ارائه مدلی برای پیش‌بینی دوره بهبود وضعیت سطح آب دریاچه ارومیه و ارزیابی تغییرات زمانی- مکانی دوره تثبیت آن با استفاده از سنجش از دور

ارسطو زارعی[۱]، حسن امامی*[۲]

[۱]دانشجوی کارشناسی نقشه‌برداری - دانشکده فنی و مهندسی مرند - دانشگاه تبریز
arastou.zarei.se@gmail.com

[۲]استادیار گروه نقشه‌برداری - دانشکده فنی و مهندسی مرند - دانشگاه تبریز
h_emami@Tabrizu.ac.ir

(تاریخ دریافت فروردین ۱۳۹۶، تاریخ تصویب تیر ۱۳۹۶)

چکیده

در این تحقیق، مدلی برای پیش‌بینی دوره بهبود وضعیت سطح آب دریاچه ارومیه نسبت به ۱۴ سال قبل ارائه شده است و تغییرات زمانی- مکانی دوره تثبیت سطح آب آن در بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۶ میلادی با استفاده از داده‌های چند زمانه تصاویر لندست ۵ و ۷ و ۸ بررسی گردیده است. در ارائه این مدل دو عامل اصلی، متوسط بارندگی سالیانه حوزه آبریز منطقه و مجموعه فعالیت‌های انجام گرفته در سال‌های اخیر مدنظر قرار گرفته است. برای این منظور، ابتدا برای ارزیابی تغییرات زمانی- مکانی سطح آب آن، چهار شاخص مختلف استخراج مقدار کمی آب، شامل شاخص نسبت آب (WRI)، شاخص اتوماتیک استخراج آب (AWEI)، شاخص اختلاف آب نرمال شده (NDWI) و شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI)، مورد استفاده قرار گرفتند. سپس عملکرد هر یک از آنها از طریق مقایسه با یک نقشه مبنا تعیین خطا گردیدند که شاخص اختلاف آب نرمال شده دارای کمترین خطا نسبت به سه شاخص دیگر بود. در نتیجه، مدل پیشنهادی بر اساس نتایج این شاخص ارائه گردید و در سه حالت مختلف با در نظر گرفتن وزن‌های مختلف برای عوامل مذکور ارزیابی گردید. نتایج نشان داد که کاهش محسوس (۷۸درصد) سطح آب دریاچه ارومیه در دوره زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۴ نسبت به سال ۲۰۰۲ اتفاق افتاده است. در مقابل، در بازه زمانی ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۶ ، افزایش (۳۳/۵۷ درصد) یافته و به دوره تثبیت نسبی رسیده است. این تثبیت نسبی ناپایدار بوده و به دو عامل اصلی مذکور بستگی دارد. نتایج مدل پیشنهادی در سه حالت مختلف نشان داد که بر اساس این روند افزایشی در بازه زمانی دوم و با در نظر گرفتن وزن‌های مختلف عوامل مذکور، حداقل ۱۱ سال (در بهترین حالت)، ۱۸ سال (با وضعیت موجود) و حداکثر ۴۹ سال (با فعالیت احیایی کاهشی) طول خواهد کشید تا وضعیت آب دریاچه ارومیه به سطح اولیه خود در سال ۲۰۰۲ برگشته و به دوره تثبیت پایدار برسد. مدل پیشنهادی روش باثباتی بوده و می تواند برای هر تعداد عوامل و اقدامات مؤثر در آینده مورد استفاده قرار گیرد.

واژگان کلیدی: دریاچه ارومیه، سنجش از دور، لندست، تغییرات زمانی- مکانی، شاخص‌های استخراج کمی آب

* نویسنده رابط

Archive of SID
www.SID.ir

۱- مقدمه

اغلب پدیده‌های طبیعی سطح زمین با مرور زمان، خیلی سریع تغییر پیدا می‌کنند و این تغییرات در طول زندگی انسان بسیار چشمگیر است. در دهه‌های گذشته، پایش مناطق ساحلی و استخراج تغییرات سطح آب در فاصله‌های زمانی مختلف به عنوان یک پژوهش زیربنایی موردتوجه واقع شده است، زیرا چنین مناطقی ماهیتی دینامیکی داشته و مدیریت چنین محیط‌های اکولوژیکی حساسی نیاز به کسب اطلاعات دقیق در فواصل زمانی مختلف دارد [۱،۲]. بدیهی است شناسایی به موقع و دقیق تغییرات ایجاد شده در پدیده‌ها باعث اخذ تصمیمات صحیح در مدیریت آنها خواهد شد. پیچیدگی و توسعه روزافزون پدیده‌های پویایی در قرن حاضر، فکر استفاده از فناوری‌های جدید نظیر سنجش از دور را برای ارزیابی و پایش آنها معطوف نموده است. پایش تغییرات با استفاده از تکنولوژی سنجش از دور بطور گسترده در کاربردهای مختلف نظیر تغییرات پوشش های زمینی [۴،۳] ، پایش خشکسالی [۶،۵] ، تغییرات پوشش گیاهی و جنگل [۸،۷] و گسترش و پراکندگی شهری [۱۰،۹] مورد استفاده قرار می گیرد. آب سطح زمین یکی از منابع استراتژیک غیر قابل جایگزین برای حیات شهری و توسعه آن است و همچنین آب مایه حیات بوده و یکی از نیازهای اساسی برای بشریت و محصولات کشاورزی و اکوسیستم زیست محیطی می‌باشد [۱۱]. داده های ماهواره های سنجش از دور با قدرت تفکیک مکانی، طیفی و زمانی مختلف، یک منبع ارزشمند را برای ارزیابی سطح آب و تغییرات آن در دهه های اخیر ارائه نموده است [۱۲-۲۱]. بر این اساس، روش‌های مختلف پردازش تصاویر در دهه های اخیر برای استخراج عوارض آب معرفی شده است. روش‌های مبتنی بر تک باند که با استفاده از یک حد آستانه مناسب عوارض آبی را استخراج می کنند. در چنین روش_هایی، خطاها و عدم قطعیت معمولاً بخاطر مختلط بودن پیکسل های آب با سایر پیکسل های پوشش زمینی وجود دارد [۲۲]. روش‌های طبقه بندی یکی دیگر از روش‌های استخراج منابع آبی است که دارای دقت بهتری نسبت به روشهای تک‌باندی می باشند[۲۲]. همچنین روش‌های چندباندی که با ترکیب باندهای انعکاسی برای بهبود استخراج مناطق آبی بکار می رود. برای مثال شاخص اختلاف آبی نرمال شده (NDWI) برای استخراج مناطق آبی از تصاویر لندست بکار رفته شده است[۱۹]. بدلیل نقصان در شاخص اختلاف آبی نرمال شده، شاخص بهبود یافته آن (MNDWI) با استفاده از باند مادون قرمز میانی بجای باند قرمز را توسعه دادند و برای استخراج مناطق آبی بکار بردند [۱۳]. همچنین مطالعاتی در سطح جهانی در این زمینه انجام گرفته است. سطح آب دریاچه‌های جکسون و فلوریدا بر اساس عناصر اقلیمی (بارش و تبخیر) و با استفاده از فناوری‌های سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات مکانی[۱] انجام گرفته است. نتیجه این مطالعه نشان داد که می‌توان نوسان‌های دوره‌ای سطح آب دریاچه مذکور را با فناوری‌های سنجش از دور به‌طور دقیق در طول زمان پایش و ارزیابی کرد [۲۳]. تغییرات سطح آب معمولاً بوسیله استخراج مناطق آبی از روی تصاویر ماهواره ای چند زمانه انجام می گیرد که مطالعات مختلف مؤید این مطلب است [۲۴،۲۲،۱۴،۱۵].

این تحقیق تغییرات زمانی- مکانی دوره تثبیت سطح آب دریاچه ارومیه[۲] را در بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۶ میلادی با استفاده از داده‌های چند زمانه تصاویر لندست ۵ و ۷ و ۸ ارزیابی نموده است و مدلی را برای پیش‌بینی مدت زمان بهبود وضعیت سطح آب آن نسبت به ۱۴ سال قبل ارائه نموده است. دریاچه ارومیه با مساحتی متغیر از ۵۲۰۰ تا ۶۰۰۰ کیلومترمربع در قرن بیستم، یکی از بیست دریاچه بزرگ جهان و دومین دریاچه شور (قبل از سال ۲۰۱۰ میلادی) در جهان می‌باشد. این دریاچه محلی برای بیش از ۲۰۰۰۰ جفت از فلامینگوها[۳] و تقریباً ۲۰۰ تا ۵۰۰ جفت از پرندگان سفید پلیکان[۴] در هر فصل زمستان می باشد[۲۵]. دریاچه ارومیه از یک منطقه اقتصادی، توریستی، زیست محیطی نادیر و مهم می باشد و بعنوان یک منبع زیستگاهی[۵] توسط یونسکو[۶] در سال ۱۹۷۵ میلادی شناخته شده است. علاوه بر آن، دریاچه ارومیه به دمای متوسط و رطوبت در منطقه کمک می کند و مکانی مناسب را برای فعالیت‌های کشاورزی فراهم می کند[۲۶]. متأسفانه در سالهای گذشته، برای گسترش

۱ Geographic Information System (GIS)
۲ Urmia Lake
۳ Flamingos
٤ White Pelican
٥ Biosphere
٦ UNESCO

Archive of SID

www.SID.ir

فعالیت های کشاورزی در منطقه ۳۵ سد بر روی ۲۱ رودخانه منتهی به دریاچه ارومیه ساخته شده است[۲۷]. این سدها، تقاضای آب را برای کاربردهای صنعتی و خانگی افزایش داده است و در بلند مدّت باعث بوجود آمدن خشکسالی در منطقه شده است. آب های زیر زمینی تأمین کننده بخشی از آب دریاچه‌ها بوده اند از این رو استحصال بی رویه آب‌های زیر زمینی و احداث سدهایی در حوضه دریاچه ارومیه در خشک شدن دریاچه مؤثر بوده است. براساس آمار های موجود ۶۷٪ از سهم عوامل مؤثر در خشک شدن دریاچه ارومیه مربوط به عوامل اقلیمی و کاهش میزان نزولات جوی، ۲۵٪ مربوط به مصارف آب کشاورزی، ۵٪ مربوط به سازه های هیدرولیکی مانند سد ها و غیره بوده و ۳٪ سایر عوامل می باشد. لذا ضروری است که بطور منظم کاهش سطح آب دریاچه ارومیه و تأثیر آنرا بر محیط پیرامون پایش کرد تا بتوان تأثیر فعالیت‌های بشری بر روی تغییرات دریاچه ارومیه را بررسی نمود و بطور مؤثرگری در ترمیم و تثبیت وضعیت آن تصمیم گیری و برنامه ریزی با ثبات و دقیق کرد. متأسفانه این دریاچه در سالهای اخیر و بخاطر کاهش سطح آب و افزایش شوری آن در حالت بحرانی قرار دارد. این تحقیق علاوه بر بررسی تغییرات زمانی- مکانی سطح آب دریاچه ارومیه در بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۶ میلادی با استفاده از داده‌های چند زمانه تصاویر لندست ۵ و ۷ و ۸ ، مجموعه فعالیت‌های انجام گرفته و متوسط میزان بارش سالانه حوزه آبریز را در سال‌های اخیر جهت بهبود و تثبیت سطح آب مورد ارزیابی قرار داده است و مدلی را برای پیش‌بینی مدت زمان بهبود وضعیت سطح آب آن نسبت به ۱۴ سال قبل ارائه نموده است. در ارائه این مدل دو عامل اصلی، متوسط بارندگی سالیانه حوزه آبریز منطقه بعنوان مهمترین عامل مؤثر اقلیمی و کاهش میزان نزولات جوی در خشک شدن دریاچه ارومیه و مجموعه فعالیت-های انجام گرفته در سال‌های اخیر را مدنظر قرار داده است. برای این منظور، ابتدا برای ارزیابی تغییرات زمانی-مکانی سطح آب آن، چهار شاخص مختلف استخراج مقدار کمی آب، شامل شاخص نسبت آب[۱] ، شاخص اتوماتیک استخراج آب[۲] ، شاخص اختلاف آب نرمال شده[۳] و شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده[۴] ، مورد استفاده قرار گرفتند و عملکرد هر یک از آنها از طریق مقایسه با یک نقشه مبنا تعیین خطا گردیدند که شاخص اختلاف آب نرمال شده دارای کمترین خطا نسبت به سه شاخص دیگر بود. در نتیجه، مدل پیشنهادی بر اساس نتایج حاصل از شاخص اختلاف آب نرمال شده ارائه گردید و در سه حالت مختلف با در نظر گرفتن وزنهای مختلف برای عوامل مذکور ارزیابی گردیده است. مدل پیشنهادی با در نظر گرفتن عوامل مذکور در بهترین حالت و با وضعیت موجود دوره های زمانی حالت‌های تثبیت ناپایداری و پایداری سطح آب دریاچه ارومیه را پیش‌بینی و ارزیابی نموده است. مدل پیشنهادی روش باثباتی بوده و می تواند برای هر تعداد عوامل و اقدامات موثر مورد بررسی نیز تعمیم داده شود.

بخشهای مختلف این مقاله بصورت زیر سازماندهی گردیده است: بعد از یک مقدمه، ضرورت پایش منظم کاهش سطح آب دریاچه ارومیه و تأثیر آن بر محیط پیرامون اشاره گردید تا بتوان بطور مؤثری در ترمیم و تثبیت وضعیت سطح آب دریاچه ارومیه تصمیم گیری و برنامه ریزی با ثبات و دقیق کرد. در بخش بعدی، منطقه مورد مطالعه و داده های تحقیق و پیش پردازش آنها بحث گردیده است، در بخش سوم اجرای مدل پیشنهادی بر روی داده‌های چند زمانه تصاویر لندست ۵ و ۷ و ۸ ارائه شده است. در نهایت، در بخش چهارم نتیجه‌گیری از این تحقیق، آنالیز و بررسی گردیده است.

۲- منطقه مورد مطالعه و داده‌های تحقیق

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

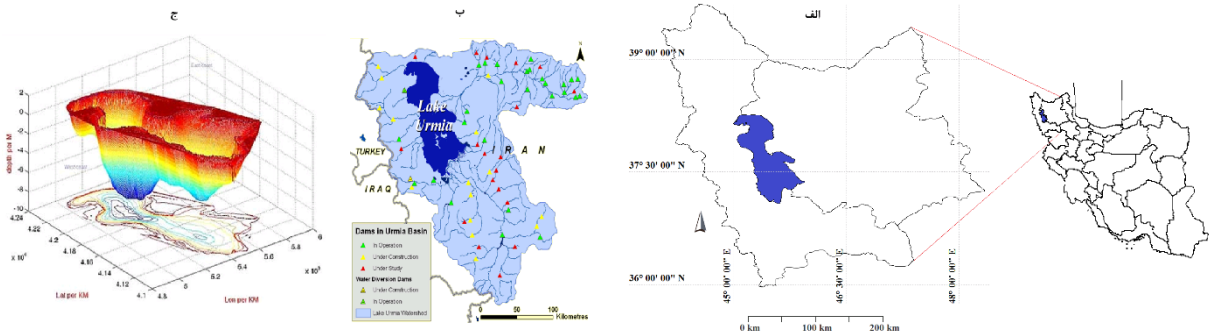
دریاچه ارومیه در شمال غربی ایران واقع شده است و طبق آخرین تقسیمات کشوری، بین دو استان آذربایجانشرقی و آذربایجان غربی تقسیم شده است. دریاچه ارومیه، بزرگ‌ترین دریاچه داخلی ایران و دومین دریاچه آب شور دنیا است. از نظر موقعیت جغرافیایی، این دریاچه ما بین طول های جغرافیایی ‘‘۱۸ ‘۰۳ °۴۵ و ‘‘۲۵ ‘۵۰ °۴۵ و عرض جغرافیایی ‘‘۵۲ ‘۰۸ °۳۷ و ‘‘۱۲ ‘۱۴ °۳۸ قرار دارد و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۲۶۷ متر

[۱] Water Ratio Index (WRI)
[۲] Automated Water Extraction Index(AWEI)
[۳] Normalized Difference Water Index (NDWI)
[۴] Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

Archive of SID

www.SID.ir

است. دریاچه ارومیه دارای حوزه های آبریزی مختلف به مساحت کل حدود ۵۱۸۷۶ کیلومترمربع بوده و حدوداً ۷٪ از سطح آب های کشور و ۳٪ مساحت کل کشور را در بر می‌گیرد [۲۶]. این دریاچه دارای بیشترین عمق ۱۶ متر بوده و به طول ۱۴۰ کیلومتر و عرض ۵۵-۴۰ کیلومتر می‌باشد. این حوزه با داشتن دشت های زیادی، یکی ازکانون‌های ارزشمند فعالیت های کشاورزی و دامداری در ایران به شمار می‌رود. منطقه مورد مطالعه و حوزه آبریز دریاچه ارومیه در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل۱- الف) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه، ب) حوضه آبریز دریاچه ارومیه و ج) نقشه توپوگرافی دریاچه ارومیه

۲-۲- داده‌های تحقیق و پیش پردازش آنها

داده های این تحقیق شامل سری زمانی از تصاویر لندست ۵، لندست ۷ و لندست ۸ از سال ۲۰۰۲ تا سال ۲۰۱۶ میلادی استفاده گردیده است. سه سری از این داده‌ها از سنجنده های ماهواره لندست ۵، لندست ۷ و لندست ۸ ازسازمان زمین‌شناسی ایالات متحده[۱] (USGS) دریافت شد که مشخصات این داده‌ها در جدول (۱) نشان داده شده است. بدیهی است قبل از محاسبه و استخراج پارامترهای فیزیکی سطح زمین نظیر دما، گسیلمندی، رادیانس انعکاسی-حرارتی سطح، آلبدو سطح و نظایر آن، تصحیح رادیومتریکی تصاویر الزامی است. برای رسیدن به این هدف بایستی اثر اتمسفر، هندسه دید سنجنده، روشنایی خورشید و اثر توپوگرافی و ویژگی‌های سطح روی تصاویر درنظر گرفته شود و تاثیر این عوامل در تخمین پارامترهای سطح حذف یا به حداقل برسد.

جدول۱- مشخصات داده‌های تحقیق

ماهواره	سنجنده	سطر/ گذر	تاریخ اخذ
Landsat-7	ETM+	169/34	2002.06.09
Landsat-5	TM	169/34	2007.09.03
		169/34	2010.09.07
Landsat-8	OLI	169/34	2014.09.22
		169/34	2015.09.09
		169/34	2016.09.29

در این تحقیق، چون هدف بررسی سطح آب دریاچه ارومیه بود فقط تصحیح اتمسفری بر روی تصاویر انجام گرفت. برای این منظور، با استفاده از نرم افزار تصحیح اتمسفری و توپوگرافی[۲] ATCOR2/3 که بصورت مستقل بر پایه محیط برنامه نویسی زبان تعاملی داده[۳] استوار بوده و از پایگاه داده مدلهای انتقال تابش MODTRAN-5[۴] استفاده می‌کند[۲۸]، تصحیح اتمسفری بر روی تصاویر انجام گرفت. ATCOR2 فقط اشاره به تصحیح اتمسفری دارد و ATCOR3 بیانگر تصحیح اتمسفری توأم با تصحیح توپوگرافی را دارد که با پذیرش مدل رقومی ارتفاعی و مشتقات آن این کار را انجام می دهد. پایگاه داده MODTRAN شامل طیف گسترده‌ای از انتقال تابشی از قبل محاسبه شده برای شرایط مختلف آب و هوایی، زوایای مختلف خورشید و سنجنده تهیه شده است. در نرم افزار تصحیح اتمسفری و توپوگرافی (ATCOR) اطلاعات مربوط به سنجنده و تصویر (نظیر زاویه زنیت خورشید و سنجنده در زمان اخذ داده، زاویه سمت[۵] سنجنده و خورشید، تاریخ و زمان اخذ داده، اندازه پیکسل‌ها و غیره) از متافایل[۶] هر تصویر معرفی می‌گردد. علاوه بر آن، از الگوریتم پوشش گیاهی متراکم تیره[۷] جهت برآورد ضخامت اپتیکی اتمسفری یا پارامتر قابلیت دید استفاده

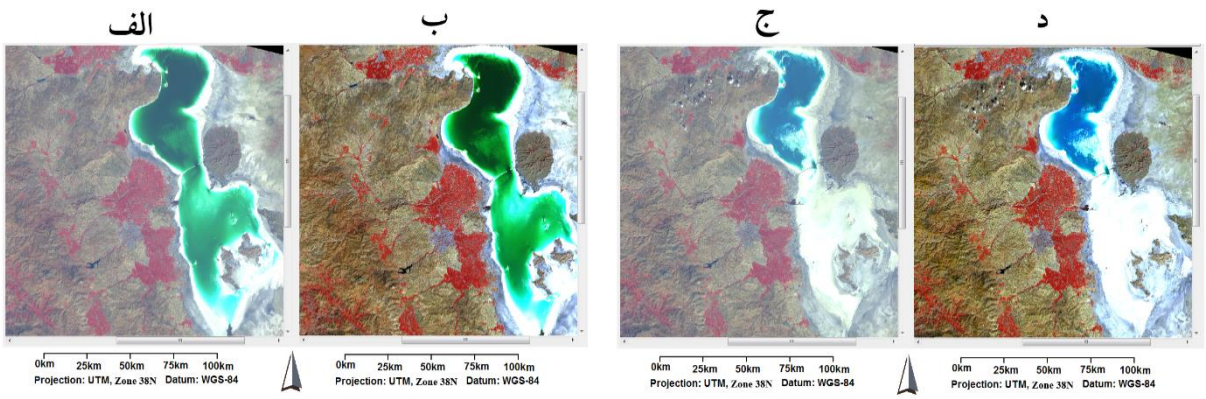
۱ United States Geological Survey

۲ Atmospheric/topographic correction
۳ Interactive Data Language
۴ MODerate resolution atmospheric TRANsmission
۵ Azimuth angle
۶ Metafile of image
۷ Dense dark vegetation (DDV)

Archive of SID

www.SID.ir

می‌کند[۲۸] و نوع مدل اتمسفری و آیروسل نیز از روی طول جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و تاریخ اخذ تصاویر تعیین گردید[۳۰,۲۹] و به نرم‌افزار ATCOR معرفی شد و نهایتاً تصحیح اتمسفری بر روی تصاویر انجام گرفت. شکل ۲ (الف ، ب، ج، و د) نمونه‌ای از این تصحیحات را در قسمتی از تصاویر نشان می‌دهد.



شکل۲- تصحیح اتمسفری در قسمتی از تصاویر: (الف و ج) و (ب و د) به ترتیب تصاویر اولیه و تصاویر نظیر تصحیح شده

با تصحیح اتمسفری تصاویر منطقه مورد مطالعه، انعکاس در سطح زمین بدست آمد و تمامی محاسبات لازم بر اساس آن صورت گرفت.

۳- روش پیشنهادی

روش پیشنهادی در این تحقیق، در دو مرحله کلی صورت گرفته است، در مرحله اول، تغییرات زمانی- مکانی دوره تثبیت سطح آب دریاچه ارومیه در بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۶ میلادی با استفاده از داده‌های چند زمانه تصاویر لندست ۵ و ۷ و ۸ بررسی شده است و در مرحله دوم مدلی برای پیش-بینی مدت زمان بهبود وضعیت سطح آب آن ارائه شده و برای حالت های مختلف آنالیز و بررسی گردیده است. در ادامه این دو مرحله در دو زیر بخش مجزا توضیح داده می شود.

۳-۱- بررسی تغییرات زمانی- مکانی سطح آب

جهت آشکارسازی و ارزیابی تغییرات زمانی- مکانی سطح آب دریاچه ارومیه در دوره زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۶ میلادی در هر تصویر تصحیح اتمسفری شده، چهار شاخص مختلف استخراج مقدار کمی آب، شامل شاخص نسبت آب (WRI)، شاخص اتوماتیک استخراج آب (AWEI)، شاخص اختلاف آب نرمال شده (NDWI) و شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI)، مورد استفاده قرار گرفتند [۱]. شاخص نسبت آب، با توجه به بازتاب طیفی آب در باندهای سبز و قرمز در مقایسه با مادون‌قرمز نزدیک و مادون‌قرمز میانی تعریف می گردد. مقادیر بزرگ‌تر از یک این شاخص بعنوان پیکسل‌های آب در نظر گرفته می‌شود. شاخص اتوماتیک استخراج آب، جزء شاخص هایی است که بیشتر برای استخراج پهنه های آب مناطق شهری کاربرد دارد. این شاخص در برطرف کردن پیکسل های تیره و شناسایی سطوح آبی با دقت بالا در مناطق شهری و کوهستانی که مشکل سایه مانع شناسایی درست می شود، مورد استفاده قرار می گیرد. با اعمال این شاخص در مناطقی که مقدار این شاخص کوچکتر از صفر، پیکسل غیر آب است و در جایی که مقدار این شاخص بزرگتر از صفر، پهنه آبی می باشد[۲]. شاخص اختلاف آب نرمال شده یکی از شاخص های سنجش از دوری است که حساس به تغییرات آب است. این شاخص با استفاده از انعکاسات مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز با طول موج کوتاه محاسبه می شود. دامنه ی تغییرات این شاخص نیز بین ۱- تا ۱+ می باشد. آب در این شاخص دارای مقادیر مثبت می باشد[۳]. شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده، برحسب مقدار انرژی انعکاسی در دو باند قرمز و مادون قرمز نزدیک تعریف می‌شود و دارای مقادیر بین ۱- و ۱+ است. در این شاخص، آب، برف و یخ دارای مقادیر منفی هستند. یکی از عمده‌ترین خطاهایی که روی مقادیر این شاخص به‌دست‌آمده و برای یک منطقه اثر می‌گذارد، اثر ابرها و آلودگی‌های جوی از قبیل دود، مه و غبار هست که باعث افزایش یا کاهش مقادیر این شاخص می‌شوند [۴]. بدیهی است جذب اشعه مادون‌قرمز به وسیله آب و انعکاس شدید آن به وسیله پوشش گیاهی و خاک ترکیب ایده آلی از این باندها را برای استخراج مناطق آبی فراهم می‌کند[۵]. این شاخص ها و مشخصات آنها در جدول (۲) نشان داده شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۲- شاخص های مورد استفاده در استخراج مناطق آبی

شاخص	معادله	مقدار شاخص در آب	مرجع
NDWI	$NDWI = \frac{\rho_G - \rho_{NIR}}{\rho_G + \rho_{NIR}}$	$NDWI > 0$	[۳]
WRI	$WRI = \frac{\rho_G - \rho_{Red}}{\rho_{NIR} + \rho_{MIR}}$	$WRI > 1$	[۶]
AWEI	$AWEI = 4\,(\rho_{G} - \rho_{MIR}) - (0.25\,.\,\rho_{NIR} + 2.75\,\rho_{SWIR})$	$AWEI > 0$	[۲]
NDVI	$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{Red}}{\rho_{NIR} + \rho_{Red}}$	$NDVI < 0$	[۷]

این شاخص‌ها بر روی داده‌های تصحیح اتمسفری شده لندست ۵، ۷ و ۸ اجرا گردید و هر تصویر با استفاده از دامنه شاخص مورد نظر و با روش حد آستانه به دو کلاس خشکی و آب تقسیم گردید و مساحت سطح آب موجود در دریاچه در هرسال از این تصاویر با استفاده از شاخص های کمی استخراج آب تعیین شد. بعد از استخراج کلاس خشکی و آب، نقشه های تولید شده برای آشکارسازی تغییرات سطح آب دریاچه ارومیه در دوره زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۶ با توجه به نقشه رفرانس تغییرات آنها مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. بعد از استخراج مقدار کمی مناطق آبی با استفاده از این شاخص ها، عملکرد هر یک از آنها از طریق مقایسه با یک نقشه مبنا تعیین خطا گردیدند که شاخص اختلاف آب نرمال شده دارای کمترین خطا نسبت به سه شاخص دیگر بود. بدلیل اینکه باند مادون قرمز حرارتی توسط آب بشدت جذب می‌شود و بشدت در پوشش گیاهی و خاک انعکاس می‌یابد لذا نقشه حاصل از این باند بعنوان رفرانس برای ارزیابی تمامی روش‌های استخراج عوارض آبی مورد استفاده قرار گرفت[۸]. در نقشه رفرانس با دیجیتایز دقیق محدوده دریاچه ارومیه با استفاده از باند مادون قرمز حرارتی تصویر +ETM سال ۲۰۰۲ تهیه گردیدند. تجزیه و تحلیل نتایج برای هر شاخص در جداول (۳) تا (۶) نشان داده شده است.

جدول۳- تغییرات سطح آب دریاچه ارومیه با استفاده از شاخص NDVI

سال	مساحت سطح دریاچه (km^2)	تغییرات مساحت سطح دریاچه نسبت به سال قبل (km^2)	تغییرات مساحت سطح دریاچه نسبت به سال۲۰۰۲
۲۰۰۲	۴۰۹۹,۰۰۹ ± ۱,۸۴۰%		-
۲۰۰۷	۳۹۵۶,۷۶۹ ± ۱,۸۴۰%	-۱۴۲,۲۴۰	-۱۴۲,۲۴۰
۲۰۱۰	۳۳۳۵,۶۲۶ ± ۱,۸۴۰%	-۶۲۱,۱۴۳	-۷۶۳,۳۸۳
۲۰۱۴	۱۵۵۸,۸۷۷ ± ۱,۸۴۰%	-۱۷۷۶,۷۴۹	-۲۵۴۰,۱۳۲
۲۰۱۵	۱۸۹۰,۴۷۳ ± ۱,۸۴۰%	۳۳۱,۵۹۶	-۲۲۰۸,۵۳۶
۲۰۱۶	۲۶۷۲.۲۴۸ ± ۱.۸۴۰%	۷۸۱,۷۷۵	-۱۴۲۶,۷۶۱

جدول۴- تغییرات سطح آب دریاچه ارومیه با استفاده از شاخصNDWI

سال	مساحت سطح دریاچه (km^2)	تغییرات مساحت سطح دریاچه نسبت به سال قبل (km^2)	تغییرات مساحت سطح دریاچه نسبت به سال۲۰۰۲
۲۰۰۲	۴۲۱۷,۶۱۱ ± ۱%		-
۲۰۰۷	۴۰۶۳,۸۳۷ ± ۱%	-۱۵۳,۷۷۴	-۱۵۳,۷۷۴
۲۰۱۰	۳۳۸۳,۸۶۱ ± ۱%	-۶۷۹,۹۷۶	-۸۳۳,۷۵۰
۲۰۱۴	۹۲۸,۰۴۶ ± ۱%	-۲۴۵۵,۸۱۵	-۳۲۸۹,۵۶۵
۲۰۱۵	۱۱۲۶,۱۲۸ ± ۱%	۱۹۸,۰۸۲	-۳۰۹۱,۴۸۳
۲۰۱۶	۲۳۴۴,۰۷۳ ± ۱%	۱۲۱۷,۹۴۵	-۱۸۷۳,۵۳۸

www.SID.ir

جدول۵- تغییرات سطح آب دریاچه ارومیه با استفاده از شاخصWRI

سال	مساحت سطح دریاچه (km^2)	تغییرات مساحت سطح دریاچه نسبت به سال قبل (km^2)	تغییرات مساحت سطح دریاچه نسبت به سال۲۰۰۲
۲۰۰۲	۴۳۷۸,۴۹۳ ± ۴,۸۵۰%		-
۲۰۰۷	۴۱۹۶,۶۷۶ ± ۴,۸۵۰%	-۱۸۱,۸۱۷	-۱۸۱,۸۱۷
۲۰۱۰	۳۹۰۱,۱۱۶ ± ۴,۸۵۰%	-۲۹۵,۲۶۰	-۴۷۷,۳۷۷
۲۰۱۴	۱۵۶۱,۳۶۴ ± ۴,۸۵۰%	-۲۳۳۹,۷۵۲	-۲۸۱۷,۱۲۹
۲۰۱۵	۱۹۷۹,۶۲۳ ± ۴,۸۵۰%	۴۱۸,۲۵۹	-۲۳۹۸,۸۷۰
۲۰۱۶	۳۴۹۴,۵۱۰ ± ۴,۸۵۰%	۱۵۱۴,۸۸۷	-۸۸۳,۹۸۳

جدول۶- تغییرات سطح آب دریاچه ارومیه با استفاده از شاخص AWEI

سال	مساحت سطح دریاچه (km^2)	تغییرات مساحت سطح دریاچه نسبت به سال قبل (km^2)	تغییرات مساحت سطح دریاچه نسبت به سال۲۰۰۲
۲۰۰۲	۳۵۱۹,۷۱۱ ± ۱۵,۷۱۱%		-
۲۰۰۷	۴۰۷۵,۰۲۶ ± ۱۵,۷۱۱%	۵۵۵,۳۱۵	۵۵۵,۳۱۵
۲۰۱۰	۳۶۴۵,۸۵۲ ± ۱۵,۷۱۱%	-۴۲۹,۱۷۴	۱۲۶,۱۴۱
۲۰۱۴	۲۷۸۳,۴۸۷ ± ۱۵,۷۱۱%	-۸۶۲,۳۶۵	-۷۳۶,۲۲۴
۲۰۱۵	۲۷۴۸,۰۷۸ ± ۱۵,۷۱۱%	-۳۵,۴۰۹	-۷۷۱,۶۳۳
۲۰۱۶	۳۱۱۲,۴۷۱ ± ۱۵,۷۱۱%	۳۶۴,۳۹۳	-۴۰۷,۲۴۰

از مقایسه نقشه های حاصل از چهار شاخص بر روی تصاویر سال ۲۰۰۲ میلادی و مقایسه آن با نقشه مبنا دیجیتایز شده در سال ۲۰۰۲، مقدار خطا برای هر شاخص توسط معادله (۱) تعیین گردید.

$$e = \left(\frac{S_0 - S_C}{S_C}\right) \times 100 \qquad (۱)$$

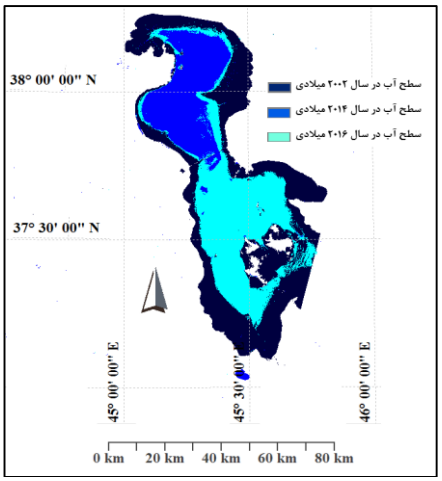
در این معادله، S_0 مساحت آب دریاچه در نقشه مبنا در سال ۲۰۰۲ ، S_C مساحت آب دریاچه ارومیه که توسط چهار شاخص کمی استخراج آب بر روی داده سال ۲۰۰۲ حاصل گردید و e مقدار خطای برآورد هر شاخص می باشد. مقدار خطا برای شاخص NDVI، ٪۱,۸۴، شاخص WRI، ٪۴,۸۵، شاخص AWEI، ٪۱۵,۷۱ و شاخص NDWI، ٪۱,۰ تعیین شد. نقشه‌های خروجی حاصل از اعمال چهار شاخص، نسبت آب (WRI)، شاخص اتوماتیک استخراج آب (AWEI)، شاخص اختلاف آب نرمال شده (NDWI) و شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI)، بر روی تصاویر اخذ شده از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۶ در دوره‌های زمانی مختلف مورد بررسی قرار گرفت که تجزیه و تحلیل این تصاویر نشان می‌دهد که تغییرات سطح آب دریاچه ارومیه در این دوره‌های زمانی قابل‌توجه است که از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۴ روندی کاهشی و در سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۶ روند افزایشی را در برگرفته است. شکل (۴) این دو دوره زمانی را نشان می دهد.

سپس تغییرات مربوط به مساحت دریاچه ارومیه با استفاده از دقیق ترین شاخص کمی استخراج آب یعنی، شاخص NDWI در شکل (۳) نمایش داده شده است. با توجه به این نقشه همپوشانی مشخص می شود که تغییرات قابل ملاحظه ای در سطح آب دریاچه رخ داده است و بیشترین تغییرات در قسمت های جنوبی دریاچه مشاهده می شود.

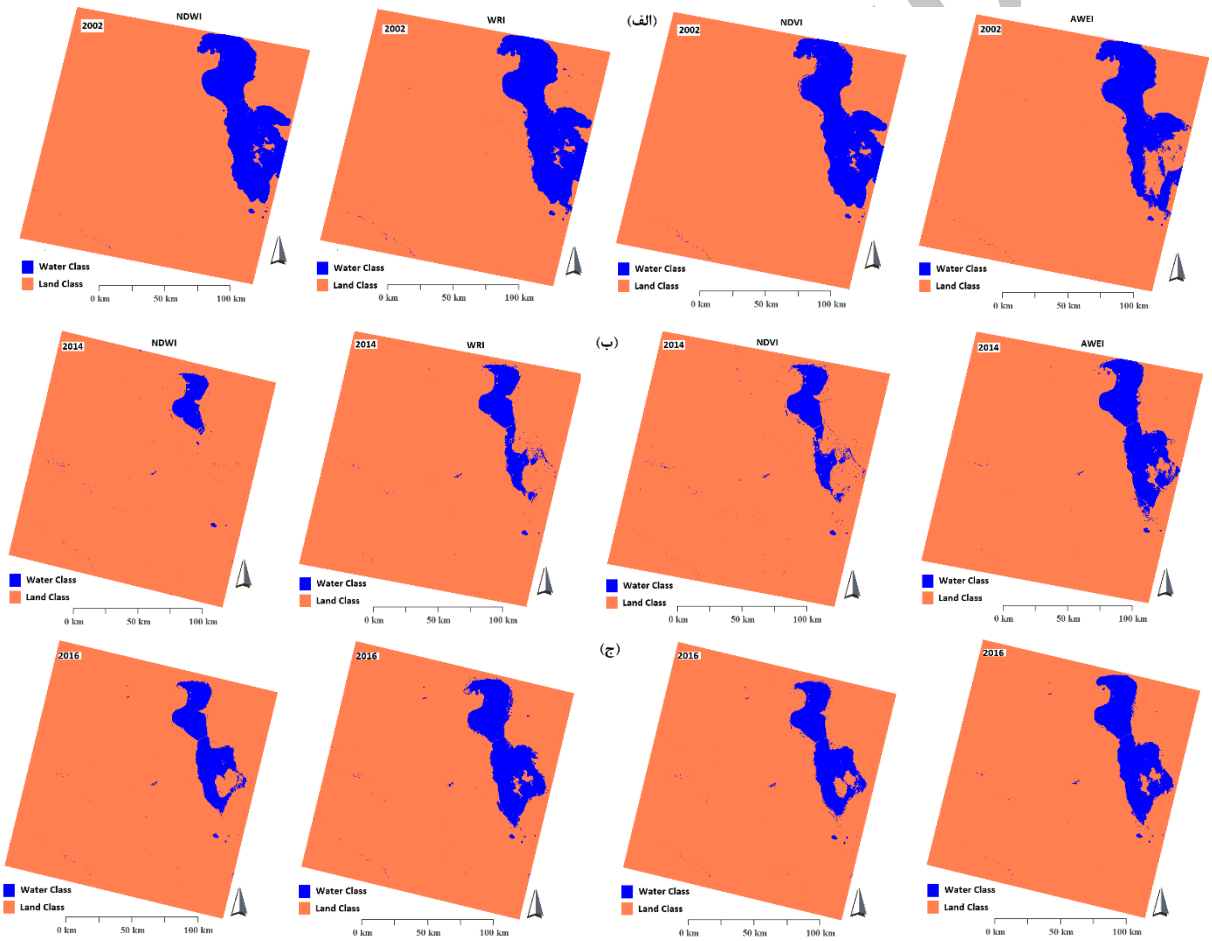
Archive of SID

www.SID.ir

شکل (۴) نقشه تغییرات مساحت آب دریاچه ارومیه با استفاده از چهار شاخص استخراج مقدار کمی آب، شاخص نسبت آب، شاخص اتوماتیک استخراج آب، شاخص اختلاف آب نرمال شده و شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده را در سه دوره زمانی، (دوره مبنا سال ۲۰۰۲، سال ۲۰۱۴ و سال ۲۰۱۶) نشان می دهد.



شکل۳- نقشه تغییرات مساحت آب دریاچه ارومیه با استفاده از شاخص NDWI در دو دوره زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۴ (کاهشی) و ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۶ (افزایشی)



شکل۴- نقشه تغییرات مساحت آب دریاچه ارومیه با استفاده از چهار شاخص استخراج مقدار کمی آب، شاخص نسبت آب (WRI)، شاخص اتوماتیک استخراج آب (AWEI)، شاخص اختلاف آب نرمال شده (NDWI) و شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI)، در سه دوره زمانی، الف) دوره مبنا سال ۲۰۰۲، ب) سال ۲۰۱۴ و (ج) سال ۲۰۱۶

۳-۲- ارائه مدلی برای پیش‌بینی دوره تثبیت آن

با مطالعه میزان تغییرات سطح آب و تعیین دقت چهار شاخص موردنظر در دوره‌های زمانی مختلف از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۶ نشان داد که شاخص NDWI برای پایش تغییرات زمانی- مکانی آب دریاچه ارومیه نسبت به شاخص های دیگر دقیق‌تر است. همچنین از طریق تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای چهار شاخص موردنظر، نتایج نشان داد که روند

www.SID.ir

کاهشی بسیار شدیدی در سطح آب دریاچه در دوره زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۴ وجود دارد، به‌خصوص بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۴ که به‌اندازه ۲۴۵۵,۸۱۵ کیلومترمربع از مساحت آن کاهش یافته است که در مقایسه با مساحت آن در سال ۲۰۰۲ ، ٪۵۸,۲۲ سطح آب ازدست رفته زیاد می‌باشد. اما سطح آب بین سال‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۱۶ به‌اندازه ٪۳۳,۵۷ افزایش پیدا کرده است، که این افزایش را می‌توان ناشی از دو عامل اصلی دانست، اولی فعالیت‌های انجام‌شده برای رفع بحران دریاچه ارومیه در سالهای اخیر و دومی متوسط میزان بارندگی در منطقه هست. بر این اساس، و بر اساس نرخ روند کاهشی و افزایشی سطح آب دریاچه ارومیه در دو دوره زمانی مذکور (۲۰۰۲ تا ۲۰۱۴ و ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۶) مدلی برای پیش‌بینی دوره تثبیت آن بصورت معادله کلی (۲) پیشنهاد می‌گردد.

$$S_n = S_0\left[\alpha\left(1+\frac{r'}{m}\right)^{\frac{n}{m}} + \beta\left(1+\frac{r''}{m}\right)^{\frac{n}{m}} + \cdots + \gamma\left(1+\frac{r'''}{m}\right)^{\frac{n}{m}}\right] \quad (۲)$$

در این معادله، S_n مساحت آب دریاچه که هدف رسیدن به آن سطح بعد از n سال، S_0 مساحت موجود آب دریاچه، α، β ، ... و γ وزن مربوط به عوامل مؤثر در تغییرات سطح آب که مجموع وزنها برابر یک می باشد، r^i نرخ رشد مربوط به هر یک از عوامل متأثر در تغییرات سطح آب در یک سال، n تعداد سال و m تعداد عوامل مؤثر در تغییرات سطح آب. معادله پیشنهادی فوق بصورت کلی بوده و به هر تعداد عوامل موثر در تغییرات سطح آب قابل ارزیابی است.

در این تحقیق، دو عامل اصلی، متوسط بارندگی سالیانه حوزه آبریز منطقه و مجموع فعالیت‌های انجام گرفته در سالهای اخیر بعنوان یک عامل دیگر، مدنظر قرار گرفته شد. بنابراین معادله پیشنهادی (۲) به شکل ساده معادله (۳) در نظر گرفته شد.

$$S_n = S_0\left[\alpha\left(1+\frac{r'}{2}\right)^{\frac{n}{2}} + \beta\left(1+\frac{r''}{2}\right)^{\frac{n}{2}}\right] \quad (۳)$$

در این معادله نیز، S_n مساحت آب دریاچه که هدف رسیدن به آن سطح بعد از n سال، S_0 مساحت موجود آب دریاچه، α وزن مربوط به متوسط بارندگی سالیانه، β وزن مربوط به مجموع فعالیت های انجام شده برای احیای سطح آب دریاچه، r' نرخ رشد مربوط به بارش سالانه، r'' نرخ رشد مربوط به مجموع فعالیت‌های انجام شده برای احیای سطح آب دریاچه در یک سال و n تعداد سال می باشد.

حال هدف این است که با توجه به روند افزایش سطح آب دریاچه از سال ۲۰۱۴ و ۲۰۱۶ ، بررسی گردد که چه مدت طول می کشد تا به آب دریاچه به سطح اولیه خود در سال ۲۰۰۲ برسد. در معادله (۲) همه پارامترها معلوم بوده و فقط n مجهول می باشد که معادله بر اساس آن حل و مورد ارزیابی قرار می گیرد. برای بررسی عامل اول یعنی متوسط بارش سالیانه در طی ۱۰ سال گذشته در نظر گرفته شد. مقادیر متوسط بارش سالیانه در حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک در جدول (۷) نشان داده شده است. با فرض اینکه تأثیر هرکدام از عوامل مورد بررسی بر میزان افزایش سطح آب ٪۵۰ باشد و با توجه به متوسط بارندگی سالانه ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۶ را که به اندازه ۳۳۴,۹۱ میلیمتر بوده را با متوسط بارش یک دهه گذشته (۳۴۳,۴۶ میلیمتر) در منطقه مقایسه گردد، مشاهده می شود که افزایش آب در این دوره بیشتر به مجموع فعالیت‌های انجام گرفته برای رفع بحران دریاچه برمی‌گردد. البته لازم به ذکر است که میزان متوسط بارندگی در حوضه دریاچه ارومیه نیز بی‌تأثیر نیست، چون اغلب فعالیت‌های انجام گرفته برای احیای دریاچه ارومیه، وابسته به میزان بارندگی و نزولات آسمانی نظیر، جمع آوری آبهای سطحی، رها کردن برخی از آبهای سدها به دریاچه و غیره است. در مقابل، برخی از فعالیت های انجام گرفته مثل لایروبی رودخانه های منتهی به دریاچه، تغییر نوع کشت کشاورزان و غیره وابسته به میزان بارندگی نیست و می‌تواند از فعالیت‌های مؤثر در احیای دریاچه ارومیه باشد.

جدول۷- مقادیر متوسط بارش سالیانه در حوضه دریاچه ارومیه

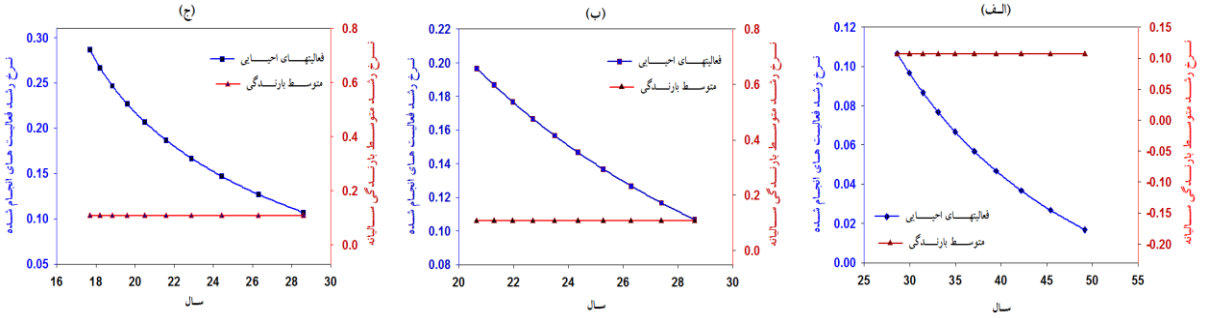
سال	متوسط بارش سالیانه (mm)
۲۰۰۷-۲۰۰۸	۳۴۳,۴۶
۲۰۰۸-۲۰۰۹	۳۴۳,۴۶
۲۰۰۹-۲۰۱۰	۳۴۳,۴۶
۲۰۱۰-۲۰۱۱	۳۴۳,۴۶
۲۰۱۱-۲۰۱۲	۳۴۳,۴۶
۲۰۱۲-۲۰۱۳	۳۴۳,۴۶
۲۰۱۳-۲۰۱۴	۳۴۳,۴۶
۲۰۱۴-۲۰۱۵	۳۴۳,۴۶
۲۰۱۵-۲۰۱۶	۳۱۷,۸

Archive of SID

www.SID.ir

برای ارزیابی مدل پیشنهادی سه حالت مختلف در سه دوره زمانی مختلف ذیل در نظر گرفته و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

در حالت اول بررسی، تجزیه و تحلیل بر اساس متوسط رشد یک سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۵ بررسی گردیده است. در این بررسی، وزن های یکسان (شکل های ۵ الف و ب) و وزن های متغیر (شکل ۵ ج) برای دو عامل اصلی مذکور در نظر گرفته شده است. در هر یک از سه حالت بررسی با توجه به ثابت بودن متوسط بارش سالیانه (جدول ۸) مقدار آن را ثابت در نظر گرفته و تغییرات اصلی سطح آب متوجه عامل دوم یعنی مجموع فعالیت های احیایی دریاچه ارومیه در نظر گرفته شد. برای این منظور در شکل (۵ الف) نرخ فعالیت های احیایی دریاچه ارومیه را کاهشی و در شکل های (۵ ب و ج) نرخ فعالیت های احیایی را افزایشی به ترتیب با وزن های ثابت و متغیر در نظر گرفته شدند.



شکل۵- تجزیه و تحلیل بر اساس متوسط رشد یک سال (۲۰۱۴ تا ۲۰۱۵) و فعالیت های احیایی دریاچه ارومیه. الف) روند کاهشی فعالیت های احیایی، ب) روند افزایش فعالیت های احیایی با وزن یکسان عوامل مورد بررسی و ج) روند افزایش فعالیت های احیایی با وزن متغیر عوامل مورد بررسی

نتایج نشان داد که در صورتی که فعالیت های احیایی دریاچه ارومیه روند ثابت و کاهشی داشته باشند حداقل ۳۰ سال و حداکثر ۴۹ سال طول خواهد کشید تا سطح آب دریاچه ارومیه به سطح ۱۴ سال قبل (۲۰۰۲ میلادی) برگردد. همچنین اگر فعالیت های احیایی دریاچه ارومیه روند ثابت و افزایشی داشته باشد حداقل ۲۱ سال و حداکثر ۲۹ سال طول خواهد کشید تا سطح آب دریاچه ارومیه به سطح مورد نظر و حالت پایدار برگردد. علاوه بر آن، اگر فعالیت های احیایی دریاچه ارومیه روند متغیر و افزایشی داشته باشد حداقل ۱۷ سال و حداکثر ۲۹ سال طول خواهد کشید تا سطح آب دریاچه ارومیه به سطح پایدار برگردد. نتایج بررسی نشان میدهد که روند احیای دریاچه ارومیه در صورت ثابت بودن متوسط بارش سالیانه در حوضه آبریز آن از یک معادله کوادراتیک همانند معادله (۴) تبعیت می کند.

$$Rec_{Time} = a + br + cr^2 \qquad (۴)$$

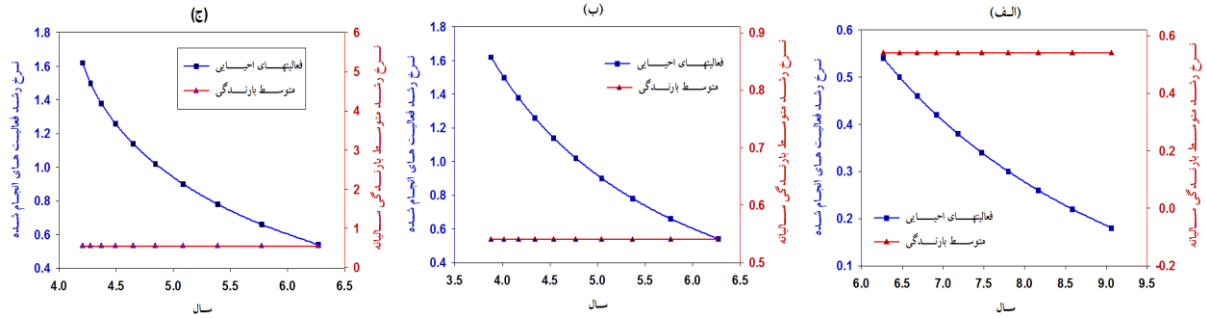
در این معادله Rec_{Time} زمان بهبود دریاچه بر حسب سال در اثر فعالیت‌های احیایی با نرخ رشد r بر حسب درصد می باشد مشروط بر ثابت بودن متوسط بارش سالیانه در حوضه آبریز دریاچه ، a، b و c ضرایب ثابت معادله می باشند.

در حالت دوم بررسی نیز، تجزیه و تحلیل بر اساس متوسط رشد یک سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۶ بررسی گردید. در طول این سال بدلیل وضع بحرانی سطح آب دریاچه ارومیه، علاوه بر فعالیت‌های احیایی سال قبل، چندین سد در حوضه دریاچه آب گیری نکردند و آبیاری غیر اصولی کشاورزان از آب رودخانه های منتهی به دریاچه را محدود نمودند. این امر باعث گردید که نرخ رشد فعالیت های احیایی دریاچه نسبت به سال ۲۰۱۴-۲۰۱۵ کمی افزایش یابد. در این بررسی نیز، وزن های یکسان (شکل های ۶ الف و ب) و وزن های متغیر (شکل ۶ ج) برای دو عامل اصلی مذکور در نظر گرفته شده است. در هر یک از سه حالت بررسی با توجه به ثابت بودن متوسط بارش سالیانه (جدول ۸) مقدار آن را ثابت در نظر گرفته و تغییرات اصلی سطح آب ناشی از مجموع فعالیت های احیایی دریاچه ارومیه در نظر گرفته شد. برای این منظور در شکل (۶ الف) نرخ فعالیت های احیایی دریاچه ارومیه را کاهشی و در شکل های (۶ ب و ج) نرخ فعالیت‌های احیایی را افزایشی به ترتیب با وزن های ثابت و متغیر در نظر گرفته شدند. نتایج این بررسی، نشان داد که در صورتی که فعالیت‌های احیایی دریاچه ارومیه روند ثابت و کاهشی داشته باشند حداقل ۷ سال و حداکثر ۱۰ سال طول خواهد کشید تا سطح آب دریاچه ارومیه به سطح ۱۴ سال قبل (۲۰۰۲ میلادی) برگردد. همچنین اگر فعالیت‌های احیایی دریاچه

Archive of SID

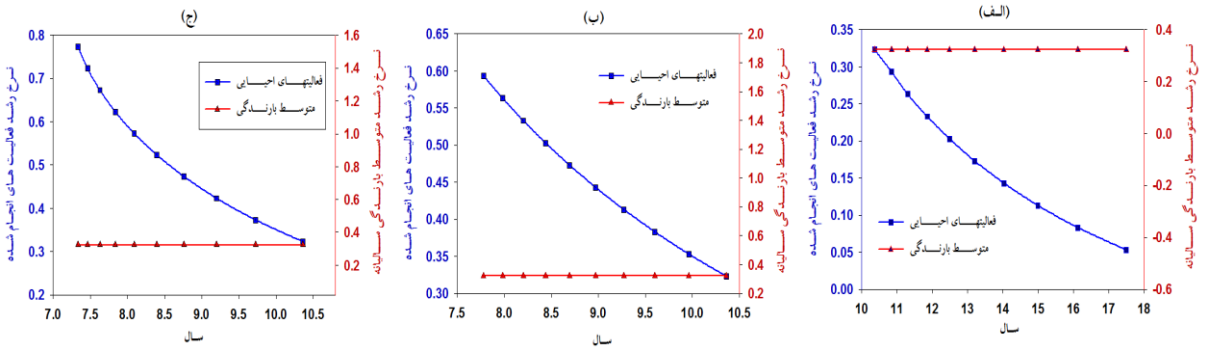
www.SID.ir

ارومیه روند ثابت و افزایشی داشته باشد حداقل ۴ سال و حداکثر ۶ سال طول خواهد کشید تا سطح آب دریاچه ارومیه به سطح مورد نظر و حالت پایدار برگردد. علاوه بر آن، اگر فعالیت‌های احیایی روند متغیر و افزایشی داشته باشد حداقل ۴ سال و حداکثر ۷ سال طول خواهد کشید تا سطح آب دریاچه ارومیه به سطح پایدار برگردد. نتایج بررسی نشان میدهد که روند احیای دریاچه ارومیه در صورت ثابت بودن متوسط بارش سالیانه در حوضه آبریز آن همچنان همانند حالت اول بررسی، از یک معادله کوادراتیک تبعیت می‌کند.



شکل۶- تجزیه و تحلیل بر اساس متوسط رشد یک سال (۲۰۱۵ تا ۲۰۱۶) و فعالیت های احیایی دریاچه ارومیه. الف) روند کاهشی فعالیت های احیایی، ب) روند افزایش فعالیت های احیایی با وزن یکسان عوامل مورد بررسی و ج) روند افزایش فعالیت های احیایی با وزن متغیر عوامل مورد بررسی

در حالت سوم بررسی، تجزیه و تحلیل بر اساس متوسط رشد دوره افزایشی سطح آب دریاچه یعنی دوره دو ساله ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۶ بررسی گردیده است. در این بررسی، وزن های یکسان (شکل های ۷ الف و ب) و وزن های متغیر (شکل ۷ ج) برای دو عامل اصلی مذکور همانند دو حالت بررسی اول و دوم در نظر گرفته شده است. نتایج این حالت نیز نشان داد در صورتی که فعالیت‌های احیایی دریاچه ارومیه روند ثابت و کاهشی داشته باشند حداقل ۱۱ سال و حداکثر ۱۸ سال طول خواهد کشید تا سطح آب دریاچه ارومیه به سطح ۱۴ سال قبل (۲۰۰۲ میلادی) برگردد. همچنین اگر فعالیت‌های احیایی دریاچه ارومیه روند ثابت و افزایشی داشته باشد حداقل ۸ سال و حداکثر ۱۱ سال طول خواهد کشید تا سطح آب دریاچه ارومیه به سطح مورد نظر و حالت پایدار برگردد. علاوه بر آن، اگر فعالیت‌های احیایی روند متغیر و افزایشی داشته باشد حداقل ۷ سال و حداکثر ۱۱ سال طول خواهد کشید تا سطح آب دریاچه ارومیه به سطح پایدار برگردد. نتایج بررسی نشان میدهد که روند احیای دریاچه ارومیه در صورت ثابت بودن متوسط بارش سالیانه در حوضه آبریز آن همچنان از یک معادله کوادراتیک تبعیت می کند.



شکل۷- تجزیه و تحلیل بر اساس متوسط رشد دو ساله (۲۰۱۴ تا ۲۰۱۶) و فعالیت های احیایی دریاچه ارومیه. الف) روند کاهشی فعالیت های احیایی، ب) روند افزایش فعالیت های احیایی با وزن یکسان عوامل مورد بررسی و ج) روند افزایش فعالیت های احیایی با وزن متغیر عوامل مورد بررسی

۴- نتایج و بحث

در این تحقیق، تغییرات زمانی- مکانی دوره تثبیت سطح آب دریاچه ارومیه را در بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۶ میلادی با استفاده از داده‌های چند زمانه تصاویر لندست ۵ و ۷ و ۸ مورد بررسی قرار گرفت و مدلی را برای پیش‌بینی مدت زمان بهبود وضعیت سطح آب آن نسبت به ۱۴ سال قبل ارائه گردید. در ارائه این مدل دو عامل اصلی، متوسط بارندگی سالیانه حوزه آبریز منطقه و مجموعه فعالیت‌های انجام گرفته در سالهای اخیر، مدنظر قرار

Archive of SID

www.SID.ir

گرفت. ابتدا برای ارزیابی تغییرات زمانی- مکانی سطح آب آن، چهار شاخص مختلف استخراج مقدار کمی آب، شامل شاخص نسبت آب ، شاخص اتوماتیک استخراج آب، شاخص اختلاف آب نرمال شده و شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده مورد استفاده قرار گرفتند و عملکرد هر یک از آنها از طریق مقایسه با یک نقشه مبنا تعیین خطا گردیدند که شاخص اختلاف آب نرمال شده دارای کمترین خطا نسبت به سه شاخص دیگر بود. بر این اساس، مدل پیشنهادی بر اساس نتایج این شاخص ارائه گردید و در سه حالت مختلف با در نظر گرفتن وزن‌های مختلف برای عوامل مذکور ارزیابی گردید. در هر یک از سه حالت بررسی شده با توجه به ثابت بودن متوسط بارش سالیانه مقدار آن را ثابت در نظر گرفته و نرخ فعالیت های احیایی دریاچه ارومیه با روندی کاهشی یا افزایشی با وزن‌های ثابت و متغیر در نظر گرفته شدند.

نتایج نشان داد که روند کاهشی شدیدی در سطح آب دریاچه در دوره زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۴ وجود داشته است، به‌خصوص بین سالهای ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۴ که به‌اندازه ۲۴۵۵،۸۱۵ کیلومترمربع از مساحت آن از دست رفته است که در مقایسه با مساحت آن در سال ۲۰۰۲ ، ٪۵۸،۲۲ سطح آب از دست رفته می‌باشد. اما سطح آب بین سالهای ۲۰۱۴ و ۲۰۱۶ به‌اندازه ٪۳۳،۵۷ افزایش پیدا کرده است، که این افزایش را می‌توان ناشی از دو عامل اصلی دانست، اولی فعالیت‌های انجام‌شده برای رفع بحران دریاچه ارومیه در سالهای اخیر و دومی متوسط میزان بارندگی در منطقه هست. بر این اساس، و بر اساس نرخ روند کاهشی و افزایشی سطح آب دریاچه ارومیه در دو دوره زمانی مذکور (۲۰۰۲ تا ۲۰۱۴ و ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۶) مدلی برای پیش‌بینی دوره تثبیت آن پیشنهاد گردید. با توجه به متوسط بارندگی یک دهه گذشته (۳۴۳،۴۶ میلیمتر) در منطقه، مشاهده می شود که افزایش آب در این دوره بیشتر به مجموع فعالیت‌های انجام گرفته برای رفع بحران دریاچه برمی‌گردد. بنابراین، برای ارزیابی مدل پیشنهادی سه حالت مختلف در سه دوره زمانی مختلف ذیل در نظر گرفته و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در حالت اول بررسی، تجزیه و تحلیل بر اساس متوسط رشد یک سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۵ بررسی گردید. در حالت دوم بررسی نیز، تجزیه و تحلیل بر اساس متوسط رشد یک سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۶ بررسی گردید. در طول این سال بدلیل وضع بحرانی سطح آب دریاچه ارومیه، علاوه بر فعالیت‌های احیایی سال قبل، چندین سد را در حوضه دریاچه آب گیری نکردند و آبیاری غیر اصولی کشاورزان از آب رودخانه های منتهی به دریاچه را محدود نمودند. این امر باعث گردید که نرخ رشد فعالیت‌های احیایی دریاچه نسبت به سال ۲۰۱۴-۲۰۱۵ کمی افزایش یابد. در حالت سوم بررسی، تجزیه و تحلیل بر اساس متوسط رشد دوره افزایشی سطح آب دریاچه یعنی دوره دو ساله ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۶ بررسی گردیده است. در این سه حالت بررسی، وزن های یکسان و وزن های متغیر برای دو عامل اصلی مذکور در نظر گرفته شده است. در هر یک از سه حالت بررسی با توجه به ثابت بودن متوسط بارش سالیانه مقدار آن را ثابت در نظر گرفته و تغییرات اصلی سطح آب متوجه عامل دوم یعنی مجموع فعالیت‌های احیایی دریاچه ارومیه در نظر گرفته شد. همچنین نتایج نشان داد که کاهش محسوس (۷۸درصد) سطح آب دریاچه ارومیه در دوره زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۴ نسبت به سال ۲۰۰۲ اتفاق افتاده است و در بازه زمانی ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۶ ، افزایش (۳۳/۵۷ درصد) یافته و به دوره تثبیت نسبی رسیده است. این تثبیت نسبی ناپایدار بوده و به دو عامل اصلی مذکور بستگی دارد. با توجه به میزان متوسط بارش در یک دهه گذشته، مشخص می‌شود که اگر میزان بارش منطقه نسبت به متوسط این چند سال خیلی کاهش پیدا کند احیای سطح آب دریاچه امکان‌پذیر نخواهد بود. اما اگر همان میزان بارش سالانه ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۶ و میزان فعالیت‌های انجام‌شده در رفع بحران دریاچه را به همراه تمام پارامترهای دیگر را در منطقه در نظر گرفت، با توجه به افزایش سطح آب در دوره زمانی ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۶ نسبت به سال‌های قبل و سال ۲۰۰۲ می‌توان گفت که سطح آب دریاچه ارومیه حداقل تا دهه آینده به سطح اولیه خود در سال ۲۰۰۲ بر خواهد گشت. نتایج مدل پیشنهادی در سه حالت مختلف نشان داد که بر اساس این روند افزایشی در بازه زمانی دوم و با در نظر گرفتن وزن‌های مختلف عوامل مذکور، حداقل ۱۱ سال (در بهترین حالت)، ۱۸ سال (با وضعیت موجود) و حداکثر ۴۹ سال (با کمترین فعالیت احیایی) طول خواهد کشید تا وضعیت آب دریاچه ارومیه به سطح اولیه خود در سال ۲۰۰۲ برگشته و به دوره تثبیت پایدار برسد. مدل پیشنهادی روش باثباتی بوده و می تواند برای هر تعداد عوامل و اقدامات مؤثر در آینده نیز تعمیم داده شود. توصیه میشود در تحقیقات آینده عوامل بیشتری در مدل پیشنهادی مورد ارزیابی قرار گیرد.

Archive of SID

www.SID.ir

مراجع

[1] D. Jupp, "Background and extensions to depth of penetration (DOP) mapping in shallow coastal waters," in Proceedings of the Symposium on Remote Sensing of the Coastal Zone, 1988, pp. IV. 2.1-IV. 2.19.

[2] B. Dasarathy, "Nearest Neighbor Pattern Classification Techniques IEEE Computer Society Press," Silver Spring, MD, 1991.

[3] B. P. Salmon, W. Kleynhans, F. van den Bergh, J. C. Olivier, T. L. Grobler, and K. J. Wessels, "Land cover change detection using the internal covariance matrix of the extended Kalman filter over multiple spectral bands," IEEE Journal of selected topics in applied earth observations and remote sensing, vol. 6, pp. 1079-1085, 2013.

[4] B. Demir, F. Bovolo, and L. Bruzzone, "Updating land-cover maps by classification of image time series: A novel change-detection-driven transfer learning approach," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 51, pp. 300-312, 2013.

[5] M. Volpi, G. P. Petropoulos, and M. Kanevski, "Flooding extent cartography with Landsat TM imagery and regularized kernel Fisher's discriminant analysis," Computers & Geosciences, vol. 57, pp. 24-31, 2013.

[6] B. Brisco, A. Schmitt, K. Murnaghan, S. Kaya, and A. Roth, "SAR polarimetric change detection for flooded vegetation," International Journal of Digital Earth, vol. 6, pp. 103-114, 2013.

[7] V. Markogianni, E. Dimitriou, and D. Kalivas, "Land-use and vegetation change detection in Plastira artificial lake catchment (Greece) by using remote-sensing and GIS techniques," International journal of remote sensing, vol. 34, pp. 1265-1281, 2013.

[8] S. Kaliraj, S. M. Meenakshi, and V. Malar, "Application of Remote Sensing in Detection of Forest Cover Changes Using Geo-Statistical Change Detection Matrices- A Case Study of Devanampatti Reserve Forest, Tamilnadu, India," Nature, Environment and Pollution Technology, vol. 11, pp. 261-269, 2012.

[9] M. Oyinloye and O. Kufoniyi, "Analysis of Landuse, Landcover change and urban expansion in Akure, Nigeria," Journal of Innovative Research in Engineering and Sciences, vol. 2, 2016.

[10] H. Bagan and Y. Yamagata, "Landsat analysis of urban growth: How Tokyo became the world's largest megacity during the last 40years," Remote sensing of Environment, vol. 127, pp. 210-222, 2012.

[11] S. Lu, B. Wu, N. Yan, and H. Wang" ,Water body mapping method with HJ-1A/B satellite imagery," International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, vol. 13, pp. 428-434, 2011.

[12] Z. Zhaohui, V. Prinet, and M. Songde, "Water body extraction from multi-source satellite images," in Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2003. IGARSS'03. Proceedings. 2003 IEEE International, 2003, pp. 3970-3972.

[13] H. Xu, "Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery," International journal of remote sensing, vol. 27, pp. 3025-3033, 2006.

[14] Z. Zhang, H. Lu, M. Zhao, L. Zhao, and H. Zhen, "Water body extraction and change detection based on multi-temporal SAR images," in Sixth International Symposium on Multispectral Image Processing and Pattern Recognition, 2009, pp. 74982P-74982P-7.

[15] Z. Huiping, J. Hong, and H. Qinghua, "Landscape and water quality change detection in urban wetland: A post-classification comparison method with IKONOS data," Procedia Environmental Sciences, vol. 10, pp. 1726-1731, 2011.

[16] Z. Tang, W. Ou, Y. Dai, and Y. Xin, "Extraction of water body based on LandSat TM5 imagery–a case study in the Yangtze River," in International Conference on Computer and Computing Technologies in Agriculture, 2012, pp. 416-420.

[17] W. Li, Z. Du, F. Ling, D. Zhou, H. Wang, Y. Gui, et al., "A comparison of land surface water mapping using the normalized difference water index from TM, ETM+ and ALI," Remote Sensing, vol. 5, pp. 5530-5549, 2013.

[18] S. K .McFeeters, "Using the Normalized Difference Water Index (NDWI) within a geographic information system to detect swimming pools for mosquito abatement: a practical approach," Remote Sensing, vol. 5, pp. 3544-3561, 2013.

[19] S. K. McFeeters, "The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features," International journal of remote sensing, vol. 17, pp. 1425-1432, 1996.

[20] Y. Du, Y. Zhang, F. Ling, Q. Wang, W. Li, and X. Li, "Water bodies' mapping from Sentinel-2 imagery with modified normalized difference water index at 10-m spatial resolution produced by sharpening the SWIR band," Remote Sensing, vol. 8, p. 354, 2016.

Archive of SID

www.SID.ir

[21] S. D. Jawak, K. Kulkarni, and A. J. Luis, "A review on extraction of lakes from remotely sensed optical satellite data with a special focus on cryospheric lakes," Advances in Remote Sensing, vol. 4, p. 196, 2015.

[22] Z. Du, B. Linghu, F. Ling, W. Li, W. Tian, H. Wang, et al., "Estimating surface water area changes using time-series Landsat data in the Qingjiang River Basin, China," Journal of Applied Remote Sensing, vol. 6, pp. 063609-063609, 2012.

[23] S. Kish, J. Balsillie, and K. Milla, "A remote sensing and GIS Study of Long-Term water mass balance of Lake Jackson," in Twelfth Annual Conference of Florida Lake Management, Tallahassee, Florida, USA, 2001.

[24] A. López-Caloca, F.-O. Tapia-Silva, and B. Escalante-Ramírez, "Lake Chapala change detection using time series," in SPIE Remote Sensing, 2008, pp. 710405-710405-11.

[25] A. Eimanifar and F. Mohebbi, "Urmia Lake (northwest Iran): a brief review," Saline systems, vol. 3, p. 5, 2007.

[26] M. Hoseinpour, A. Fakheri Fard, and R. Naghili, "Death of Urmia Lake, a silent disaster investigating causes, results and solutions of Urmia Lake drying," in 1st International Applied Geological Congress, Department of Geology, Islamic Azad University, Islamic Azad University-Mashad Branch, Iran, 2010.

[27] A. Delju, A. Ceylan, E. Piguet, and M. Rebetez, "Observed climate variability and change in Urmia Lake Basin, Iran," Theoretical and applied climatology, vol. 111, pp. 285-296, 2013.

[28] R. Richter and D. Schläpfer, "Atmospheric/Topographic Correction for Satellite Imagery (ATCOR-2/3 User Guide, Version 8.3. 1, February 2014)," ed, 2013.

[29] T. Cooley, G. Anderson, G. Felde, M. Hoke, A. Ratkowski, J. Chetwynd, et al., "FLAASH, a MODTRAN4-based atmospheric correction algorithm, its application and validation," in Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2002. IGARSS'02. 2002 IEEE International, 200 ,۲pp. 1414-1418.

[30] F. U. s. Guide, "ENVI FLAASH Version 4.1, September, 2004 Edition, Research Systems," ed: Inc, 2004.

Archive of SID

www.SID.ir