

ارزیابی تغییرات شوری آب دریاچه ارومیه در اثر خشکسالی با استفاده از سنجش از دور

۱ - محمد آذرافزا، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی زمین‌شناسی، دانشگاه یزد
m.azarafza@stu.yazd.ac.ir

۲ - محمدحسین مختاری، دکترای سنجش از دور، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد

دریافت: ۱۳۹۱/۱۰/۲۶

پذیرش: ۱۳۹۲/۰۹/۲۶

چکیده

مجموعه‌های آبی و زمین‌شناختی به عنوان یک میراث طبیعی در سال‌های اخیر در بین کشورها در سطح ملی و منطقه‌ای جایگاه ویژه‌ای پیدا کرده است. دریاچه ارومیه با وسعتی بین ۶۰۰۰-۴۵۰۰ کیلومتر مربع به عنوان بزرگ‌ترین دریاچه داخلی ایران و بیستمین دریاچه جهان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این دریاچه در خطر خشک شدن کامل قرار دارد و در طول سال‌های اخیر حدود ۷ متر کاهش سطح آب داشته است. در این مطالعه، با کمک تصاویر ماهواره لندست از ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۱؛ تغییرات شوری آب دریاچه ارومیه بررسی و مدلی از الگوی تغییرات شوری آب، ارائه شد. به این منظور، میزان انعکاس باندی و طیف موجی ثبتی در باندهای تصاویر سنجنده TM (Thematic Mapper) ماهواره لندست از آب دریاچه، استخراج و استفاده شد. در عملیات پیش پردازش، نویز تصاویر به روش رادیومتریک و هندسی تصحیح شد. سپس، با توجه به گستره تغییرات انعکاس و انطباق بین باندهای تصاویر، اقدام به بررسی تغییرات شوری در محدوده آبی دریاچه در دوره خشکسالی رخ داده گردید. با توجه به نتایج، اثرات تغییرات شوری در طی گستره زمانی معرف خشکسالی در بخش شمالی و جنوبی دریاچه بسیار متفاوت است. بر پایه مدل‌های تهیه شده، تغییرات شوری در باندهای مختلف در بخش جنوبی بیشتر از بخش شمالی است. با توجه به نتایج به دست آمده از مدل‌سازی الگوی شوری آب می‌توان بیان نمود که یک رابطه مثبت شوری در باندهای ۱ (۵۲۰-۴۵۰ نانومتر)، ۲ (۶۰۰-۵۲۰ نانومتر)، و ۴ (۹۰۰-۷۷۵ نانومتر) سنجنده TM، و رابطه منفی با گروه باندهای ۳ (۶۹۰-۶۳۰ نانومتر) و ۵ (۱۷۵۰-۱۵۵۰ نانومتر) سنجنده مورد بررسی، وجود دارد.

واژگان کلیدی: مدل‌سازی الگوی شوری آب؛ سنجش از دور؛ دریاچه ارومیه.

مقدمه

یونسکو به عنوان یکی از ۵۹ منطقه بین‌المللی میراث زمین‌شناختی "بیوسفر حفاظت شده" معرفی شده است. این دریاچه همچنین جزء تالاب‌های بین‌المللی و از نظر تنوع زیستی در فهرست مناطق مهم بین‌المللی پرندگان در کنوانسیون رامسر به ثبت رسیده است [۲۰]. آب این دریاچه بسیار شور بوده و حدود ۲۰ رودخانه دایمی و فصلی و همچنین جریان‌های زیرزمینی و فصلی دریاچه ارومیه را تغذیه می‌کند. از جمله این رودخانه‌ها می‌توان به رودخانه‌های زرینه‌رود، تلخ‌رود (آجی‌چای)، سیمینه رود، نالوچای، بارانداز چای، صوفی‌چای، قلعه چای، اسکوچایی و آمالوچای اشاره نمود [۱۸]. میزان شوری آب دریاچه ارومیه به ۳۴۰ گرم در لیتر رسیده و ۲۵۰ هزار هکتار از

هر کشوری برای محافظت از میراث‌های طبیعی خود هزینه صرف می‌کند. مجموعه‌های آبی و زمین‌شناختی به عنوان یک میراث طبیعی در سال‌های اخیر در بین کشورها در سطح ملی و منطقه‌ای جایگاه ویژه‌ای پیدا کرده‌اند. دریاچه ارومیه، به عنوان بزرگ‌ترین و منحصر به فردترین مجموعه آبی بسته ایران، در شمال غربی ایران و در میان دو استان آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی قرار داشته و دارای ۱۰۲ جزیره کوچک و بزرگ است [۱]. این دریاچه بزرگ‌ترین دریاچه داخلی ایران، بیستمین دریاچه جهان [۱۴] و بعد از دریاچه شور بحرالمت دومی دریاچه فوق اشباع نمک در دنیا به شمار می‌آید [۲۱]. این دریاچه با قدمتی در حدود نیم میلیون سال از طرف سازمان

آرتمیا) جذب انرژی بیشتری صورت گرفته و میزان تبخیر افزایش پیدا می‌کند، بنابراین موضوع بررسی میزان تبخیر از سطح دریاچه ارومیه کار چندان ساده‌ای نیست [۷].

از نظر زمین‌شناسی دریاچه ارومیه جوان به شمار می‌آید. این دریاچه پس از دوره پلیوسن شکل یافته و بعد از آخرین فعالیت یخچالی و بر اثر فعالیت‌های تکتونیکی پدید آمده است [۱۵]. از دید شرودر (Schroder) گودال این دریاچه بخشی از یک فرورفتگی ارومیه - دختر و خود یک کمر بند آتشفشانی است [۳]. نظریه دیگر این است که این دریاچه در اثر حرکت گسل ارومیه به وجود آمده است [۱۷]. که اطراف آن را کوه‌های مرتفع با ارتفاع بیش از ۲۰۰۰ متر فرا گرفته است [۱۹].

دریاچه ارومیه، دریاچه‌ای با آب شیرین بوده که به تدریج شورتر شده تا به حد فوق اشباع از نمک رسیده است. آب دریاچه ارومیه با pH از ۷/۲ تا ۷/۶ در حالت زیر قلیایی است. در دو دهه اخیر کاهش شدید سطح تراز و افزایش میزان شوری آب، باعث بحرانی شدن وضعیت بزرگ‌ترین دریاچه فوق اشباع جهان شده است [۲۲]. نقشه زمین‌شناسی دریاچه ارومیه در شکل ۱ نشان داده شده است.



سطح دریاچه ارومیه را به شوره‌زار تبدیل کرده است. این دریاچه در سال‌های اخیر با بحران کم‌آبی مواجه شده به طوری که ارتفاع آب آن بیش از ۷ متر کاهش یافته است [۱۰]. وسعت حوضه آبریز دریاچه ارومیه ۵۱۸۷۶ کیلومتر مربع است. این حوضه با داشتن دشت‌هایی مانند دشت تبریز، ارومیه، آذرشهر، مراغه، میاندوآب، سولدوز، پیرانشهر، مهاباد، نقده و اشنویه یکی از کانون‌های ارزشمند فعالیت کشاورزی و دامداری در ایران به شمار می‌رود [۱۸].

بررسی و تجزیه و تحلیل داده‌های مربوط به درجه حرارت و تبخیر در سال‌های آبی ۱۳۶۸ تا ۱۳۹۰ برای آب شیرین معمولی و آب شور دریاچه ارومیه، در ایستگاه گلخانه، ثابت می‌کند که غلظت مایع رابطه معکوس با میزان تبخیر دارد [۱۳]. یعنی با افزایش میزان تبخیر، میزان مواد محلول در آب در حجم آب باقیمانده در دریاچه افزایش می‌یابد. این مواد موجود در آب شامل کانی‌ها، مواد فرسایشی، آواری و رسوبی (شیمیایی و بیوشیمیایی) هستند. در مورد دریاچه ارومیه بیشتر مواد معدنی و کانی موجود در آب مربوط به خانواده نمک‌ها است. هرچند در آب‌های دارای فیتوپلانکتون‌ها (مانند

Legend

H- Salt Swamp
Q- Young Terraces and Alluvium
R- Tuff, Sandstone, Siltstone, Conglomerate (Daqch F)
M- Sandstone, Conglomerate, Gypsiferous Marl, Siltstone
M2- Limestone, Marl, Conglomerate (Eq. of Qom F)
T- Conglomerate, Limestone, Sandstone, Shale, Phyllite, Slate
L- Limestone with Chert, massive (Lar F)
P- Limestone, Dolomitic Limestone (Routh F)
E- Dolomite, Limestone, Micaceous Shale (Mifa F)
K- Shale, Slate (Kahar F)
A- Adesite, Volcanic breccia
D- Dasit and Felsic Rocks
g- Granite-Diorite

0 5 10 15 20 Km

شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی دریاچه ارومیه در شمال غرب کشور.

کار تصویر برداری انجام می‌شود. هر سنجنده کاربرد متفاوتی دارد و با توجه به کاربرد مورد نظر طراحی می‌شوند [۵].

سنجش از دور، علم استخراج اطلاعات از اشیاء زمینی به صورت غیرمستقیم و به وسیله سنجنده است. خروجی در مرحله اولیه توسط هر سنجنده یک تصویر است. معمولاً هر ماهواره چندین سنجنده دارد که توسط آن‌ها

تغییرات زمینی برای هر المان باشد. به عبارتی پی‌جویی تغییرات بانندی معرف تغییرات المان‌های خاصی در طبیعت است. این تغییرات و روابط آن‌ها به‌طور گسترده توسط محققین بسیاری از جمله کلارک مورد بررسی قرار گرفته است [۶]. به هر حال، با بررسی‌های انجام گرفته بر روی تغییرات انعکاسی عکس‌های هوایی مربوط به دریاچه ارومیه و مواد محلول در آب دریاچه به‌خصوص خانواده نمک‌های موجود در آب (مربوط به تغییرات محدوده آبی انتخاب شده برای تصاویر تکرار زمانی)، برای محدوده تطابق خوبی با مطالعات [۶] و [۸] مشاهده گردید. با بررسی تغییرات بین باندهای مشترک برای زمان مختلف این تغییرات مشهودتر می‌باشد.

مواد و روش‌ها

الف) معرفی منطقه مورد مطالعه

دریاچه ارومیه در شمال غربی ایران و در فاصله ۲۴ کیلومتری شرق ارومیه واقع شده است. این دریاچه با ارتفاع متوسط ۱۲۷۸ متر از سطح دریاهای آزاد و با مساحت تقریبی ۵۰۰۰ تا ۶۰۰۰ کیلومتر مربع یکی از بزرگ‌ترین، پر آب‌ترین دریاچه‌های داخلی و دائمی ایران است. این دریاچه بین عرض‌های جغرافیایی ۳۷ درجه و ۴ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۱۷ دقیقه، و طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۱۳ دقیقه تا ۴۶ درجه واقع شده است [۳]. شکل ۲ موقعیت جغرافیایی دریاچه را نشان می‌دهد.

دامنه گسترش نهایی این دریاچه حدود ۱۴۰ کیلومتر طول، ۵۵ کیلومتر عرض و با حداکثر ۲۰ متر عمق است. آب دریاچه ارومیه از نظر ترکیب شیمیایی در ردیف شوراب‌های سدیم-کلرید-سولفید قرار دارد. کاتیون‌های اصلی موجود در دریاچه Na^+ ، K^+ ، Ca^+ ، Li^+ ، Mg^{2+} و آنیون‌های آن Cl^- ، SO_4^{2-} ، HCO_3^- هستند. عواملی مانند درجه حرارت، بارش، رطوبت نسبی، تبخیر و باد نقش زیادی در تشکیل املاح تبخیری دریاچه ارومیه دارند. حوضه آبریز دریاچه در تقسیم‌بندی شش‌گانه حوضه‌های آبریز ایران حوضه‌ای واقع در شمال غربی ایران است [۱۶]. این دریاچه به عنوان مناسب‌ترین محیط زیست برای

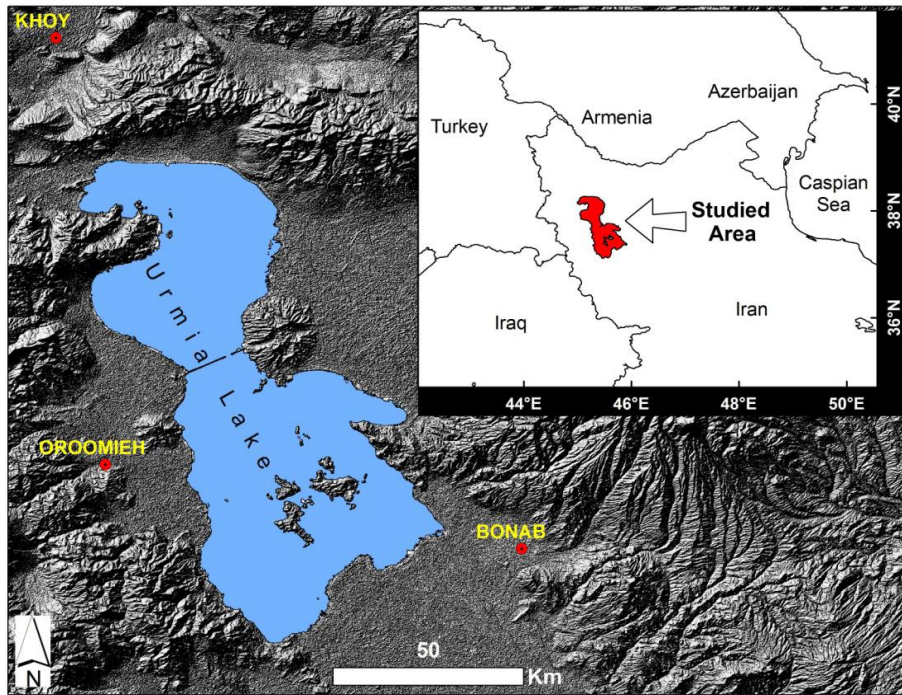
میگوی "آرتیمیا ارومیانا" و بزرگ‌ترین پهنه آبی در فلات

ایران به شمار می‌آید [۷].

گرم شدن جهانی، تغییرات آب و هوای فصلی، تغییرات دمایی مناطق مختلف، تغییرات در شکل و سطح زمین مواردی هستند که توسط تکنیک‌های سنجش از دور و به کمک تصاویر ماهواره‌ای اندازه‌گیری و سنجیده می‌شوند [۶]. اندازه‌گیری تغییرات مجموعه‌های زمین‌شناختی به-خصوص اکوسیستم‌های آبی، یکی از مهم‌ترین کاربردها تکنیک سنجش از دور در محیط زیست، و مدل-سازی ریسک است. دانش سنجش از دور برپایه دانش زمین‌شناسی توانایی بالایی در بررسی موارد، مسائل و مشکلات زمین‌شناختی و زیست محیطی دارد [۱۲].

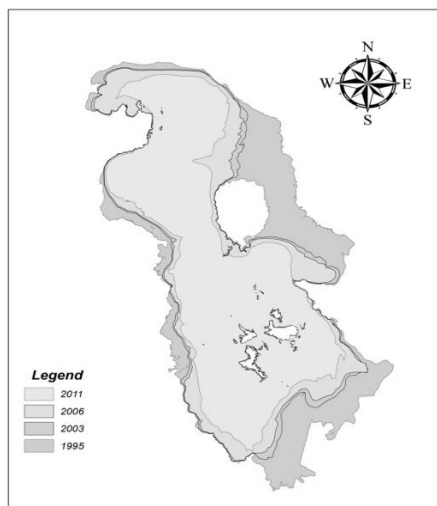
در سال ۱۹۷۲ اولین سری ماهواره‌های لندست با دوربین و سنجنده‌های MSS، RBV و TM در چهار و هفت باند توسط ایالات متحده آمریکا در مدار زمین قرار گرفت. ویژگی‌های خاص تصاویر ماهواره‌ای همچون ماهیت چند طیفی، امکان دید افقی و عمودی تصاویر، قابلیت موزاییک و اتصال تصاویر، کلان‌نگری و امکان دید وسیع به قلمروها از طریق تصاویر، ارتباط فضایی و هندسی بین شکل اراضی و ریخت‌شناسی سطح، سازندهای زمین-شناسی، لایه بندی‌های رسوبی، تشخیص واحدهای سنگ شناسی سازندی از عکس‌های هوایی و ماهواره‌ای وجود دارد و نیز فاکتورهایی همچون نوع اطلاعات، قدرت تفکیک طیفی و فضایی سنجنده‌ها، ابعاد لندفرم‌ها، رفتار طیفی متفاوت لندفرم‌ها، بارز سازی و شناخت پدیده‌های سنجنده‌ها، ابعاد لندفرم‌ها، رفتار طیفی متفاوت لندفرم‌ها، بارزسازی و شناخت پدیده‌های ژئومورفیک و زمین-شناختی را به طرق گوناگون مقدور می‌سازد. در این پژوهش سعی گردیده با کمک روابط تجربی به‌دست آمده از بررسی باندهای مختلف تصاویر TM، یک رابطه منطقی بین تغییرات بانندی و تغییرات المان‌های زمینی بر قرار گردد [۸].

[۸] با بررسی بر روی تغییرات میزان شوری خلیج دهانه‌ای مکزیک و همچنین دریاچه شور مکزیک اقدام به ارائه رابطه‌ای برای تغییرات شوری برای باندهای تکرار زمانی برای آب منطقه ارائه نمودند. رابطه ارائه شده توسط فوگی وانگ و جان زو در زیر ارائه شده است (مراجعه به رابطه ۱). این محققین بر این عقیده‌اند که تغییرات طیفی خاصی در باندها می‌تواند رابطه مثبت و یا منفی برای



شکل ۲. موقعیت جغرافیایی دریاچه ارومیه در شمال غرب کشور.

سطحی دریاچه در بازه زمانی مربوطه مشخص و اندازه-گیری گردید (شکل ۳).



شکل ۳. میزان تغییر در سطح آب دریاچه ارومیه و گسترش خشکی در گستره زمانی مورد مطالعه (۱۹۹۵ - ۲۰۱۱).

لازم به یادآوری است که تغییر در سطح دریاچه نشان دهنده تغییرات حجمی آب درحوضه‌های بسته‌ای مانند دریاچه ارومیه است. جدول ۱ مشخصات تصاویر مورد استفاده در این پژوهش را ارائه داده است.

شوری بیش از حد معمول آب آن، تنوع جانوران آبزیست را محدود نموده است. در کف دریاچه در اعماقی که نور نفوذ می‌کند، رستنی‌هایی از نوع جلبک‌های کبود (Cyanophytes) می‌روید و از آن برای درمان برخی از بیماری‌ها استفاده می‌شود [۲]. میانگین شوری آب دریاچه ارومیه بین ۲۲۰ تا ۳۴۰ گرم در لیتر است که نسبت به شرایط زمانی و مکانی مختلف متغیر است. حداکثر عمق دریاچه ارومیه حدود ۱۸ متر گزارش شده است [۱۴]. به‌طور کلی محدوده احاطه‌کننده دریاچه ارومیه از نظر توپوگرافی از تنوع زیادی برخوردار است [۹]. اقلیم این محدوده نیمه خشک است و به شدت تحت تأثیر ارتفاعات اطراف دریاچه قرار می‌گیرد [۳].

ب) روش تحقیق

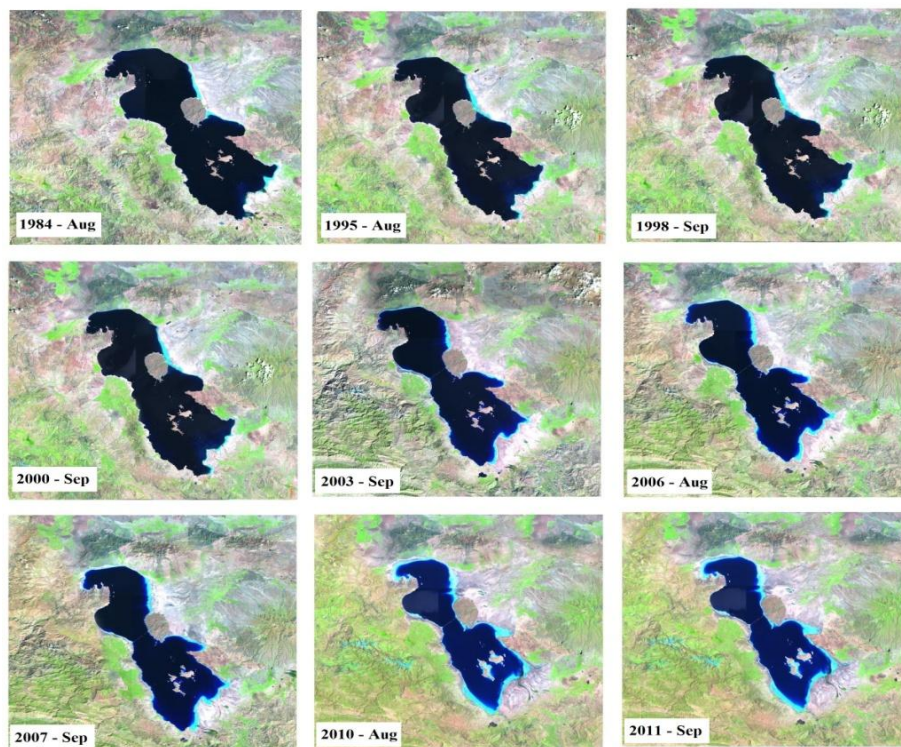
در این مطالعه، از تکنیک سنجش از دور برای بررسی اثرات تغییرات شوری در محدوده آبی دریاچه ارومیه استفاده شده است. برای دست یافت به این مهم، از تصاویر لندست در بازه زمانی ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۱ استفاده شده است. هدف از این تحقیق، مدل‌سازی تغییرات شوری دریاچه و بررسی اثر خشکسالی در دوره زمانی ۱۹۹۵ - ۲۰۰۳ است. برای اندازه‌گیری میزان شوری و تغییرات آب دریاچه از تصاویر لندست استفاده شده است. مقدار تغییرات

(حذف پوشش ابری) انجام و در آخر، تصاویر با روش رادیومتریک توسط تصاویر پایه تفاضلی جسم سیاه، به منظور کاهش اثرات طیف خورشید و عوامل جوی بر روی تصاویر، تصحیح شدند. شکل ۴، تصاویر انتخابی برای بررسی و تحلیل تغییرات شوری جهت بیان مدل الگوی تغییرات شوری در آب دریاچه را نشان می‌دهد. در این تصویر به روشنی می‌توان تغییرات در سطح، کاهش آب دریاچه، تشکیل و گسترش شورزار نمکی را در حاشیه دریاچه مشاهده نمود. با توجه به تصاویر، بر پایه تغییرات حاصل از کاهش آب دریاچه بسیار بارز است.

جدول ۱. مشخصات تصاویر مورد استفاده در این تحقیق

شماره	تاریخ - ماه	نوع
1	1993 - Sep	Landsat - TM4
2	1995 - Aug	Landsat - TM4
3	2000 - Sep	Landsat - TM4
4	2003 - Sep	Landsat - TM5
5	2006 - Aug	Landsat - TM5
6	2009 - Jul	Landsat - TM5
7	2010 - Aug	Landsat - TM5
8	2011 - Sep	Landsat - TM5

برای بررسی میزان شوری آب دریاچه، از تصاویر تکرار زمانی که طی سه مرحله آماده سازی شده‌اند، استفاده شد. در مرحله نخست، نویز روی تصاویر بر اساس الگوریتم فوریه تصحیح گردید. سپس، تصحیحات اتمسفریک



شکل ۴. تصاویر ماهواره‌ای انتخابی برای بررسی و آنالیز تغییرات شوری از دریاچه ارومیه.

نتایج

سال‌های اخیر روندی شدید داشته است. بیشترین کاهش مشاهده شده در سطح آب دریاچه مربوط به سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۳ است که این امر بیان‌گر وجود یک رژیم آب و هوایی خشک حاکم بر منطقه است. این زمان تطابق کاملی با دوره خشکسالی حاکم بر منطقه دارد. دریاچه ارومیه از نظر زمین‌شناختی یک دریاچه بسته است. به عبارت دیگر، راه‌های خروج آب از این دریاچه توسط عواملی مانند تبخیر، استحصال به منظور مصارف کشاورزی و دامی، سدسازی‌ها و مهار آب صورت می‌گیرد

بررسی‌های سنجش از دوری و تجزیه و تحلیل آنالیز واریانس نشان می‌دهد که خشکسالی ۱۹۹۷-۲۰۰۳ اثرات قابل توجهی در سطوح مختلف شوری در دریاچه اعمال کرده است. این نتیجه کاهش شدید در میزان حجم آب دریاچه قابل مشاهده است. لازم به ذکر می‌باشد، تغییرات حجمی آب دریاچه ارومیه بر پایه تغییرات سطحی اندازه-گیری شده در زمان‌های مختلف برای دریاچه قابل اندازه-گیری و محاسبه می‌باشد [۷]. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌گردد، تغییرات سطح آب دریاچه ارومیه در

برای مصارف مختلف انسانی از یک سو، و پدیده تبخیر از سوی دیگر، باعث کاهش شدید در میزان آب دریاچه و همچنین افزایش غلظت شوری و نمک محلول در آن شده است. غلظت شوری و نمک محلول اندازه گیری شده در دریاچه ۳۲۰ mg/Lit قابل توجه است [۱۱]. در تصاویر لندست TM با بررسی میزان تطابق طیفی بین باندهای ۱ و ۵ در سال‌های مختلف در محدوده زمانی خشکسالی، همچنین دوره زمانی بعد از آن می‌توان این تغییرات را مشاهده نمود. جدول ۲ تا ۶ تغییرات طیفی باندهای مختلف تصاویر لندست، در بازه زمانی خشکسالی را نشان می‌دهد.

جدول ۲. تغییرات انعکاس طیفی باند ۱ در محدوده زمانی مورد بررسی

تغییرات باندهای	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	مجموع
B 1-1	-۰/۱۴۴	۰/۰۰۲	-۰/۰۰۵	۰/۰۲۷	-۲۱/۰۰۹
B 1-2	-۰/۱۶۷	۰/۰۲۷	-۰/۰۴۴	۰/۰۳۷	-۱۶۰/۷۵۴
B 1-3	-۰/۲۱۲	۰/۰۰۲	-۰/۰۰۶	۰/۰۴۴	-۲۳۱/۰۵۸
B 1-4	-۰/۲۱۹	۰/۰۰۲	-۰/۰۹۸	۰/۰۵۹	-۶۲۲/۰۸۹

جدول ۳. تغییرات انعکاس طیفی باند ۲ در محدوده زمانی مورد بررسی

تغییرات باندهای	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	مجموع
B 2-1	-۰/۱۶۷	۰/۲۲	-۰/۰۶۱	۰/۰۴	-۱۹/۷۴۱
B 2-2	-۰/۲۳۲	۰/۰۴۲	-۰/۰۵۹	۰/۰۴۸	-۱۱۱/۵۴۱
B 2-3	-۰/۲۸۶	۰/۰۲۷	-۰/۰۹۱	۰/۰۶۳	-۲۰۲/۳۹۷
B 2-4	-۰/۳۸۵	۰/۰۲۸	-۰/۱۶۶	۰/۱۰۴	-۵۹۳/۹۸۴

جدول ۴. تغییرات انعکاس طیفی باند ۳ در محدوده زمانی مورد بررسی

تغییرات باندهای	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	مجموع
B 3-1	-۰/۲۵۲	۰/۰۴۲	-۰/۰۸۸	۰/۰۵۸	-۴۶/۰۰۷
B 3-2	-۰/۲۹۱	۰/۱۰۹	-۰/۰۶۴	۰/۰۵۷	-۱۶۳/۶۶۴
B 3-3	-۰/۳۷۸	۰/۰۷۳	-۰/۱۱۶	۰/۰۸	-۳۶۵/۰۳۱
B 3-4	-۰/۴۷۸	۰/۰۳۷	-۰/۲۱۴	۰/۱۲۳	-۱۰۶۳/۸۳

جدول ۵. تغییرات انعکاس طیفی باند ۴ در محدوده زمانی مورد بررسی

تغییرات باندهای	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	مجموع
B 4-1	-۰/۳۳۴	۰/۰۸۸	-۰/۰۹۸	۰/۰۷۶	-۶۳/۸۰
B 4-2	-۰/۳۰۹	۰/۱۵	-۰/۰۶۳	۰/۰۷۲	-۱۴۰/۸۲۴
B 4-3	-۰/۴۰۷	۰/۱۱۶	-۰/۱۰۷	۰/۰۸۸	-۲۶۹/۴۵۵
B 4-4	-۰/۵	۰/۰۶۳	-۰/۱۸۶	۰/۱۲۵	-۷۴۵/۳۶۱

جدول ۶. تغییرات انعکاس طیفی باندهای ۵ در محدوده زمانی مورد بررسی

تغییرات باندهای	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	مجموع
B 5-1	-۰/۱۴۴	۰/۰۳۱	-۰/۰۵۸	۰/۰۲۷	-۷۴/۰۸۵
B 5-2	-۰/۱۶۷	۰/۰۲۵	-۰/۰۷۱	۰/۰۳۷	-۱۶۰/۷۵۴
B 5-3	-۰/۲۴۵	۰/۱۱۲	-۰/۰۶۶	۰/۰۴۴	-۳۴۵/۸۰۵
B 5-4	-۰/۳۶۷	۰/۰۷۸	-۰/۱۴۴	۰/۰۵۹	-۸۹۵/۷۵۶

[۱۸]. با توجه به بازه زمانی مورد مطالعه و نظام کشاورزی حاکم در آن زمان، احتمال کاهش سطح آب توسط عوامل انسانی کمتر از پدیده تبخیر است. مدل پیش‌بینی الگوی شوری آب دریاچه ارومیه، بر اساس داده‌های آنالیزی واریانس مربوط به مدل‌سازی الگوی شوری برای دریاچه مکزیک و دریاچه نمک آمریکا (شبه‌ترین حالت به وضع کنونی دریاچه ارومیه) صورت گرفته است. به این منظور از معادله اندازه‌گیری گسترش شوری آب به‌وسیله تغییرات طیفی باندهای ارائه شده توسط فوگی وانگ و جان زو استفاده شده است [۸]. معادله در زیر ارائه شده است.

(۱)

$$salinity = 106.44 + 4.6127 \times TM1 + 152.92 \times TM2 - 227.46 \times TM3 + 120.47 \times TM4 - 139.47 \times TM5$$

در این جا، مقدار شوری به صورت ppt، مقادیر TM1 تا TM5 برحسب رفلکتانس^۱ است. بر اساس این رابطه می‌توان دریافت که تغییرات طیفی باندهای یک روش برای مشخص کردن برخی تغییرات زمینی است. به عبارتی، با کمک سنجش از دور می‌توان تغییرات مؤلفه‌های زمینی را با تقریب مناسبی مشخص نمود [۶]. به هر حال، رابطه قوی بین میزان تغییرات الگوی شوری با قدرت و میزان انعکاس در تصاویر مشاهده می‌گردد ($R^2 = 0.89$).

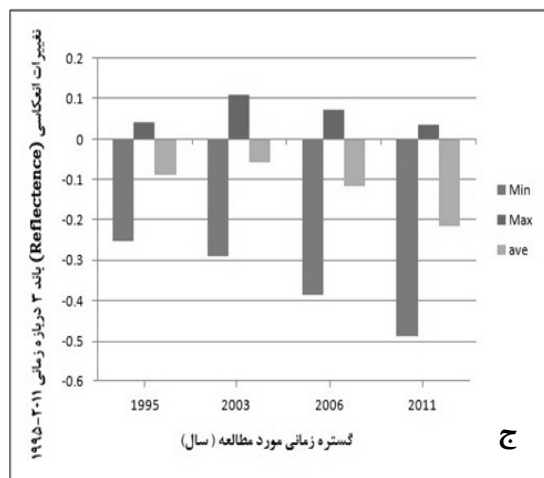
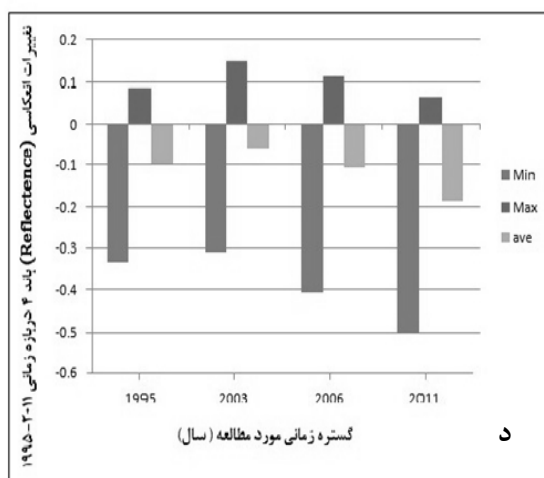
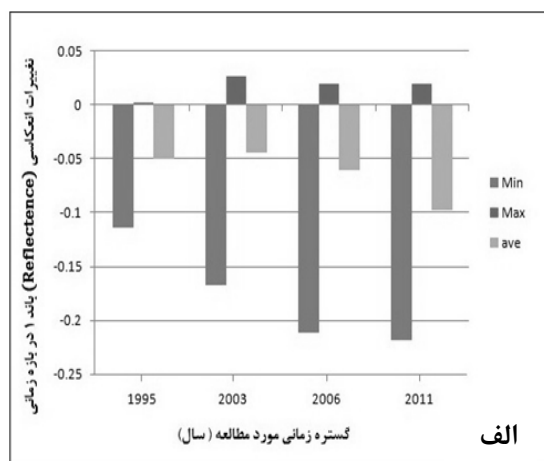
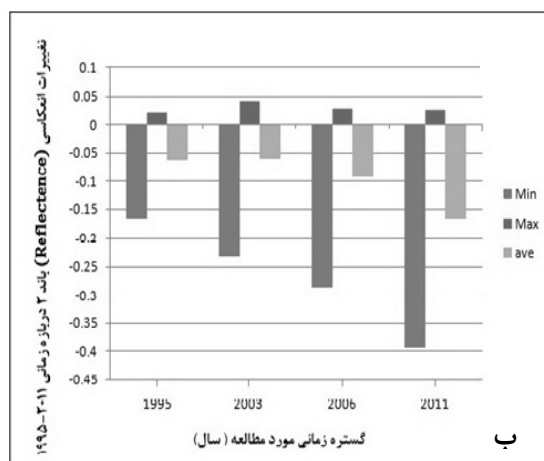
همچنین، می‌توان بیان نمود که پراکنش شوری در آب مجموعه‌ای از انعکاس طیفی مربوط به باندهای TM1 تا TM5 است. همچنین باندهای طیف حرارتی TM6 و باند TM7 در بررسی‌ها به علت تغییرات کم وارد نمی‌شود [۸].

الگوی شوری و تغییرات شوری دریاچه ارومیه

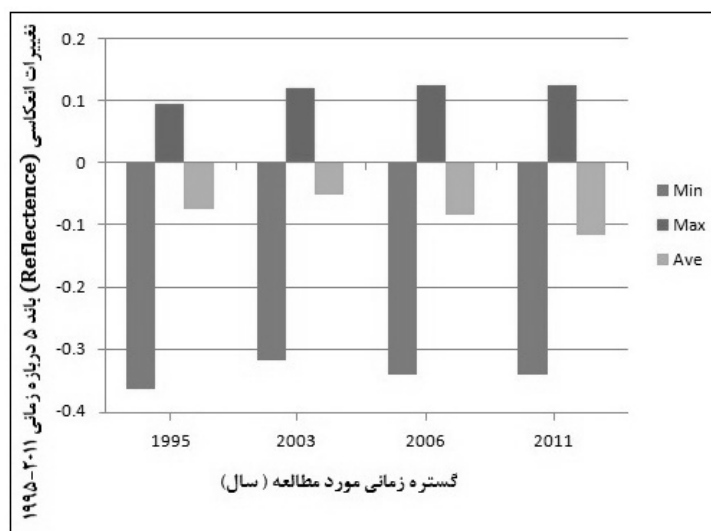
همان‌طور که بیان شد، دریاچه ارومیه یک دریاچه با محیط بسته است. پدیده تبخیر از عوامل اصلی خروج آب از دریاچه به‌شمار می‌آید. در نتیجه با خروج آب از دریاچه، میزان املاح محلول در آب بیشتر می‌شود. هر چقدر تبخیر از سطح دریاچه بیشتر شود بر میزان مواد جامد محلول آب افزوده می‌شود. بیشترین مواد جامد محلول در آب دریاچه ارومیه در گروه نمک‌ها قرار دارد. در بازه خشکسالی مورد مطالعه، به دلیل کمبود ریزش‌های جوی به همراه کاهش ورود آب به دلیل آب بندها و انحراف آب

هر باند نسبت به باند مشابه سال دیگر را به صورت یک مدل از تغییرات طیفی ارائه و به وسیله آن اثر عوامل محیطی مثل خشکسالی را از روی انعکاس هر باند مشخص کرد (شکل های ۵ و ۶). به عبارت دیگر، برای درک تغییرات شوری رخ داده در آب دریاچه، می بایست طیف هایی که دارای تغییرات بیشتری نسبت به طیف هایی که بدون تغییر یا تغییرات کمی را منعکس می کنند، بیشتر مورد بررسی و توجه قرار داد. زیرا تغییرات شوری در بر گیرنده تغییراتی همچون تغییر سطح آب، تغییر غلظت، تغییر چگالی، تغییر در مواد معلق و محلول در آب است. بنابراین، دانستن بیشترین و کمترین تغییرات صورت گرفته یک عامل مهم در تعیین و ارائه یک مدل مناسب خواهد بود [۴]. شکل های ۵ و ۶ حداقل، حداکثر و میانگین تغییرات انعکاس طیفی امواج الکترومغناطیسی از باندها را نشان می دهند.

در جدول های بالا، برای مثال، B1-1 یعنی تغییرات باند ۱ تصویر اول نسبت به باند ۱ تصویر زمانی دوم. و برای B1-4 یعنی تغییرات باند ۱ تصویر اول نسبت به باند ۱ تصویر زمانی چهارم را نشان می دهد. با توجه به نتایج، می توان بیان نمود که بیشترین تأثیر در انعکاس طیفی مربوط به گستره زمانی ۲۰۰۶-۱۹۹۵ است. این دوره زمانی را می توان در دو بازه با دو دلیل متفاوت تقسیم بندی نمود. در بازه زمانی ۲۰۰۳-۱۹۹۵ تغییرات طیفی نشان دهنده خشکسالی رخ داده در آن زمان است. در بازه بعدی (یعنی ۲۰۰۶-۲۰۰۳) به دلیل افزایش برداشت آب، انحراف آب، ذخیره سازی آب در پشت سدهای مختلف، روند ورود آب به دریاچه کم شده است. این امر باعث گردیده است تا این انعکاس طیفی تا این بازه ادامه داشته باشد. با بررسی هر یک از باندها و تغییرات آن نسبت به باندهای مشابه در محدوده زمانی مورد مطالعه، می توان تغییرات در محدوده تفکیک طیفی



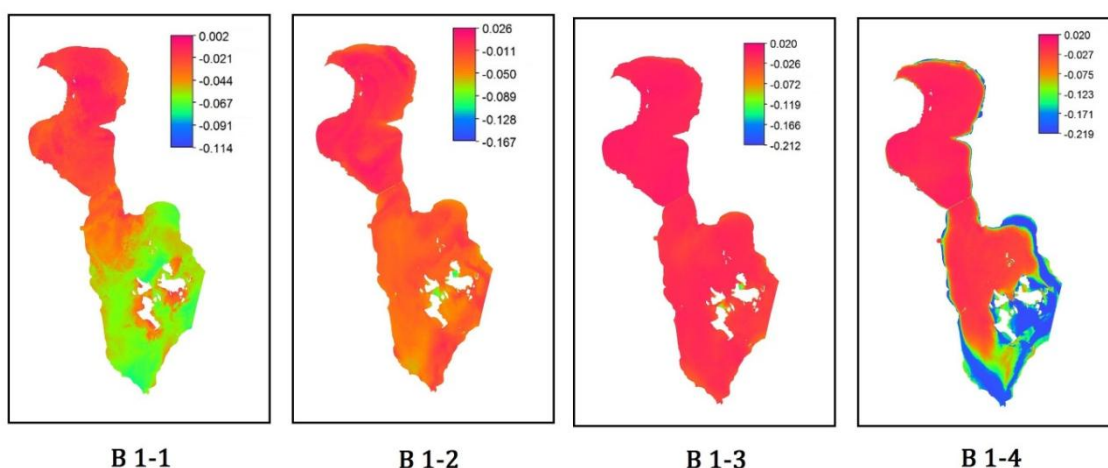
شکل ۵. میزان تغییرات انعکاس طیفی بین (الف) باند ۱های گستره زمانی، (ب) باند ۲های گستره زمانی، (ج) باند ۳های گستره زمانی، و (د) باند ۴های گستره زمانی.



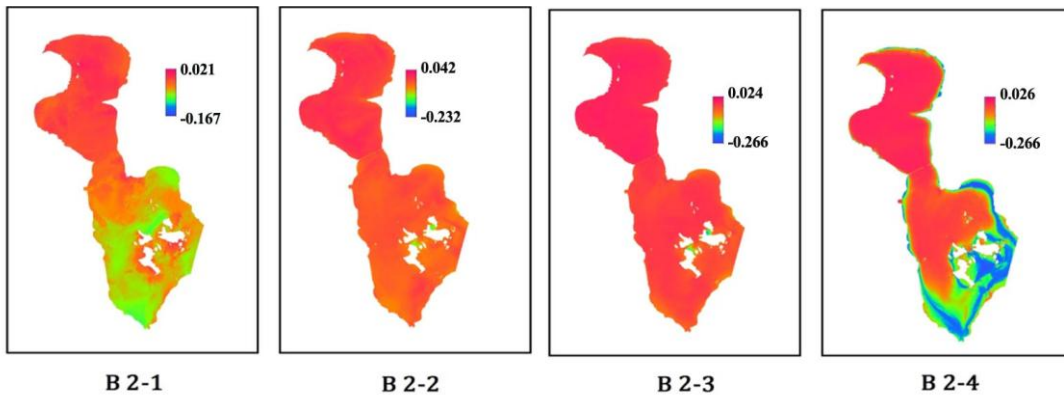
شکل ۶. میزان تغییرات انعکاس طیفی بین باندهای ۵ گستره زمانی بیانگر تغییر گستره آبی دریاچه ارومیه.

شکل‌های ۷ تا ۱۱ بیانگر تغییرات طیفی تصاویر TM هستند. بر اساس شکل‌های فوق، می‌توان مشاهده نمود که تغییرات انعکاسی تصاویر باندهای ۱، ۲، و ۴ زیادتر بوده و این بازه زمانی سپری شده بیشتر بر روی انعکاس این باندها تأثیر زیادی دارد. در مقابل، باندهای ۳ و ۵ دارای تغییرات کمتری نسبت به زمان سپری شده هستند. لازم به یادآوری است که، تغییرات شدید در باندهای تصاویر سال‌های پایانی (۲۰۰۶ تا ۲۰۱۱) به علت تغییر سیستم دریاچه، به عنوان نمونه، احداث پل روگذر است.

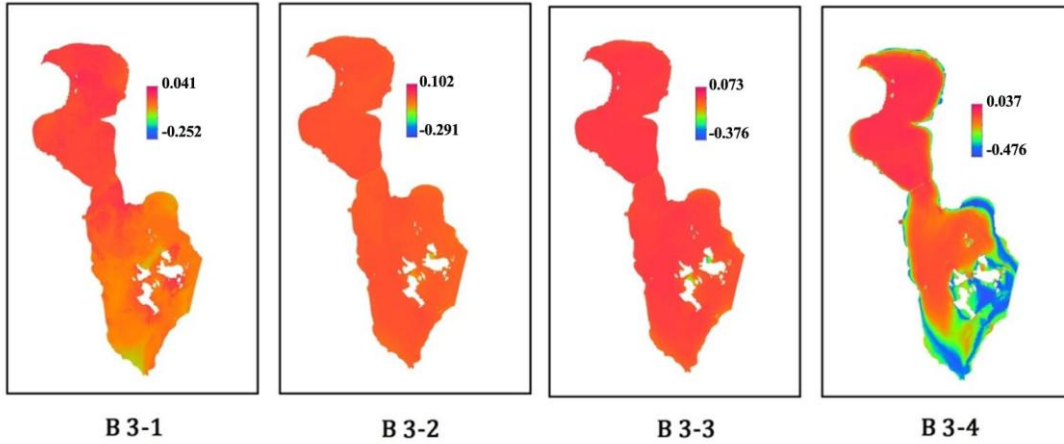
یافتن رابطه مناسب بین تغییرات طیفی بین باندها در گستره زمانی برای مطالعات وابسته به زمان (مانند بررسی خشکسالی و همین مطالعه) می‌تواند پایه و اساس ارائه مدل‌هایی برای مقابله با مواردی مانند خشکسالی باشد تا با استفاده از آن، راه‌کارهای مؤثر و کاربردی‌تر ارائه نمود. با توجه به نتایج، با ارائه رابطه بین باندها می‌توان سیستم تغییرات طیفی و در نهایت تغییرات هر مورد وابسته به زمان (در این‌جا تغییرات شوری) را برای محدوده مورد مطالعه، تعریف نمود، که تفسیر آن‌ها در بررسی‌ها بسیار مفید و کارآ خواهد بود.



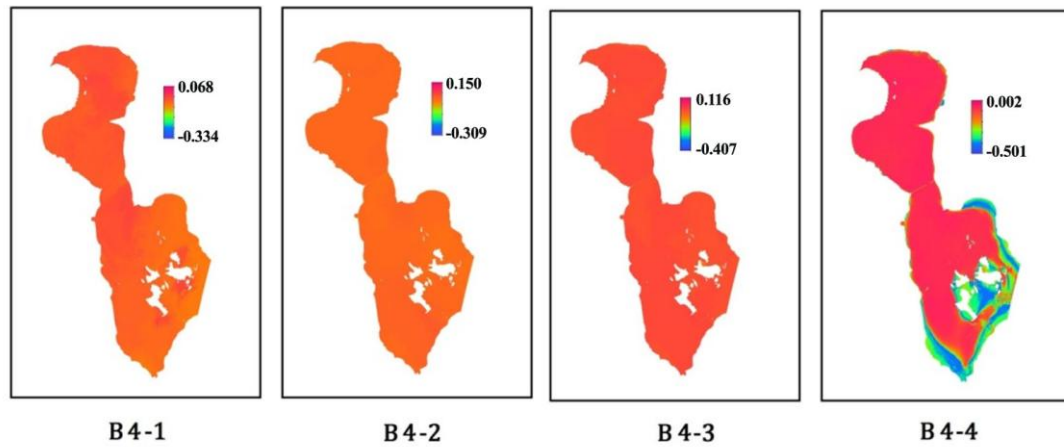
شکل ۷. تغییرات طیفی باند ۱ تصاویر TM و باندهای مشابه (باند ۱ها) در گستره زمانی مورد مطالعه.



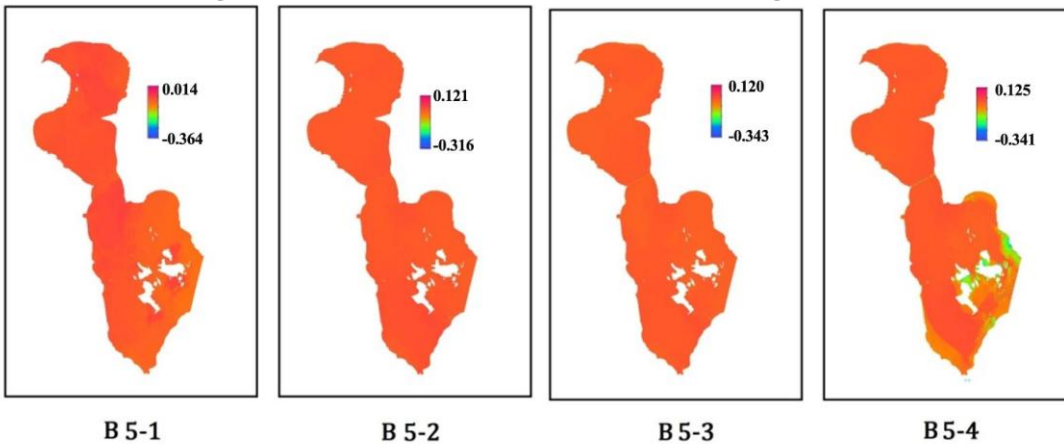
شکل ۸. تغییرات طیفی باند ۲ تصاویر TM و باندهای مشابه (باند ۲ها) در گستره زمانی مورد مطالعه.



شکل ۹. تغییرات طیفی باند ۳ تصاویر TM و باندهای مشابه (باند ۳ها) در گستره زمانی مورد مطالعه.



شکل ۱۰. تغییرات طیفی باند ۴ تصاویر TM و باندهای مشابه (باند ۴ها) در گستره زمانی مورد مطالعه.



شکل ۱۱. تغییرات طیفی باند ۵ تصاویر TM و باندهای مشابه (باند ۵ها) در گستره زمانی مورد مطالعه.

$$\frac{1}{\rho_0 h} \left(\frac{\partial S_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} \right) + F_v + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_t \frac{\partial v}{\partial z} \right) + v_s S \quad (4)$$

معادله انتقال شوری در مدل را نیز به صورت زیر تعریف می‌کند:

$$\frac{\partial s}{\partial t} + \frac{\partial su}{\partial x} + \frac{\partial sw}{\partial y} + \frac{\partial sw}{\partial z} = F_s + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_v \frac{\partial s}{\partial z} \right) + s_s S \quad (5)$$

در معادلات فوق، t زمان؛ x, y, z مختصات در دستگاه کارتزین؛ η تغییرات سطح؛ d عمق آب در حالت سکون؛ $h=d+\eta$ عمق آب؛ u, v, w مولفه‌های سرعت در جهت‌های x, y, z ؛ f پارامتر کوریولیس؛ g شتاب زمین؛ ρ چگالی آب؛ S_{ij} مؤلفه‌های تنش تشعشی؛ ρ_0 چگالی اولیه آب (ناشی از شرایط اولیه)؛ P_a فشار جو؛ S مقدار دبی ناشی از چشمه‌های نقطه‌ای با سرعت‌های (u_s, v_s) ؛ F_u و F_v تنش‌های جانبی است.

برای تعیین تغییرات شوری در دریاچه خطوطی برای بررسی‌های تغییرات طیفی در طول و عرض دریاچه انتخاب گردید. این عمل برای مقایسه تغییرات در میزان شوری بین لایه‌های مختلف در بخش‌های مختلف دریاچه صورت گرفت.

بر اساس اندازه‌گیری‌های نقاط مختلف در بخش شمالی و جنوبی دریاچه، مقدار شوری بین لایه‌های مختلف تغییرات متفاوتی را نشان می‌دهد، به طوری که تغییرات در بخش شمالی بیشتر از بخش جنوبی است. ولی میزان تمرکز شوری و مقدار مواد جامد محلول در بخش جنوبی بسیار بیشتر از بخش شمالی است.

با توجه به روابط بالا می‌توان بیان نمود که بیشترین اختلاف شوری بین لایه‌های مختلف در نیمرخ بخش جنوبی برابر $29/15 \text{ kg/m}^3$ است در حالی که این مقدار در بخش شمالی $38/72 \text{ kg/m}^3$ است. علت این اختلاف بسیار زیاد در نیمرخ دو بخش دریاچه، ورود آب‌های شیرین سطحی به بخش شمالی و افزایش اختلاف چگالی دو بخش دریاچه است. در مدل الگوی شوری ارائه شده (شکل ۱۲) می‌توان تغییرات شوری را مشاهده نمود. میزان رودهایی که به قسمت جنوبی دریاچه وارد می‌شود بیشتر از رودهای آب شیرین ورودی در بخش شمالی است. علت این که میزان شوری آب در قسمت جنوبی بیشتر است کمی آب ورودی به دریاچه یا تغذیه کمتر این قسمت

با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان بیان نمود که یک رابطه مثبت شوری در باند ۱ (۴۵۰-۵۲۰ نانومتر)، باند ۲ (۶۰۰-۵۲۰ نانومتر)، و باند ۴ (۹۰۰-۷۷۵ نانومتر) سنجنده TM، ولی رابطه منفی با گروه باند ۳ (۶۹۰-۶۳۰ نانومتر) و باند ۵ (۱۷۵۰-۱۵۵۰ نانومتر) در تصاویر مورد استفاده، شناسایی شد، که با مطالعات صورت گرفته پیشین [۴]، انطباق قابل توجهی دارد. بنابراین، می‌توان از روابط مذکور برای به دست آوردن مدل تغییرات شوری برای دریاچه ارومیه استفاده نمود.

بررسی لایه‌بندی شوری و مدل الگوی تغییرات شوری دریاچه ارومیه

برای به دست آوردن یک مدل مناسب برای بررسی شوری دریاچه، نیازمند بررسی‌های میدانی زیادی است. علم سنجش از دور برای تکمیل این بررسی‌های به کار می‌رود.

با توجه به مطالعات پیشین [۴]، مدل‌های شبیه‌سازی رفتار هیدرودینامیک دریاچه نتایج رضایت بخش‌تری را در مقایسه با مدل‌های متداول ارائه می‌کند. در همین راستا، مدل گسترش شوری توسط تکنیک سنجش از دور در این پژوهش مورد توجه قرار گرفت.

مدل طراحی شده در Delphi، بر پایه شبکه‌بندی بدون ساختار و تمرکز تنش‌ها در المان‌ها به صورت جداگانه بنا شده است. استفاده از شبکه‌بندی بدون ساختار این امکان را فراهم آورده است تا محیط‌های با مرز نامنظم به خوبی مدل‌سازی شوند و در مرزها شرایط بهتری فراهم آید. معادلات حاکم بر جریان شامل معادله پیوستگی و معادلات حرکت است:

(۲)

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = S$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial uv}{\partial y} + \frac{\partial uw}{\partial z} = fv - g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P_a}{\partial x} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^n \frac{\partial P}{\partial x}$$

(۳)

$$\frac{1}{\rho_0 h} \left(\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \right) + F_v + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_t \frac{\partial u}{\partial z} \right) + u_s S$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial v^2}{\partial x} + \frac{\partial uv}{\partial y} + \frac{\partial uw}{\partial z} = -fu - g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P_a}{\partial y} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^n \frac{\partial P}{\partial y}$$

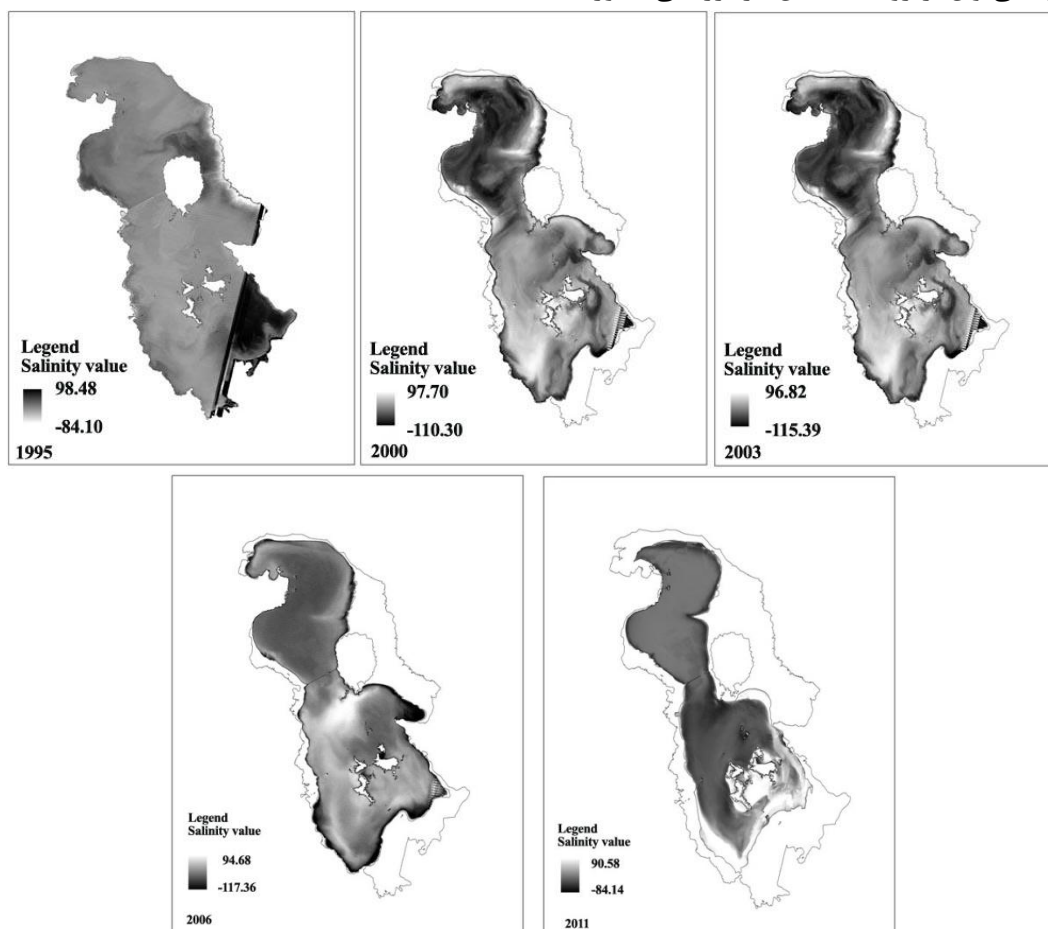
دریاچه برای به دست آوردن مدل تغییرات شوری استفاده نمود. همچنین، بیشترین تأثیر در تغییر انعکاس طیفی مربوط به گستره زمانی ۲۰۰۶-۱۹۹۵، متأثر از خشکسالی رخ داده در بازه زمانی ۲۰۰۳-۱۹۹۶ است. تغییرات شوری در مدل‌های تهیه شده برای الگوی پراکنش شوری، در بخش‌های جنوبی دریاچه بیشتر از بخش‌های شمالی است که تغییرات انعکاسی بانندی این امر را تأیید می‌کند. همچنین، تغییرات انعکاسی به دست آمده برپایه تغییرات بانندی در باندهای ۱ و ۴ نسبت به سایر باندها بارزتر است. به طوری که می‌توان بیان نمود عامل اصلی تغییرات نمک در آب دریاچه بیشتر از تغییرات باندهای ۱ و ۴ متأثر می‌شود. البته این امر، دلیلی بر بی تأثیر بودن تغییرات انعکاسی سایر باندها نیست.

باتوجه به بحرانی بودن وضعیت دریاچه ارومیه، این دریاچه نیازمند نظارت و مدیریت جدی برای کنترل بحران است. وظیفه فرد فرد ماست که در حفظ زیباترین و منحصر به فرد ترین میراث ملی، کوشش نماییم.

نسبت به قسمت شمالی است [۱۸]. دلیل تغذیه کم به علت وجود سدها و آب‌بندهای بیشتر در رودهای ورودی در بخش جنوبی نسبت به رودهای بخش شمال است. این امر خود یک عامل اساسی برای افزایش شوری و بحران دریاچه ارومیه به شمار می‌آید [۷]، [۹]، [۱۱].

نتیجه‌گیری

در این پژوهش سعی گردید، با ارائه روابطی مقدار شوری را به طور مستقیم از روی مدل الگوی تغییرات شوری دریاچه در مدت زمان معین به وسیله تکنیک سنجش از دور به دست آورد. برپایه مطالعات صورت گرفته بر روی باندهای تصاویر ماهواره‌ای انتخابی برای تحلیل‌ها، یک رابطه مثبت شوری در باند ۱ (۴۵۰-۵۲۰ نانومتر)، باند ۲ (۶۰۰-۵۲۰ نانومتر)، و باند ۴ (۹۰۰-۷۷۵ نانومتر)، و رابطه منفی با گروه باند ۳ (۶۹۰-۶۳۰ نانومتر) و باند ۵ (۱۷۵۰-۱۵۵۰ نانومتر) در سنجنده TM تصاویر لندست مورد بررسی شناسایی گردید که با مطالعات صورت گرفته در موارد مشابه [۴]، انطباق قابل توجهی دارد. بنابراین، می‌توان از روابط ایشان در بررسی شوری



شکل ۱۲. مدل پراکنش و تغییرات میزان شوری دریاچه ارومیه.

References

- [1]. Abbaspour, M., & Nazaridoust, A. (2007). Determination of environmental water requirements of Lake Urmia, Iran: An ecological approach. *International Journal of Environmental Studies*, 64(2), 161-169.
- [2]. Agh, N. (1997). Evaluation of the effect of salinity on hatching lucite, development and reproduction of *Artemia Aromeana* 7th National Conference on Biology. Urmia 22-24 August.
- [3]. Aghanabati, A. (2004). Geology of Iran. Geological Survey of Iran, Tehran. Pp, 578-582, (in Farsi).
- [4]. Bowers, D. G., Evans, D., Thomas, D. N., Ellis, K., Williams, P. J. L. (2004). Interpreting the colour of an estuary. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 59, 13-20.
- [5]. Chavez P. S., Sides S. C., & Anderson J. A. (1991). Comparison of three different methods to merge multi-resolution and multispectral data: Landsat TM and SPOT panchromatic. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 57 (3), 295-303.
- [6]. Clark, R. N. (1999). Spectroscopy of rocks, and minerals, and principles of spectroscopy. In A. N. Rencz, editor, *Manual of Remote sensing of the earth Sciences*, 3, 3-58, New York, John Wiley & sons, 467-486.
- [7]. Eimanifar, A., & Mohebbi, F. (2007). Urmia Lake (Northwest Iran): A brief review. *Saline Systems*, 3, 5. doi: 10.1186/1746-1448-3-5.
- [8]. Fugui, W., Jun Xu, Y. (2008). Development and application of a remote sensing-based salinity prediction model for a large estuarine lake in the US Gulf of Mexico coast. *International Journal of Hydrology*, 360, 184-194.
- [9]. Ghaheri, M., Baghal-Vayjooee, M., Naziri, J. (1999). Lake Urmia, Iran: A summary review. *International Journal of Salt Lake Research*, 8, 19-22.
- [10]. Hassanzadeh, E., Zarghami, M., Hassanzadeh, Y. (2011). Determining the main factors in declining the Urmia lake level by using system dynamics modeling. *Water Resources Management*, 26(1), 129-145.
- [11]. Hoseinpour, M., Fakheri Fard, A., & Naghili, R. (2010). Death of Urmia Lake: A Silent Disaster Investigating Causes, Results and Solutions of Urmia Lake drying. 1st International Applied Geological Congress, Department of Geology, Islamic Azad University, Islamic Azad University - Mashad Branch, 26-28 April.
- [12]. Hunt, G. R. (1980). Remote sensing in geology. In B. Siegal and A. Gillespie, editors, *Electromagnetic Radiation: The Communication Link in Remote sensin*, 702, New York, John Wiley & Sons, 486.
- [13]. Jalili, S., Kirchner, I., Livingstone, D., & Morid, S. (2011). The influence of large-scale atmospheric circulation weather types on variations in the water level of Lake Urmia, Iran. [10.1002/joc.2422]. *International Journal of Climatology*, n/a-n/a.
- [14]. Karbassi, A., Bidhendi, G., Pejman, A., & Bidhendi, M. (2010). Environmental impacts of desalination on the ecology of Lake Urmia. *Journal of Great Lakes Research*, 36(3), 419-424.
- [15]. Kelts, K., & Shahrabi, M., (1986). Holocene sedimentology of hypersaline Lake Urmia, Northwestern Iran. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 54, 105-130.
- [16]. Movahed Danesh, A. (1994). Surface Water, Hydrology of Iran. SAMT Press, Iran, (in Farsi).
- [17]. Nabavi, M. H. (1976). An introduction to geology of Iran, Geologic Survey of Iran, Tehran, 109p. (in Farsi).
- [18]. Nikoubakht, Sh., Mokhtari, M. H., & Mehrnehad, H. (2013). Destructive effects of the drying of Urmia lake on biodiversity, presenty protective strategies. First National Conference Talab and Protect Aquatic Ecosystems, Hamedan, 18 April.
- [19]. Pourkermani, M., & Sadigh, H. (2003). Tabriz Fault's Geomorphological Phenomena. *Geography and Development Iranian Journal*, 1(2), 37-44, (in Farsi).
- [20]. Ramsar, (1997). Ramsar Information Sheet - Lake Oroomiyeh. Accessed 24 January 2012 at: <http://www.wetlands.org/reports/ris/2IR003en.pdf>.

[21].Zarghami, M. (2011). Effective watershed management; Case study of Urmia Lake, Iran. *Lake and Reservoir Management*, 27(1), 87-94.

[22].Salehpour Milani, A., Mohammadi, A., & Dervishi Khatooni, J. (2010). Spatial and

temporal models of Urmia lake fluctuation using remote sensing data. Department of Earth and Twenty-eighth Symposium meeting of Earth Sciences, Urmia.

Evaluation of drought effect on Urmia Lake salinity changes using remote sensing techniques

- 1- M. Azarafza, MSc. of Geological Engineering, Faculty of Sciences, Yazd University
m.azarafza@stu.yazd.ac.ir
- 2- M. H. Mokhtari, Faculty of Natural Resources and Eremology, Yazd University

Received: 15 Jan 2013

Accepted: 17 Dec 2013

Abstract

Urmia Lake located in the northwestern corner of Iran is one of the largest permanent hypersaline lakes in the world and the largest lake in the Middle East. This lake with the area of 4500-6000 km², as the largest lake in Iran and Twentieth Lake in the world has a particular importance. The lake is full in danger of drying and in the recent years, height of the water level has decreased about of 7 meters. This study, estimated the changes of lake water salinity and modeled the lake salinity patterns by remote sensing techniques. For this purpose, the amount of water reflection values of landsats TM data was considered. Radiometric and geometric corrections were performed in the preprocessing stage. Furthermore, the range of variation of reflectance between bands correlation images were examined to investigate the effects of fluctuations in the defined time period. According to the results, the effects of salinity and the range of factors such as drought, excessive use of resources and procedures, and mismanagement is very clear. Based on the results a positive relationships between band 1 (450-520 nm), band 2 (520-600 nm), band 4 (775-900 nm) and salinity were found. In addition negative relationships between band 3 (630- 690 nm), band 5 (1550-1750 nm) were observed.

Keywords: Salinity pattern modeling; Remote sensing techniques; Urmia Lake.