

هیدروژئومورفولوژی، شماره ۹، زمستان ۱۳۹۵، صص ۶۲-۴۳

وصول مقاله: ۹۴/۱۲/۱۲ تأیید نهایی مقاله: ۹۵/۱۱/۲۴

## آشکارسازی و پیش‌بینی روند تغییرات دریاچه‌ی ارومیه و محیط پیرامونی آن طی نیم قرن گذشته بر پایه‌ی تحلیل‌های مکان مبنای دور کاوی

عباس مالیان<sup>۱\*</sup>

علی محمدی<sup>۲</sup>

عباس علی محمدی<sup>۳</sup>

جلال ولی‌اللهی<sup>۴</sup>

### چکیده

خشک شدن تدریجی دریاچه‌ی ارومیه، چند سالی است که به مسأله‌ای ملی و بین‌المللی تبدیل شده است. در دهه‌های اخیر توسعه‌ی صنعتی ناپایدار و بهره‌برداری بی‌رویه از سفره‌های آب زیرزمینی از علل اصلی خشک شدن دریاچه‌ی ارومیه بوده است. در این پژوهش به بررسی و آشکارسازی و پایش تغییرات دریاچه‌ی ارومیه و محیط پیرامونی آن با تلفیق سامانه اطلاعات مکانی و دورکاوی طی بازه‌ی زمانی بیش از نیم قرن پرداخته شده است. برای نیل به این هدف، از عکس‌های فتوگرامتری هوایی سال ۱۹۵۵ و نقشه‌ی توپوگرافی تهیه شده از آن عکس‌ها، داده‌های مدل ارتفاعی رقومی (DEM) منطقه‌ی مورد مطالعه، اطلاعات مربوط به چاه‌های آب پیرامون غربی دریاچه، اطلاعات کیفی آب دریاچه و تصاویر سنجنده‌های TM<sup>+</sup>، ETM<sup>+</sup> و OLI ماهواره‌های لندست ۵، ۷ و ۸ استفاده شده

۱- استادیار گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه تربیت دبیر شهیدرجانی، ایران (نویسنده مسئول\*)

Email: a.malian@srttu.edu

۲- کارشناس ارشد GIS، گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه تربیت دبیر شهیدرجانی، ایران

۳- دانشیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی، ایران

۴- استادیار گروه محیط زیست، دانشگاه تربیت دبیر شهیدرجانی، ایران

است. بازه‌ی زمانی تحقیق شصت سال در فاصله‌ی سال‌های ۱۹۵۵ تا سال ۲۰۱۴ میلادی است. بدین منظور ۱۲ تصویر مختلف مربوط به دوره‌های متفاوت مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که مساحت و محیط پیرامونی دریاچه‌ی ارومیه تغییرات گسترده‌ای در سال‌های اخیر داشته است. مساحت دریاچه از ۴۵۱۸۰۰ هکتار در سال ۱۹۵۵ به ۸۹۷۳۰ هکتار در سال ۲۰۱۴ کاهش یافته است. در این تحقیق مشخص گردید بیشترین پسروری دریاچه در قسمت جنوبی آن به وقوع پیوسته است. این پسروری‌ها همراه با گسترش پهنه‌های نمکی در سواحل این دریاچه همراه است. پایین آمدن سطح آب دریاچه رابطه‌ی مستقیم با گسترش زمین‌های کشاورزی پیرامون دریاچه و رابطه‌ی معکوس با شاخص هدایت الکتریکی آب دریاچه (EC) دارد. این نوسانات اثرات زیست محیطی، اقتصادی، اجتماعی مهمی را به دنبال دارد. بررسی روند تغییرات دریاچه نشان می‌دهد که اگر روند به همین صورت ادامه یابد و اقدام مؤثری انجام نشود تا سال ۱۴۱۲ دریاچه‌ی ارومیه از بین خواهد رفت و به شورزار تبدیل خواهد شد.

**کلمات کلیدی:** دریاچه ارومیه، سامانه اطلاعات مکانی، دورکای، آشکارسازی تغییرات.

## مقدمه

دریاچه‌ی ارومیه (چیچست) یکی از پیکره‌های آب شور جهان است که به عنوان یک ثروت عظیم و یکی از ارکان پایدارکننده‌ی محیط زیست شمال غرب ایران به شمار می‌رود و از روزگار باستان تاکنون ارزش‌های اقتصادی، فرهنگی و زیست محیطی بسیار مهمی داشته است. متأسفانه امروزه به علت دخالت‌های نسنجیده بشر شاهد از بین رفتن این پدیده بی‌همتا می‌باشیم. افزایش شوری و پسروری آب دریاچه‌ی ارومیه تبعات بسیاری همچون کاهش تخم آرتمیا و شورزار شدن اراضی اطراف داشته است (استاپن و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۱: ۱۳۳). تحلیل تصاویر ماهواره‌ای به

1- Stappen G. et al.

وضوح افزایش شوره‌زارهای اطراف دریاچه و کاهش مساحت دریاچه را نشان می‌دهد. نکته‌ی مهم این است که اگر روند خشک شدن دریاچه به همین ترتیب ادامه یابد و تدبیری کارساز برای جلوگیری از مرگ دریاچه اندیشیده نشود بعد از نابودی دریاچه یک توده‌ی نمکی بسیار عظیم به جا خواهد ماند که مشکلات زیست محیطی ایجاد شده ناشی از آن قابل جبران نخواهد بود. از آنجایی که بخش عمده‌ی اقتصاد آذربایجان غربی و مناطق اطراف آن بر پایه‌ی کشاورزی می‌باشد اگر ذخیره‌ی نمک دریاچه‌ی ارومیه در معرض وزش باد قرار گیرد توفان‌های نمکی که ایجاد می‌شود تا شعاع وسیعی از اراضی اطراف را به شوره‌زار تبدیل می‌کند و فقر و بیکاری و آوارگی بسیاری از هموطنان را باعث خواهد شد. پخش شدن نمک در هوا به وسیله باد و سپس رسوب کردن آن در محیط، منجر به شورشیدن آب‌های سطحی، آب‌های آبیاری و در نهایت آب‌های زیرزمینی و خاک‌های کشاورزی می‌گردد. خشک شدن دریاچه پیامدهای دیگری از قبیل شیوع بیماری، آسیب به زیرساخت‌ها و ساختمان‌ها، تغییر اقلیم منطقه، انقراض گونه‌های گیاهی و جانوری که زندگی آنها به این دریاچه وابسته بوده را نیز در پی خواهد داشت. با عنایت به حساسیت موضوع، در این پژوهش سعی بر آن است که با بهره‌گیری از اطلاعات میدانی، نقشه‌ها، تصاویر هوایی و ماهواره‌ای و به کمک سنجش از دور و سامانه‌ی اطلاعات مکانی نخست تغییرات سطح دریاچه و محیط پیرامون آن از جنبه کمی به ویژه پراکندگی پوشش گیاهی در یک دوره نیم قرن مورد بررسی قرار گیرد و سپس از جنبه کیفی تغییرات هدایت الکتریکی (EC) و شاخص شوری آب تحلیل گردد که در نتیجه مشخص شود که پسروری دریاچه‌ی ارومیه چه رابطه‌ای با تغییرات پوشش گیاهی و گسترش شوره‌زارهای اطراف داشته است. در نهایت بر پایه این تحقیق پیش‌بینی می‌شود که اگر روند خشک شدن دریاچه به همین ترتیب ادامه یابد در چه زمانی در آینده وضعیت بحرانی آغاز خواهد شد و چه

زمین‌هایی به شوره‌زار تبدیل خواهند شد تا شاید بتوان گامی پیشگیری از مرگ این دریاچه برداشت. با در زمینه استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در تهیه نقشه‌ی خطوط ساحلی و مدیریت و نظارت بر محیط‌های ساحلی دریاچه‌های جهان کارهای پژوهشی متعددی انجام گرفته است. بسیاری از دریاچه‌های نمکی در آسیا، مکزیک، اسپانیا، شوروی سابق و آمریکای مرکزی به دلیل پمپاژ بیش از حد آب‌های زیرزمینی برای کشاورزی ناپدید شده‌اند (الکوسر و اسکوبار<sup>۱</sup>، ۱۹۹۶: ۵۵). اندازه‌گیری میدانی از میانگین ارتفاع سطح آب فعلی و مقایسه‌ی آن با سطح آب در گذشته و استنتاج در مورد میزان تغییرات، ردیابی خطوط ساحلی از عکس‌های هوایی و نقشه‌های توپوگرافی و مقایسه‌ی آن با داده‌های تاریخی یکی از روش‌های موجود در زمینه‌ی شیوه‌های مرسوم برای بررسی میزان تغییرات موقعیت سواحل می‌باشد (فنستر و همکاران<sup>۲</sup>، ۱۹۹۳: ۱۴۷). آل‌شیخ و همکاران در پایش خطوط ساحلی دریاچه‌ی ارومیه علاوه بر استفاده از تصاویر لندست از داده‌های TOPEX نیز استفاده و تغییر ارتفاع سطح آب دریاچه را ۳ متر برآورد کردند (آل‌شیخ، ۱۳۸۴: ۹). رسولی و عباسیان در تحلیل سری‌های زمانی تراز دریاچه‌ی ارومیه تفاوت معناداری در طی ۳۵ سال (۱۹۷۰-۲۰۰۴) مشاهده کردند (رسولی و عباسیان، ۱۳۸۸: ۱۳۷). رضایی‌مقدم و همکاران در بررسی و شناخت عوامل تغییر تراز آب دریاچه‌ی ارومیه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده MODIS طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۱ در زمینه‌ی تعیین عوامل اصلی کاهش آب این دریاچه با استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره تحقیق کرده‌اند و مشخص نمودند که در طی دوره‌ی مزبور خطوط ساحلی در شرق و به ویژه جنوب شرق پسروری معناداری داشته است (رضایی‌مقدم و همکاران، ۱۳۹۱: ۳۷). اکسوان<sup>۳</sup> در آشکارسازی تغییر پوشش زمین

---

1- Alcocer, J. and E. Escobar

2- Fenster, M.S. et. al.

3- Xiuwan, C.

با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای چندزمانه و به کارگیری سامانه اطلاعات مکانی، با افزودن داده‌های کمکی مانند نقشه‌های توپوگرافی، شیب، جهت شیب، زمین‌شناسی، خاک، هیدرولوژی، شبکه حمل و نقل، پوشش گیاهی و غیره به رده‌بندی، دقت و کیفیت پردازش تغییر پوشش زمین را افزایش داد (اکسوان، ۲۰۰۲). در پژوهش دیگر، داده‌های سنجش از دور برای ارزیابی وضعیت فعلی و سطح تخریب دریاچه‌ی کورونیا در یونان مورد استفاده قرار گرفت. در آشکارسازی تغییرات طبقات مختلف پوشش زمین به روش رده‌بندی نظارت شده و پس رده‌بندی<sup>۱</sup>، استفاده از داده‌های کمکی، تفسیر بصری و دانش کارشناسی از طریق سامانه‌ی اطلاعات مکانی باعث بهبود نتایج رده‌بندی گردید و نتایج تلفیق سنجش از دور با سامانه‌ی اطلاعات مکانی به افزایش دقت کلی به میزان ده درصدی انجامید (الکساندریدیس<sup>۲</sup>، ۲۰۰۷). تلفیق سامانه‌ی اطلاعات مکانی و سنجش از دور، اطلاعات با ارزشی از آشکارسازی نوع تغییرات و توزیع مکانی تغییرات مختلف پوشش زمین را ارائه می‌کند. در مطالعات گذشته بیشتر به آشکارسازی تغییرات خطوط ساحلی بسنده شده و به آشکارسازی محیط پیرامونی و تأثیر متقابل عوامل مؤثر در آن پرداخته نشده است. در پژوهش حاضر تحلیلی منسجم برای درک جامع‌تر از تغییرات دریاچه‌ی ارومیه و محیط پیرامونی آن به منظور کمک به توسعه‌ی راهبردهای پایش و مدیریت دریاچه ارائه شده است.

## مواد و روش

در این پژوهش برای بررسی اثر پدیده‌های مختلف در فرایند خشک شدن دریاچه‌ی ارومیه از روش آشکارسازی تغییرات استفاده شد. برای آشکارسازی تغییرات منطقه، اطلاعات منابع مختلف سنجش از دور نظیر تصاویر ماهواره‌ای، عکس‌های هوایی و

---

1- Post-Classification

2- Alexandridis, T.K.

نقشه‌های موضوعی را باید با یکدیگر ادغام<sup>۱</sup> نمود. با توجه به اعتمادپذیری بهتر روش نظارت شده از این روش استفاده گردید. رده‌بندی نظارت شده انواع مختلفی دارد که از آن میان می‌توان روش بیشینه‌ی همانندی<sup>۲</sup> و کمینه‌ی فاصله<sup>۳</sup> را نام برد. در این شیوه، بر پایه‌ی الگوی توزیع آماری و آموزش اولیه‌ای که رده‌بند<sup>۴</sup> از نمونه واقعیت‌های زمینی کسب کرده است رده‌بندی صورت می‌گیرد. در این روش‌ها، در مورد هر پیکسل فقط یک تصمیم اتخاذ می‌گردد و در نتیجه این تصمیم هر پیکسل به یکی از رده‌های از پیش تعیین شده تعلق می‌گیرد. در پژوهش حاضر برای استخراج اطلاعات مورد نظر برای تحلیل وضعیت دریاچه‌ی ارومیه نخست برای بالا بردن دقت رده‌بندی تصاویر ماهواره‌ای یک مدل مفهومی مبتنی بر الگوریتم درخت تصمیم و روش زیرپیکسلی فیلتر سازگار تنظیم اختلاط (MTMF)<sup>۵</sup> مورد استفاده قرار گرفت (بوردمن و کروس<sup>۶</sup>، ۱۹۹۸: ۴۱۵۲، گودرزی مهر و همکاران، ۱۳۹۳: ۲۱). سپس ارزیابی صحت رده‌بندی، برآورد صحت آشکارسازی تغییرات و تحلیل تغییرات دریاچه ارومیه و محیط پیرامون آن انجام شد.

در این تحقیق به منظور آشکارسازی تغییرات دریاچه و تحلیل دقیق خشک شدن آن، ابتدا تفسیر عکس‌های فتوگرامتری انجام شد و سپس رده‌بندی نظارت شده زیرپیکسلی بر روی تصاویر ماهواره‌ای اجرا گردید و نقشه‌های آشکارسازی تغییرات تهیه شد. پس از آن، درمورد بررسی عوامل تأثیرگذار در این تغییرات مطالعه به عمل آمد. داده‌های مورد استفاده در این تحقیق عبارتند از پاره‌چین عکس‌های هوایی سال ۱۹۵۵ (بر پایه‌ی داده‌های سازمان جغرافیایی)، نقشه‌ی

---

1- Fusion

2- Maximum Likelihood

3- Minimum Distance

4- Classifier

5- Mixture Tuned Matched Filter (MTMF)

6- Boardman, J.W. and F.A. Kruse

توپوگرافی تهیه شده در سال ۱۹۵۵، تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵، ۷ و ۸ (مربوط به سال‌های ۱۹۸۵، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۴)، اطلاعات چاه‌های پیرامون غربی دریاچه‌ی ارومیه طی ده سال ۱۳۸۲-۱۳۹۲، مدل رقومی ارتفاعی<sup>۱</sup> منطقه‌ی مورد مطالعه، اطلاعات کیفیت آب دریاچه طی ۱۳۹۳-۱۳۴۴، ژرفاسنجی<sup>۲</sup> و توپوگرافی بستر<sup>۳</sup> و پیرامون دریاچه‌ی ارومیه (برپایه‌ی داده‌های مؤسسه تحقیقات آب)، داده‌ی رواناب رودخانه‌های اصلی منتهی به دریاچه (اخذ شده از شرکت آب منطقه آذربایجان غربی)، داده‌های بارندگی محدوده‌ی مورد مطالعه طی ۱۳۹۳-۱۳۴۶ (اخذ شده از شرکت آب منطقه‌ی آذربایجان غربی و سازمان هواشناسی) و اطلاعات آماری جمعیت منطقه‌ی مورد مطالعه (اخذ شده از مرکز آمار ایران، ۱۳۹۰).

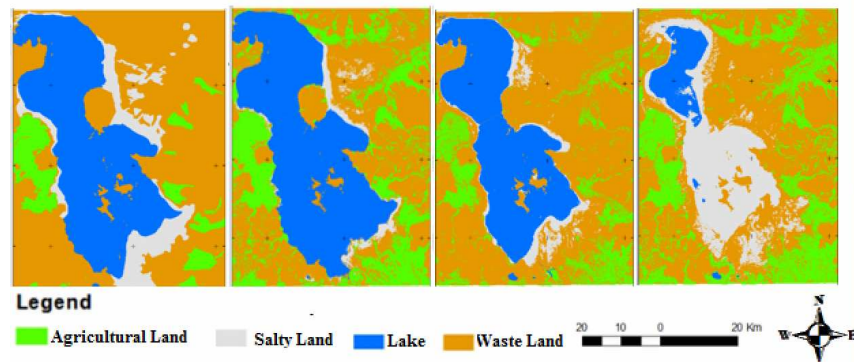
برای بررسی و تحلیل، ابتدا داده‌های مرتبط با دریاچه‌ی ارومیه تهیه و جمع‌آوری گردید. به منظور ارزیابی روند خشک شدن دریاچه‌ی ارومیه و آشکارسازی تغییرات محیط پیرامونی آن طی نیم قرن گذشته، از داده‌های سال‌های ۱۹۵۵، ۱۹۸۵، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۴ بهره گرفته شد. در این راستا، نخست تصحیحات هندسی و رادیومتری بر روی تصاویر انجام شد. سپس، با استفاده از عکس‌های هوایی سال ۱۹۵۵ تهیه و بر پایه‌ی اصول تفسیر عکسی و به کمک واقعیت‌های زمینی نقشه‌ی کاربری اراضی محدوده‌ی دریاچه‌ی ارومیه استخراج گردید. در مرحله‌ی بعد برای ارزیابی تغییرات محدوده‌ی دریاچه، از تصاویر ماهواره‌ای لندست مربوط به سال‌های ۱۹۸۵، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۴ بهره گرفته شد و محدوده‌ی دریاچه و رده‌های کاربری/ پوشش زمین استخراج گردید (شکل ۱).

---

1- DEM

2- Bathymetry

3- Hydrography



شکل (۱) نقشه‌ی کاربری/پوشش زمین. از چپ به راست سال ۱۹۵۵، سال ۱۹۸۵، سال ۲۰۰۷، سال ۲۰۱۴ (تهیه شده توسط نویسندگان براساس نتایج تحقیق)

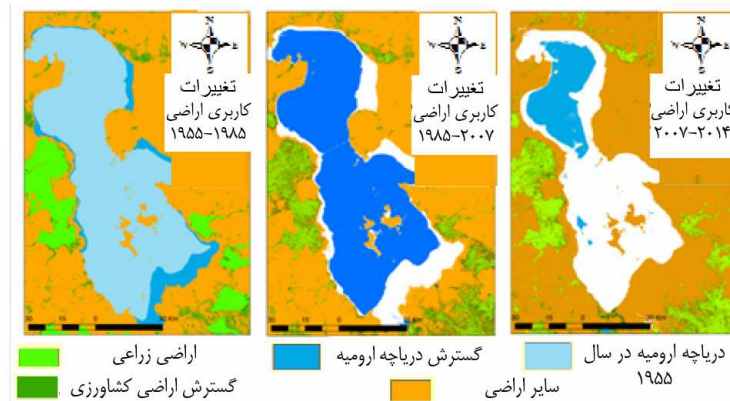
سپس الگوریتم رده‌بندی نظارت شده بر روی داده‌ها اعمال و نتایج استخراج شد. در مرحله‌ی بعد، این نتایج در محیط نرم‌افزار سامانه‌ی اطلاعات مکانی مورد ارزیابی قرار گرفتند. صحت کلی رده‌بندی در حدود ۹۳ درصد و ضریب کاپا ۹۰ درصد محاسبه شد که حاکی از اعتمادپذیری قابل قبول روش پیاده شده است. تا این مرحله داده‌های تاریخی مربوط به کاربری اراضی محدوده‌ی دریاچه‌ی ارومیه استخراج گردید. در ادامه با مقایسه‌ی محدوده‌ی دریاچه‌ی ارومیه برای سال‌های ۱۹۵۵، ۱۹۸۵، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۴ روند خشک شدن دریاچه‌ی ارومیه برای بازه‌های زمانی مربوطه مشخص شد.

### بحث و نتایج

بررسی تغییرات محدوده‌ی دریاچه‌ی ارومیه مشخص می‌کند که با مقایسه‌ی سال ۱۹۵۵ و ۲۰۱۴، مساحت دریاچه‌ی ارومیه نزدیک به ۸۰ درصد کاهش و در طی همان مدت مساحت شوره‌زارها ۷۰ درصد افزایش یافته است. هر چند در سال ۱۹۸۵ نسبت به سال ۱۹۵۵ به دلیل بارش‌های شدید مقطعی به طور موقت دارای



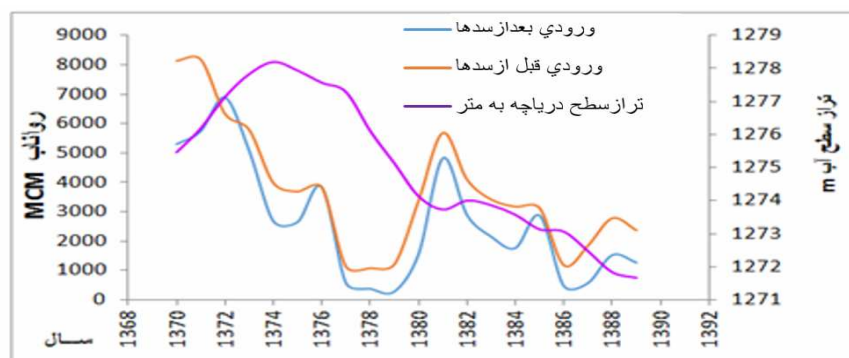
افزایش مساحت آبی بوده است. از طرف دیگر، فعالیت کشاورزی در پیرامون دریاچه افزایش چشمگیری داشته و ۱/۲ برابر شده است. روند کاهشی مساحت دریاچه‌ی ارومیه در ۷ سال اخیر شدت یافته به طوری که در نیم قرن مساحت دریاچه در حدود ۳۶۲۱۰۰ هکتار کاهش داشته است در حالی که در طی ۷ سال اخیر این کاهش ۳۰۰۶۰۰ هکتار است که نشانگر روند شدید کاهش مساحت دریاچه در طی سال‌های اخیر است. به عبارت دیگر، روند تغییر در دهه‌ی اخیر در حدود ۶ برابر روند تغییر مساحت دریاچه‌ی ارومیه در طی نیم قرن گذشته می‌باشد. همچنین، باتوجه به تغییرات آشکارسازی شده در طی ۵۰ سال اخیر، ۱۵۰۳۰۰ هکتار به اراضی کشاورزی افزوده شده است در حالی که میزان افزایش اراضی کشاورزی در ۷ سال اخیر ۳۹۷۰۰ هکتار می‌باشد یعنی روند رشد اراضی کشاورزی در سال‌های اخیر با مقایسه‌ی ۵۰ سال گذشته حدود ۲ برابر شده است. از این‌رو، فعالیت‌های نسنجیده اقتصادی در سال‌های اخیر عاملی تأثیرگذار در برداشت آب‌های زیرزمینی و کاهش منبع تغذیه‌ی دریاچه‌ی ارومیه بوده است. افزون بر آن، ساخت سدهای فراوان در حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه عامل تشدیدکننده کاهش میزان آب ورودی به دریاچه بوده که به مرگ تدریجی آن انجامیده است. با مقایسه‌ی نتایج رده‌بندی تصاویر هوایی و ماهواره‌ای و استخراج نقشه‌های کاربری اراضی، تغییرات دریاچه‌ی ارومیه در سال‌های ۱۹۵۵، ۱۹۸۵، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۴ تهیه گردید که در شکل (۲) ارائه شده است.



شکل (۲) نقشه‌ی تغییرات کاربری اراضی. راست: سال‌های ۲۰۱۴-۲۰۰۷، وسط: سال‌های ۱۹۸۵-۱۹۸۵، چپ: سال‌های ۱۹۵۵-۱۹۸۵ (تهیه شده توسط نویسندگان براساس نتایج تحقیق)

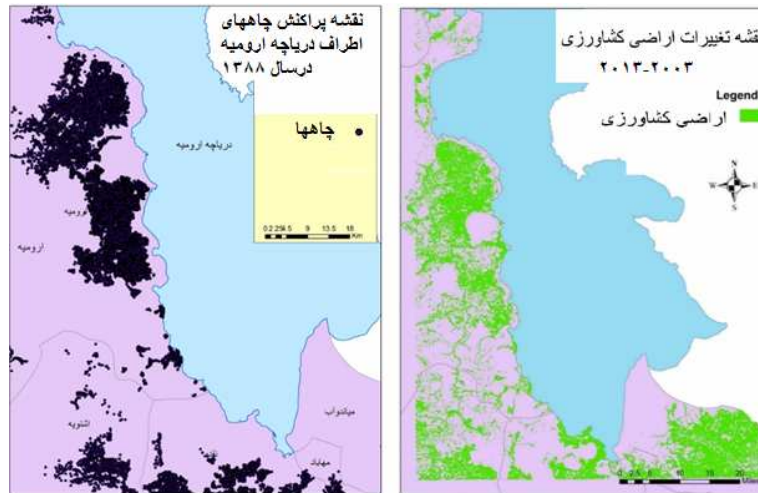
باتوجه به اطلاعات سازمان آمار کشور، رشد جمعیت در طی ۵۰ سال اخیر در منطقه‌ی مورد مطالعه در حدود ۸ برابر گردیده است و روند رشد جمعیت روستایی در فاصله زمانی ۱۳۷۵ تا کنون به طور پیوسته سیر صعودی داشته است. به تبع آن مناطق جمعیتی و شهرها بزرگ‌تر شده و مصرف آب آنها افزایش یافته است که از منابع آب‌های زیرزمینی و سطحی تأمین شده و در سرعت خشک شدن دریاچه‌ی ارومیه تأثیر داشته است. عامل مؤثر دیگر در تحلیل روند تغییرات دریاچه‌ی ارومیه و محیط پیرامون آن، سدسازی‌های انجام شده در حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه و افت میزان آب رودخانه‌های اصلی ورودی به دریاچه‌ی ارومیه (رواناب) می‌باشد. مطالعه نشان می‌دهد که میزان رواناب رودخانه‌ها در محل ورودی به دریاچه طی ۵۰ سال اخیر کاهش پیوسته و چشمگیر داشته است (شکل ۳). از طرف دیگر، بهره‌برداری بی‌رویه از سفره‌های آب زیرزمینی، حفر چاه‌های پرشمار و بدون نظارت و برداشت بی‌رویه از سفره‌های آبی برای مصارف خانگی، صنعتی و کشاورزی باعث پایین رفتن سطح ایستابی و کاهش میزان تغذیه دریاچه از طریق جریان‌ات سطحی

و آب‌های زیرزمینی و تأثیرگذاری شدید این عامل در روند خشک شدن دریاچه‌ی ارومیه شده است.



شکل (۳) مقایسه‌ی ورودی و خروجی سدها نسبت به تراز سطح دریاچه (منبع: احمدزاده و همکاران، ۱۳۹۲)

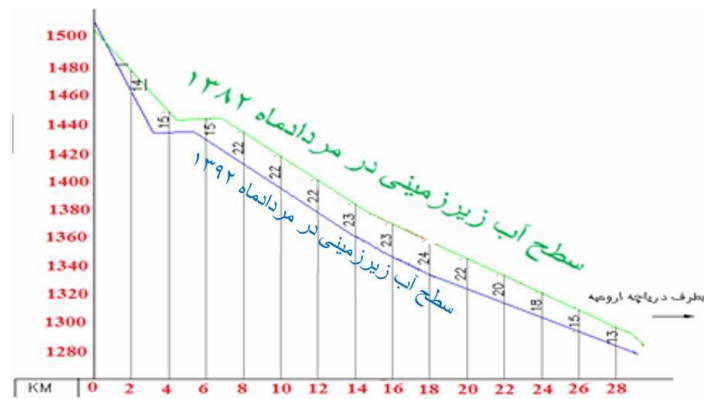
براساس داده‌های شرکت آب منطقه‌ای در بازه‌ی زمانی ۱۳۸۸-۱۳۸۰ تعداد ۲۰۶۸۲ حلقه چاه در پیرامون غربی دریاچه مورد بهره‌برداری قرار گرفته که با احتساب چاه‌های قبلی، شمار چاه‌ها در غرب دریاچه از ۶۵۰۰۰ گذشته است (شکل ۴). برای تحلیل اثر روند رشد اراضی کشاورزی در خشک شدن دریاچه‌ی ارومیه، از نقشه‌های تغییرات کاربری اراضی استفاده گردید. این نقشه‌ها نشان می‌دهند که همزمان با توسعه کشاورزی در سال‌های اخیر، سطح آب‌های زیرزمینی کاهش یافته است و مشخص می‌شود که بین این دو پارامتر رابطه مستقیم وجود دارد (شکل ۵). مطابق این شکل مشخص است که سطح آب‌های زیرزمینی در طی ده سال ۱۳۸۲-۱۳۹۲ بین ۱۳ متر تا ۲۴ متر کاهش داشته است. این کاهش ناشی از برداشت بی‌رویه‌ی آب بوده است.



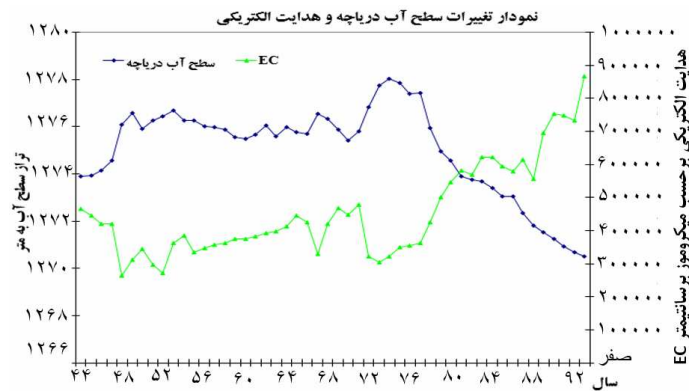
شکل (۴) راست: نقشه پراکندگی چاه‌های در حال بهره‌برداری برای مصارف کشاورزی پیرامون غربی دریاچه ارومیه در سال ۱۳۸۸ - چپ: نقشه‌ی گسترش اراضی کشاورزی در فاصله زمانی ۱۳۸۲-۱۳۹۲ (تهیه شده توسط نویسندگان براساس داده‌های اخذ شده از شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان آذربایجان غربی)

میزان این تغییر در اراضی کشاورزی از سال ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۲ در حدود ۳۰۷۲۲ هکتار می‌باشد. در طی این سال‌ها نزدیک به ۳۰۷۲۲ هکتار از زمین بایر که مصرف آب آنها سازگار با طبیعت بوده تبدیل به کاربری با مصرف آب بالا برای بهره‌برداری اقتصادی شده است. این مصرف شدید سبب کاهش سطح آب زیرزمینی و جلوگیری از عبور آب جاری به سمت دریاچه‌ی ارومیه گردیده است. در ادامه، بررسی شاخص شوری آب با استفاده از داده‌های شرکت آب منطقه‌ای انجام گرفت. با ارزیابی نمودار هدایت الکتریکی و تراز سطح آب استنباط می‌شود که شاخص شوری که وابسته به غلظت آب است با حفظ رابطه‌ی وارون نسبت به کاهش سطح تراز دریاچه به مرور زمان سیر صعودی پیدا کرده است (شکل ۶). در گام بعد، بر پایه‌ی اطلاعات آبنگاری و ارتفاعی، نقشه ژرفاسنجی بستر و نقشه‌ی توپوگرافی

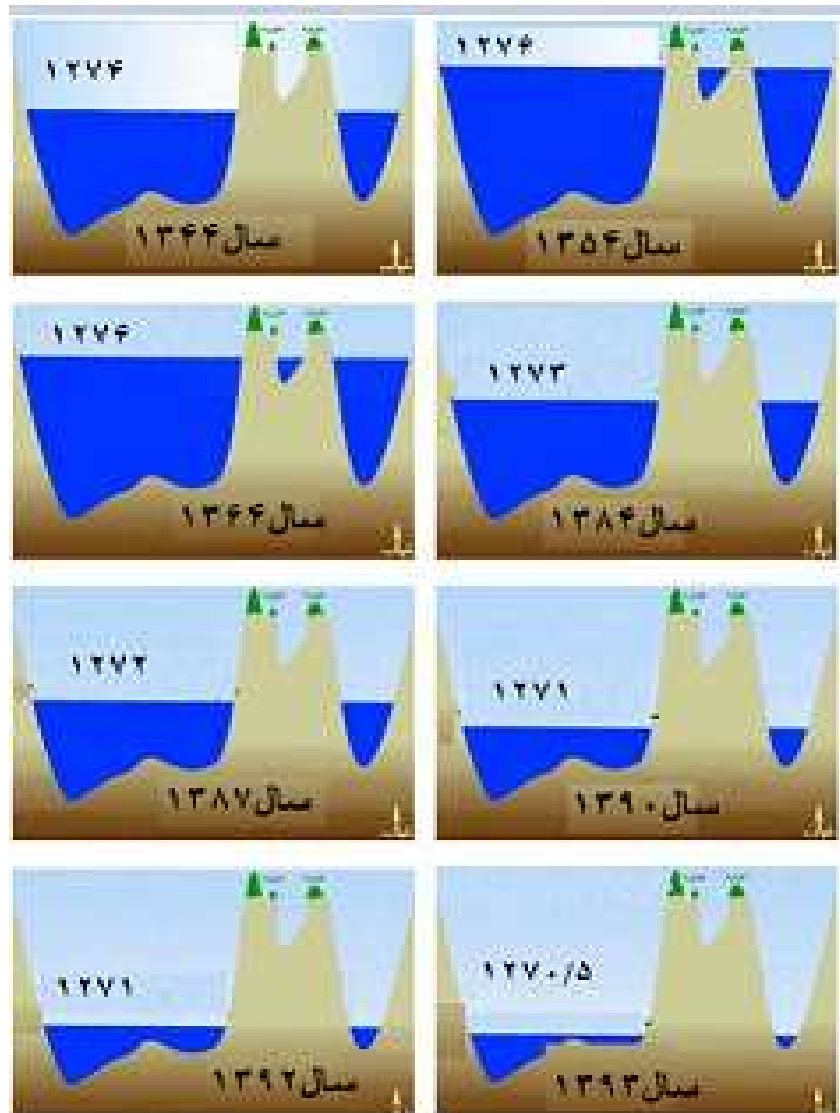
پیرامون دریاچه‌ی ارومیه تهیه شد و با استفاده از آن نیم‌رخ ارتفاعی دریاچه استخراج و روند تغییرات تراز آب آن طی بازه نیم قرن تولید گردید (شکل ۷).



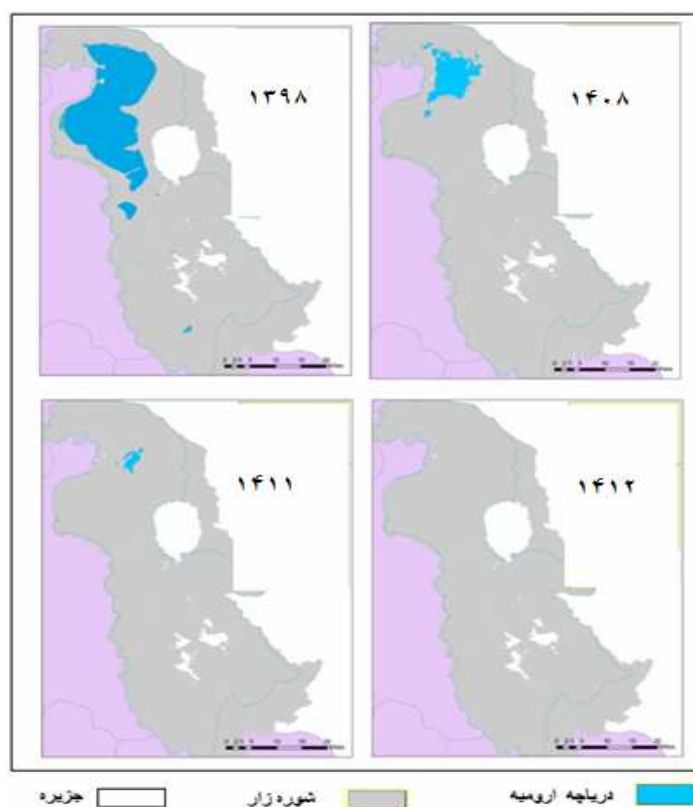
شکل (۵) مقطع طولی از تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی محیط پیرامون دریاچه‌ی ارومیه در فاصله زمانی ۱۳۸۲-۱۳۹۲ (تهیه شده توسط نویسندگان براساس داده‌های شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان غربی)



شکل (۶) ارتباط وارون کمیت (تراز) و کیفیت (هدایت الکتریکی) آب دریاچه‌ی ارومیه (تهیه شده توسط نویسندگان براساس نتایج تحقیق و داده‌های اخذ شده از شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان غربی)



شکل (۷) نمایش واقع نمای روند تغییر تراز آب دریاچه‌ی ارومیه (تهیه شده توسط نویسندگان براساس نتایج تحقیق)



شکل (۸) پیش‌بینی روند خشک شدن دریاچه‌ی ارومیه در سال‌های ۱۳۹۸، ۱۴۰۸، ۱۴۱۱ و ۱۴۱۲ (تهیه شده توسط نویسندگان براساس نتایج تحقیق)

### نتیجه‌گیری

دریاچه‌ی ارومیه به عنوان یک ثروت عظیم طبیعی و یکی از ارکان پایدارکننده‌ی محیط زیست در شمال غرب کشور و یکی از بزرگ‌ترین زیستگاه‌های طبیعی جهان محسوب می‌شود و ارزش اقتصادی و زیست محیطی فراوانی دارد که در سال‌های اخیر به دلیل مداخلات نسنجیده و منفعت‌طلبی، دچار آسیب جدی و جبران‌ناپذیر

شده است. در این پژوهش با استفاده از اطلاعات آماری، نقشه‌ها، عکس‌های فتوگرامتری و تصاویر ماهواره‌ای از طریق روش‌های سنجش از دور و سامانه‌ی اطلاعات مکانی آشکارسازی تغییرات روی داده در سطح، گستره، تراکم پوشش گیاهی و کاربری زمین پیرامون دریاچه و اثر آن بر خشک شدنش طی شصت سال گذشته مورد بررسی قرار گرفت.

داده‌های کمکی دیگر همچون آب‌های زیرزمینی، رواناب رودها، موقعیت چاه‌ها و توپوگرافی بستر دریاچه‌ی ارومیه نیز تهیه و مورد استفاده قرار گرفت. مشخص گردید که در طی حدود نیم قرن اخیر (منتهی به ۲۰۱۴) مساحت دریاچه‌ی ارومیه نزدیک به ۸۰ درصد کاهش یافته است. در حالی که در طی همان سال‌ها مساحت شوره‌زارها، ۷۱ درصد افزایش یافته است. از طرف دیگر میزان کشاورزی در منطقه افزایش چشمگیری داشته و ۲/۱ برابر شده است. روند کاهشی مساحت دریاچه‌ی ارومیه در سال‌های اخیر شدت یافته به طوری که در طی این ۵۰ سال اخیر مساحت دریاچه در حدود ۳۶۲۱۰۰ هکتار کاهش داشته است. همچنین روند رشد اراضی کشاورزی در سال‌های اخیر با مقایسه نیم قرن گذشته ۱/۹ برابر شده است. همچنین مشخص شد که در اثر احداث سدهای بسیار در حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه، میزان رواناب رودخانه‌های تأمین‌کننده‌ی آب آن در طی ۵۰ سال اخیر به طور متوسط ۳۵ درصد کاهش داشته است. عامل دیگر مؤثر در خشک شدن دریاچه که ناشی از کاهش ورودی آب به آن بوده حفر چاه‌های آب فراوان در اطراف دریاچه است. تحلیل داده‌های پراکندگی مکانی این چاه‌ها مشخص کرد که تعداد آنها تنها در غرب دریاچه در بازه‌ی زمانی ۱۰ ساله ۲۰۶۸۲ حلقه افزایش داشته است. افت سطح آب‌های زیرزمینی بین سال‌های ۱۳۹۲-۱۳۸۲ در کمترین میزان در حدود ۱۳ متر و در بیشترین میزان در حدود ۲۴ متر بوده است. همچنین، شاخص کیفیت



آب دریاچه‌ی ارومیه از منظر شوری بررسی گردید تا مشخص شود که پسروری دریاچه چه رابطه‌ای با پوشش گیاهی و شوره‌زارهای اطراف دارد.

با توجه به روند نمودار هدایت الکتریکی به عنوان شاخص شوری و سنجش آن با تراز سطح آب دریاچه استنباط گردید که در طی ۲۰ سال گذشته شاخص شوری آب دریاچه‌ی ارومیه با حفظ رابطه‌ای وارون با سطح تراز آب آن، به طور پیوسته روندی افزایشی داشته است. در مجموع، با در نظر گرفتن روند تغییرات سطح تراز آب دریاچه‌ی ارومیه در وضعیت کنونی و همچنین با لحاظ کردن شرایط اقلیمی، جمعیتی و اقتصادی طی شصت سال گذشته، مشخص می‌شود که در ۲۰ سال اخیر، روند خشک شدن دریاچه‌ی ارومیه به طور فزاینده تسریع گردیده و براساس مدل‌های رگرسیون، برآورد این است که تا سال ۱۴۱۲ دریاچه‌ی ارومیه به طور کامل از بین خواهد رفت و به شوره‌زار تبدیل خواهد شد.

## منابع

- آل‌شیخ، علی‌اصغر؛ علی‌محمدی، علی و علی قربانعلی (۱۳۸۴). پایش خطوط ساحلی دریاچه‌ی ارومیه با استفاده از سنجش از دور، علوم جغرافیایی، صص ۹-۲۵.
- احمدزاده، بهمن (۱۳۸۵). تعریف معادله پارامترهای اثرگذار در نوسانات سطح و شوری آب دریاچه‌ی ارومیه، جلد اول، شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان آذربایجان غربی.
- احمدزاده، طاهر؛ نصیری، فرهاد و امیر احمدزاده (۱۳۹۲). بحران دریاچه‌ی ارومیه و پیشگیری از وقوع فاجعه‌ی کم‌آبی در حوضه‌ی آبریز، سی و دومین گردهمایی و نخستین کنگره‌ی بین‌المللی تخصصی علوم زمین، بهمن ماه ۱۳۹۲.
- رسولی، علی‌اکبر و شیرزاد عباسیان (۱۳۸۸). تحلیل مقدماتی سری‌های زمانی نراز سطح آب دریاچه‌ی ارومیه، جغرافیا و برنامه‌ریزی، شماره‌ی ۲۸، صص ۱۳۷-۱۶۴.
- رضائی‌مقدم، محمدحسین؛ ولیزاده کامران، خلیل؛ رستم‌زاده، هاشم و علی رضائی (۱۳۹۱). ارزیابی کارایی داده‌های سنجنده MODIS دربرآورد خشکسالی (مطالعه-ی موردی: حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه)، جغرافیا و پایداری محیط، شماره‌ی ۵، صص ۳۷-۵۲.
- گودرزی مهر، سعید؛ علوی‌پناه، کاظم و علی درویشی (۱۳۹۳). تهیه‌ی نقشه‌ی واحدهای دگرسان به روش فیلتر سازگار یافته تنظیم اختلاط با استفاده از تصاویر ابرطیفی، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره‌ی ۴۵، صص ۲۱-۳۸.
- Alcocer, J. and E. Escobar (1996), **Limnological regionalization of Mexico Lakes & Reservoirs**, Research & Management, Vol. 2, PP. 55-69.
- Alexandridis, T.K. (2007), **Remote Sensing and GIS Techniques for Selecting a Sustainable Scenario for Lake Koronia, Greece**, Environmental management, , Vol. 39, No. 2, PP. 278-290.

- Baker, C. (2006), **Mapping Wetlands and Riparian Areas Using Landsat ETM+ Imagery and Decision-Based Models**, Wetlands, Vol. 26, PP. 465-474.
- Blanco ,P.D. (2014), **Ecological site Classification of Semiarid Rangelands: Synergistic Use of Landsat and Hyperion Imagery**, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Vol. 29, PP. 11-21.
- Boardman, J. and F. Kruse (2011), **Analysis of Imaging Spectrometer Data Using N-Dimensional Geometry and a Mixture-Tuned Matched Filtering Approach**, Transactions on Remote Sensing, Vol. 49, PP. 4152-4138.
- El Gammal, E.A. and Salem, S.M. (2010), **Change Detection Studies on the World's Biggest Artificial Lake (Lake Nasser, Egypt)**. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, Vol. 13, No. 2, PP. 89-99.
- Fenster, M.S., Dolan,R. and Elder, J.F. (1993), **A New Method for Predicting Shoreline Positions from Historical Data**, Journal of Coastal Research, Vol. 9, No. 1, PP. 147-171.
- Ghaheri, M., Baghal M. and Naziri, J. (1999), **Lake Urmia, Iran: A Summary Review**, International Journal of Salt Lake Research, Vol. 8, PP. 19-22.
- Hinton, J. (1996), **GIS and Remote Sensing Integration for Environmental Applications**, International Journal of Geographical Information Systems, Vol. 10, No. 7, PP. 877-890.
- Mui, J.K. and Fu, K.S. (1980), **Automated Classification of Nucleated Blood Cells using a Binary Tree Classifier**, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 5, PP. 429-443.
- Rebelo, L.M., Finlayson, C. and Nagabhatla, N. (2009), **RemoteSensing and GIS for Wetland Inventory, Mapping and Change Analysis**, Journal of Environmental Management, Vol. 90, No. 7, PP. 2144-2153.

- Stappen, G., Fayazi, G. and Sorgeloos, P. (2001), **International Study on Artemia LXIII. Field Study of the Artemia Urmiana Population in Lake Urmiah, Iran in Saline Lakes**, Springer Verlag, PP. 133-143.
- Swain P.H., H.H. (1977), **The Decision Tree Classifier: Design and Potential**, *Geoscience Electronics*, Vol. 15, PP. 142-147.
- Thies, B. and Bendix, J. (2011), **Satellite-Based Remote Sensing of Weather and Climate: Recent Achievements and Future Perspectives**, *Meteorological Applications*, Vol. 18, No. 3, PP. 262-295.
- Wasige, J. (2013), **Monitoring Basin-Scale Land Cover Changes in Kagera Basin of Lake Victoria using Ancillary Data and Remote Sensing**, *Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Vol. 21, PP. 32-42.
- Xiuwan, C. (2002), **Using Remote Sensing and GIS to Analyse Land Cover Change and its Impacts on Regional Sustainable Development**, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 23, No. 1, PP. 107-124.
- Zhang, B. (2011), **Estimation and Trend Detection of Water Storage at NamCo Lake**, *Central Tibetan Plateau, Hydrology*, Vol. 405, PP. 161-170.