بررسی تغییرات سطحی و حجمی آب دریاچه ارومیه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و ارتفاع سنجی ماهواره‌ای

حمیدرضا دسترنج [۱] فرخ توکلی [۲]
علی سلطانپور [۳]

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۱۱/۱۰ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۶/۱۱/۲۸

****

چکیده

بحران خشک شدن دریاچه ارومیه با وسعتی حدود نیم میلیون هکتار به عنوان بزرگترین دریاچه داخلی ایران، با توجه به تبعات آن، تبدیل به یک مسئله ملی شده است. بررسی تغییرات سطح و حجم آب دریاچه‌ها به منظور حفاظت آن‌ها در سال‌های اخیر در بین کشورها جایگاه ویژه‌ای پیدا کرده است. در این تحقیق از تصاویر ماهواره‌ای Landsat در دوره ۴۰ ساله مساحت دریاچه ارومیه و تغییرات آن بدست آمد. همچنین با استفاده از داده‌های ماهواره‌های ارتفاع سنجی Envisat و Saral تراز آب دریاچه در مقطع زمانی سال‌های ۲۰۱۵-۲۰۰۲ استخراج و در نهایت تغییرات حجم آب دریاچه بدست آمد. نتایج گرفته شده با نتایج حاصل از داده‌های زمینی مقایسه شد که جواب‌ها همخوانی داشتند.

نتایج حاکی از آن است که مساحت دریاچه ارومیه از ۵۳٦٦ کیلومترمربع در سال ۱۹۷٦ به ٦۳۳ کیلومترمربع در سال ۲۰۱۵ رسیده، یعنی حدود یک هشتم شده است و با افزایش در سال ۲۰۱٦ به ۲۳۸۳ کیلومترمربع رسیده است. تراز آب دریاچه نیز از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۵ حدود ٤ متر کاهش و در سال۲۰۱٦ به میزان ۰/۵ متر افزایش یافته است. از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۵ حجم آب دریاچه ارومیه به میزان ۹/۷ میلیارد مترمکعب کاهش یافته و در سال ۲۰۱٦، ۱/۲ میلیارد مترمکعب به آن افزوده شده است. ورودی آب به دریاچه در سال آبی ۹٤-۹۳ نسبت به ۷۵-۷٤ تقریباً یک پنجم شده و در عین حال برداشت آب‌های زیرزمینی افزایش یافته است. همچنین با بررسی چاه‌های پیزومتری حوضه دریاچه ارومیه، سطح آب زیرزمینی از سال ۸۱ تا ۹٤ به میزان ۱/٦ متر کاهش یافته است. با توجه به نتایج حاصله علت اصلی کاهش آب دریاچه، برداشت آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌باشد، لذا علاوه بر جلوگیری از برداشت بی‌رویه آب، اصلاح در روش کشاورزی و نوع محصولات آن ضروری است.

واژه‌های کلیدی: دریاچه ارومیه، تغییرات سطح و حجم آب، تصاویر ماهواره‌ای، ماهواره‌های ارتفاع سنجی

****

۱- کارشناس ارشد، گروه عمران-ژئودزی، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهرود، ایران. h.r.dastranj@gmail.com
۲- استادیار گروه عمران-ژئودزی، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهرود، ایران(نویسنده مسئول) far.tavak@gmail.com
۳- استادیار گروه عمران-ژئودزی، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهرود، ایران. asoltanpour@yahoo.com

۱- مقدمه

ما در جهانی زندگی می کنیم که آب همواره به عنوان یکی از موضوعات اساسی مطرح بوده است. در حال حاضر بسیاری از انسان‌ها در کشورهای در حال توسعه از آب کافی برای بر آوردن نیازهای اصلی خود محروم می‌باشند. پطروس غالی دبیر کل سابق سازمان ملل در سال ۱۹۸۵ هشدار داد که جنگ بعد در خاورمیانه بر سر آب خواهد بود نه سیاست. معاون رئیس کل بانک جهانی در سال ۱۹۹۵ اعلام نمود: در حالی که بسیاری از جنگ ها در قرن حاضر بر سر نفت بوده است، جنگ‌های قرن آینده بر سر آب خواهد بود. خاورمیانه با وجودی که ۵ درصد از جمعیت جهان را در خود جای داده تنها صاحب یک درصد از منابع آب است. کمبود آب عامل اصلی در جنگ داخلی سوریه در سال ۲۰۱۱ بود، خشکسالی و کمبود آب در سوریه موجب نارضایتی مردم شد و به ناآرامی‌ها کمک کرد و کشور را به جنگ داخلی کشاند. برخی سیاسیون بر این اعتقادند که باید تلاشمان را به جای آنکه صرف «قدرت سخت»، همچون موشک‌ها و بمب‌ها کنیم، باید معطوف به «قدرت نرم»، همچون آب و برق، نماییم.

دریاچه ارومیه با وسعتی حدود نیم میلیون هکتار به عنوان بزرگترین دریاچه داخلی ایران و بیستمین دریاچه جهان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بحران خشک شدن دریاچه ارومیه تبدیل به یک مسئله ملی شده و باعث شده که توسط سازمان‌ها، ارگان‌ها و حتی مردم اقدامات و طرح‌هایی انجام پذیرد که همچنان ادامه دارد.

از مهم‌ترین عواقب ادامه روند خشک شدن دریاچه ارومیه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- از بین رفتن اکوسیستمی نادر و منحصر و ایجاد اختلال در مسیر مهاجرت پرندگان مهاجر۲- از دست رفتن تالاب‌های آب شیرین ۳- در معرض خطر انقراض قرار گرفتن تنها موجود زنده آب شور دریاچه(آرتمیا) ٤- افزایش بیکاری به علت از دست رفتن اراضی کشاورزی و ایجاد معضلات اجتماعی و اقتصادی ناشی از آن ۵- ایجاد بادهای نمکی به عنوان تهدیدی برای مزارع و تنفس ریزگردهای نمکی که باعث سرطان و مشکلات ریوی خواهد شد ٦- بروز بیماری‌های صعب العلاج در منطقه ۷- افزایش مهاجرت از مناطق مجاور دریاچه و به ویژه تخلیه روستاهای نزدیک دریاچه ۸- کاهش درآمدهای گردشگری.

بررسی تغییرات سطح و حجم آب دریاچه‌ها به منظور حفاظت آنها در سال‌های اخیر در بین کشورها در سطح ملی و منطقه‌ای جایگاه ویژه‌ای پیدا کرده است. به منظور جمع‌آوری اطلاعات از اشیاء و پدیده‌های سطح زمین به طور کلی دو شیوه وجود دارد: یکی روش‌های زمینی (دسترسی زمینی) و دیگری روش‌های سنجش از دور است. در این راستا با توجه به اهمیت موضوع، بهره‌برداری از تصاویر ماهواره‌ای و مشاهدات ارتفاع سنجی ماهواره‌ای برای بررسی تغییرات سطحی و حجمی آب دریاچه ارومیه دلیل این تحقیق می باشد.

از جمله تحقیقاتی که در این زمینه انجام شده می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

کاسکان (۲۰۰۲) مدل سازی رواناب بارندگی حوضه آبریز دریاچه «وان» واقع در شرق کشور ترکیه را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای وGIS مطالعه کرد. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که سنجش از دور وسیله مطلوبی برای تحلیل میزان رواناب در داخل حوضه‌های آبریز می‌باشد.

علی اصغر آل شیخ و همکاران (۱۳۸۳) پایش خطوط ساحلی دریاچه ارومیه را در فاصله زمانی سال های ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۱ و با استفاده از تصاویر سنجنده های TM و ETM+ انجام دادند. با توجه به نتایج به دست آمده از این تحقیق، مساحت دریاچه ۱۰٤۰ کیلومترمربع در بازه زمانی مورد نظر کاهش یافته است.

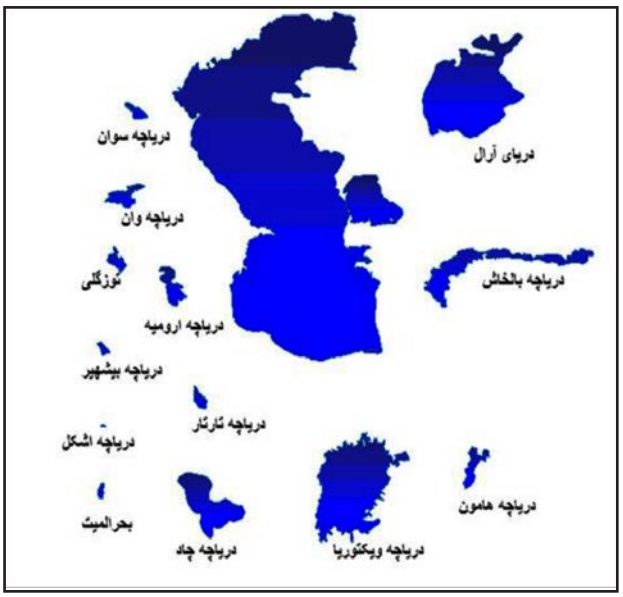
سید مرتضی امامی و سارا امیری (۱۳۸۷) در بررسی اکوسیستم دریاچه ارومیه، آورده اند که بررسی تصاویر ماهواره‌ای نشان می‌دهد احداث جاده وسط دریاچه تغییراتی در روند فرایند رسوب‌گذاری عادی ایجاد کرده است.

سامان خواجه و علیرضا آزموده اردلان (۱۳۹۰) پایش

آب‌های بسته با استفاده از ارتفاع سنجی ماهواره‌ای در سه ناحیه مطالعاتی شامل تالاب لویزیانا، ناحیه اقیانوسی- ساحلی و دریاچه میشیگان را انجام دادند و به تفاوت موج بازگشتی از تالاب‌ها و اقیانوس‌ها پرداختند.

بهادر شمس اسفندآبادی و روح الله عمادی (۱۳۹۳) در بررسی تغییرات سطح ارتفاعی آب دریاچه ارومیه با استفاده از داده‌های ماهواره‌های ارتفاع سنجی و هواشناسی از طریق شبکه عصبی کوشیده‌اند تا از منظر مؤلفه‌های تأثیر گذار بر سطح ارتفاعی آب دریاچه ارومیه این سطح را آنالیز کنند.

محمدرضا رحمتی و فرخ توکلی (۱۳۹۳) به بررسی ژئودینامیک اطراف دریاچه ارومیه با تکیه بر داده‌های GPS پرداختند. پس از تحلیل به ژئودینامیک فعال دراطراف دریاچه ارومیه پی برده شده است.



نگاره ۱: نمونه‌ای از دریاچه‌های سراسر جهان

۲- منطقه مورد مطالعه

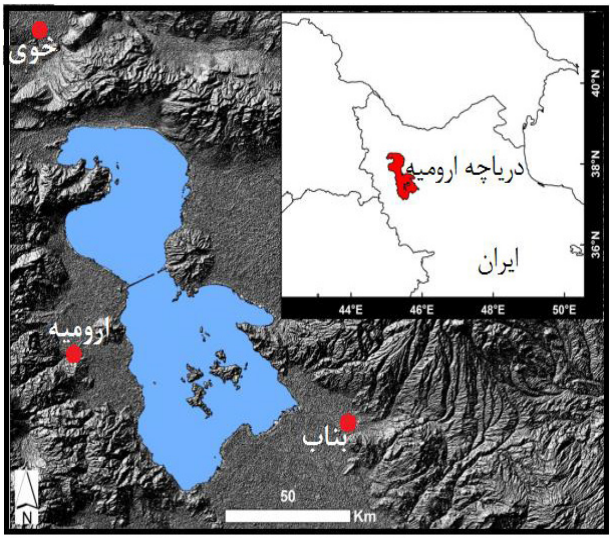
دریاچه اُرومیه با نام سابق دریاچه رضاییه در شمال غربی ایران و در منطقه آذربایجان واقع شده‌است. این دریاچه طبق آخرین تقسیمات کشوری، بین دو استان آذربایجان- شرقی و آذربایجان‌غربی تقسیم شده و در حد فاصل طول‌های جغرافیایی ٤٥ تا ٤٦ درجه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۷ تا ۳۸/۵ درجه شمالی واقع گردیده است. این دریاچه در زون شماره ۳۸ سیستم تصویر مرکاتور جانبی جهانی(UTM) قرار گرفته است. دریاچه ارومیه، بزرگ‌ترین دریاچه داخلی ایران و دومین دریاچه آب شور دنیا است. آب این دریاچه بسیار شور بوده و عمدتاً از رودخانه‌های زرینه‌رود، سیمینه‌رود، تلخه رود، گادر، باراندوز، شهرچای، نازلو و زولا تغذیه می‌شود.

جدول ۱: مشخصات برخی از دریاچه‌های جهان

نام	مساحت	عمق متوسط	عمق
اشکل	89	۱	کم
بیشهیر	656	۱۰	متوسط
بحرالمیت	1050	۱۲۰	زیاد
سوان	1270	۲۹	متوسط
چاد	1350	۶	کم
توزگلی	1500	۶	کم
تارتار	2710	۴۰	متوسط
وان	3750	۱۷۱	زیاد
ارومیه	5600	۱۰	متوسط
هامون	5600	۵	کم
بالخاش	16000	۶	کم
قره بغاز	18500	۸	کم
آرال	67000	۳۵	متوسط
ویکتوریا	68800	۴۰	متوسط
دریای خزر	4E+05	۱۸۴	زیاد

حوضه آبریز دریاچه ارومیه ۵۱/۸۷٦ کیلومتر مربع است که پیرامون ۳% مساحت کل کشور ایران را دربر می‌گیرد. این حوضه با داشتن دشت‌هایی مانند دشت تبریز، ارومیه، مراغه، مهاباد، میاندوآب، نقده، سلماس، پیرانشهر، آذرشهر و اشنویه، یکی از کانون‌های ارزشمند فعالیت کشاورزی و دامداری در ایران به‌شمار می‌رود. آب دریاچه ارومیه بسیار شور است. براساس گزارش سازمان ملل درسال ۲۰۱۲، غلظت نمک در این دریاچه به بیش از ۳۰۰ گرم در لیتر یعنی هشت برابر شوری آب اقیانوس‌ها رسیده است (نمک محلول در آب اقیانوس‌ها ۳۵ گرم در لیتر است). به این دلیل، هیچ ماهی و نرم‌تنی به جز گونه‌هایی از سخت‌پوستان

در آن زندگی نمی‌کنند و آب آن هیچ‌وقت یخ نمی‌زند. شنا کنندگان نیز می‌توانند بر روی آب آن شناور بمانند. دریاچه ارومیه از سوی سازمان یونسکو به عنوان اندوخته طبیعی جهان به ثبت رسیده است.



نگاره ۲: توپوگرافی حوضه آبریز دریاچه ارومیه

جهت بدست آوردن تغییرات سطح و حجم آب دریاچه ارومیه از تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های ارتفاع سنجی و اطلاعات زمینی استفاده شده است.

۳- داده‌ها و روش‌ها

۳-۱- تصاویر ماهواره‌ای

در این پژوهش با توجه به هدف، که استخراج روند تغییرات حد آب دریاچه نیز بوده از تصاویر استفاده گردید. تصاویر مورد استفاده محصولات سنجنده Landsat بود که از تصاویر در دوره ٤٠ ساله یعنی از سال ١٩٧٦ تا ٢٠١٦ استفاده شد (نگاره٤). سعی بر آن گردید که از تصاویر در ماه‌های تابستان که کمترین حد آبی خود را داشتند استفاده شود. در این پژوهش از تصاویر فریم‌های زیر استفاده شد: فریم ٣٤-١٦٨، فریم ٣٣-١٦٩، فریم ٣٤-١٦٩. لازم به ذکر است که دریاچه ارومیه در بعضی از تصاویر در ۲ و در برخی در ۳ فریم قرار گرفته است.

جدول شماره ۲ بیانگر مشخصات تصاویر مورد استفاده در این پژوهش می‌باشد.

خطاهای رادیومتریک موجود در تصاویر را به دو گروه تقسیم‌بندی می‌نمایند: یکی خطاهای دستگاهی که از ایده‌آل نبودن سنجنده ناشی می‌گردد و دیگری خطاهای اتمسفریک که به دلیل برخورد انرژی الکترو مغناطیس با اتمسفر پدید می‌آید. شبکه عصبی یک روش نظارت شده را فراهم می‌آورد. طبق این روش علاوه بر تحلیل طبقه بندی، پلات خطای آموزش شبکه عصبی استخراج گردید. به منظور ارزیابی صحت طبقه‌بندی از سه شاخص ماتریس خطا، صحت کلی طبقه‌بندی و ضریب کاپا استفاده گردید. ماتریس خطا یک روش مؤثر برای بیان صحت است چرا که صحت هر کلاس به همراه خطاهای حذف شده و گماشته شده به طور واضح بیان می‌شود.

صحت کلی که میانگینی از صحت طبقه‌بندی است نسبت پیکسل‌های صحیح طبقه بندی شده به جمع کل پیکسل‌های معلوم را نشان می‌دهد و بدین صورت محاسبه می‌گردد:

رابطه ۱:

$$OA = \frac{\sum_{i=1}^{c} Eii}{N}$$

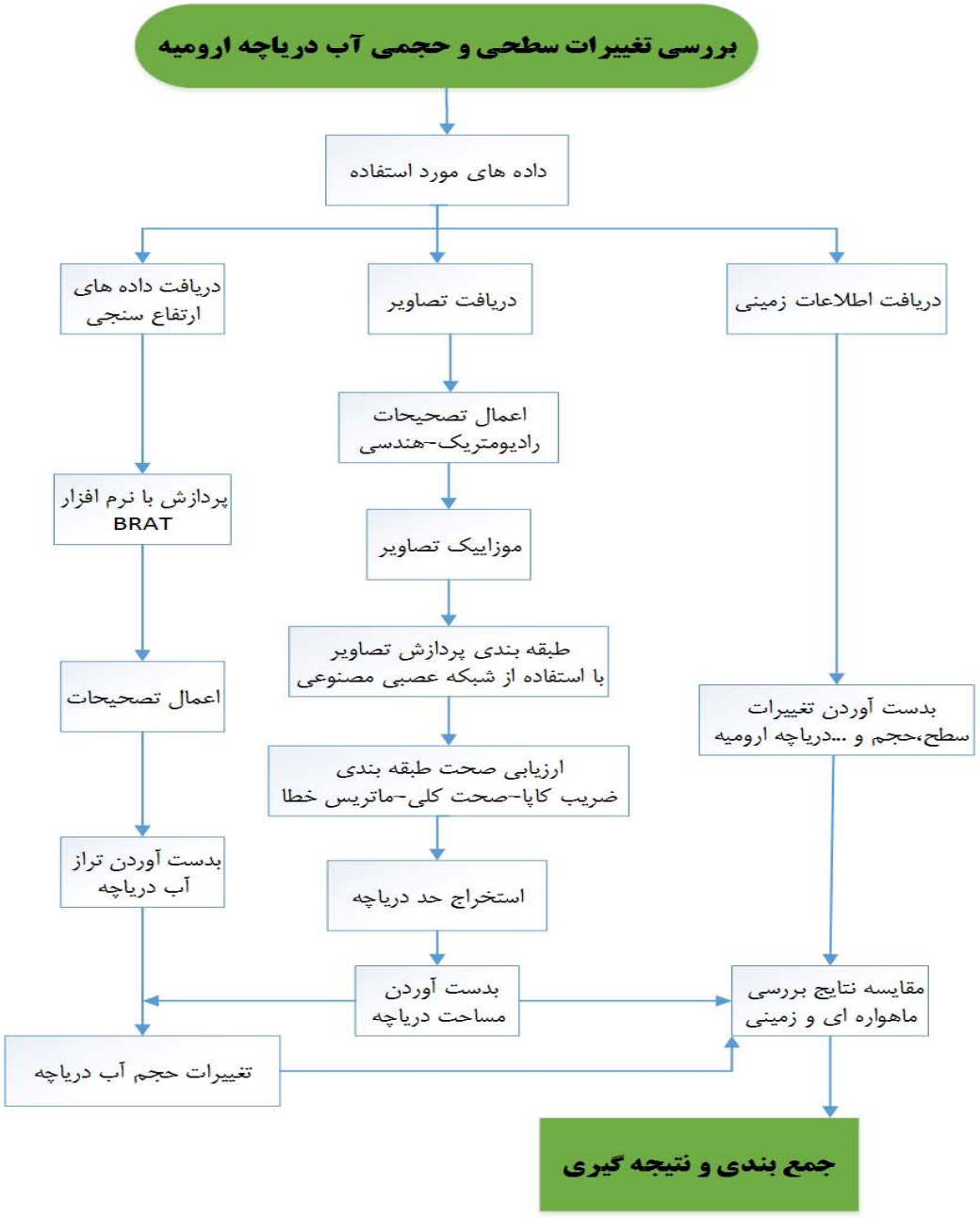
در این معادله C تعداد کلاس‌ها، N تعداد کلاس‌های معلوم، Eii اعضای قطری ماتریس خطا و OA دقت طبقه‌بندی را نشان می‌دهد. شاخص کاپا بدین صورت محاسبه می‌گردد:

رابطه ۲:

$$K = \frac{N\sum_{i=1}^{k} nii - \sum_{i=1}^{k} ni + n + i}{N^2 - \sum_{i=1}^{k} ni + n + i}$$

nii تعداد مشاهدات در ردیف و ستون ni روی قطر اصلی، n+i کل مشاهدات ردیف و ستون ni و N کل مشاهدات است.

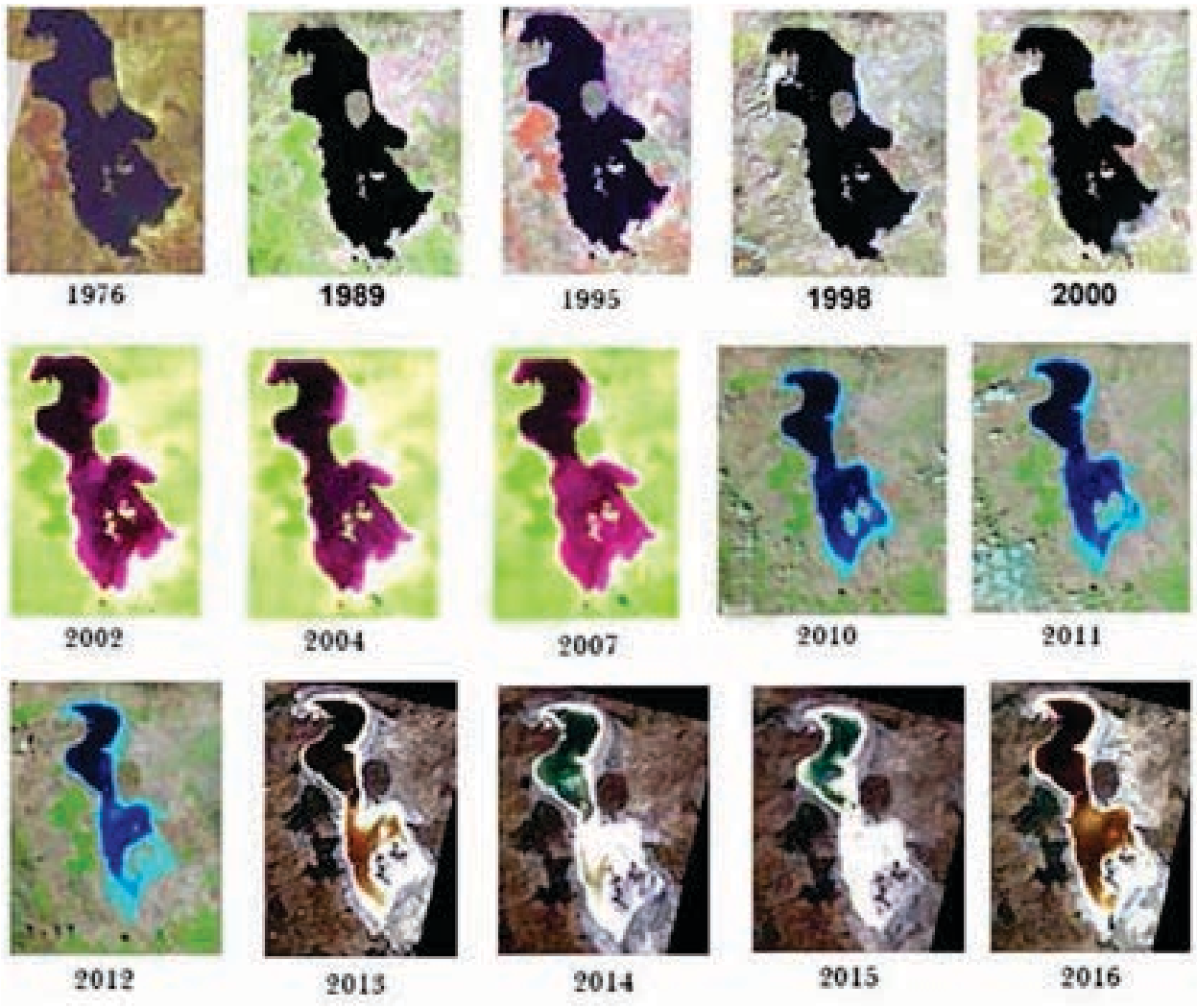
نرم افزارهای مورد استفاده به این شرح می باشند: نرم افزار ENVI به منظور انجام مراحل مورد نیاز در پردازش صورت گرفته جهت استخراج تغییرات خط ساحلی و نرم افزار ArcGIS به منظور کارتوگرافی برای خروجی‌های بدست آمده استفاده گردید.



نگاره ۳: الگوریتم بدست آوردن تغییرات سطح و حجم دریاچه ارومیه

جدول ۲: مشخصات سنجنده‌های مورد استفاده در این پژوهش

مشخصات / سنجنده	قدرت تفکیک زمانی	قدرت تفکیک طیفی	قدرت تفکیک رادیومتریک	قدرت تفکیک مکانی
TM	۱۶ روز	۰/۴۵ تا ۱۲/۵ mμ	۸ بیت	۳۰ متر
+ETM	۱۶ روز	۰/۴۵ تا ۱۲/۵ mμ	۸ بیت	۳۰متر، ۱۵متر پانکروماتیک
OLI	۱۶ روز	۰/۴۳ تا ۱۲/۵ mμ	۱۲ بیت	۳۰متر، ۱۵متر پانکروماتیک



نگاره ٤: تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در این پژوهش

پس از اینکه طبقه‌بندی صورت گرفت و صحت طبقه بندی مشخص شد، خروجی داده‌ها را به دو کاربری اصلی آب و غیر آب تقسیم می‌کنیم. سپس با مشخص شدن مرز بین آب و خشکی حد آب قابل استخراج است.

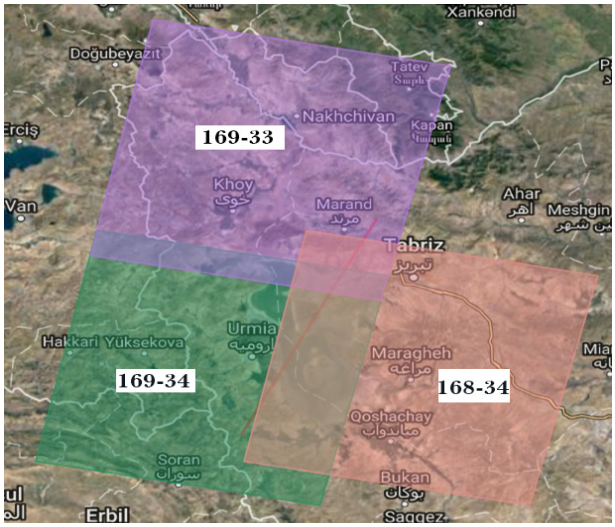
۳-۲- ارتفاع سنجی ماهواره‌ای

ماهوارهٔ ارتفاع سنجی فاصلهٔ بین ماهواره و سطح دریا را در حرکت خود بدور زمین اندازه گرفته که با در اختیار بودن مختصات ماهواره و فرض اندازه گیری ارتفاع از سطح دریا در امتداد قائم بر بیضوی، سطح لحظه‌ای آب دریا نسبت به بیضوی رفرانس از رابطهٔ ذیل محاسبه می‌گردد:

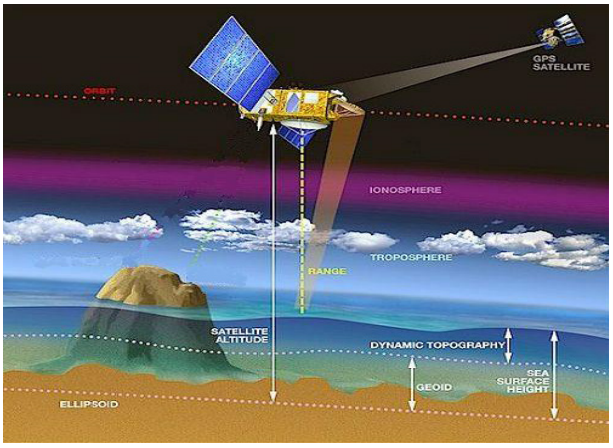
رابطه ۳:

$$h_{isl} = horb - halt$$

hisl ارتفاع لحظه‌ای آب از سطح بیضوی، horb ارتفاع ماهواره از سطح بیضوی و halt همان برد ماهواره یا کمیت مشاهداتی ماهواره می‌باشد. به بیانی دقیق‌تر تکنیک ارتفاع سنجی ماهواره‌ای بر پایه اندازه‌گیری زمان ارسال پالس رادار از ماهواره و بازگشت آن از سطح دریا استوار است. بدین ترتیب، کمیت مشاهداتی در ماهواره‌های ارتفاع سنجی، ارتفاع لحظه‌ای ماهواره تا سطح آب است که آن را «برد» ماهواره می‌نامیم.



نگاره ۵: اندکس تصاویر لندست



نگاره ٦: نمایش کمیت‌های بردار ارتفاع سنجی

خطای در اندازه‌گیری برد ماهواره، نیازمند اعمال تصحیحات ذیل است: ۱-تصحیح تروپوسفر تر،۲- تصحیح تروپوسفر خشک، ۳- تصحیح یونسفر،٤- تصحیح بایاس معکوس تأثیر فشار، ۵-تصحیح بایاس الکترومغناطیس، ٦-تصحیح جزر و مد آب دریا،۷- تصحیح جزر و مد قطبی، ۸-تصحیح تغییرات مرکز ثقل آنتن ارتفاع سنج. بنابراین با احتساب خطای اندازه‌گیری برد ماهواره، شکل صحیح رابطه ۳ به صورت ذیل خواهد بود:

رابطه ٤ : $h_{isl} = (horb + \Delta horb) - (halt + \Delta a)$

در رابطهٔ اخیر، $\Delta horb$ خطای در ارتفاع ماهواره و Δa خطای در اندازه‌گیری برد ماهواره است. در این پژوهش از داده‌های ماهواره‌های ارتفاع سنجی Envisat و Saral برای تعیین سطح تراز آب دریاچه استفاده شد. مدار این دو ماهواره در ارتفاع ۸۰۰ کیلومتری زمین با دوره تکرار ۳۵ روزه است و ردپای آن برابر با ۱/۳ درجه می‌باشد. همچنین توانایی تعیین تأخیر دو فرکانسه رادار از سطح زمین را با دقت بالایی در حد ۲ سانتی‌متر دارد. این دو ماهواره دارای دو گذر روی دریاچه ارومیه می‌باشند. داده‌ها به دو صورت می‌باشند GDR[1] :(داده همراه با تصحیحات) و SGDR[2] (داده خام) در این تحقیق داده‌های GDR نیاز ما را برطرف می‌کرد و از آنها استفاده شد. *(خواجه و اردلان، ۱۳۹۰)*

نگاره ۷: گذرهای ماهواره Saral بر روی دریاچه ارومیه

۳-۳- اطلاعات زمینی

در این پژوهش اطلاعات منطقه شامل رواناب‌های ورودی به دریاچه ارومیه، برداشت از آب‌های سطحی و زیرزمینی، تغییرات اقلیمی، تغییرات سطح آب زیرزمینی، بررسی تغییرات حجم مخزن آبخوان‌ها و ... نیز مورد بررسی قرار گرفته است. لازم به ذکر است که این اطلاعات از شرکت منابع آب ایران و ستاد احیاء دریاچه ارومیه به دست آمده است.

[1]- Geophysical Data Records
[2]- Sensor Geophysical Data Records

نگاره ۸: گذرهای ماهواره Envisat بر روی دریاچه ارومیه

٤- آنالیز عددی و تفسیر نتایج

٤-١- تصاویر ماهواره‌ای

در این پژوهش تصاویر در دوره‌ی ٤٠ ساله از سال ١٩٧٦ تا ٢٠١٦ پردازش اولیه شدند و سپس آماده‌سازی و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. به منظور طبقه‌بندی تصاویر، نمونه‌های آموزشی توسط داده‌های کمکی کاربری اراضی و نقاط کنترل زمینی بر روی تصاویر انتخاب شدند. در مرحله بعد تفکیک‌پذیری نمونه‌های آموزشی مورد بررسی قرار گرفت و سپس تصاویر ماهواره‌ای بوسیله الگوریتم شبکه عصبی در سال‌های مورد نظر طبقه‌بندی شدند و دو کاربری آب و غیر آب استخراج گردید. لازم به ذکر است که در انتخاب نواحی دارای آب به سه قسمت عمیق، با عمق متوسط و کم عمق توجه شد و انتخاب این نواحی آموزشی در باند مادون قرمز که مشخصا برای تمایز آب از غیر آب است، مورد استفاده قرار گرفت و در نهایت صحت طبقه‌بندی‌ها مورد ارزیابی قرار گرفتند. نگاره ۹ طبقه‌بندی تصویر ماهواره‌ای دریاچه ارومیه در سال ۱۹۸۹ را نشان می‌دهد. همانگونه که بیان شد از دو شاخص ماتریس خطا و ضریب کاپا به منظور ارزیابی صحت طبقه بندی استفاده گردید که در جدول ۳ مشاهده می‌شود.

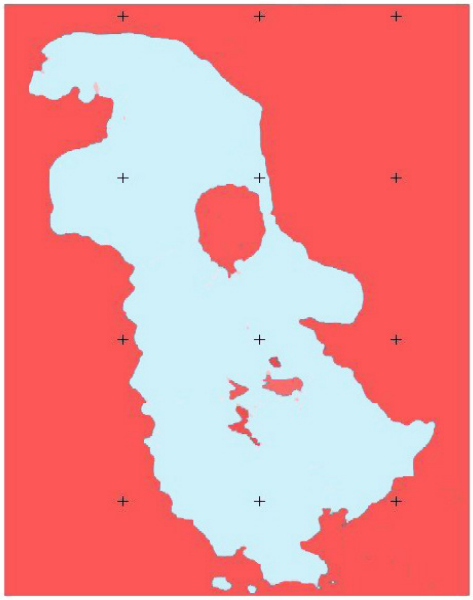
جدول ۳: ماتریس خطا، صحت کلی و ضریب کاپا تصویر سال ۱۹۸۹

ماتریس خطا

صحت کلی = 97.9480% (1753650/1754562)

ضریب کاپا =0.9689

طبقه	پهنه های آبی	پهنه های غیر آبی	کل(پیکسل)
پهنه های آبی	622421	912	623333
پهنه های غیر آبی	0	1131229	1131229
کل(پیکسل)	622421	1132141	1754562



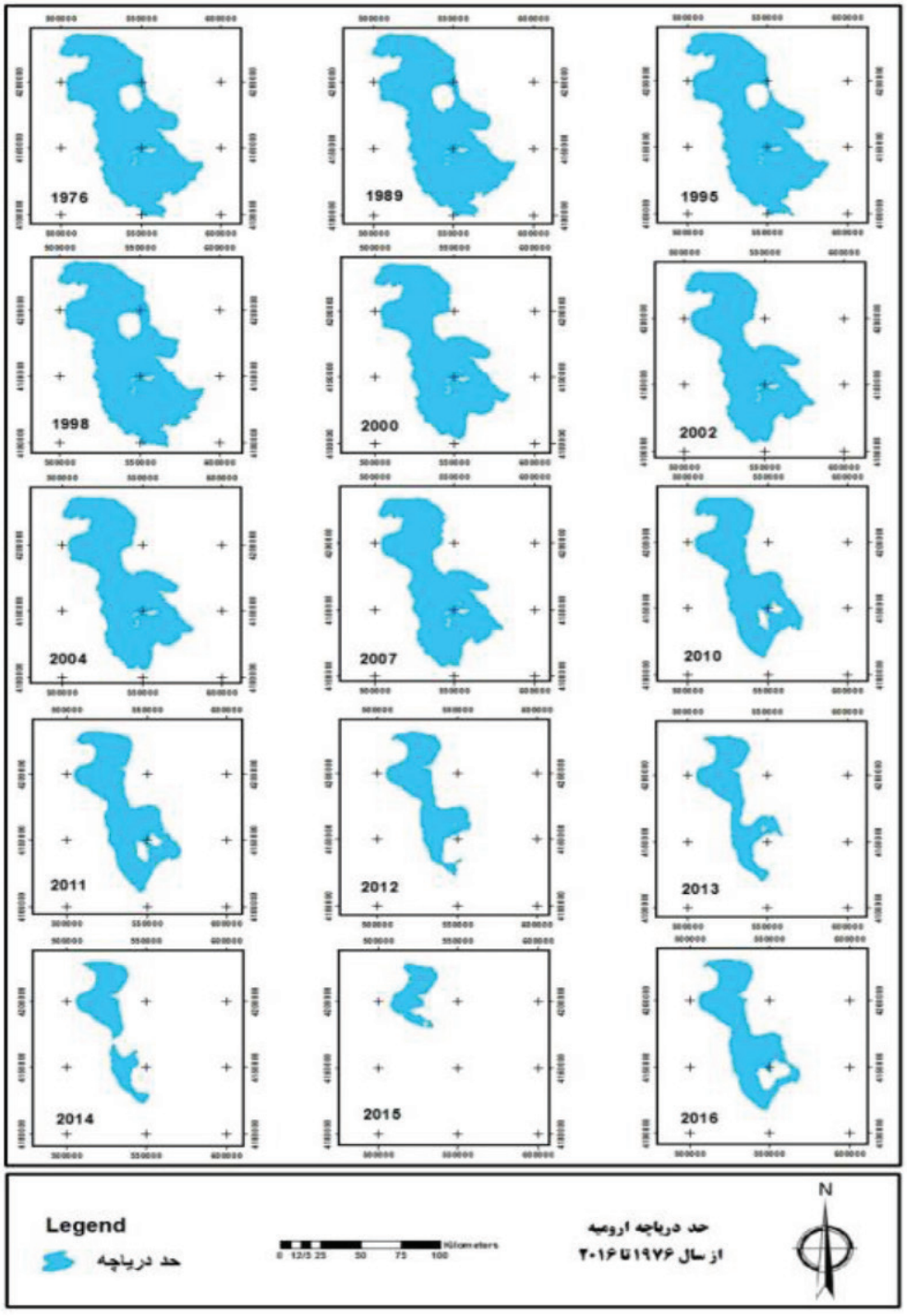
نگاره ۹: طبقه بندی تصویر سال ۱۹۸۹

پس از طبقه‌بندی تصاویر و بررسی دقت و صحت آن داده‌های بدست آمده را وارد محیط ArcGIS نموده و اصلاحات لازم را انجام می‌دهیم.

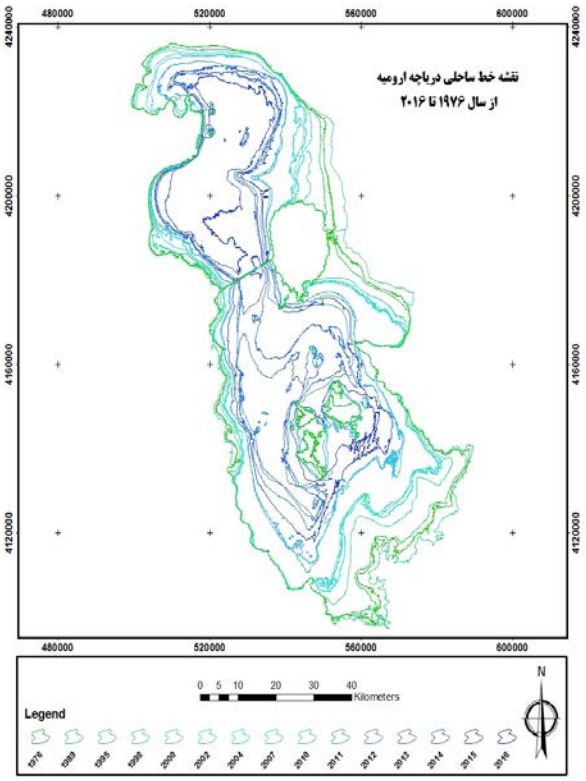
جهت استخراج حد دریاچه ارومیه کافیست کاربری غیر آبی را حذف و تنها کاربری آب که همان خط مرز دریاچه است را نگه داشت. بدین منظور در نرم‌افزار ArcGIS این مراحل صورت گرفت و حد دریاچه و مساحت آن‌ها نیز استخراج گردید. در نگاره‌های ۱۰ و ۱۱ تغییرات دریاچه طی سال‌های ١٩٧٦ تا ٢٠١٦ را مشاهده می‌کنیم.

جدول ٤: میزان مساحت دریاچه ارومیه در سال‌های مختلف

سال	۱۹۷٦	۱۹۸۹	۱۹۹۵	۱۹۹۸	۲۰۰۰	۲۰۰۲	۲۰۰٤	۲۰۰۷	۲۰۱۰	۲۰۱۱	۲۰۱۲	۲۰۱۳	۲۰۱٤	۲۰۱۵	۲۰۱٦
مساحت (کیلومترمربع)	٥۳٦٦	٥۳۷٥	٥۲۲۰	٥٦٦٦	٤٦۷۹	٤۲۹٥	٤٤۱٦	٤۱٤٤	۳۱۲۸	۲۹۲۸	۱۸۹۲	۱٦٥٤	۱۳۳۰	٦۳۳	۲۳۸۳

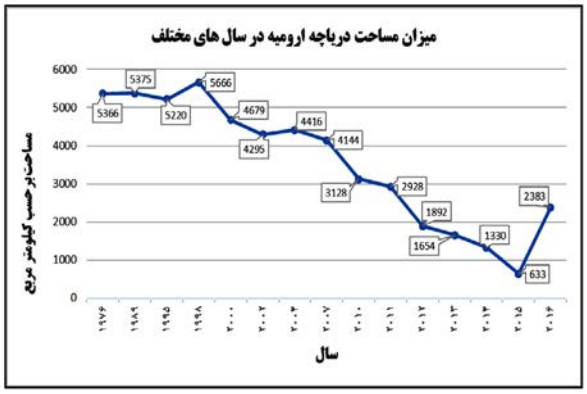


نگاره۱۰: تغییرات حد دریاچه ارومیه از سال ۱۹۷٦تا ۲۰۱٦



نگاره۱۱: تغییرات حد دریاچه ارومیه از سال ۱۹۷۶تا ۲۰۱۶

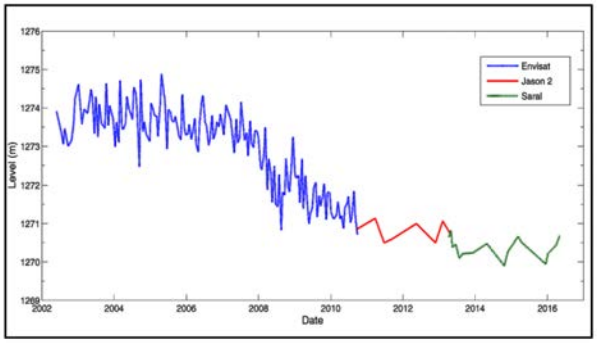
با توجه به مساحت‌های بدست آمده، از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ حد آب دریاچه روندی رو به کاهش را داشته که این روند در سال ۲۰۰۷ شدت گرفته و در سال ۲۰۱۵ به بحرانی‌ترین حد خود رسیده و حدود یک هشتم نسبت به سال ۱۹۷۶ شده است و در سال ۲۰۱۶ افزایش یافته است (نمودار۱).



نمودار ۱: نمودار روند تغییرات مساحت دریاچه ارومیه

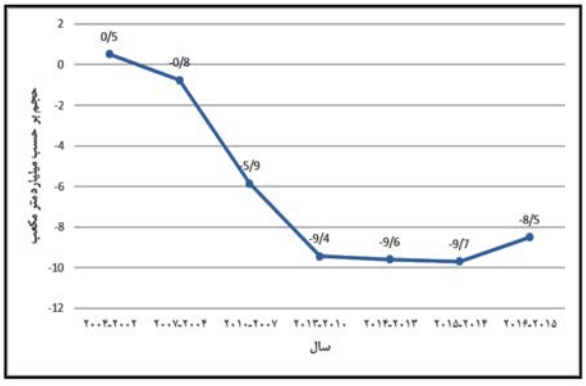
٤-۲- ارتفاع سنجی ماهواره‌ای

همان طور که گفته شد از داده‌های ماهواره‌های ارتفاع سنجی Envisat و Saral برای بدست آوردن سطح تراز آب دریاچه ارومیه استفاده می‌شود. برای این منظور ابتدا با استفاده از نرم‌افزار BRAT داده‌ها را پردازش کرده و با اعمال تصحیحات، در نرم‌افزار Matlab تراز آب دریاچه را بدست آوردیم.



نمودار ۲: تغییرات سطح تراز دریاچه ارومیه با استفاده از داده‌های ارتفاع سنجی

حال با استفاده از میزان مساحت دریاچه و سطح تراز آن در سال‌های مختلف تغییرات حجم را بدست می‌آوریم. میزان تغییرات حجم آب دریاچه ارومیه مربوط به دوره‌های مختلف نشان می‌دهد حجم آب دریاچه در سال ۲۰۱۵ نسبت به ۲۰۰۲ به میزان ۹/۷ میلیارد مترمکعب کاهش داشته و در سال ۲۰۱۶ نسبت به ۲۰۱۵، ۱/۲ میلیارد مترمکعب افزایش داشته است (نمودار۳).



نمودار ۳ : تغییرات تجمعی حجم آب دریاچه در دوره‌های مختلف

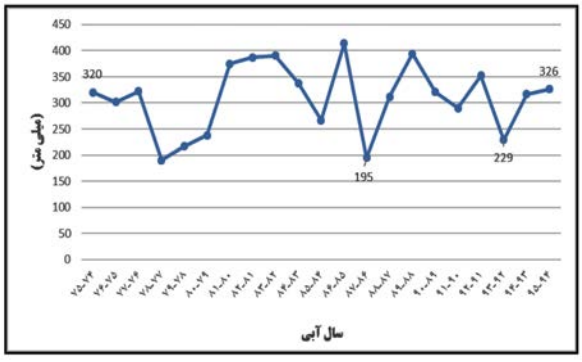
٤-۳- اطلاعات زمینی

بیلان آبی دریاچه ارومیه شامل پارامترهای مختلفی چون آب‌های سطحی ورودی، بارش، تبخیر سطحی و سایر عوامل می‌باشد که در مجموع میزان تغییرات حجم دریاچه را مشخص می‌سازد.

رابطه ۵:

$$\Delta V_{\text{دریاچه}} = \Delta V_{\text{ورودی سطحی}} + \Delta V_{\text{بارش}} + \Delta V_{\text{تبخیر سطحی}} + \Delta V_{\text{مجهول}}$$

عوامل و علل مختلفی همچون نفوذ آب (ورود یا خروج آب) از کف دریاچه و یا مصارف مختلفی چون کشاورزی منطقه در حد فاصل بین آخرین ایستگاه دبی سنجی تا دریاچه، تبخیر و یا نشت آب در رودخانه‌ها یا دهانه ورود رودخانه به دریاچه، خطاهای اندازه‌گیری و غیره می‌تواند وجود داشته باشد. مجموعه همه این عوامل تحت عنوان یک پارامتر مجهول مطرح می‌شود. علت اصلی نامگذاری این پارامتر به نام پارامتر مجهول نیز همین امر است که اولاً تمامی علل و عوامل مؤثر آن کاملاً مشخص نشده است و ثانیاً امکان محاسبات دقیق عوامل مؤثر شناسایی شده نظیر نفوذ از کف یا مصارف کشاورزی نیز وجود ندارد.

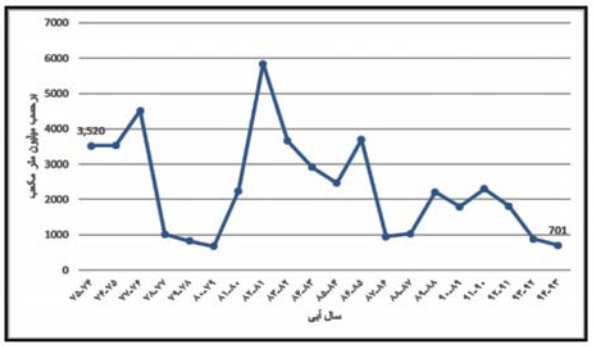


نمودار ٤ : میزان بارش

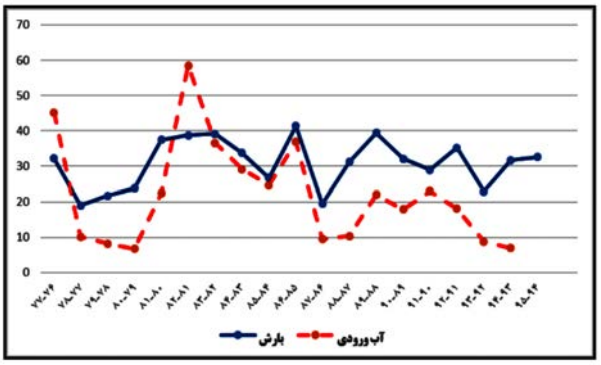
عدد تبخیر از سطح آب دریاچه ارومیه برابر با ۹۰ سانتی متر در سال است *(فرخی و روشن، ۱۳۹۳)*. میزان تبخیر در حوضه آبریز دریاچه ارومیه با افزایش ۱/۳ درجه سانتیگرادی دما در دو دوره دراز مدت ۲۵ ساله، در سال‌های اخیر ۱۱ درصد افزایش یافته است. ولی میزان آن در حدی نیست که باعث کاهش شدید حجم آب دریاچه شود *(گزارش ستاد احیای دریاچه ارومیه، تیر۱۳۹٤)*.

همان گونه که در نمودار٤ مشخص است میزان بارش در طی سال‌های بررسی شده تغییرات داشته است ولی روند آن نیز به گونه‌ای نیست که باعث کاهش شدید آب دریاچه شود.

کاهش در میزان رواناب ورودی از رودخانه‌ها تأثیر قابل ملاحظه‌ای در کاهش تراز دریاچه و همچنین کاهش حجم آب ورودی به پیکره آبی دریاچه داشته است. بررسی ۲۰ ساله (۹٤-۷٤)، نشان از کاهش در میزان حجم آب ورودی از ۳۵۲۰ میلیون متر مکعب به ۷۰۰ میلیون متر مکعب دارد، یعنی حجم آب ورودی تقریباً یک پنجم شده است(نمودار۵). شدت کاهش آب ورودی با توجه به بررسی عوامل اقلیمی نشان از برداشت بی رویه آب‌های سطحی، زیرزمینی، ایجاد سد و... می‌باشد. نمودار٦ نشان دهنده کاهش میزان آب ورودی به دریاچه نسبت به میزان بارش بخصوص در ۱۰ سال اخیر است.

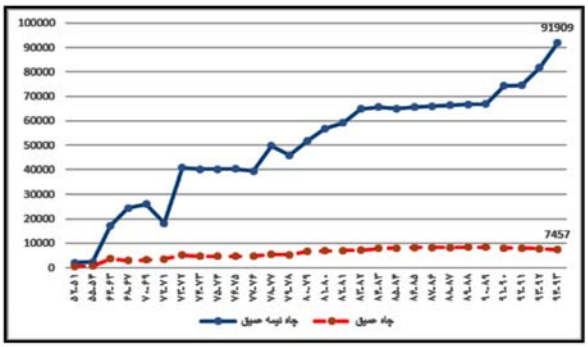


نمودار ۵ : میزان آب سطحی ورودی به دریاچه

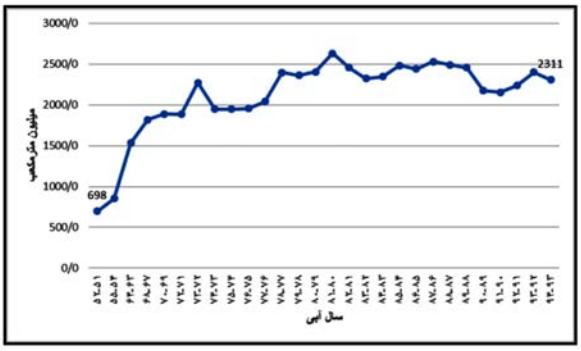


نمودار٦: مقایسه بین آب ورودی و میزان بارش

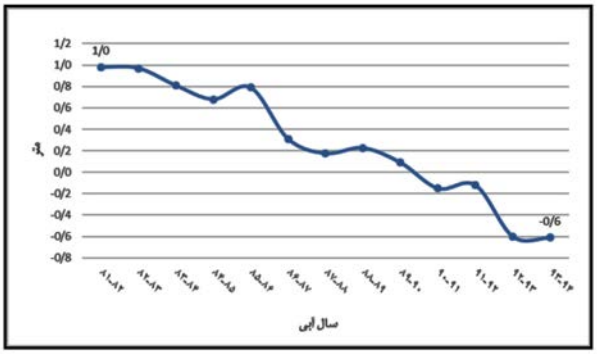
در نمودار ۷ روند افزایش بی‌رویه ایجاد چاه‌های نیمه عمیق(۹۲ هزار حلقه) و چاه‌های عمیق(۸ هزار حلقه) درطی سال‌های ۱۳۹٤-۱۳۵۱ و در نمودار۸ روند برداشت از آب‌های زیرزمینی در همین دوره ملاحظه می‌شود که بیش از ۳ برابر شده است.



نمودار ۷: روند تغییر چاه‌های عمیق ونیمه عمیق

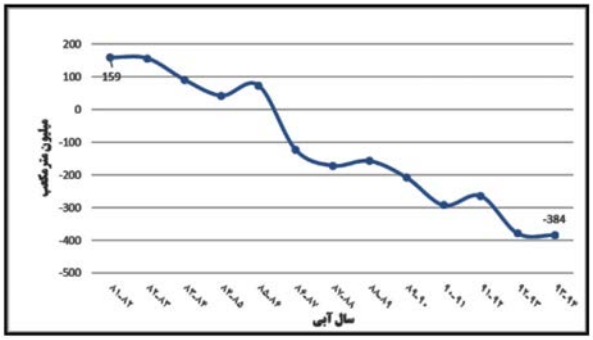


نمودار۸: روند برداشت از آب‌های زیر زمینی



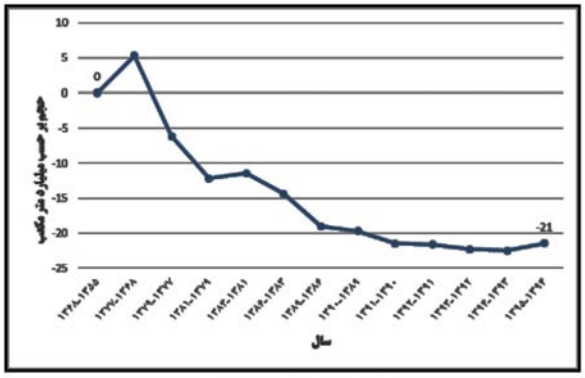
نمودار ۹: تغییر تجمعی سطح آب زیر زمینی

روند کاهش ۱/٦ متری از سطح آب زیر زمینی طی ١٤ سال(١٣٩٤-١٣٨١) در نمودار ۹ مشاهده می‌گردد. تغییرات حجم مخزن آبخوان نیز در قالب نمودار ۱۰ تهیه شده است، نمودار نشان دهنده کاهش ٥٤٣ میلیون مترمکعبی حجم مخزن آبخوان حوضه دریاچه ارومیه در طی ١٤ سال می‌باشد



نمودار ۱۰: تغییر تجمعی حجم مخزن آبخوان‌ها

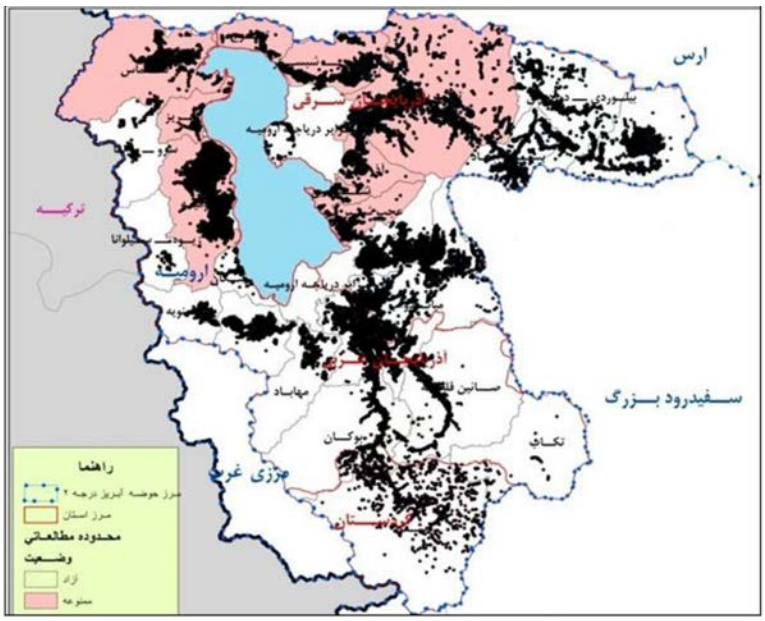
بررسی ٤٠ سال اخیر(١٣٩٥-١٣٥٥) نشان می‌دهد که حجم آب دریاچه ارومیه بیش از ۲۱ میلیارد متر مکعب کاهش یافته است (نمودار۱۱).



نمودار۱۱: میزان تغییر تجمعی حجم آب دریاچه

۵- نتایج و پیشنهادها

دریاچه ارومیه دومین دریاچه آب شور جهان و یکی از نادرترین ذخیره‌گاه‌های زیستی ایران و جهان و دارای ۱۰۲ جزیره کوچک و بزرگ است. این دریاچه به همراه جزایر درونی آن از سوی سازمان یونسکو به عنوان ذخیره‌گاه طبیعی به ثبت جهانی رسیده است که متأسفانه روند نزولی سطح آب این دریاچه در سال‌های اخیر کارشناسان و دوستداران



نگاره ۱۲: پراکندگی چاه‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه

نگاره۱۳: وضعیت دریاچه‌های ارومیه، وان و سوان در سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۱۱

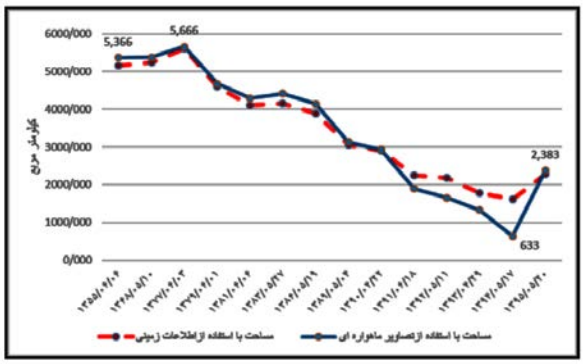
محیط زیست را نگران کرده و هشدار کارشناسان را در رابطه با وضعیت این زیست بوم ارزشمند درپی داشته است.

دریاچه‌های سوان و وان در ارمنستان و ترکیه در فاصله کمتر از ۲۰۰ کیلومتری دریاچه ارومیه واقع شده اند و از نظر اندازه مشابه این دریاچه هستند. با مقایسه دو شکل، مشاهده می‌شود که برخلاف دریاچه ارومیه، دو دریاچه سوان و وان در طول سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۱ تغییر محسوسی نداشته‌اند(نگاره ۱۳). درست است‌که این دریاچه‌ها نسبت به دریاچه ارومیه عمیق‌تر هستند ولی در تغییرات سریع دریاچه ارومیه عدم تدبیر لازم در سدهای متعددی که به روی رودخانه‌های منتهی به آن احداث گردیده و استفاده بی رویه ازمنابع زیر زمینی و سایر موارد مؤثر بوده است.

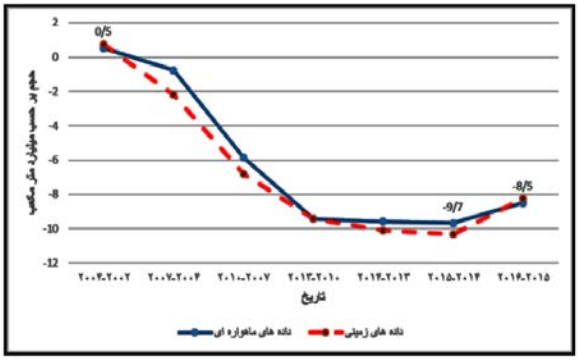
نتایج پژوهش و پیشنهادها به شرح ذیل ارائه می‌گردد:

۱. نتایج حاصل از اطلاعات ماهواره‌ای حاکی از آن است که مساحت دریاچه ارومیه از ۵۳٦٦ کیلومترمربع در سال ۱۹۷٦ به ٦۳۳ کیلومترمربع در سال ۲۰۱۵ رسیده، یعنی حدود یک هشتم شده است و با افزایش در سال ۲۰۱٦ به ۲۳۸۳ کیلومترمربع رسیده است. تراز سطح آب دریاچه نیز از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۵ حدود ٤ متر کاهش و در سال ۲۰۱٦ به میزان ۰/۵ متر افزایش یافته است. از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۵ حجم آب دریاچه ارومیه به میزان ۹/۷ میلیارد مترمکعب کاهش یافته و در سال بعد ۱/۲ میلیارد مترمکعب به آن افزوده شده است، افزایش آب دریاچه می‌تواند علاوه بر افزایش میزان بارش، ناشی از تمهیدات اندیشیده شده باشد.

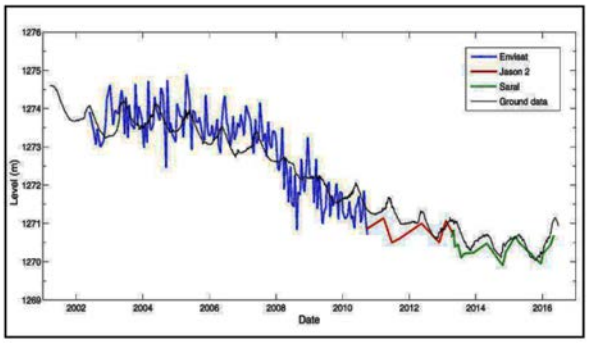
همچنین نتایج نشان می‌دهد، بیشترین کاهش آب دریاچه در ۲۰۱۲-۲۰۰۷ اتفاق افتاده است و بیش از ۲۲۵۰ کیلومتر مربع از سطح آن کاسته شده است. موارد مطروحه و مقایسه آن با داده‌های زمینی در نمودارهای ۱۲، ۱۳ و ۱٤ ارائه شده است.



نمودار۱۲: مساحت دریاچه ارومیه



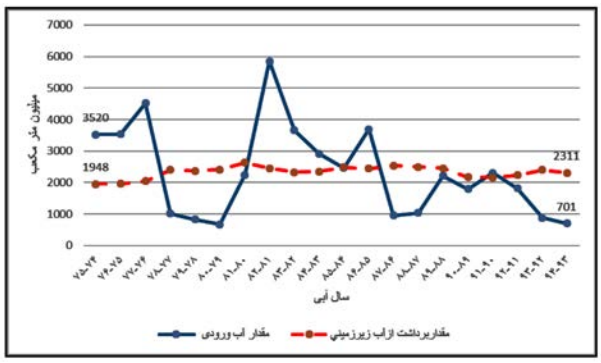
نمودار ۱۳: تغییرات حجم آب دریاچه



نمودار ۱٤ : سطح تراز آب دریاچه

۲. ورودی آب به دریاچه ارومیه در سال آبی ۹٤-۹۳ نسبت به ۷۵-۷٤ تقریباً یک پنجم شده و از ۳۵۰۰ میلیون متر مکعب به ۷۰۰ میلیون مترمکعب رسیده است و در واقع ۲۸۰۰ میلیون مترمکعب حجم آب ورودی کاهش یافته است. در حالی که برداشت از آب‌های زیرزمینی در همین بازه زمانی ۳٦۰ میلیون مترمکعب افزایش یافته است(نمودار۱۵) که این نشان از عدم تعادل در میزان آب ورودی و برداشت آب‌های زیر زمینی دارد.

لازم به ذکر است در کاهش میزان آب ورودی به دریاچه با توجه به بررسی انجام شده، عوامل طبیعی(بارش و تبخیر) نقش کمتری را ایفاء می‌کنند و بیشتر ناشی از برداشت بی رویه آب‌های سطحی و زیرزمینی، ایجاد چاه‌ها، افزایش نامتعارف کشاورزی و ایجاد سدها می‌باشد. البته عوامل دیگری مانند ایجاد پل روی دریاچه نیز تأثیرگذار می‌باشد.



نمودار ۱۵: مقایسه میزان آب ورودی و برداشت شده

۳. با توجه به پژوهش انجام شده موارد ذیل پیشنهاد می‌گردد:

- از اطلاعات ماهواره‌ای که از نظر دقت، زمان و هزینه مقرون به صرفه است در تحقیقات استفاده شود.
- پلمب چاه‌های غیر مجاز و جلوگیری از برداشت‌های غیر مجاز آب.
- مدیریت بهتری در نحوه استفاده از میزان آب موجود در حوضه، اعم از سطحی و زیرزمینی صورت پذیرد.
- اصلاح در روش کشاورزی و همچنین نوع محصولات آن ضروری است.
- باز کردن دریچه سدها در حد نیاز و جلوگیری از احداث سدهای دیگر در حوضه دریاچه ارومیه.
- تمام رودخانه‌های منتهی به دریاچه ارومیه که طی همه این سال‌ها بدون هیچ مدیریتی رها شده‌اند، لایروبی شود تا رسوبات مانع راهیابی آب به دریاچه نشوند.

• پیشنهادهایی مانند بارورکردن ابرها و انتقال آب از دیگر مناطق مثل رود ارس و یا دریای خزر نیز می‌تواند مطرح شود.

سپاسگزاری

بدینوسیله از مساعدت کارشناسان سازمان جغرافیایی در به ثمر رسیدن این تحقیق، تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع و مآخذ

۱- آل شیخ، علی محمدی، قربانعلی؛ علی‌اصغر، عباس، علی؛ ۱۳۸۳؛ پایش خطوط ساحلی دریاچه ارومیه با استفاده از سنجش از دور.

۲- امامی، امیری؛ سیدمرتی، سارا؛ ۱۳۸۷؛ بررسی اکوسیستم دریاچه ارومیه.

۳- پورهروی، زمزم؛ سعید، داوود؛ ۱۳۹۳؛ بررسی تغییرات سطح تراز دریاچه ارومیه با استفاده از داده‌های ماهواره‌های ارتفاع سنجی، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد تفت.

٤- حمید پور بناب، آزموده اردلان؛ بهرام، علیرضا؛ ۱۳۹۰؛ پایش تراز آب دریاچه‌ها به کمک ارتفاع سنجی ماهواره ای، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال.

۵- خواجه، آزموده اردلان؛ سامان، علیرضا؛۱۳۹۰؛ پایش آب‌های بسته با استفاده از ارتفاع سنجی ماهواره‌ای، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی دانشگاه تهران،

٦- رحمتی، توکلی؛ محمدرضا، فرخ؛ ۱۳۹۳؛ بررسی ژئودینامیک دریاچه ارومیه با تکیه بر داده‌هایGPS، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد تفت.

۷- رسولی، عباسیان، جهانبخش؛ علی‌اکبر، شیرزاد، سعید؛ ۱۳۸۷؛ پایش نوسان‌های سطح آب دریاچه ارومیه با پردازش تصاویر ماهواره‌ای چند سنجنده‌ای و چند زمانی، فصلنامه مدرس علوم انسانی، شماره ۲ .

۸- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، فرهنگ جغرافیایی رودهای کشور (حوضه آبریز دریاچه ارومیه)؛ ۱۳۸۱.

۹- شمس اسفندآبادی، عمادی؛ بهادر، روح الله؛ ۱۳۹۳؛ بررسی تغییرات سطح ارتفاعی آب دریاچه ارومیه با استفاده از داده‌های ماهواره‌های ارتفاع سنجی و هواشناسی از طریق شبکه عصبی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال.

۱۰- ضرورت احیای دریاچه ارومیه علل خشکی و تهدیدات، ستاد احیای دریاچه ارومیه، تیر۱۳۹٤.

۱۱- فرخی، روشن؛ سعید، محمد باقر،۱۳۹۳؛ تحلیل بیلان آبی دریاچه ارومیه - برآورد میزان تبخیر، دانشگاه تهران.

۱۲- کمالی، یونس زاده جلالی؛ میثم، سهیلا؛۱۳۹٤؛ تغییرات کاربری اراضی حوضه آبریز دریاچه ارومیه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای.

13- Eng. P. S., Shunji M., Kiyoshi H., Robert L.G. S. Samarakoon. (1997), Detection of coast lines of tonle Sap lake in flood season using JERS-1 data for water volume estimation STAR program, Asian Institute of Technology.

14- Kaichang Di, Ruijin Ma, Jue Wang, Ron Li (2004), Coastal mapping and change detection using high-resolution IKONOS satellite imagery, Japan- Ohio.

15- K. Singh, N. V. Deshpande, B. Sakalley, S. N. Rajak and J. Kelsy. (1991) Satellite remote sensing for surface water assessment and management of Bhopal Lake - An integrated approach, Remote Sensing Applications, Centre M.P. Council of Science & Technology Bhopal, India.

16- L.Zavoianu A, Caramizoiu D. B. (2001), Study and accuracy assessment of remote sensing data for enviromental change detection in Romanina coastal zone of the Black sea; Faculty of Geodesy, Technical University of Engineering Bucharest, Romania.

17- Ng. Omar Qudah, Eng. Hussein Harahsheh (1994), Recession of Dead Sea through the Satellite Images Royal Jordanian Geographic Centre Amman-Jordan.

18- Price. Jill (2013), Geography alive 10 for the Australian curriculum.

19- www.aviso.altimetry.fr.

20- https://earth.esa.int.

21- http://earthexplorer.usgs.gov.