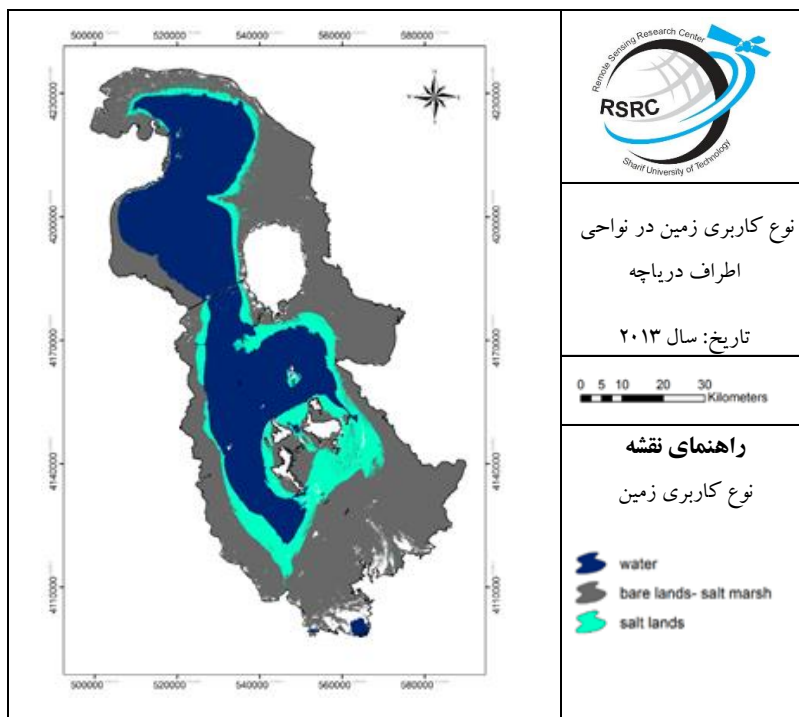


شکل ۹- تغییرات مکانی - زمانی آلودگی طول موج کوتاه آسمان سیاه در محدوده آبی دریاچه ارومیه

تغییرات مکانی آلودگی در پهنه خشک شده اطراف دریاچه با توجه به کاربری زمین تغییر می‌کند. همانطور که در شکل (۱۰) مشاهده می‌شود، مقادیر آلودگی در شوره زارهای دور دریاچه که با رنگ آبی کم رنگ در شکل (۱۱) مشخص شده‌اند، بیشترین مقدار و با دور شدن از ساحل دریاچه و در نواحی که بیشتر از زمین بایر تشکیل شده‌اند، مقدار آلودگی نیز کاهش می‌یابد.



شکل ۱۰- مقدار آلودگی آسمان سیاه در نواحی به جا مانده از خشک شدن دریاچه در سال ۲۰۱۳



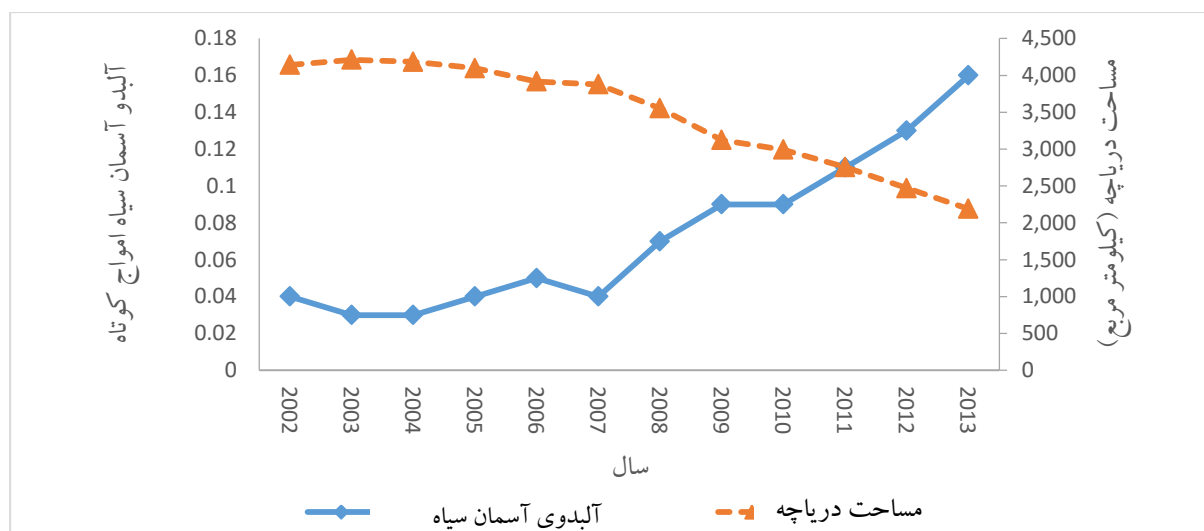
شکل ۱۱- نوع کاربری زمین در نواحی اطراف دریاچه در سال ۲۰۱۳

### ۴-۳- تغییرات زمانی آلودگی

#### ۴-۳-۱- محدوده دریای ارومیه

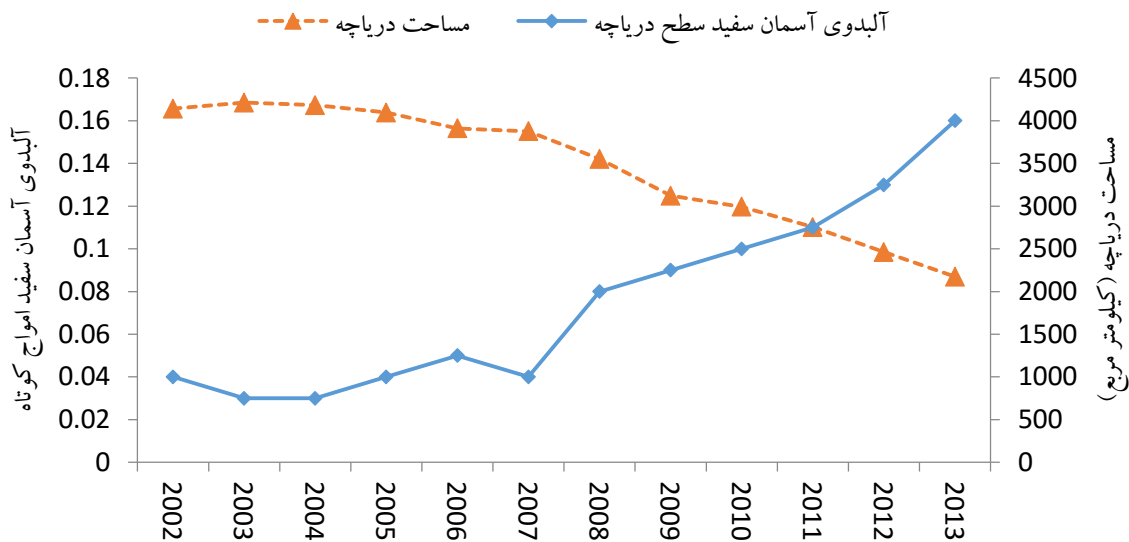
##### ۴-۳-۱-۱- آلودگی در محدوده امواج کوتاه

در شکل (۱۲)، تغییرات آلودگی آسمان سیاه سطح دریای ارومیه و مساحت آن در سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۳ میلادی به طور هم زمان بررسی شده است. همان طور که در این نمودار مشخص است، به طور کلی با کاهش سطح دریای ارومیه میزان آلودگی سطح آب آن افزایش یافته است؛ اما در بعضی سال‌ها مثل سال ۲۰۰۷، با وجود کاهش سطح دریای ارومیه نسبت به سال قبل آن، شاهد کاهش آلودگی هستیم. علاوه بر این موضوع با مقایسه نمودارها درمی‌یابیم که نرخ رشد مقدار آلودگی از سال ۲۰۰۷ به بعد نسبت به سال‌های گذشته افزایش داشته و این اتفاق زمانی رخ داده که تراز آب دریای ارومیه از ۱۲۷۳ متر پایین تر رفته است.



شکل ۱۲- تغییرات زمانی مساحت دریای ارومیه و میزان آلودگی آسمان سیاه برای روز ۲۲۵

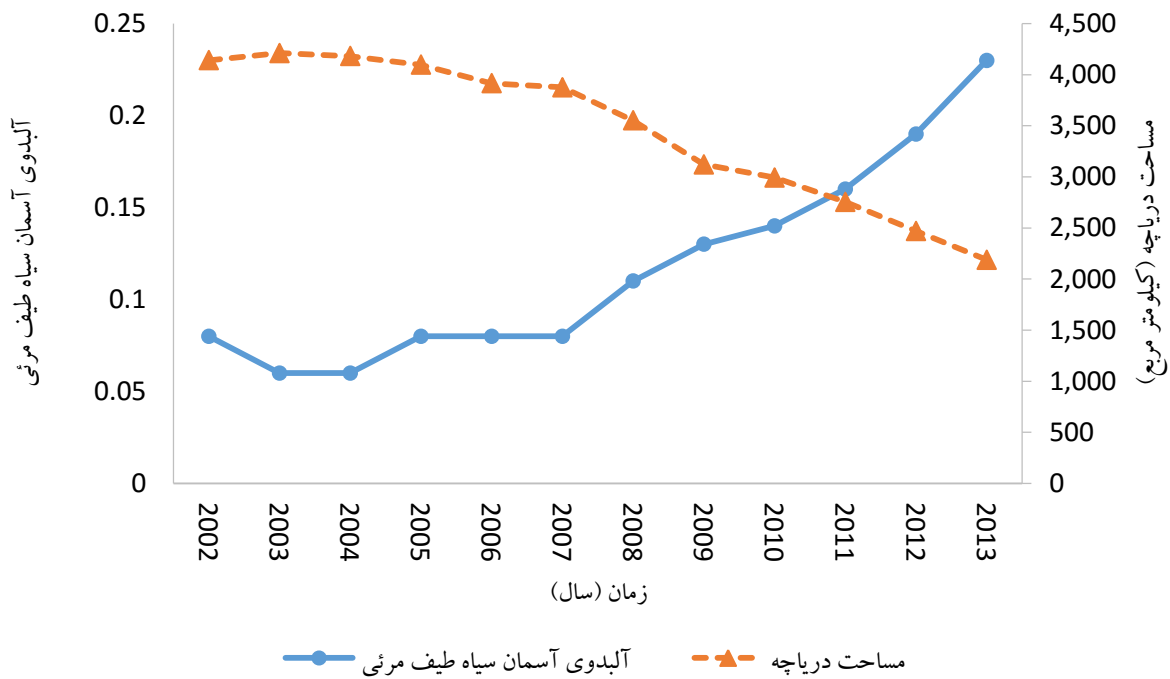
در شکل (۱۳) مشاهده می‌شود که همانند تصاویر بلک اسکای از سال ۲۰۰۲ تا سال ۲۰۱۳ میلادی، آلودگی وایت اسکای دریای ارومیه نیز از محدوده ۰/۰۴ در سال‌های ابتدایی مطالعه به ۰/۱۶ در سال ۲۰۱۳ افزایش پیدا کرده است. این افزایش آلودگی هم زمان با کاهش سطح دریای ارومیه بوده و به طور کلی شاهد آن هستیم که هرچه سطح دریای ارومیه کاهش می‌یابد، آلودگی آب دریای ارومیه افزایش پیدا می‌کند.



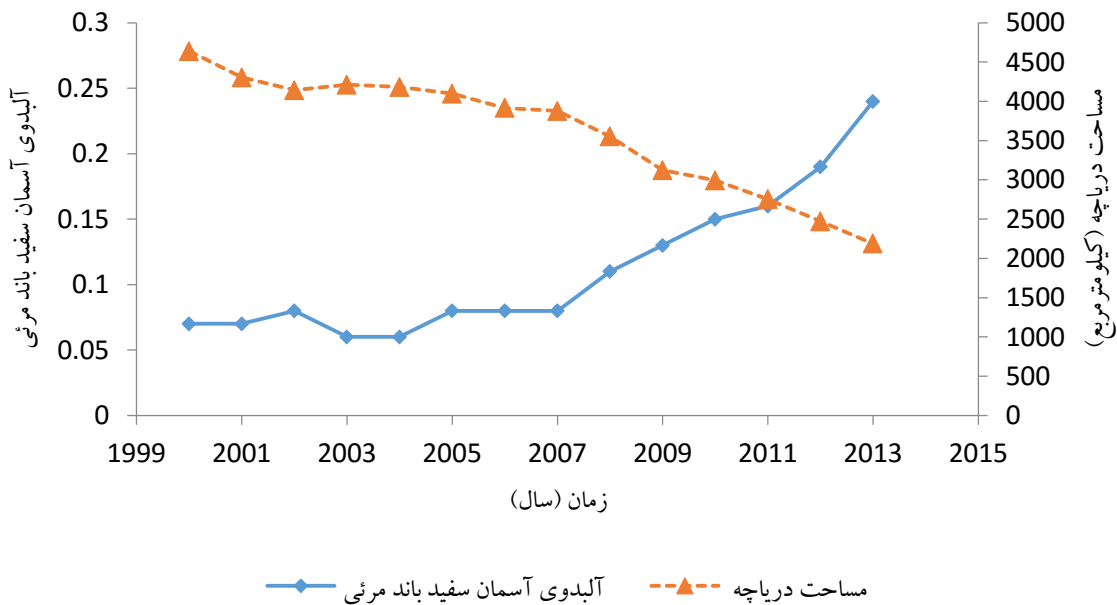
شکل ۱۳- تغییرات زمانی آلودگی طول موج کوتاه آسمان سفید و مساحت دریاچه ارومیه برای روز ۲۲۵ هر سال

#### ۴-۱-۳-۲- آلودگی طیف فرابنفش

مقادیر آلودگی سطح برای طیف مرئی امواج الکترومغناطیس در سطح دریاچه بین سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ میلادی در دو حالت آسمان سیاه و آسمان سفید در شکل (۱۴) و (۱۵) نشان داده شده است. همان طور که در بخش (۳-۳) 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. همان طور که در این شکل ها مشخص است، مقدار آلودگی آسمان سیاه و سفید تا سال ۲۰۰۷ تقریباً تغییر محسوسی نداشته، ولی از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۳ به طور پیوسته افزایش یافته است. به طوری که در سال ۲۰۱۳ مقدار آن تقریباً ۳ برابر مقدار سال ۲۰۰۷ شده است.



شکل ۱۴- تغییرات زمانی آلودگی آسمان سیاه طیف مرئی و مساحت دریاچه ارومیه برای روز ۲۲۵ هر سال

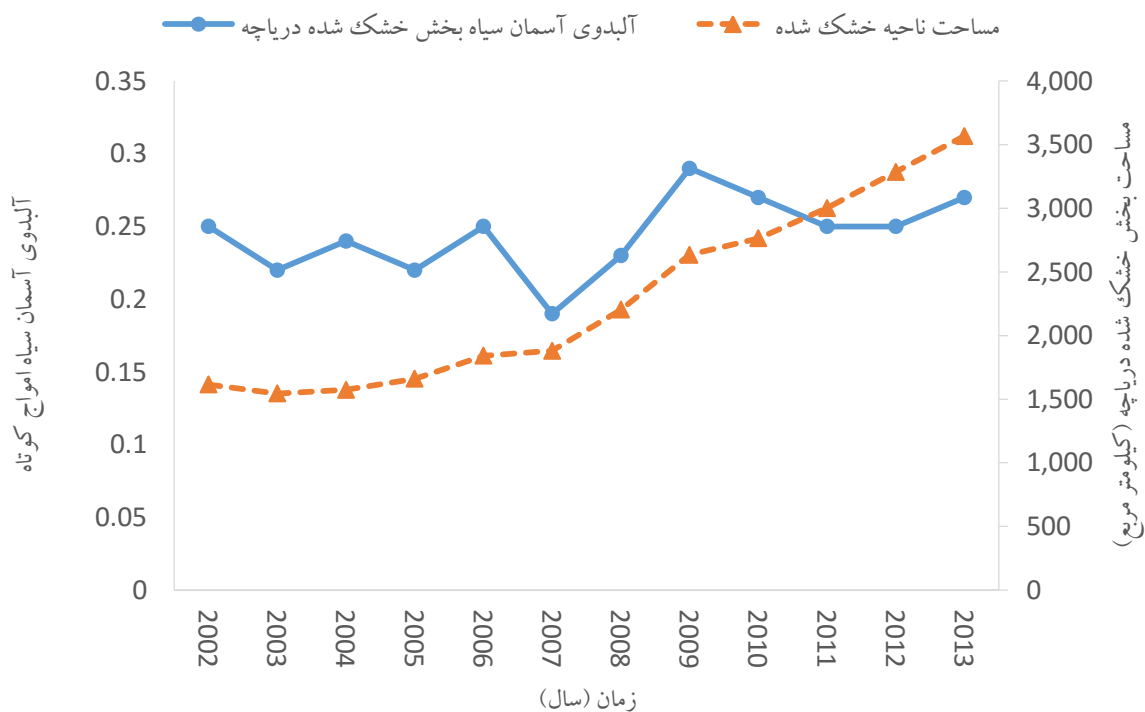


شکل ۱۵- تغییرات زمانی آلودگی آسمان سفید طیف مرئی و مساحت دریاچه ارومیه برای روز ۲۲۵ هر سال

#### ۴-۳-۲- پهنه باقی مانده از خشک شدن دریایچه

#### ۴-۳-۱- آلودگی طول موج کوتاه

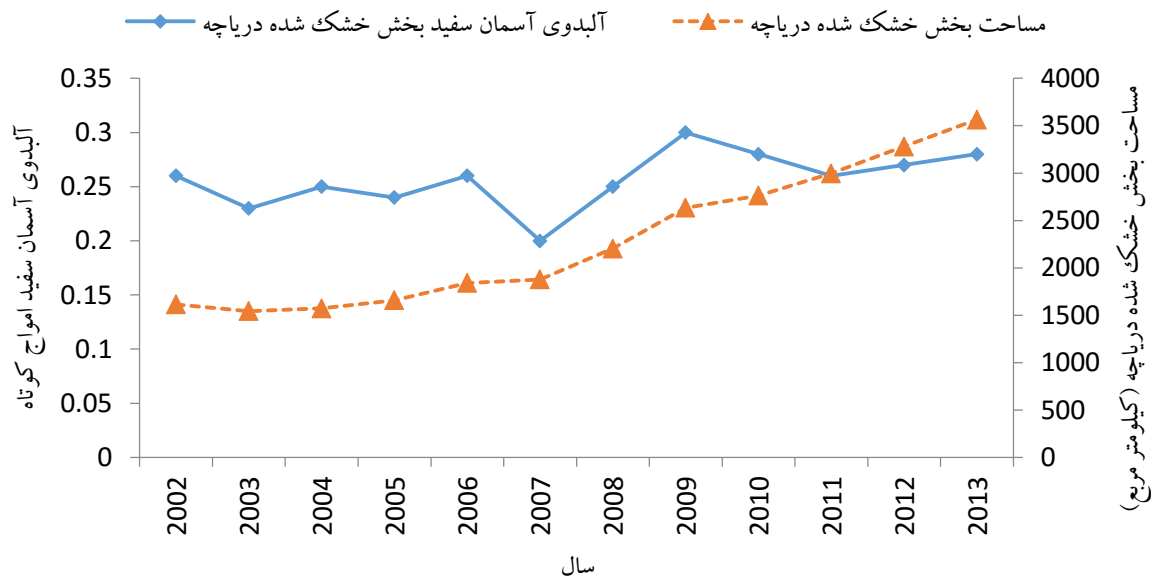
در این قسمت نتایج سنجش میزان آلودگی آسمان سیاه برای بخش خشک شده دریایچه و نقاط میانی آن آورده شده است. در شکل (۱۶) میزان آلودگی سطح و مساحت بخش خشک شده دریایچه در روز ۲۲۵ سال های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۳ آورده شده است. همان طور که در این شکل مشاهده می شود، افزایش سطح این ناحیه رابطه مشخصی با روند تغییرات آلودگی ندارد؛ اما در این بین روند تغییرات آلودگی در سال های اخیر قابل توجه است. طبق این نمودار نوسانات آلودگی ناحیه باتلاقی بین سالهای ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۹ از ۰/۲ تا ۰/۳ افزایش و سپس کاهش یافته و به طور میانگین در محدوده ۰/۲۵ قرار می گیرد.



شکل ۱۶- تغییرات زمانی مساحت بخش خشک شده دریایچه و میزان آلودگی در روز ۲۲۵

نمودار شکل (۱۷) نیز تغییرات سالانه مساحت بخش خشک شده دریایچه و آلودگی آسمان سفید آن را نمایش می دهد. همان طور که شاهد هستیم مساحت این ناحیه در طی سال های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۳ از ۱۵۰۰ کیلومتر

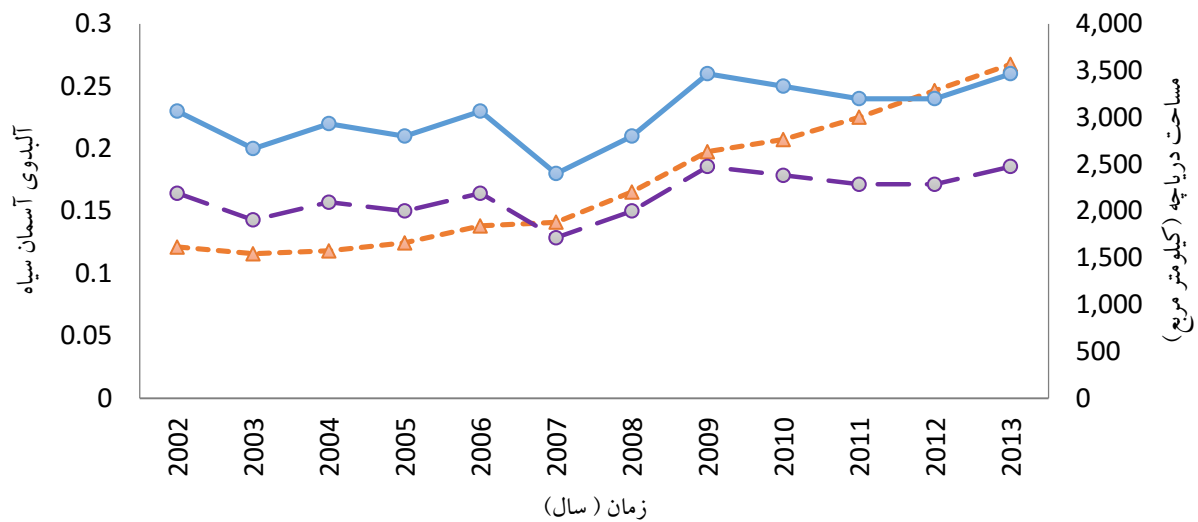
مربع به ۳۵۰۰ کیلومتر مربع افزایش پیدا کرده، اما آلودگی این ناحیه تقریباً ثابت بوده است و از الگوی مشابهی نسبت به تغییرات مساحت پیروی نمی‌کند.



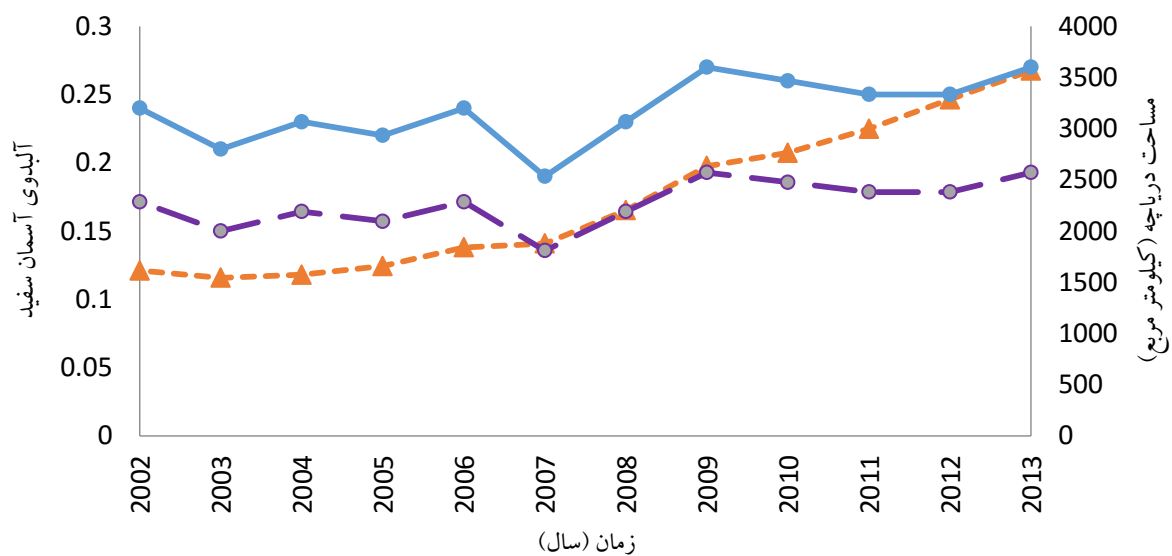
شکل ۱۷- نمودار تغییرات آلودگی طول موج کوتاه آسمان سفید و سطح برای ناحیه خشک شده اطراف دریایچه ارومیه در روز ۲۲۵ هر سال

#### ۴-۲-۳-۲- آلودگی طیف فرابنفش

در این قسمت تغییرات آلودگی مرئی بین سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۳ در کنار سطح بخش خشک شده دریایچه رسم شده است. مقادیر آلودگی سطح برای طیف مرئی دو حالت آسمان سیاه و آسمان سفید در شکل (۱۸) و (۱۹) رسم شده است. نتایج نشان می‌دهد که مانند امواج کوتاه، افزایش سطح این ناحیه رابطه مشخصی با روند تغییرات آلودگی ندارد. اما در این بین روند تغییرات آلودگی در سال‌های اخیر قابل توجه است. طبق این نمودار نوسانات آلودگی ناحیه باتلاقی بین سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۹ تقریباً ۰/۱ افزایش می‌یابد و سپس با اندکی کاهش به طور میانگین در محدوده ۰/۲۳ قرار می‌گیرد. با توجه به توضیحاتی که در بخش (۳-۳) آورده شد، نمودار آلودگی فرابنفش با مقداری کاهش نسبت به نمودار آلودگی مرئی به اندازه ۴۰ درصد به سمت پایین جابه‌جا خواهد شد.



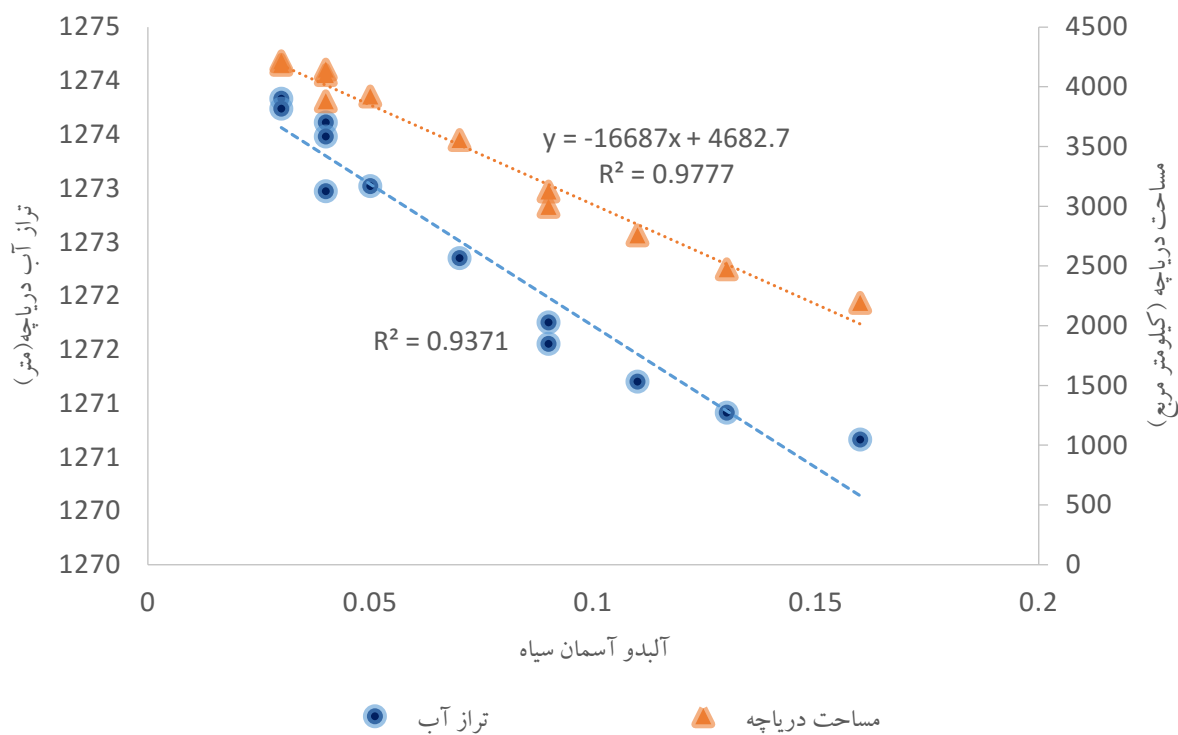
شکل ۱۸- نمودار تغییرات آلودگی طیف مرئی بخش خشک شده دریایچه و مساحت ناحیه خشک شده دریایچه و فرابنفش آسمان سیاه در روز ۲۲۵ هر سال



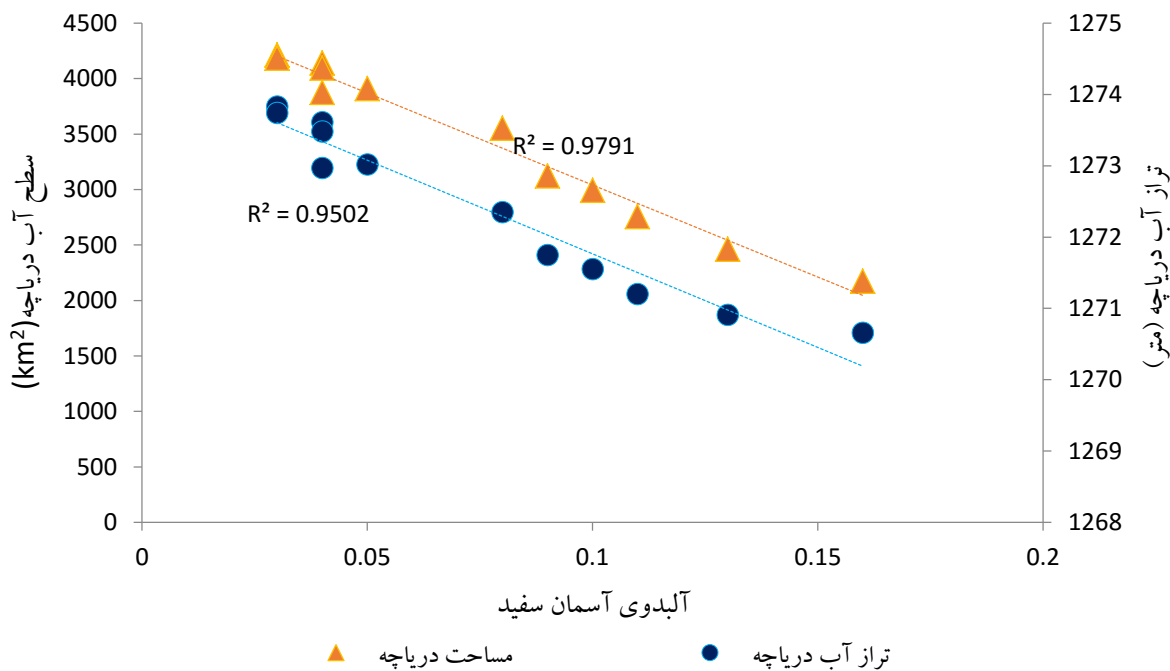
شکل ۱۹- نمودار تغییرات آلودگی طیف مرئی و فرابنفش آسمان سفید و سطح بخش خشک شده دریایچه در روز ۲۲۵ هر سال

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

همان طور که در شکل (۲۰) نشان داده شده است، با کاهش ارتفاع آب میزان آلودگی آن با روندی خطی افزایش می‌یابد. این افزایش آلودگی می‌تواند ناشی از کاهش مساحت دریاچه یا افزایش شوری آب دریاچه باشد. عمق پهنه آبی که خورشید به آن می‌تابد نیز ممکن است روی میزان آلودگی تاثیر گذار باشد، که این مساله نیز در ادامه بررسی می‌شود. در شکل (۲۰) و (۲۱) میزان تغییرات آلودگی با توجه به تغییرات مساحت و تراز دریاچه در دو حالت آسمان سیاه و سفید رسم و مقدار همبستگی با دیگر پارامترهای مربوط به دریاچه محاسبه شده است. مطابق این نمودار با افزایش سطح و تراز آب دریاچه، میزان آلودگی کاهش می‌یابد.



شکل ۲۰- تغییرات تراز آب و مساحت دریاچه ارومیه در مقابل میزان آلودگی آسمان سیاه برای روز ۲۲۵ طی سالهای ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۳



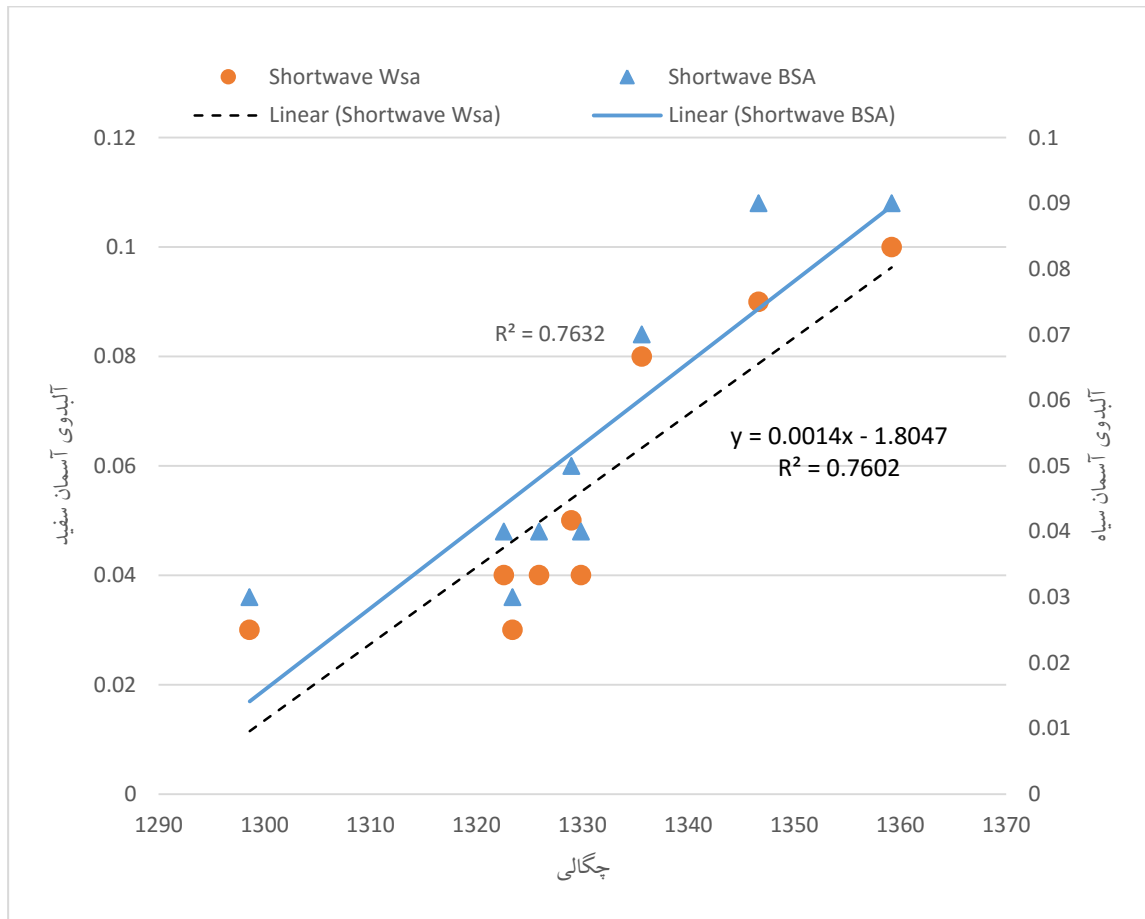
شکل ۲۱- تغییرات تراز آب و مساحت دریاچه ارومیه در مقابل میزان آلودگی آسمان سفید برای روز ۲۲۵ سالهای ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۳

#### ۴-۴-۱- بررسی همبستگی تغییرات چگالی و آلودگی

نمونه گیری‌های انجام شده روی آب دریاچه ارومیه نشان می‌دهند که تغییرات چگالی آب دریاچه بین سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۰ مطابق جدول (۸) بوده است (حسین پور، ۱۳۹۱). نمودار چگالی آب دریاچه در مقابل آلودگی WSA و BSA در شکل (۲۲) رسم شده است. مشاهده می‌شود با افزایش چگالی آب دریاچه، آلودگی 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 آلودگی به علت افزایش غلظت نمک در آب دریاچه بوده است.

جدول ۸- چگالی آب دریاچه ارومیه در طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ میلادی (کیلوگرم بر متر مکعب)

۲۰۱۰	۲۰۰۹	۲۰۰۸	۲۰۰۷	۲۰۰۶	۲۰۰۵	۲۰۰۴	۲۰۰۳	۲۰۰۲	۲۰۰۱
۱۳۵۹/۲	۱۳۴۶/۶	۱۳۳۵/۶	۱۳۲۹/۹	۱۳۲۹	۱۳۲۵/۹	۱۳۲۳/۴	۱۲۹۸/۶	۱۳۲۲/۶	۱۳۰۹



شکل ۲۲- نمودار رابطه چگالی آب دریاچه ارومیه با آلبدوی سطح آن در روز ۲۲۵ سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۰

#### ۴-۵- جمع بندی نتایج

خلاصه تغییرات مقادیر آلبدوی دریاچه در فاصله سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۷، ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۳ و ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۴ برای پیکره آبی دریاچه، نواحی باقی مانده از خشک شدن آن و مجموع این دو در دو جدول (۹) و (۱۰) آورده شده است.

جدول ۹- تغییرات مقادیر آلودگی دریاچه در فاصله سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۷، ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۳ و ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۳ برای پیکره اصلی دریاچه، نواحی باقی مانده از خشک شدن آن و مجموع این دو

تغییرات زمانی آلودگی در محدوده دریاچه				سال
فرابنفش (برآورد از روی آلودگی مرئی)		طول موج کوتاه		
WSA	BSA	WSA	BSA	
مساحت: نصف / آلودگی ۳ برابر	مساحت: نصف / آلودگی ۳ برابر (از ۰/۰۸ به ۰/۲۳)	مساحت: نصف / آلودگی ۴ برابر	مساحت: نصف / آلودگی ۴ برابر	۲۰۰۲ تا ۲۰۱۳
آلودگی ثابت	آلودگی ثابت (۰/۰۸)	آلودگی ثابت	مساحت: ۷ درصد کاهش، آلودگی ثابت (۰/۰۴)	۲۰۰۷ تا ۲۰۰۲
آلودگی ۳ برابر (از ۰/۰۸ به ۰/۲۴)	آلودگی ۳ برابر (از ۰/۰۸ به ۰/۲۳)	آلودگی ۴ برابر (از ۰/۰۴ به ۰/۱۶)	مساحت: ۰/۵۶ برابر / آلودگی ۴ برابر (از ۰/۱۶ به ۰/۰۴)	۲۰۰۷ تا ۲۰۱۳
تغییرات زمانی آلودگی بخش‌های خشک شده دریاچه				سال
فرابنفش (برآورد از روی آلودگی مرئی)		طول موج کوتاه		
WSA	BSA	WSA	BSA	
از ۰/۱۵ به ۰/۲	از ۰/۱۶ به ۰/۲	از ۰/۲۶ به ۰/۲۸	از ۰/۲۵ به ۰/۲۷	۲۰۰۲ تا ۲۰۱۳
۲۰ درصد کاهش (از ۰/۲۶ به ۰/۲)	در محدوده ۰/۱۳±۰/۰۳ نوسان داشته	۲۴ درصد کاهش (از ۰/۲۵ به ۰/۱۹)	۲۴ درصد کاهش (از ۰/۲۵ به ۰/۱۹)	۲۰۰۲ تا ۲۰۰۷
۴۲ درصد افزایش داشته (از ۰/۱۲ به ۰/۲)	۴۲ درصد افزایش داشته (از ۰/۱۲ به ۰/۲)	۴۰ درصد افزایش داشته (از ۰/۲۸ به ۰/۲)	۴۲ درصد افزایش داشته (از ۰/۲۷ به ۰/۱۹)	۲۰۰۷ تا ۲۰۱۳

جدول ۱۰- تغییرات مقادیر آلودگی دریاچه در فاصله سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۷، ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۳ و ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۳ برای پیکره اصلی دریاچه، نواحی باقی مانده از خشک شدن آن و مجموع این دو (ادامه)

تغییرات زمانی آلودگی در محدوده دریاچه و بخش‌های خشک شده دریاچه در کنار هم				سال
فرابنفش		طول موج کوتاه		
WSA	BSA	WSA	BSA	
۹۰ درصد افزایش داشته (از ۰/۲۱ به ۰/۱۱)	۱۰۰ درصد افزایش داشته (از ۰/۱ به ۰/۲)	۱۳۰ درصد افزایش داشته (از ۰/۱ به ۰/۲۳)	۱۳۰ درصد افزایش داشته (از ۰/۱ به ۰/۲۳)	۲۰۰۲-۲۰۱۳
حول ۰/۱ نوسان داشته	در محدوده ۰/۰۸ تا ۰/۱۱ نوسان داشته	۰/۰۱ کاهش (از ۰/۰۹ به ۰/۱)	۰/۰۱ کاهش (از ۰/۰۹ به ۰/۱)	۲۰۰۲-۲۰۰۷
۶۰ درصد افزایش (از ۰/۱۳ به ۰/۲۱)	۵۴ درصد افزایش	۱۵۵ درصد افزایش (از ۰/۰۹ به ۰/۲۳)	۱۵۵ درصد افزایش (از ۰/۰۹ به ۰/۲۳)	۲۰۰۷-۲۰۱۳

به طور خلاصه همبستگی آلودگی آسمان سیاه و سفید با پارامترهای مختلف در جدول (۱۱) آورده شده است. شیب رابطه همبستگی آلودگی با دانسیته به مراتب بیش تر از این شیب در رابطه همبستگی آلودگی با تراز و سطح می باشد. یعنی با تغییر اندکی در میزان دانسیته دریاچه، مقدار آلودگی تغییر زیادی می کند. البته همبستگی آلودگی و دانسیته کمتر از آلودگی و تراز آب می باشد.

جدول ۱۱- مقدار ضریب  $R^2$  بین آلودگی و پارامترهای تراز، سطح و چگالی آب دریاچه ارومیه در محدوده دریاچه و پهنه خشک شده دریاچه برای امواج کوتاه

بخش خشک شده دریاچه	بدنه آبی دریاچه			
	چگالی آب	سطح	تراز	آلودگی
مساحت	۰/۷۶	۰/۹۷	۰/۹۳	BSA
۰/۳۴	۰/۷۶	۰/۹۷	۰/۹۵	WSA

## ۵- نتیجه گیری

### ۵-۱- امواج با طول موج کوتاه

بررسی تغییرات آلودگی در برابر دو متغیر تراز آب دریاچه و دانسیته آب نشان می دهد که کاهش مقادیر آلودگی، کاهش تراز آب دریاچه (که کم شدن عمق و کاهش سطح دریاچه را با خود به همراه دارد) و افزایش شوری آب دریاچه را به دنبال خواهد داشت. بنابراین شوری یا کاهش عمق آب دریاچه هر دو می توانند عامل افزایش آلودگی باشند. نتایج این مطالعه نشان می دهد که بین تغییرات تراز و آلودگی نسبت به تغییرات دانسیته و آلودگی همبستگی بیشتری وجود دارد. علاوه بر این، تغییرات مکانی آلودگی در سطح دریاچه نیز کمتر بودن آلودگی در نواحی عمیق و بیش تر بودن آن در نواحی ساحلی را نشان می دهد؛ در حالی که مقدار دانسیته آب تغییرات زیادی در سطح دریاچه ندارد. بررسی تغییرات میانگین آلودگی محدوده خشک شده اطراف دریاچه در سال های مختلف افزایش ۸ درصدی آن را نشان می دهد. این مقدار برای سطح دریاچه طی سال های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۳ میلادی تقریباً ۴ برابر شده است.

نتایج همچنین نشان می دهد که از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۳ میلادی مقادیر آلودگی پهنه باقی مانده از خشک شدن دریاچه ۴۰ درصد افزایش یافته است. توجه به این نکته ضروری است که کاهش تراز آب دریاچه طی سال های گذشته،

سطح خشک شده اطراف دریاچه را نیز افزایش داده است. سطح ناحیه خشک شده از شوره‌زارها و زمین‌های بایر تشکیل شده که در آن با توجه به شکل (۵)، مساحت شوره‌زارها رشد بیش‌تری را در فاصله سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۳ نسبت به مساحت زمین‌های بایر داشته است. از طرف دیگر با توجه به شکل (۱۰) مشخص می‌شود که مقدار آلودگی در نواحی شوره‌زار اطراف دریاچه از زمین‌های بایر بیشتر است. بنابراین افزایش ۴۰٪ آلودگی طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۳ میلادی در محدوده دریاچه خشک شده قابل توجه می‌باشد.

بنابراین به طور خلاصه می‌توان گفت:

- محدوده تغییرات آلودگی سطح دریاچه ارومیه بر حسب شوری و عمق از ۰/۰۲ تا ۰/۱۶ طی سال‌های مختلف متغیر است.
- به لحاظ تغییرات مکانی آلودگی سطح دریاچه از نواحی ساحلی کم عمق به طرف نواحی مرکزی عمیق‌تر کاهش می‌یابد. همچنین در محدوده خشک شده اطراف دریاچه شوره‌زارها آلودگی بیشتری نسبت به زمین‌های بایر دارند.
- همبستگی معکوسی بین تراز آب دریاچه و آلودگی سطح آن مشاهده می‌شود.
- از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۳ میلادی، آلودگی سطح آب دریاچه ۴ برابر و آلودگی کل محدوده دریاچه و نواحی خشک شده اطراف دریاچه ۲/۵ برابر شده است. همچنین طی این دوره، آلودگی ناحیه خشک شده اطراف دریاچه نیز بیش از ۴۰٪ افزایش یافته است.
- بین چگالی آب دریاچه و میانگین آلودگی آن همبستگی مستقیم وجود دارد.
- شیب رابطه آلودگی و چگالی آب نشان می‌دهد که تغییر اندکی در میزان چگالی می‌تواند آلودگی آب را به شدت تغییر دهد.

## ۵-۲- امواج ماورای بنفش

- مقدار آلودگی فرابنفش با توجه به مقادیر آلودگی مرئی برآورد شد. نتایج نشان می‌دهد با نصف شدن سطح دریاچه بین سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۳ میلادی، مقدار آلودگی فرابنفش سه برابر شده است.
- مقدار آلودگی بخش خشک شده دریاچه تغییر چندانی نداشته، ولی در فاصله سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۳ به طور پیوسته به مقدار ۵۰ درصد زیاد شده است.

- با توجه به جدول (۲)، تغییر در مقدار آلودگی ارتباط مستقیم با تغییر در مقدار تشعشعات ماورای بنفش دارد. بنابراین تبدیل شدن پهنه آبی به شوره‌زار و ماسه خشک، با افزایش مقدار آلودگی (جدول ۶)، مقدار کلی تشعشعات ماورای بنفش را نیز افزایش داده است.
- نکته قابل توجه در مورد آلودگی فرابنفش مقدار اندک آن در مناطق دارای پوشش گیاهی مانند چمن‌زارهاست (آلودگی UV در سطوح ماسه‌ای در حدود ۱۲ درصد است در حالی که آلودگی چمن‌زار در حدود ۲٪ می‌باشد (جدول ۶)). کاشتن گیاهان شورپسند در نواحی خشک شده می‌تواند علاوه بر جلوگیری از بلند شدن گردوغبار، مقدار تشعشعات ماورای بنفش را نیز کاهش دهد.

## ۶- پیشنهادات

- موارد زیر جهت انجام تحقیقات تکمیلی پیشنهاد می‌شود:
- بررسی تغییرات آلودگی با توجه به نوع کاربری زمین (زمین بایر یا شوره‌زار) به طور جداگانه، جهت به دست آوردن دقیق‌تر عامل تغییرات مقدار تشعشعات بازگشتی در محدوده خشک شده اطراف دریاچه
  - بررسی اثرات آلودگی روی میکرو اقلیم منطقه
  - پیش بینی اثر خشکی کامل دریاچه روی میکرو اقلیم منطقه
  - بررسی اثر شوری آب روی مقدار آلودگی فرابنفش. در این مطالعه فرض شده که مقدار آلودگی مرئی و فرابنفش آب در آب‌های با چگالی مختلف یکسان است. صحت این فرض می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد.
  - برآورد مقدار آلودگی فرابنفش در پهنه‌های خشک نمکی، به این ترتیب می‌توان با توجه به نوع زمین ارتباط دقیق‌تری را بین آلودگی مرئی و فرابنفش برقرار کرد.

## ۷- مراجع

- ۱- مرکز تحقیقات سنجش از دور دانشگاه صنعتی شریف. (۱۳۹۳). گزارش تعیین کاربری اراضی حوضه آبریز ارومیه در سال ۱۳۹۳، کد گزارش: TR-۹۴-۵
- ۲- حسین پور، م. (۱۳۹۱). شیمی فیزیک دریاچه ارومیه، محاسبه پارامترهای شیمی فیزیکی (مقدار و سرعت ته نشینی نمک) در شورابه‌های دریاچه ارومیه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه ارومیه
- 3- Bray, J., Sanger, J., & Archer, A. (1966). The visible albedo of surfaces in central Minnesota. *Ecology*, 47(4): 524–531.
- 4- Burman, R., & Pochop, L.O. (1994). Evaporation, evapotranspiration and climate data. In *Developments in Atmospheric Science*. New York: Elsevier Science B.V.
- 5- Chadyšienė, R., & Girgždys, A. (2008). Ultraviolet radiation albedo of natural surfaces, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 16(2): 83–88
- 6- 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: 135–147.
- 7- EPA fact sheet. (2010). UV radiation. Office of Air and Radiation (6205J); June 2010; EPA 430-F-10-025
- 8- Jin, Y., Schaaf, C. B., Woodcock, C. E., Gao, F., Li, X., Strahler, A. H., Lucht, W., & 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.
- 9- Lensky, N. G., Dvorkin, Y., Lyakhovskiy, V., Gertman, I., & Gavrieli, I. (2005). Water, salt, and energy balances of the Dead Sea, *Water Resour. Res.*, 41, W12418, doi:10.1029/2005WR004084.
- 10- Lewis, P., Disney, M. I., Barnsley, M. J., & Muller, J.P. (1999). Deriving albedo for HAPEX-Sahel from ASAS data using kernel-driven BRDF models. *Hydrology and Earth System Sciences* 3:1–13.
- 11- Li, Z. Q., & Garand, L., (1994). Estimation of surface albedo from space—a parameterization for global application. *J. Geophys. Res.* 99:8335–8350.
- 12- 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. doi:10.1016/S0034-4257(02)00092-5
- 13- Long, C. (2006). UV Index. National Oceanic and Atmospheric Administration, National Weather Service, National Centers for Environmental Prediction, Climate Prediction Center.
- 14- Lucht, W., Hyman, A. H., Strahler, A. H., Barnsley, M. J., Hobson, P., & 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), 85–98. doi:10.1016/S0034-4257(00)00125-5

- 15- Pape, M., & Vohland, M., (2010). A comparison of total shortwave surface albedo retrievals from MODIS and TM data. ISPRS Commission VII Mid-Term Symposium '100 Years ISPRS - Advancing Remote Sensing Science', Wagner, W. & Székely (eds.), Vienna, July 5-7, 2010, Vol. XXXVIII – Part 7B, 447-451.
- 16- Ritter, M.E. The Physical Environment: an Introduction to Physical Geography. Chapter 4: [Energy and Radiation](http://www.uwsp.edu/geo/faculty/ritter/geog101/textbook). (2006). <http://www.uwsp.edu/geo/faculty/ritter/geog101/textbook>
- 17- Salomon, J. G., Schaaf, C. B., Strahler, A. H., Gao, F., & 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, 1555–1565.
- 18- 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, 46–60.
- 19- 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.
- 20- UNEP and GEAS, (2012). The drying of Iran's Lake Urmia and its environmental consequences. *J. Environ. Dev*, 2, pp.128-137.
- 21- USGS website. Available at: <https://www.usgs.gov/>
- 22- Wang, K., Liu, J., Zhou, X., Sparrow, M., Ma, M. Sun, Z., & Jiang, W., (2004). 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.
- 23- Wang, K., Liang, S., Schaaf, C. L., & 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.



**Sharif University of Technology**  
**Remote Sensing Research Center**

# **Spatio-temporal Analysis of Shortwave and Ultra Violet Albedo Variation Over Urmia Lake and its Buffer zone**

**By:**

Ehsan Jalilvand  
Seyyed farid Fazel Mojtahedi  
Soroush saravani  
Somayeh Sima

August 2014