

مبانی کاهش ۴۰ درصد مصرف آب کشاورزی براساس مطالعات انجام شده در حوضه آبریز دریاچه ارومیه

امید رجا^۱، مسعود تجریشی^۲

۱- پسادکتری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

۲- استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

Omid.raja@ut.ac.ir

خلاصه

ماحصل توسعه کشاورزی و فعالیت‌های انسانی صورت گرفته در حوضه و نیز تغییرات آب و هوایی، محیط‌زیست حوضه آبریز دریاچه ارومیه را تخریب نموده و منجر به کشاورزی ناپایدار شده است. سهم محیط‌زیست از جمله دریاچه ارومیه عمدتاً توسط بخش کشاورزی تصرف شده است. با توجه به وضعیت بحرانی دریاچه ارومیه، برای برونرفت از این بحران باید بخشی از سهم محیط‌زیست از کشاورزی باز پس گرفته شود و تخصیص منابع آب تجدیدپذیر بین دو بخش کشاورزی و محیط‌زیست به صورت کارشناسانه و پایدار انجام شود. این امر لزوماً به معنی محدوده شدن بخش کشاورزی و صرفه جویی قابل توجه آب در این بخش خواهد بود که هم‌اکنون تقریباً سهم اصلی مصرف آب را در اختیار دارد. بررسی‌ها نشان داده است که تنها راهکار تثبیت شرایط کنونی دریاچه و جلوگیری از خشکی کامل آن، تامین آب کافی از منابع داخلی حوضه می‌باشد که به عنوان محور اصلی اقدامات برای احیای دریاچه ارومیه مد نظر قرار گرفته است. با توجه به مصرف ۹۰ درصدی منابع آب حوضه در بخش کشاورزی و بهره‌وری پایین آب در این بخش، یکی از مهم‌ترین راهکارها و اولویت‌های نجات دریاچه ارومیه، انجام اقدامات لازم در راستای مدیریت آب کشاورزی (کاهش ۴۰ درصد مصرف آب کشاورزی و افزایش بهره‌وری در ۶۰ درصد آب باقیمانده) در این بخش می‌باشد. کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی با لحاظ عدم کاهش بهره‌وری محصولات آن در حوضه به عنوان یکی از مهم‌ترین راهکارها در راستای افزایش حبابه محیط‌زیست (تالاب‌ها و دریاچه) مورد توجه محققین و مسئولان قرار دارد. در این راستا هدف اصلی طرح، کاهش ۴۰ درصدی مصارف آب کشاورزی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه می‌باشد. با توجه به شاخص‌های بین‌المللی و در راستای مدیریت پایدار منابع آب حوضه و طبق مصوبه کارگروه ملی نجات دریاچه ارومیه، کاهش ۴۰ درصدی مصرف آب کشاورزی در سطح حوضه مد نظر قرار گرفته است. بر اساس توصیه راهبردی سازمان ملل می‌بایست جهت مدیریت پایدار، میزان مصرف منابع آب تجدیدپذیر در حوضه را به کمتر از ۴۰ درصد کاهش داد. کاهش ۴۰ درصدی مصرف آب در بخش کشاورزی به کنترل و کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی پرداخته و به مباحث مدیریت عرضه و تقاضای آب در بخش کشاورزی اشاره دارد. بررسی مطالعات انجام شده در حوضه آبریز دریاچه ارومیه نیز نشان داده است پتانسیل کاهش ۴۰ درصد مصرف آب کشاورزی در دشت‌ها و محدوده‌های مختلف حوضه قابل دستیابی است. همچنین ارزیابی راهکارهای تامین نیاز زیست محیطی دریاچه ارومیه نشان داده است که کاهش ۴۰ درصدی مصرف آب کشاورزی از منابع آب سطحی و زیرزمینی می‌تواند اثربخشی کاهش توجهی در تراز و حجم دریاچه ارومیه داشته باشد.

کلمات کلیدی: برنامه‌ریزی و مدیریت آب، حوضه آبریز دریاچه ارومیه، کاهش مصرف آب، مطالعات

۱. مقدمه

در مناطقی خشک در سراسر جهان، تقاضای فزاینده برای آب و گاهی اوقات تغییرات آب و هوایی جهانی باعث کاهش یا تقریباً ناپدید شدن دریاچه‌های شور شده است [1]. کاهش حجم آب دریاچه و تالاب‌ها باعث ایجاد مشکلات بهداشتی، فرهنگی و اقتصادی می‌شود. بررسی‌ها نشان داده است از سال ۲۰۰۰ میلادی (۱۳۸۰ هجری شمسی)، توسعه آب کشاورزی با بارش تقریباً ثابت باعث شده است که دریاچه ارومیه ۴ متر کاهش یابد و بیش از ۹۰ درصد از حجم خود را از دست بدهد. از اواسط دهه هفتاد هجری شمسی تراز آب دریاچه ارومیه به تدریج رو به کاهش گذاشت تا جایی که طی ۲۰ سال (۹۳ - ۱۳۷۴) تراز آب این دریاچه ۸ متر و مساحت آن حدود ۳۰۰۰ کیلومتر مربع کاهش یافت (www.ulpr.ir/fa). از سال ۱۳۴۵ تا ۱۳۷۷، تراز سطح آب دریاچه ارومیه بین ۱۲۷۴ متر و ۱۲۷۸ متر (حداکثر ارتفاع) بود [2]. دریاچه کم‌عمق و عمق متوسط و حداکثر آن به ترتیب تقریباً ۶ و ۱۶

متر، شوری آن تقریباً ۱۷۰ تا ۱۸۵ گرم در لیتر [3,4] و یون‌های غالب آن Na و Cl گزارش شده است. در سال ۱۳۹۳ تراز و حجم آب دریاچه ارومیه به ترتیب ۱۲۷۰/۱۵ متر و کمتر از ۲/۵ میلیارد متر مکعب رسید و شوری از ۳۰۰ گرم در لیتر عبور کرد. تا اواخر سال ۱۳۹۹، سطح دریاچه به ۱۲۷۱/۵ متر و حجم آب آن به بیش از ۴/۵ میلیارد متر مکعب افزایش یافت. به گفته مقامات کشور برای بازگرداندن سطح اکولوژیکی (تراز اکولوژیک دریاچه ارومیه) حدود بیش از ۱۰ میلیارد متر مکعب آب مورد نیاز است تا دریاچه را به تراز ۱۲۷۴/۱ متر برساند [5]. پل میان‌گذر دریاچه را به دو قسمت تقسیم می‌کند تا شهرهای تبریز و ارومیه را به هم متصل کند و یک پل ۱۵۰۰ متری و شکاف بین آن امکان تبادل آب بین بازوهای شمالی و جنوبی دریاچه را فراهم می‌کند. میگوی آب نمک (*Artemia spp.*) و مگس شور (*Ephydra spp.*) تنها بی مهرگان بزرگی هستند که در دریاچه ارومیه یافت می‌شوند. دریاچه و تالاب‌های اطراف حداقل ۹۲ گونه پرند را در خود جای می‌داد و گونه‌های اضافی در ارتفاعات اطراف پارک ملی ارومیه وجود داشت [6]. اهمیت این دریاچه برای پرندگان باعث شد که به عنوان یکی از اولین تالاب‌های رامسر با اهمیت بین‌المللی شناخته و نیز یک منبع مهم فرهنگی و تفریحی به شمار آید [4].

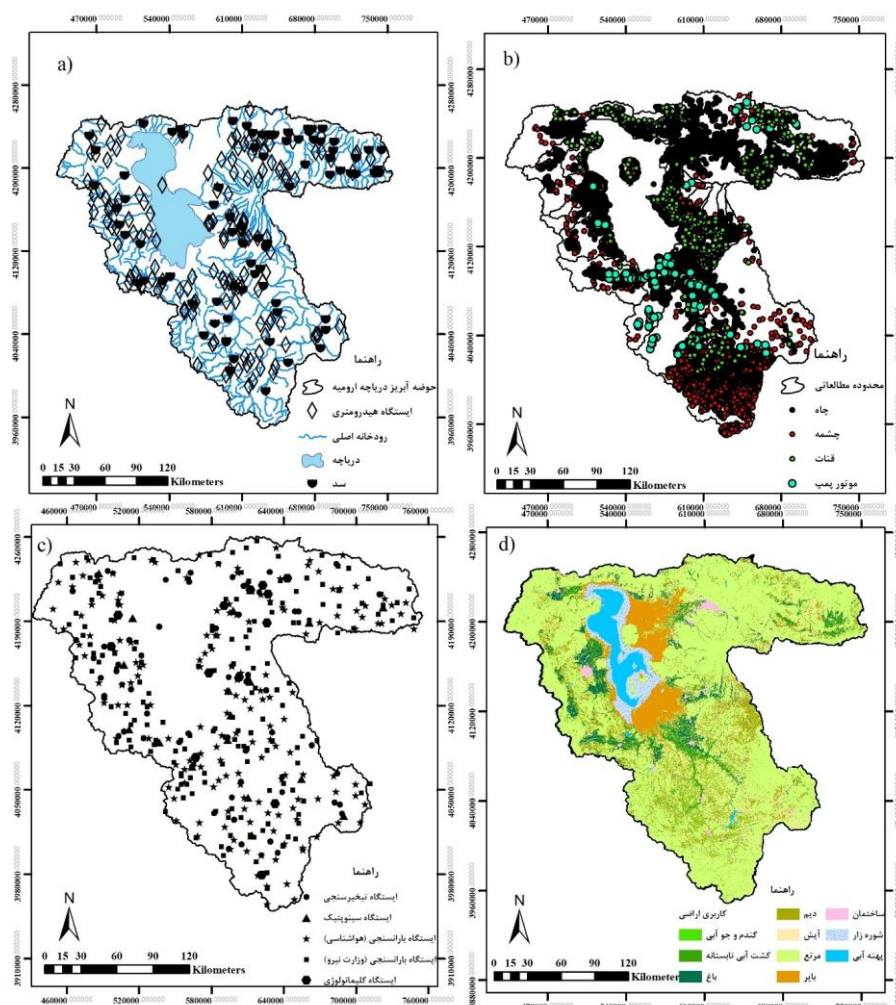
بررسی‌ها نشان داده است یکی از دلایل اصلی پایین آمدن تراز آب دریاچه ارومیه مداخلات انسانی در چرخه طبیعت می‌باشد [7]. از جمله این مداخلات شامل تغییر کاربری اراضی با تبدیل مرتع به زمین‌های کشاورزی، برداشت بیش از حد از آب‌های زیرزمینی از طریق چاه‌های غیرمجاز، گسترش کشت آبی به جای دیم، توسعه الگوهای کشت پراکند، عدم تعادل بین منابع و مصارف آب، بهره‌وری پایین کشاورزی سنتی، عدم توجه به الزامات زیست‌محیطی دریاچه ارومیه با بهره‌برداری نامناسب از سدهای حوضه، استفاده بیش از حد از منابع آب سطحی به صورت غیرقانونی، سازه‌های انحراف آب برای آبیاری با راندمان پایین آبیاری در حدود ۴۰ درصد می‌باشد. در نهایت، خروجی کلیه رودخانه‌های تغذیه کننده دریاچه در طول این سال‌ها به طور قابل توجهی به میزان ۵۶ درصد کاهش یافته است [8]. به طور کلی در سال‌های اخیر، روند حاکم بر حوضه آبریز دریاچه ارومیه، افت شدید تراز آب دریاچه و خشک شدن بخش زیادی از سطح آن را در پی داشته است. مشکلی که برای دریاچه ارومیه پیش آمده و تقریباً همه تالاب‌ها، دریاچه‌های داخلی و آبخوان‌ها نیز دچار آن شده است، عمدتاً به خاطر شیوه نادرست توسعه منابع آب، افزایش سطح اراضی آبی، تغییر الگوی کشت، خشکسالی‌های مکرر و تغییر اقلیم بوده است. براساس شواهد موجود و هم‌چنین تجارب مرتبط با دریاچه‌های با وضعیت مشابه ارومیه در سطح جهان، بدون شک تداوم روند خشکی دریاچه ارومیه خسارت و آسیب‌های بسیاری بر سلامت و بهداشت ساکنین حوضه و معیشت آن‌ها، تخریب اکوسیستم و بخش کشاورزی حوضه (تخریب اراضی و باغات) را به همراه خواهد داشت. چالش‌ها و مسائل اجتماعی مانند افزایش مهاجرت و حاشیه‌نشینی در شهرهای بزرگ نیز از جمله آثار محتمل تداوم وضعیت کنونی دریاچه ارومیه می‌باشد. ایجاد و تشدید ریزگردها به ویژه ریزگردهای نمکی از جمله تبعات مستقیم خشکی دریاچه ارومیه بوده که به شدت سلامت ساکنین مجاور دریاچه و حتی استان‌های همجوار آن را تهدید می‌نماید.

تصرف سهم محیط‌زیست و از جمله دریاچه ارومیه، توسط سایر بخش‌ها و عمدتاً بخش کشاورزی انجام شده است. با توجه به رویکرد موجود حق تقدم برداشت کشاورزی نسبت به محیط‌زیست، این کاهش ابتدا به محیط‌زیست تحمیل شده و سپس کشاورزی را نیز تحت تاثیر قرار داده است. بنابراین بخشی از سهم محیط‌زیست ناگزیر باید از کشاورزی باز پس گرفته شود. بدین ترتیب توسعه کشاورزی فاریاب و تخریب محیط‌زیست یک مجموعه به هم پیوسته است و راهکار اصلی، اشتراک معقول آب بین دو بخش کشاورزی و محیط‌زیست در بهره‌برداری از مقدار آب تجدیدپذیر حوضه است. این امر لزوماً به معنی کاهش مصرف آب بخش کشاورزی و اصلاح الگوی کشت خواهد بود که هم‌اکنون تقریباً سهم اصلی تصرف آب را در اختیار دارد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که اثرات تغییرات اقلیم بازگشت‌ناپذیر بوده و احتمالاً خشکسالی‌های بیشتری در کشور در پیش است و بحران آب شدت خواهد گرفت [9, 10]. بررسی‌ها نشان داده است که به منظور جلوگیری از آسیب جدی به مردم و محیط‌زیست پیرامون دریاچه و با توجه به تداوم کاهش نزولات جوی و عدم جریان آب کافی به داخل دریاچه در سال‌های اخیر تنها راهکار احیای دریاچه، تامین آب کافی از منابع داخلی حوضه می‌باشد که به عنوان محور اصلی اقدامات برای احیای دریاچه ارومیه مد نظر قرار گرفته است. با توجه به مصرف ۹۰ درصدی منابع آب حوضه در بخش کشاورزی و بهره‌وری پایین آب در این بخش، یکی از مهم‌ترین راهکارها و اولویت‌های نجات دریاچه ارومیه، انجام اقدامات لازم در راستای کاهش ۴۰ درصدی مصرف آب کشاورزی و افزایش بهره‌وری از ۶۰ درصد آب باقیمانده در این بخش می‌باشد. بنابراین یکی از راهکارها برای احیای دریاچه‌ها و تالاب‌ها، مدیریت آب کشاورزی (کاهش تقاضای آب کشاورزی) می‌باشد. کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی با لحاظ عدم کاهش بهره‌وری محصولات آن در حوضه به عنوان یکی از مهمترین راهکارها در راستای افزایش حقایق محیط‌زیست (تالاب‌ها و دریاچه) مورد توجه محققین و مسئولان قرار دارد. در این مطالعه سعی شده است به مبانی و لزوم برنامه کاهش ۴۰ درصد آب در بخش کشاورزی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه اشاره شود.

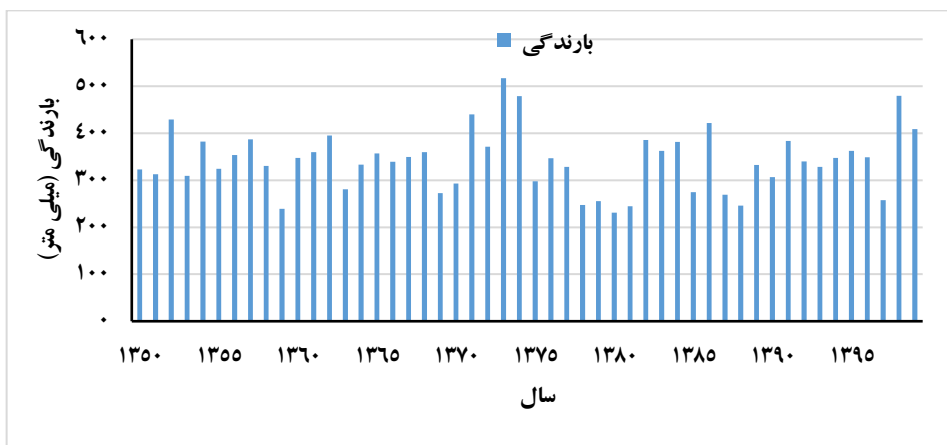
۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. محدوده مورد مطالعه

دریاچه ارومیه بعد از بحرالمت دومین تالاب آب شور و ششمین تالاب بزرگ جهان به لحاظ وسعت است. دریاچه ارومیه یکی از ارزشمندترین ذخیره‌گاه‌های زیستی ایران و جهان به شمار می‌آید. این دریاچه بزرگترین دریاچه دائمی و داخلی ایران است که در شمالغرب ایران واقع شده است. موقعیت حوضه آبریز دریاچه ارومیه به همراه نقاط مهم شامل سد، ایستگاه هیدرومتری و رودخانه‌ها (شکل ۱a)، چاه، چشمه، قنات و موتورپمپ‌ها (شکل ۱b)، ایستگاه‌ها هواشناسی، تبخیرسنجی، بارانسنجی، کلیماتولوژی و سینوپتیک (شکل ۱c) و نقشه کاربری اراضی در سال ۱۳۹۴ در سطح حوضه آبریز دریاچه ارومیه (شکل ۱d) نشان داده شده است. حوضه آبریز دریاچه ارومیه با وسعت تقریبی ۵۱۷۶۲ کیلومتر مربع و در بین سه استان آذربایجان غربی با ۴۷/۷ درصد مساحت حوضه، آذربایجان شرقی با ۴۳/۴ درصد مساحت حوضه و کردستان با ۹/۸ درصد مساحت حوضه قرار گرفته است. ارتفاعات حوضه آبریز دریاچه ارومیه از ۱۲۸۰ متر تا ۴۸۸۶ متر است. میانگین بارش در حوضه ۳۵۰ میلی متر در سال برآورد شده است. میزان بارندگی حوضه بین سال‌های ۱۳۵۰ تا ۱۴۰۰ در شکل ۲ نشان داده شده است. سیزده رودخانه دائمی دریاچه را تغذیه می‌کنند که دو رودخانه بزرگ آن به نام‌های زرنه و سیمینه‌رود که از رشته کوه‌های زاگرس استان کردستان در جنوب سرچشمه می‌گیرد. این دو رودخانه نزدیک به نیمی از ورودی دریاچه را تامین می‌کنند. دبی رودخانه فصلی است و رواناب بهاره تقریباً ۵۰ برابر بیشتر از اواخر تابستان است (www.ulrp.ir/fa). بارش مستقیم تقریباً ۲۲ درصد از آب ورودی به دریاچه را تشکیل می‌دهد. تبخیر دریاچه ۵۸۰ تا ۲۰۰۰ میلی متر در سال گزارش شده است [11,12,13,14]. از سال ۱۳۴۸، ۴۱ سد کوچک و بزرگ برای آبیاری با ظرفیت ذخیره‌سازی دو میلیارد متر مکعب آب ساخته شده است. تا سال ۱۳۶۸، جریان به دریاچه بیش از پنج میلیارد متر مکعب در سال بود. در دو دهه گذشته، میزان جریان ورودی به دریاچه به ۲/۵ میلیارد مترمکعب در سال کاهش یافته است [15].

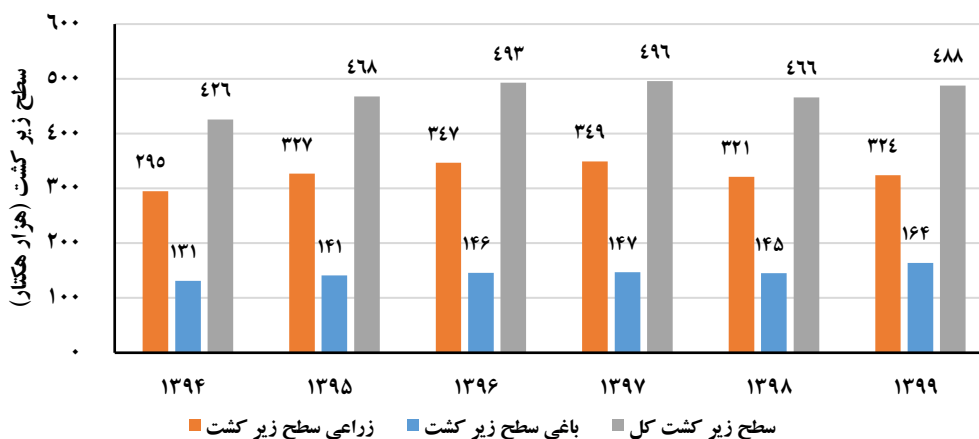


شکل ۱- موقعیت حوضه آبریز دریاچه ارومیه شامل (a) سد، ایستگاه هیدرومتری و رودخانه‌ها (b) چاه، چشمه، قنات و موتورپمپ‌ها، (c) ایستگاه‌ها هواشناسی، تبخیرسنجی، بارانسنجی، کلیماتولوژی و سینوپتیک، (d) نقشه کاربری اراضی در سال ۱۳۹۴ در سطح حوضه آبریز دریاچه ارومیه



شکل ۲- میزان بارندگی در سطح حوزه آبریز دریاچه ارومیه بین سال های ۱۳۵۰ تا ۱۴۰۰ (شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۴۰۰)

بر اساس آمارنامه‌های وزارت جهاد کشاورزی میزان سطح زیر کشت محصولات زراعی و باغی و کل آن در شکل ۳ نشان داده شده است. آب و هوای حوزه یک زیست بوم استپی کوهستانی است. میزان کل سطح زیر کشت اراضی آبی در حوزه برابر با ۵۲۶ هزار هکتار در سال ۱۴۰۰ گزارش شده است (آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی و شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۴۰۰). اراضی آبی حدود ۱۰ درصد از کل سطح حوزه را پوشش می دهد و غالباً مراتع (۵۶ درصد) است. در دره‌های آبی و دلتای رودخانه‌ها، محصولات اصلی در سال ۱۳۹۲ شامل غلات (۸۱٪)، سبزیجات (۳٪) و گیاهان علوفه‌ای (۱۶٪) هستند [۱۶]. از مزارع منطقه، ۷۱ درصد آن دارای سطحی کمتر از ۵ هکتار است [۱۷]. کانال‌ها بخش بزرگی از آب آبیاری را تامین می کنند؛ اما تامین آب آبیاری از طریق پمپاژ مجاز و غیرمجاز از آب زیرزمینی نیز برای تولیدات محصولات کشاورزی صورت می گیرد. فصل رشد غالب در حوزه تقریباً ۷ ماه است. جمعیت این حوزه ۶/۴ میلیون نفر است که ۳۶ درصد آن در کلان شهرهای تبریز و ارومیه زندگی می کنند. این شهرها در ۶۰ و ۱۵ کیلومتری شرق و غرب دریاچه قرار دارند و به ترتیب مرکز استان های آذربایجان شرقی و غربی می باشند. بخش کشاورزی ۳۰ درصد از اشتغال را به خود اختصاص داده است [۱۶].



شکل ۳- سطح زیر کشت محصولات زراعی و باغی و کل در سطح حوزه آبریز دریاچه ارومیه (منبع: آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی)

۲.۲. علل طبیعی و انسانی در وضعیت دریاچه ارومیه

بیش از دو دهه از آغاز خشکی دریاچه ارومیه می گذرد. وضعیت کنونی دریاچه ارومیه حاصل عملکرد مجموعه‌ای از عوامل انسانی و طبیعی طی دهه‌های گذشته است و احیای دریاچه ارومیه همچنان در صدر مطالبات محیط‌زیست کشور قرار دارد. عوامل زیادی در خشک شدن تدریجی دریاچه ارومیه نقش داشته‌اند که از جمله می توان به تغییر اقلیم و وقوع خشک سالی، توسعه سدسازی، برداشت فراوان کشاورزان از منابع آب‌های سطحی، چاه‌های مجاز و غیرمجاز در حوزه آبریز دریاچه ارومیه، احداث پل میان گذر و کشت محصولات پرمصرف در منطقه اشاره کرد. تشخیص علل افت سطح آب دریاچه

ارومیه می تواند به شناسایی راهکارهای مناسب برای تثبیت و احیای دریاچه کمک کند. سوال اصلی این است که آیا دریاچه به دلیل اقدامات انسانی مانند توسعه کشاورزی و یا تغییرات آب و هوایی برونزا، افزایش دما و کاهش بارندگی ناشی از آن کاهش یافته است یا هر دو؟ به طور کلی مطالعات زیادی اثرات گسترش کشاورزی، سدسازی، انحراف و برداشت آب، دما، بارش، جریانات انهار و رواناب بر خشک شدن دریاچه ارومیه را گزارش کرده اند. تعیین اثرات انسانی و اقلیمی بر حوضه دریاچه ارومیه از نظر فنی چالش برانگیز و از نظر سیاسی پرمشغله و محتاط برانگیز است؛ زیرا پاسخ به این سوال این امکان را دارد که یک یا چند گروه از مردم را در افت سطح آب دریاچه مقصر بداند. بررسی و سنتز نتایج مطالعات نشان می دهد که هم عوامل انسانی و هم عوامل اقلیمی در کاهش سطح دریاچه ارومیه مؤثر بوده اند (جدول ۱)؛ اما عوامل انسانی تأثیر بیشتری داشته است [16, 18, 19, 20, 21]. ترکیبی از خشکسالی، کاهش بارندگی، تغییرات دما، ساخت سد و ذخیره آب بیشتر منجر به کاهش آب سطحی قابل دسترس شده است به طوری که کشاورزان را تشویق و ملزم به افزایش استخراج و برداشت از آب های زیرزمینی کرده است. علاوه بر این، تغییرات تدریجی در کاربری اراضی به سمت محصولات پر مصرف آبی بیشتر منجر به کاهش سطح آب دریاچه شده است (جدول ۱ و ۲). محققان اثرات مداخلات انسانی را به دو صورت بررسی کردند: (۱) ارزیابی مستقیم اثرات انسانی بر تخریب دریاچه با نگاه به کشاورزی، سدها و مدیریت آب، و (۲) ارزیابی اثرات فعالیت های انسانی بر دریاچه به طور غیرمستقیم از طریق تجزیه و تحلیل متغیرهای آب و هوا هنگامی که هیچ روند قابل توجهی در متغیرهای آب و هوایی مشاهده نشود، تخریب دریاچه به فعالیت های انسانی نسبت داده شده است. از تکنیک های سنجش از دور مدرن و تجزیه و تحلیل سری های زمانی برای شناسایی روند زمانی کاربری اراضی و شوری در طول زمان استفاده شده است (جدول ۲).

به طور کلی بر اساس نتایج جدول ۱، اراضی آبی از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۰ میلادی به میزان ۲۰۰ درصد [16] و از سال ۱۹۶۷ تا ۲۰۰۷ نزدیک به ۴۰۰ درصد افزایش یافته است [21]. اراضی آبی حجم زیادی از منابع آب شیرین را مصرف می کنند. گسترش سریع مناطق آبی، نیاز آبی حوضه آبریز دریاچه ارومیه را از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۰ تقریباً سه برابر کرده است [16, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29]. در نتیجه، جریان طبیعی به دریاچه از سال ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۰ به میزان ۴۸ درصد کاهش یافت [28]. این فعالیت ها از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۰ منجر به کاهش ۸۶ درصدی مساحت دریاچه شد [18] و از سال ۱۹۷۶ تا ۲۰۱۵، اراضی شور اطراف دریاچه ارومیه را ۳۴ برابر افزایش دادند [30].

بررسی ها و شبیه سازی ها نشان می دهد که الگو و میزان توسعه زمین کشاورزی بر اساس مناطق درون حوضه متفاوت است. به عنوان مثال، اراضی زراعی آبی در استان آذربایجان شرقی ۱۵۳ درصد افزایش یافته است، در حالی که باغات در استان آذربایجان غربی از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۷ به میزان ۳۰۰ درصد افزایش یافته است [22]. اراضی زراعی از اواسط بهار تا اواسط تابستان بین سال های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۵ بیش از ۱۰ درصد افزایش یافت [31]، اراضی کشاورزی دیم به اراضی آبی تبدیل شد و الگوی محصولات از حبوبات به باغ های پر آب تر مانند سیب و انگور، چغندر قند، سبزیجات، خربزه و هندوانه تغییر کرد [32]. مطالعه دیگری نشان داده است که اراضی آبی حدود ۱۳۷۰۰۰ هکتار (۳۲ درصد) بین سال های ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۷ گسترش یافته است [22]. اختلافات احتمالاً به دلیل تفاوت در روش ها و دوره های تجزیه و تحلیل است که مقایسه مستقیم را دشوار می کند.

۳.۲. منابع و مصارف حوضه

مجموع کل مصارف حوضه برابر با ۵۲۸۹ میلیون متر مکعب می باشد که حدود ۷۶ درصد از منابع آب تجدیدپذیر حوضه را در برمی گیرد (شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۴۰۰). میزان تخصیص آب به دریاچه و کسری تجمعی دریاچه ارومیه به ترتیب برابر با ۳۱۰۰ و ۱۲۶۰۰ میلیون متر مکعب و همچنین میزان کسری تجمعی آب زیرزمینی حوضه برابر با ۱۳۸۶ میلیون متر مکعب گزارش شده است (شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۴۰۰). میزان کل منابع آب تجدیدپذیر حوضه آبریز دریاچه ارومیه بر اساس آمار برداری دور سوم به میزان ۵۰۷۰ میلیون متر مکعب گزارش شده است. همچنین بر اساس آمار و اطلاعات منابع و مصارف حوضه آبریز دریاچه ارومیه، مصارف از منابع آب سطحی و زیرزمینی به ترتیب ۳۲۳۰ و ۲۱۲۰ میلیون متر مکعب می باشد که در مجموع برابر با ۵۳۵۰ میلیون متر مکعب می باشد به طوری که بر اساس نتایج آماربرداری دور دوم منتهی سال آبی ۹۳-۱۳۹۲ حدود ۷۵ درصد از منابع آب تجدیدپذیر حوضه مصرف شده است.

جدول ۱- نقش تأثیرات اقلیمی و انسانی در کاهش سطح آب دریاچه ارومیه

منبع	حوضه	تأثیرات اقلیمی (%)	تأثیرات انسانی (%)	دوره	توضیحات
[20]	کل حوضه	۱۰٪	۹۰٪	۱۹۶۷-۲۰۰۶	- تغییرات اقلیمی و مصرف بیش از حد از آب سطحی (۶۵٪) - احداث سدها (۲۵٪) - کاهش بارش (۱۰٪)
[33]	کل حوضه	۴۵٪	۵۵٪	۱۹۹۶-۲۰۱۱	- خشکسالی طبیعی (۴۵٪) - برداشت از منابع آب (۴۰٪) - پروژه‌های آبی (۱۵٪)
[28]	کل حوضه	۶۰٪	۴۰٪	۱۹۶۰-۲۰۱۰	- اراضی کشاورزی آبی (۳۷٪) - جریان ورودی سالانه به دریاچه ارومیه (۴۸٪)
[18]	کل حوضه	۱۴٪	۸۶٪	۱۹۸۰-۲۰۱۰	- اراضی کشاورزی (۹۸٪) - مناطق شهری (۱۸۰٪) - سطح دریاچه (۸۶٪) - تقاضا و نیاز آبی محصولات (۳۰۰٪)
[10]	کل حوضه	۲۰٪	۸۰٪	۱۹۹۸-۲۰۱۰	- برداشت بی رویه از آب زیرزمینی (۲۹۳٪) - بین سال های ۱۹۷۲ تا ۲۰۱۲ - برداشت بی رویه از منابع آب سطحی - احداث سدها (۲۳۳٪) بین سال های ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۴ - دو برابر شدن اراضی کشاورزی آبی بین سال های ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۰
[22]	کل حوضه	۴۲٪	۵۸٪	۱۹۹۹-۲۰۰۹	-
[21]	زیرحوضه آجی چای	۱۰٪ تا ۲۷٪	۷۳٪ تا ۸۵٪	۱۹۸۷-۲۰۰۷	- اراضی کشاورزی آبی (۴۰۰٪) - باغات (۳۳۹٪) بین سال های ۱۹۶۷ تا ۲۰۰۷ - جریان رودخانه آجی چای (۷۳٪ تا ۸۵٪)
[34]	کل حوضه	۵۲٪ تا ۴۳٪	۴۸٪* تا ۶۱٪**	۲۰۰۳-۲۰۱۳	*مربوط به کاهش آب حوضه **مربوط به کاهش سطح آب دریاچه - جریان ورودی به دریاچه ۳۹٪ تا ۴۵٪
[35]	زیرحوضه ليقوان	۶۵٪ تا ۸۴٪	۱۶٪ تا ۳۵٪	۱۹۷۰-۲۰۱۴	- مناطق مسکونی (۸۸/۹٪) - باغات (۲۸/۲٪) - مراعات (۴۴٪)

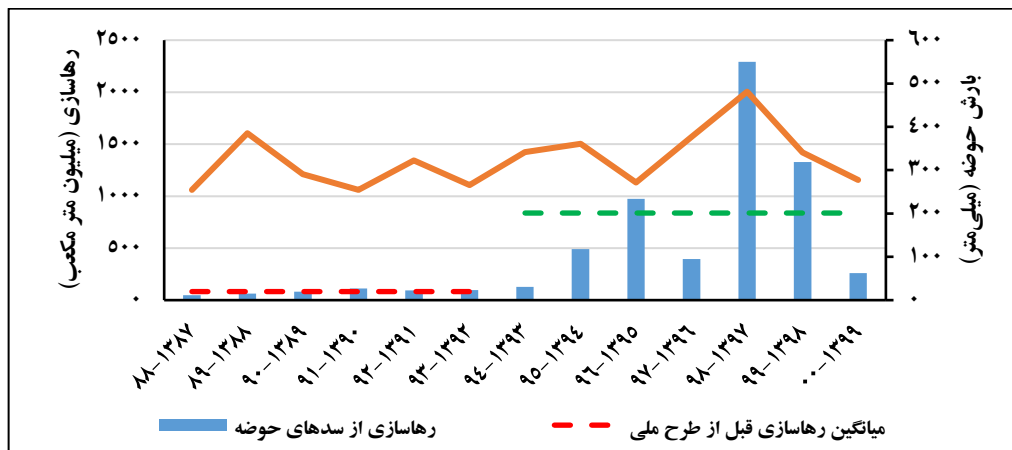
جدول ۲- تغییرات کاربری اراضی در مناطق مختلف حوضه آبریز دریاچه ارومیه

منبع	موقعیت	متغیر	درصد تغییرات	دوره
[36, 37]	حوضه دریاچه ارومیه	پیکره‌های آبی سبزیجات	۳۲-٪ ۲۰-٪	۱۹۸۹-۲۰۱۱
[[23]	زیرحوضه‌های شرقی دریاچه ارومیه	اراضی کشاورزی اراضی باغی اراضی دیم اراضی مرتع	۴۱۰٪ ۳۳۰٪ ۶۷۰٪ ۴۱-٪ تا ۲۷-٪	۱۹۷۶-۲۰۱۱
[28]	حوضه دریاچه ارومیه	اراضی آبی	۳۷٪	۱۹۶۰-۲۰۱۰
[18]	حوضه دریاچه ارومیه	اراضی کشاورزی مناطق شهری	۹۸٪ ۱۸۰٪	۲۰۱۶-۱۹۸۷
[22]	حوضه دریاچه ارومیه	اراضی آبی اراضی دیم اراضی مرتع	۳۲٪ ۲۳٪ ۵/۸٪	۲۰۰۷-۱۹۸۷
[16]	حوضه دریاچه ارومیه	اراضی آبی اراضی آبی	۴۳۷٪ ۱۲-٪	۲۰۱۱-۱۹۷۵ ۲۰۱۸-۲۰۱۱
[[21]	زیرحوضه آجی‌چای	اراضی آبی اراضی باغی	۴۰۰٪ ۳۴۰٪	۲۰۰۷-۱۹۷۶
[32]	حوضه دریاچه ارومیه	اراضی مرتع اراضی باغی	۲/۷۶-٪ ۲/۷٪	۲۰۱۷-۱۹۸۴

میزان رهاسازی از سدهای ملی حوضه حدفاصل آذر تا اردیبهشت هر سال آبی بین سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۴۰۰ در شکل ۴ نشان داده شده است. وضعیت مخازن سدهای مهم در حال بهره‌برداری حوضه آبریز دریاچه ارومیه نیز نشان می‌دهد میزان جریان ورودی به سدها در سال ۱۴۰۰ نسبت به سال ۱۳۹۹ به میزان ۱۵ کاهش، موجودی مخزن به میزان ۲۸ درصد کاهش و در نهایت میزان خروجی از مخازن سدها نیز به میزان ۱۴ درصد کاهش یافته است و در مجموع به میزان ۱۶۴۶ میلیون متر مکعب آب در مخازن سدها وجود داشته است. نتایج مطالعات نشان داده است که سدسازی باعث تسریع گسترش سطح آبی و کاهش جریان آب به دریاچه ارومیه شده است [10, 22, 26, 38]. تعداد سدها از یک سد در سال ۱۳۴۸ به ۵۶ سد در سال ۱۳۹۵ و ظرفیت سدها از ۱۹۸ به ۱۷۵۸ میلیون متر مکعب افزایش یافت [39]. پس از ساخت سدها، تغییرپذیری بین جریان سالانه رودخانه کاهش یافته است. جریان در طول ماه‌های تابستان خشک نسبتاً بیشتر و در ماه‌های مرطوب زمستان نسبتاً کمتر شده است [40]. در مطالعه دیگری بر روی ۱۸ سد که ۷۵ درصد از کل

جریان آب‌های سطحی حوضه را تنظیم می‌کنند، در ابتدا اثرات ساخت سد کم بوده است، اما به مرور زمان منجر به افزایش انحراف آب برای آبیاری شده است [41]. جریان آب ورودی به دریاچه از سال ۱۳۷۳ تا ۱۳۹۴ از ۳۷۰۰ به ۷۰۰ میلیون متر مکعب کاهش یافته است. افزایش استفاده از آب آبیاری ناشی از برداشت غیرقانونی منابع آب سطحی، جریان آب به دریاچه را تا ۴۰ درصد در طول سال‌های خشک کاهش داد [28]. کاهش سطح دریاچه در طول خشکسالی بی سابقه ۱۳۷۶ تا ۱۳۸۰ که رواناب سالانه ۴۸ درصد کاهش یافت و برداشت آب‌های سطحی ۲۵ درصد افزایش یافت، بارزتر بود [42]. سه رودخانه زرینه‌رود، سیمینه‌رود و آجی‌چای نزدیک به ۹۰ درصد آب را به دریاچه ارومیه تامین می‌کنند و همگی برای آبیاری سدسازی شده‌اند. رژیم جریان در پایین‌دست این رودخانه‌ها بین سال‌های ۱۳۴۳ و ۱۳۹۲ بیشتر از سرچشمه تغییر کرده است.

وضعیت بهره‌برداری از آب زیرزمینی در حوضه آبریز ارومیه (شکل ۵) نشان می‌دهد که از بین ۲۵ محدوده مطالعاتی هفت محدوده مطالعاتی در وضعیت بهره‌برداری آزاد، پنج محدوده در وضعیت بهره‌برداری ممنوعه بحرانی و ۱۳ محدوده مطالعاتی نیز در منطقه ممنوعه قرار دارند (شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۴۰۰). تغییرات تراز و حجم مخزن آب‌های زیرزمینی حوضه آبریز دریاچه ارومیه در بین سال‌های ۱۳۵۳ تا ۱۳۹۸ نیز نشان می‌دهد افت دراز مدت تراز آب زیرزمینی و کاهش حجم مخازن آب‌های زیرزمینی به طور پیوسته ادامه داشته است.



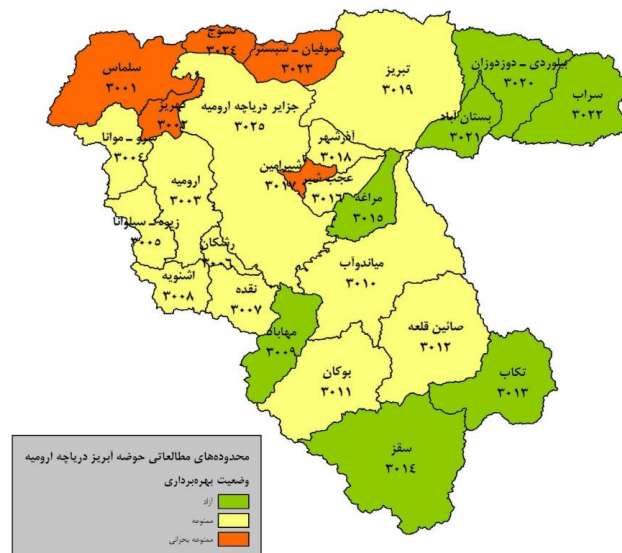
شکل ۴- وضعیت رهاسازی از سدهای ملی حوضه حدفاصل آذر تا اردیبهشت هر سال آبی (شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۴۰۰)

افزایش برداشت از آب‌های زیرزمینی و استفاده بی‌رویه از آن با گسترش سریع کشاورزی آبی همراه شده است. از سال ۱۳۶۷ تا ۱۳۸۷ تعداد چاه‌ها از ۵۵۲۰۰ به ۱۰۶۲۰۰ افزایش یافت [32]. بررسی‌های دیگر نشان داد که حدود ۷۵۰۰۰ حلقه چاه جدید حفر شده است که ۵۰۶۱۸ حلقه چاه قانونی و ۲۴۷۰۰ حلقه چاه غیرقانونی است [43, 44]. به طور همزمان، بر اساس یک مطالعه [45] برداشت از آب‌های زیرزمینی حدود ۳۶۰ میلیون متر مکعب در سال و بر اساس مطالعه دیگر از ۱۴۴۸ به ۲۵۳۲ میلیون متر مکعب در سال (۱۳۶۷ تا ۱۳۸۷) افزایش یافت. به طور کلی، استخراج آب‌های زیرزمینی از ۳۷۴ به ۲۲۶۳ میلیون متر مکعب در بین سال‌های ۱۳۴۰ تا ۱۳۹۶ افزایش و به اوج خود از سال ۱۳۷۶ تا ۱۳۸۹ رسید [32].

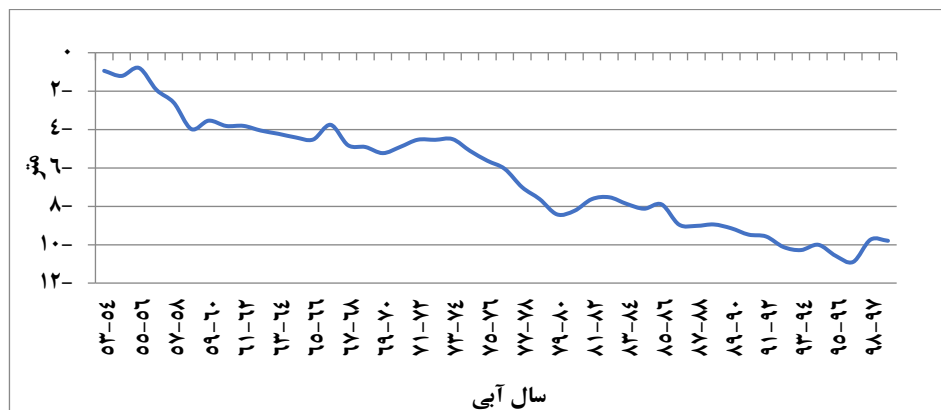
استخراج و برداشت از آب زیرزمینی از سال ۱۳۹۰ به دلیل خشکسالی و کاهش آب‌های زیرزمینی در دشت‌ها کاهش یافته است [32]. میانگین سطح آب زیرزمینی به دلیل بهره‌برداری بیش از حد از آب‌های زیرزمینی از سال ۱۳۸۷ حدود یک متر کاهش یافته است [16, 46, 47]. عدم و یا جبران کمتر ناشی از کاهش بارندگی و افزایش تبخیر و تعرق [48, 49] و کاهش سطح آب باعث فرونشست زمین شده است [26, 50, 51] و کیفیت آب‌های زیرزمینی را کاهش داده است [48]. آب شور به دلیل برداشت بیش از حد منابع آب زیرزمینی، افزایش کشت و متعاقب آن حفر چاه‌های آب، بلافاصله به دوازده سفره زیرزمینی شمال، شرق، جنوب و غرب دریاچه نفوذ کرد [53]. سفره‌های آب زیرزمینی شرق دریاچه نسبت به سفره‌های آب زیرزمینی غربی آسیب‌پذیرتر می‌باشند [52, 53] اخیراً کاهش کیفیت آب باعث کاهش برداشت سالانه آب زیرزمینی شده است [54].

به طور کلی تمرکز تیم‌های تخصصی بر تدقیق پارامترهای بیلان آبی حوضه آبریز دریاچه معطوف گردید تا دقیقاً مشخص شود که چه منابعی، به چه میزان و در چه مدت زمانی می‌بایست حقایق زیست محیطی دریاچه ارومیه را تأمین نمایند. نتایج بررسی‌های کارشناسی صورت گرفته نشان داد از منابع آب تجدیدپذیر حوضه از ۸۸۶۰ میلیون متر مکعب در دوره آماری ۴۶-۱۳۴۵ الی ۷۷-۱۳۷۶ به ۷۰۲۴ میلیون متر مکعب در دوره آماری ۷۸-۱۳۷۷ الی ۹۲-۱۳۹۱ رسیده است (کاهش ۲۱ درصدی) که به میزان ۴۸۲۵ میلیون متر مکعب (معادل ۶۹ درصد) از این منابع سطحی و زیرزمینی (توسط بخش‌های شرب، صنعت و کشاورزی در سطح حوضه مصرف شده است. بخش کشاورزی مانند سایر نقاط کشور، در حوضه آبریز دریاچه ارومیه نیز با مصرفی

معادل ۴۲۹۱ میلیون مترمکعب بیشترین مقدار مصرف را به خود اختصاص داده که ۸۹ درصد از مصارف حوضه و ۶۱ درصد از کل منابع آب تجدیدپذیر را شامل می‌شود. این میزان برداشت از منابع آب حوضه در حالی صورت می‌گرفت که طبق شاخص کمیسیون توسعه پایدار سازمان ملل متحد، میزان برداشت ایمن و قابل قبول از منابع آب تجدیدپذیر می‌بایست کمتر از ۴۰ درصد باشد؛ چرا که برداشت بیش از این مقدار از این منابع، ریسک مدیریت منابع آب را به طور فزاینده‌ای افزایش داده و زمینه‌ساز بروز تنش‌هایی خواهد بود. لذا آمار به خوبی بیانگر این نکته است که در سطح حوضه آبریز دریاچه ارومیه، میزان برداشت از منابع آب تجدیدپذیر ۳۰ درصد بیشتر از حد قابل قبول بوده؛ به طوری که همین روند در طی سالیان گذشته، پایداری در سطح این حوضه را به شدت تحت تأثیر قرار داده است. بررسی تجارب بین‌المللی احیاء و ارزیابی‌های انجام شده توسط کارشناسان آب، کشاورزی و اقتصاد، گویای آن بود که کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی حداقل به میزان ۴۰ درصد، رویه‌ای است که می‌بایست برای رساندن وضعیت مصرف منابع آب تجدیدپذیر حوضه به شرایط ایمن و قابل قبول در دستور کار قرار گیرد. با این اقدام که معطوف به تمامی اشکال برداشت آب برای مصرف کشاورزی شامل سدهای ملی، سدهای استانی، برداشت سطحی سنتی و آب زیرزمینی می‌شود، مصرف آب بخش کشاورزی از ۴۲۹۱ میلیون مترمکعب به ۲۵۷۵ میلیون مترمکعب کاهش پیدا کرده و میزان مصرف از منابع آب تجدیدپذیر را از عدد بحرانی ۶۹ درصد به مقدار قابل قبول ۴۴ درصد تقلیل می‌دهد. باید توجه داشت که علاوه بر کاهش ۴۰ درصدی مصرف آب کشاورزی، می‌بایست افزایش بهره‌وری مصرف آب در ۶۰ درصد باقیمانده توسط وزارت جهاد کشاورزی مورد توجه قرار گیرد.



شکل ۵- وضعیت بهره‌برداری از آب زیرزمینی محدوده‌های مطالعاتی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه (شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۴۰۰)



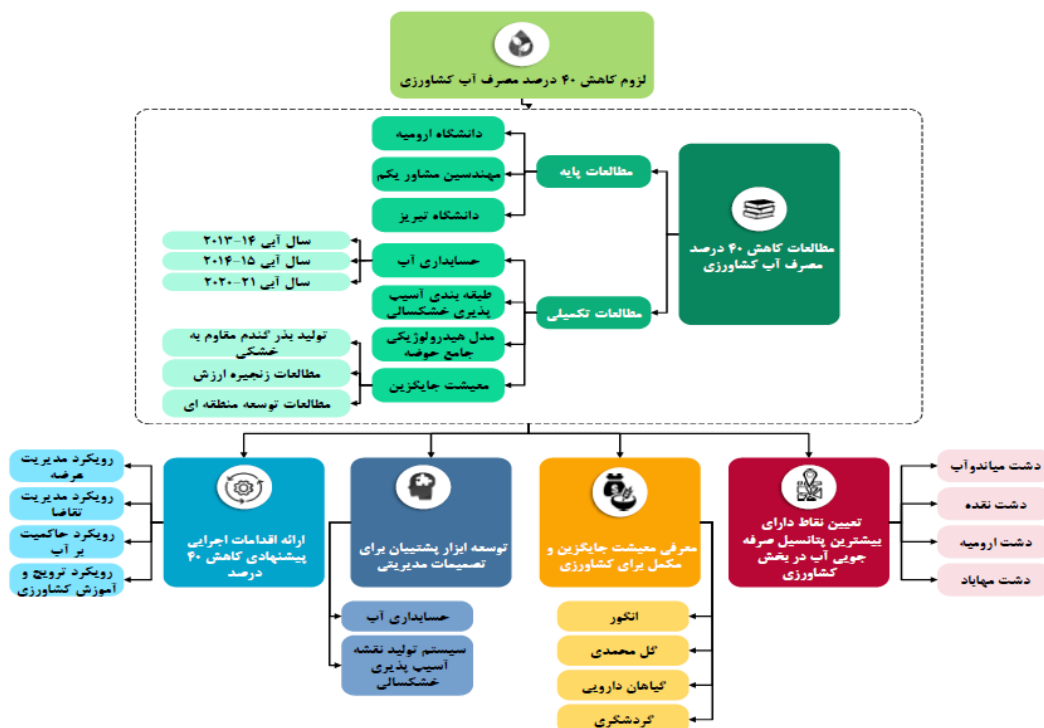
شکل ۶- نمودار تغییرات سطح آب زیرزمینی آبخوان‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه (شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۴۰۰)

۳. لزوم کاهش ۴۰ درصد مصرف آب کشاورزی

با توجه به شاخص‌های بین‌المللی و در راستای مدیریت پایدار منابع آب حوضه، طبق مصوبه کارگروه ملی نجات دریاچه ارومیه، کاهش ۴۰ درصدی مصرف آب کشاورزی در سطح حوضه مدنظر قرار گرفته است. بررسی توصیه راهبردی سازمان ملل متحد در سال ۱۹۹۷ نیز نشان می‌دهد که استفاده بیش از ۴۰ درصد منابع آب تجدیدپذیر یک حوضه می‌تواند منطقه را با تنش آبی زیاد مواجه کند. بنابراین براساس توصیه راهبردی سازمان ملل می‌بایست جهت مدیریت پایدار، میزان مصرف منابع آب تجدیدپذیر در حوضه را به کمتر از ۴۰ درصد کاهش داد. افزایش بهره‌وری در ۶۰ درصد آب باقیمانده و کاهش ۴۰ درصدی مصرف آب در بخش کشاورزی به کنترل و کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی پرداخته و مباحث "مدیریت عرضه و تقاضای آب در بخش کشاورزی" اشاره دارد. بر همین اساس بخش اول آن به مدیریت عرضه و تأکید بر کاهش ۴۰ درصدی حقایق‌های کشاورزی از منابع سطحی و زیرزمینی پرداخته و در بخش دوم، تمرکز بر تهیه و اجرای برنامه‌های افزایش بهره‌وری از ۶۰ درصد آب باقیمانده است. هدف کلی طرح "مطالعه و ارائه راهکارهای اجرایی کاهش ۴۰ درصدی مصرف آب در بخش کشاورزی"، تحلیل یکپارچه و کلان مقیاس حوضه، بررسی وضعیت منابع و مصارف، امکان‌سنجی و الویت‌بندی زمانی-مکانی اجرای راهکارهای عملیاتی برای کاهش ۴۰ درصد مصرف آب کشاورزی، مدیریت آب در بخش کشاورزی با تأکید بر تأمین حداقل نیازهای آبی اراضی جهت تأمین بخشی از نیاز و حقایق دریاچه و تالاب‌ها است. بررسی مطالعات نیز نشان داده است پتانسیل کاهش ۴۰ درصد مصرف آب کشاورزی در دشت‌ها و محدوده‌های مختلف حوضه قابل دستیابی است [3, 8, 55]. همچنین ارزیابی راهکارهای تأمین نیاز زیست محیطی دریاچه ارومیه نشان داده است که کاهش ۴۰ درصدی مصرف آب کشاورزی از منابع آب سطحی و زیرزمینی می‌تواند اثربخشی کاهش توجهی در تراز و حجم دریاچه ارومیه داشته باشد [56].

ظرفیت مصرف آب در بخش کشاورزی و مدیریت مصرف آن در سطح حوضه مستلزم درک صحیح از وضعیت کشاورزی، منابع آب، سیستم و میزان مصارف هر کدام از بخش‌های حقایق‌بر بوده است. همچنین پتانسیل کاهش مصرف آب و اجرا نمودن راهکارهای صرفه‌جویی در مصرف آب بخش کشاورزی در مناطقی دارای اثربخشی کافی متناسب با اهداف در نظر گرفته شده خواهد داشت که آن مناطق دارای سهم قابل توجهی در سطح زیر کشت و مصرف آب داشته باشد. بنابراین در دسته اقدامات مطالعات کاهش ۴۰ درصد مصرف آب در بخش کشاورزی، مطالعات پایه و تکمیلی در خصوص شناخت وضعیت موجود و معرفی راهکارهای مناسب برای اجرای کاهش ۴۰ درصدی مصرف آب کشاورزی و افزایش بهره‌وری از ۶۰ درصد آب باقیمانده حائز اهمیت است. در این راستا، روندنمای مطالعات پایه و تکمیلی انجام شده در خصوص کاهش ۴۰ درصد مصرف آب در حوضه آبریز دریاچه ارومیه و افزایش بهره‌وری از ۶۰ درصد آب باقیمانده در شکل ۷ نشان داده شده است [57].

بررسی‌ها نشان داده است پتانسیل کاهش مصرف آب و اجرا نمودن راهکارهای صرفه‌جویی در مصرف آب بخش کشاورزی در راستای تحقق کاهش ۴۰ درصد مصرف آب کشاورزی در حوضه دریاچه ارومیه در مناطقی دارای اثربخشی کافی خواهد داشت که آن مناطق دارای سهم قابل توجهی در سطح زیر کشت و مصرف آب داشته باشد. در این راستا استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نتایج سنجش از دور با برآورد میزان مصرف آب کشاورزی (برآورد تبخیر و تعرق واقعی) می‌تواند به عنوان ابزاری کاربردی در اختیار مدیران و کارشناسان قرار گیرد تا به شناسایی و مکان‌یابی مناطق دارای پتانسیل صرفه‌جویی کمک نماید [58]. سپس مطالعات پایه برای برآورد اطلاعات جامع شامل منابع و مصارف با تمرکز بیشتری در این مناطق انجام شود. درواقع با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تحلیل‌های مکانی نقشه‌های رستری تبخیر و تعرق واقعی و سایر پارامترها می‌توان مناطقی که دارای بیشترین پتانسیل کاهش مصرف آب هستند را شناسایی نمود. در این راستا می‌توان از تجربه عینی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه براساس دو مطالعه برآورد "تبخیر و تعرق، مصارف و میزان آب قابل صرفه‌جویی محدوده‌های کشاورزی حوضه آبریز دریاچه ارومیه" [55] و "حسابداری آب ابزاری ضروری برای پشتیبانی از تصمیم مدیران، برنامه‌ریزان منابع آب و ذینفعان محلی با در اختیار گذاشتن اطلاعات لازم" [3, 8] برای شناسایی مناطق با پتانسیل صرفه‌جویی مصرف آب در راستای کاهش ۴۰ درصد مصرف آب در بخش کشاورزی اشاره کرد.

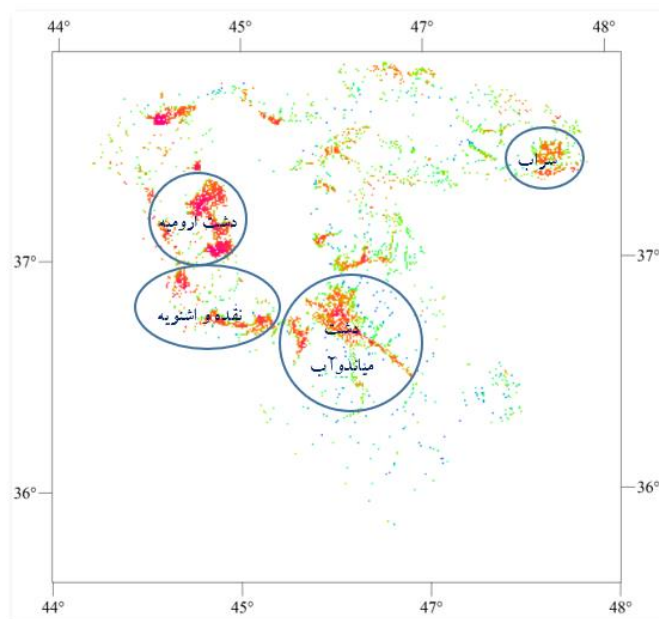


شکل ۷- روندنمای مطالعات کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه [57]

به طور کلی بررسی‌ها نشان می‌دهد از مطالعات حسابداری آب و سنجش از راه دور می‌توان به عنوان ابزار کاربردی در مدیریت منابع آب برای پشتیبانی از تصمیم مدیران و برنامه‌ریزان منابع آب با در اختیار گذاشتن اطلاعات لازم استفاده کرد. این اطلاعات شامل وضعیت منابع و مصارف، میزان بهره‌وری محصولات، میزان توسعه سطح زیر کشت و میزان آب قابل صرفه‌جویی به تفکیک دشت‌های کشاورزی و به تفکیک محصول می‌باشد. در زیر به اختصار نتایج اصلی این مطالعات تشریح شده است.

۱.۳. برآورد تبخیر و تعرق، مصارف و میزان آب قابل صرفه‌جویی محدوده‌های کشاورزی حوضه آبریز دریاچه ارومیه

مرکز سنجش از دور دانشگاه صنعتی شریف مطالعه‌ای تحت عنوان برآورد تبخیر و تعرق، مصارف و میزان آب قابل صرفه‌جویی محدوده‌های کشاورزی حوضه آبریز دریاچه ارومیه در سال ۱۳۸۹ به سفارش دفتر برنامه‌ریزی و تلفیق ستاد احیای دریاچه ارومیه با استفاده از الگوریتم SEBAL و تصاویر ماهواره‌ای سنجنده MODIS انجام داد [55]. به طور مشخص در مطالعه انجام شده بر مبنای گزارش مرکز تحقیقات سنجش از دور دانشگاه شریف (RSRC) با استفاده از مدل توسعه یافته بیلان بخار حوضه، نقشه ارزش نسبی تبخیر و تعرق به تبخیر دریاچه بدست آمده است که نتایج این بررسی می‌تواند به منظور اتخاذ سیاست‌های کاهش مصرف آب کشاورزی و احیای دریاچه مورد استفاده قرار گیرد [55]. برای انجام تحلیل‌ها به منظور تخمین میزان آب قابل صرفه‌جویی و شناسایی مناطق با پتانسیل صرفه‌جویی آب، حوضه آبریز دریاچه ارومیه به چهار منطقه اصلی تقسیم‌بندی شده است (شکل ۸). این چهار محدوده، مناطقی هستند که بیشترین نرخ تبخیر و تعرق واقعی را دارا می‌باشند. بنابراین، میزان آب قابل صرفه‌جویی برای هر یک از این مناطق مورد محاسبه قرار گرفته است. برای محاسبه میزان صرفه‌جویی، اطلاعات کاملی از نوع محصولات زراعی و باغی منطقه، سطح زیر کشت هر محصول، میزان بارش مؤثر و مقادیر مصرف مورد نیاز می‌باشد. برای این منظور آمار مربوط به سطح زیر کشت محصولات زراعی و باغی استان‌های آذربایجان شرقی و غربی وزارت جهاد کشاورزی مورد استفاده قرار گرفته است. با بررسی دوره رشد محصولات زراعی و باغی مختلف حوضه آبریز دریاچه ارومیه، مشخص شد که عمده کشت این منطقه در ماه‌های فروردین تا مهر صورت می‌گیرد. از آنجا که محاسبات انجام شده در مورد تبخیر و تعرق در این مطالعه در همین ماه‌ها می‌باشد، لذا می‌توان با محاسبه میزان بارش مؤثر صورت گرفته طی همین مدت، میزان نیاز آبی، میزان آبیاری اعمال شده و درصد صرفه‌جویی قابل حصول در هر منطقه را بدست آورد.



شکل ۸- نقشه نرخ تبخیر و تعرق واقعی و تفکیک مناطق عمده زراعی و باغی حوضه آبریز دریاچه ارومیه

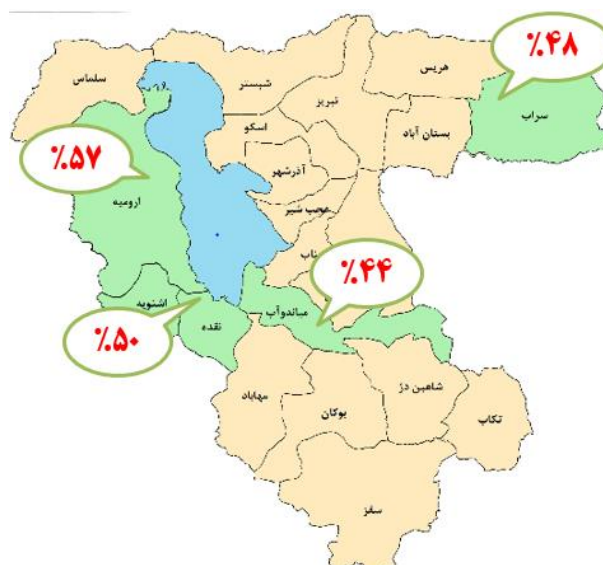
نتایج نشان داد اراضی کشاورزی واقع در دشت ارومیه و شهرهای اطراف آن، حاشیه سیمینه رود و زرينه رود، مناطق سیلوانه در غرب و سراب در قسمت شرق حوضه، بیشترین مقادیر تبخیر و تعرق واقعی را نسبت به سایر نقاط در حوضه آبریز دریاچه ارومیه دارا می‌باشند. به عبارتی همانطور که انتظار می‌رود اراضی آبی و باغی بیشترین مقادیر تبخیر و تعرق را به خود اختصاص داده‌اند. مقایسه نقشه تبخیر و تعرق واقعی حوضه با نقشه کاربری اراضی نیز نشان داد نقاطی از اراضی حوضه که دارای مقادیر تجمعی نرخ تبخیر و تعرق واقعی بالاتری بوده، کاملاً منطبق با توزیع مکانی اراضی کشت باغی و آبی است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت با تعیین توزیع مکانی نرخ تبخیر و تعرق واقعی در حوضه و تعیین حد آستانه مناسب، می‌توان به روش معکوس توزیع مکانی اراضی کشاورزی باغی و زراعی منطقه را بدست آورد. از طرف دیگر بررسی‌ها حاکی از آنست که کاهش مصرف آب اراضی زراعی و باغی موجود در قسمت غربی دریاچه نسبت به سایر اراضی زراعی و باغی موجود در حوضه در این نواحی ارزش نسبی بیشتری جهت احیای دریاچه نسبت به سایر مناطق زراعی حوضه دارد. مقایسه محدوده‌های مورد بررسی توسط دانشگاه تبریز، ارومیه و مشاور یکم نیز نشان می‌دهد این مناطق با توجه به نقشه‌های تبخیر و تعرق واقعی دارای مصرف آب زیاد در بخش کشاورزی می‌باشند. بنابراین با اعمال شیوه‌های صحیح آبیاری و مدیریت آب در مزرعه، مدیریت‌های زراعی و به‌زراعی و پیاده‌سازی راهکارهای صرفه‌جویی آب می‌توان صرفه‌جویی قابل توجهی در مصرف آب در بخش کشاورزی حوضه انجام داد. در میان مناطق مورد بررسی، بیشترین مصرف آب به دشت ارومیه با ۶۴۰ میلیون متر مکعب اختصاص داشته و کمترین مصرف نیز به منطقه نقده و اشنویه با ۲۶۵ میلیون متر مکعب تعلق دارد. مناطق سراب و دشت میاندوآب نیز از نظر میزان مصرف آب وضعیتی تقریباً مشابه (حدود ۳۰۰ میلیون متر مکعب) را دارند. از نظر حجم آب قابل صرفه‌جویی، بیشترین مقدار به دشت ارومیه با ۱۹۷ میلیون متر مکعب اختصاص دارد. پس از آن نیز نقده و اشنویه و دشت میاندوآب با حدود ۷۰ میلیون متر مکعب در جایگاه‌های بعدی قرار می‌گیرد. به عبارت دیگر، با اعمال شیوه صحیح آبیاری (آبیاری به مقدار مورد نیاز گیاه)، دشت ارومیه بیشترین میزان کاهش در مصرف آب را خواهد داشت؛ حجمی که معادل مجموع میزان صرفه‌جویی در دیگر مناطق عمده حوضه (دشت میاندوآب، سراب و نقده و اشنویه) خواهد بود. لذا اعمال شیوه‌های اصلاح آبیاری و کاهش مصرف آب در منطقه ارومیه نسبت به دیگر مناطق حوضه از الویت بالاتری برخوردار است. پس از ارومیه نیز منطقه نقده و اشنویه و دشت میاندوآب و نهایتاً منطقه سراب در جایگاه‌های بعدی قرار می‌گیرند. بر اساس این مطالعه، میزان آب قابل صرفه‌جویی در چهار منطقه از اراضی کشاورزی حوضه آبریز دریاچه ارومیه که بیشترین مقدار تبخیر و تعرق را دارا هستند، محاسبه شد. بررسی‌ها بر اساس تجارب سایر کشورها در برنامه‌ریزی منابع آب نشان داده است که لزومی به تامین نیاز آبی ۱۰۰ درصد گیاهان وجود ندارد و $0.8ET$ به عنوان یک میزان معقول در نظر گرفته می‌شود. لذا مصوبه دومین جلسه شورای هماهنگی مدیریت بهم پیوسته منابع آب حوضه آبریز دریاچه ارومیه به ریاست وزیر نیرو و عضویت نمایندگان تام‌الاختیار سایر وزرا و نمایندگان صنف کشاورزی در دیماه ۱۳۹۵ برقرار گرفتن $0.8ET$ به عنوان مبنای برنامه‌ریزی تأمین آب کشاورزی قرار گرفت. درنهایت پتانسیل صرفه‌جویی در حجم آبیاری مورد نیاز در مناطق عمده زراعی حوضه آبریز ارومیه در دو شرایط تامین ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی بررسی شده است. خلاصه این نتایج در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- خلاصه نتایج محاسبات صرفه جویی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه

منطقه	سطح زیر کشت آبی (هکتار)	مصرف آب (MCM)	نیاز آبی (MCM)		بارش (MCM)	حجم قابل صرفه جویی (MCM)		درصد صرفه جویی	
			۸۰٪	۱۰۰٪		۸۰٪	۱۰۰٪	۸۰٪	۱۰۰٪
دشت میاندوآب	۴۶۸۱۳	۳۱۵	۲۵۱	۲۰۱	۵۶	۶۴	۱۱۴	۲۵	۴۴
سراب	۴۶۸۶۴	۳۰۷	۲۷۲	۲۱۸	۱۲۸	۳۵	۸۹	۲۰	۵۰
دشت ارومیه	۷۸۱۶۴	۶۴۰	۴۴۳	۳۵۴	۱۳۵	۱۹۷	۲۸۶	۳۹	۵۷
نقده و اشنویه	۳۴۷۰۰	۲۶۵	۱۹۵	۱۵۶	۳۶	۷۰	۱۰۹	۳۱	۴۸

با توجه به محاسبات صورت گرفته در مورد میزان نیاز آبی و مصرف محصولات مختلف زراعی و باغی مربوط به کشت آبی در دشت ارومیه، دشت میاندوآب، سراب و نقده و اشنویه، و با در نظر گرفتن میزان بارش در محدوده‌های مورد نظر، می‌توان در حجم آبیاری انجام شده صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای انجام داد. درواقع بررسی نیاز آبی و نیاز آبیاری در این مناطق نشان می‌دهد بیش آبیاری صورت می‌گیرد به طوری که تبخیر و تعرق اضافی نسبت به نیاز آبی کامل (تبخیر و تعرق کامل) بر اساس الگوی کشت صورت می‌گیرد.

نتایج نشان داده است از نظر صرفه‌جویی قابل حصول در شرایط تامین ۱۰۰ درصد نیاز آبی، بیشترین درصد صرفه‌جویی به دشت ارومیه با ۳۹٪/۱۰۰٪ تعلق دارد. پس از آن منطقه نقده و اشنویه با ۳۱٪/۱۰۰٪، میاندوآب با ۲۵٪/۱۰۰٪ و سراب با ۲۰٪/۱۰۰٪ در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند. از نظر حجم آب، بیشترین حجم قابل صرفه‌جویی به دشت ارومیه با ۱۹۷ میلیون متر مکعب اختصاص دارد. حجمی که معادل مجموع میزان صرفه‌جویی در دیگر مناطق عمده حوزه آبریز ارومیه (دشت میاندوآب، سراب و نقده و اشنویه) خواهد بود. از آنجا که تامین صد در صدی آب مورد نیاز گیاه نیز با توجه به ارزش اقتصادی محصولات منطقی به نظر نمی‌رسد، می‌توان با صرفه‌جویی بیش از این مقدار نیز همچنان به برداشت محصولی اقتصادی دست یافت. در همین راستا بر مبنای گزارش مرکز تحقیقات سنجش از دور دانشگاه شریف (RSRC) که در محدوده دشت‌های شهرستان‌های ارومیه، میاندوآب، نقده، اشنویه و سراب انجام پذیرفته، کاهش ۴۰ درصدی مصرف آب کشاورزی بدون نیاز به تغییر الگوی کشت امکان‌پذیر است. در این بررسی، ملاک کاهش تامین ۸۰٪ نیاز آبی خالص گیاه بوده است. به طوری که از نظر صرفه‌جویی قابل حصول در شرایط تامین ۸۰ درصد نیاز آبی، درصد صرفه‌جویی برابر با ۵۷٪/۱۰۰٪، ۴۸٪/۱۰۰٪ و ۴۴٪/۱۰۰٪ به ترتیب به دشت‌های ارومیه، نقده و اشنویه، سراب و میاندوآب اتفاق می‌افتد (شکل ۹). لذا می‌توان بیان کرد که اعمال شیوه‌های صحیح آبیاری و مدیریت آب در مزرعه و در نتیجه کاهش مصرف آب در منطقه در دشت ارومیه نسبت به دیگر مناطق حوضه از الویت بالاتری برخوردار است. پس از ارومیه نیز منطقه نقده و اشنویه و دشت میاندوآب و نهایتاً منطقه سراب در جایگاه‌های بعدی قرار می‌گیرند.



شکل ۹- میزان درصد قابل صرفه جویی قابل حصول در دشت‌های با سطح زیر کشت آبی بالا در حوضه آبریز دریاچه ارومیه

به طور کلی با توجه مطالعات سازمان ملل متحد در سال ۱۹۹۷ میلادی، کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی حوضه آبریز دریاچه ارومیه ضروری می‌باشد. همچنین مطالعه مرکز سنجش از دور دانشگاه صنعتی شریف، وجود پتانسیل کاهش تقریبی ۴۰ درصد از مصرف آب کشاورزی در حوضه را نشان داده است. بررسی نتایج مطالعات در برآورد حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی پایین دست سد حسنلو با استفاده از الگوریتم METRIC و تصاویر ماهواره‌ای Lsandsat 8.0 و MODIS نیز نشان داده است این الگوریتم برتری محسوسی نسبت به محصول WaPOR در تخمین مقادیر آب مصرفی دشت دارد و می‌توان از این فناوری در مطالعات زیست‌محیطی همچون برآورد نیاز آبی گیاهان و محاسبات بیلان استفاده کرد [59]. در این راستا رحمانی و همکاران نیز با توسعه و معرفی جعبه ابزار نرخ تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از الگوریتم METRIC و تصاویر ماهواره‌ای Lsandsat 8.0 در دشت ارومیه نشان دادند استخراج نرخ تبخیر و تعرق واقعی با دقت بالا این امکان را فراهم کرده است تا به طور غیرمستقیم میزان آب قابل صرفه‌جویی در یک منطقه خاص حتی در مقیاس مزرعه با تفکیک مکانی بالا قابل تخمین باشد [60]. به طور مشخص، با توجه به نیاز روزافزون کشور برای جلوگیری از هدررفت یا مصرف مازاد آب در بخش کشاورزی چه از طریق تغییر الگوی کشت و چه تغییر در روش‌های آبیاری، به کارگیری ابزار توسعه داده شده همچون این مطالعات می‌تواند اطلاعات ارزشمندی را در اختیار متخصصین و مدیران بخش آب و کشاورزی قرار دهد.

۲.۳. حسابداری آب، چارچوبی برای برآورد میزان مصرف واقعی آب در بخش کشاورزی و به‌عنوان ابزاری برای تصمیمات

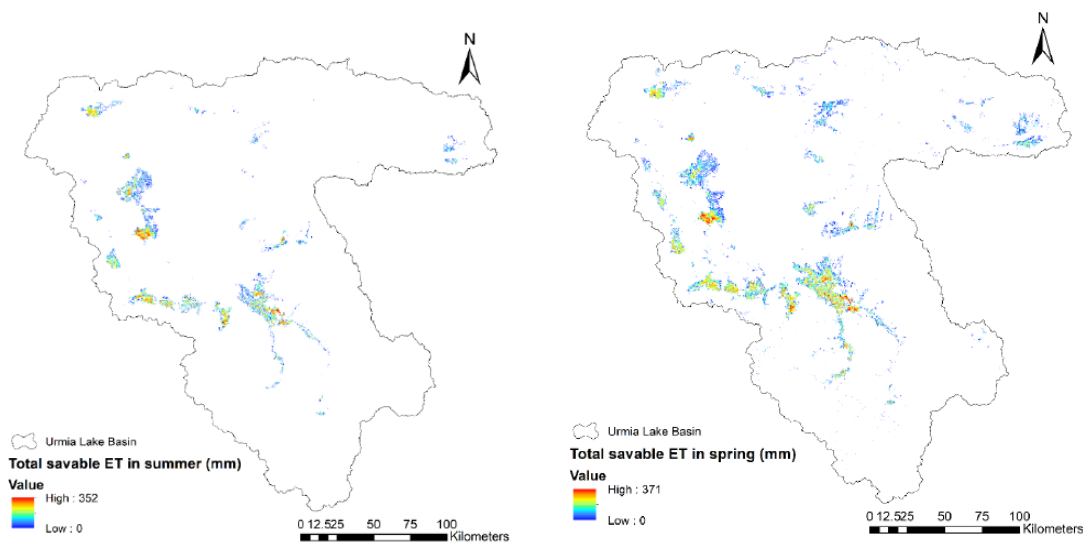
مدیریتی

حسابداری آب^۱ (WA) ابزار لازم برای پشتیبانی از تصمیم مدیران و برنامه‌ریزان منابع آب را با در اختیار گذاشتن اطلاعات لازم فراهم می‌کند. این اطلاعات شامل وضعیت منابع و مصارف، میزان بهره‌وری محصولات، میزان توسعه سطح زیر کشت و میزان آب قابل صرفه‌جویی به تفکیک دشت‌های کشاورزی و به تفکیک محصول می‌باشد. درواقع حسابداری آب بررسی منابع، مصارف و نحوه تغییر ذخایر آب در حوضه آبریز مورد مطالعه می‌باشد و ارزیابی مکانی - زمانی از مقدار آب موجود، عرضه و مصرف شده را ارائه می‌کند. درک بهتری از وضعیت و روند عرضه، تقاضا، توزیع و دسترسی به آب برای گروه‌های مختلف از جمله تصمیم‌گیران، مدیران آب و ذینفعان محلی برای برنامه‌ریزی آینده را فراهم می‌کند. این برنامه‌ریزی با هدف دستیابی به توسعه پایدار با تخصیص آب به‌صورت شفاف و مطلوب، آمادگی برای خشکسالی و کمبود آب، کاهش اثرات منفی محیط‌زیستی و اعمال تغییرات لازم در مصرف آب برای رسیدن به حداکثر بهره‌وری با حداقل مصرف آب انجام می‌شود. هدف اصلی از انجام حسابداری آب در حوضه آبریز دریاچه ارومیه، علاوه بر بهره‌مندی از مزایای فوق، ایجاد یک ابزار پایش برای کمک به تصمیم‌گیری مدیران و برنامه‌ریزان بوده است. بنابراین با انجام چنین مطالعاتی علاوه بر آگاهی بر وضعیت منابع و مصارف موجود، می‌توان محصولات و دشت‌های کشاورزی با بیشترین بهره‌وری و همچنین بیشترین پتانسیل صرفه‌جویی آب را شناسایی و برای اجرای برنامه‌های کاهش مصرف آب اولویت‌بندی و استفاده نمود.

حسابداری آب با گردآوری اطلاعات لازم و تحلیل دقیق از وضعیت موجود و تغییرات صورت گرفته در زمینه بهره‌برداری از منابع آبی، مدیریت پایدار این منابع را امکان‌پذیر می‌سازد. مقایسه‌ی روش‌های مختلف حسابداری آب نشان داده است که روش حسابداری عمومی آب با گردآوری اطلاعات مربوط به میزان آب عرضه شده و میزان آب وارد شده به مخزن، تنها برای تحلیل تغییرات صورت گرفته در ذخایر منابع آبی مناسب می‌باشد. روش حسابداری ارایه شده توسط موسسه‌ی بین‌المللی حسابداری آب با محاسبه‌ی مقادیر "آب مصرف شده" و "آب در دسترس" چگونگی مدیریت آب را از طریق محاسبه‌ی دقیق آب تجدیدپذیر مورد ارزیابی قرار می‌دهد. از آنجاییکه در این نوع حسابداری، برای جمع‌آوری داده‌ها از ابزار و تکنیک‌های ماهواره‌ای و سنجش از دور استفاده می‌شود، این روش نسبت به روش‌های دیگر، هزینه‌برتر می‌باشد. روش حسابداری اقتصادی زیست‌محیطی، با تلفیق حساب‌های ملی و حساب‌های مربوط به گردش فیزیکی آب امکان ارزیابی زیست‌محیطی و اقتصادی را توأم فراهم می‌آورد. این روش به دلیل فراهم آوردن ابزارهای لازم جهت ارزیابی فیزیکی و اقتصادی به طور توأم، کارایی بیشتری برای مدیریت آب در مناطقی که با بحران آب مواجه هستند، دارد. مطالعه حسابداری آب حوضه آبریز دریاچه ارومیه طی همکاری مشترکی بین سازمان خواروبار و کشاورزی ملل متحد و موسسه آب دانشگاه دلفت هلند (IHE Delft) در سال ۱۳۹۸ انجام و به ستاد احیای دریاچه ارومیه ارائه شده است. در این مطالعه، حسابداری آب حوضه برای سال‌های آبی ۹۳ - ۱۳۹۲ و ۹۴ - ۱۳۹۳ انجام شده است [3]. همچنین در مطالعه دیگر با توجه به توافق صورت گرفته بین سازمان خواروبار و کشاورزی ملل متحد (FAO) و دانشگاه صنعتی شریف، مطالعه حسابداری آب در حوضه آبریز دریاچه ارومیه در سال آبی ۱۴۰۰ - ۱۳۹۹ جهت پیشبرد اهداف "برنامه یکپارچه مدیریت پایدار منابع آب در حوضه دریاچه ارومیه" انجام پذیرفته است [8].

¹ Water Accounting

از نتایج کاربردی حسابداری آب می‌توان به پایش میزان بهره‌برداری از ذخایر آب حوضه در سال‌های آبی مختلف اشاره کرد به طوری که می‌توان بررسی کرد به چه مقدار از مجموع ذخایر سطحی، زیرزمینی و رطوبت خاک استفاده می‌شود و چه تاثیری بر بیلان منابع آب منطقه خواهد گذاشت. میزان مصارف آب در حوضه براساس نتایج حسابداری آب نشان داد از کل تبخیر و تعرق به میزان ۵۸ درصد در اراضی آبی بوده و مابقی از اراضی دیم می‌باشد. در اراضی دیم میزان بهره‌وری پایین بوده و بیش از ۵۰ درصد تبخیر و تعرق به صورت تبخیر از خاک هدر می‌رود. به عبارتی بخش تعرق منجر به تولید بافت گیاهی شده و از این نظر مطلوب کشاورزی می‌باشد. بنابراین هر چقدر نسبت تعرق به تبخیر و تعرق بیشتر باشد میزان عملکرد افزایش خواهد یافت. لذا به عنوان یک نتیجه کاربردی بهبود سامانه‌های آبیاری نوین می‌تواند بخش قابل توجهی از تبخیر و در نهایت تبخیر و تعرق واقعی را کاهش دهد. بررسی کل تبخیر و تعرق واقعی قابل ذخیره (صرفه‌جویی آب به علت بیش آبیاری) یعنی $(ET_a - ET_c) > 0$ در کل حوضه دریاچه ارومیه و در دشت‌های کشاورزی اصلی در طول دوره رشد در سال آبی ۱۴۰۰ - ۱۳۹۹ نشان می‌دهد که ۳۵۴ میلیون متر مکعب آب بیش از نیاز آبی محصول آبی محصولات در دشت‌های کشاورزی اصلی در طول دوره رشد در حوضه آبریز دریاچه ارومیه مصرف شده است. دشت میاندوآب با ۹۶ میلیون متر مکعب بالاترین تبخیر و تعرق واقعی قابل ذخیره (آب قابل صرفه‌جویی) را نشان می‌دهد و پس از آن دشت‌های ارومیه، نقده و مهاباد به ترتیب با ۶۳، ۵۵ و ۲۴ میلیون متر مکعب در رتبه‌های بعدی قرار دارند. توجه به این نکته ضروری است که ۳۵۴ میلیون متر مکعب آب قابل صرفه‌جویی محاسبه شده در کل حوضه دریاچه ارومیه کمتر از ۴۰ درصد (حدود ۳۶ درصد) مقدار آبی است که توسط ستاد احیای دریاچه ارومیه برای صرفه‌جویی در فعالیت‌های کشاورزی برای تأمین کسری از نیاز جریان زیست‌محیطی دریاچه ارومیه هدف گذاری شده است (۹۸۶ میلیون متر مکعب صرفه‌جویی مورد انتظار در بخش کشاورزی وفق نقشه راه احیای دریاچه ارومیه). درواقع به طور کلی مقدار ۳۵۴ میلیون متر مکعب آب در حوضه بیش از نیاز آبی محصولات آبی مصرف شده که در صورت مدیریت صحیح این مقدار آب می‌تواند به سمت پیکره آبی دریاچه ارومیه هدایت گردد. تجزیه و تحلیل‌ها نشان می‌دهد کل تبخیر و تعرق واقعی قابل ذخیره برای گندم و جو آبی، یونجه، چغندر قند، ذرت، باغات و سایر مناطق زیر کشت در کل حوضه دریاچه ارومیه در سال آبی ۱۴۰۰ - ۱۳۹۹ به ترتیب برابر ۲۱، ۵۳، ۲۳، ۵، ۱۷۶ و ۷۷ میلیون متر مکعب بود. توزیع مکانی کل تبخیر و تعرق واقعی قابل ذخیره به ترتیب در بهار و تابستان ۱۴۰۰ در شکل ۱۰ نشان داده شده است. بنابراین می‌توان با اولویت قرار دادن محصولات با بیشترین پتانسیل ذخیره، مدیریت بهتری در راستای کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی ارائه داد.



شکل ۱۰- توزیع مکانی کل تبخیر و تعرق قابل صرفه‌جویی در حوضه دریاچه ارومیه در بهار و تابستان ۱۴۰۰

لازم به ذکر است که وجود ابزارهای اندازه‌گیری مانند لایسیمتر، رطوبت‌سنج و غیره در حوضه جهت واسنجی نمودن نقشه‌های ماهواره‌ای تهیه شده نیاز اساسی برای اطمینان از اعتبار نقشه‌ها خواهد بود. بنابراین در چارچوب حسابداری آب می‌توان از نقشه‌های تبخیر و تعرق و بارش برای شناسایی مناطق پرمصرف استفاده کرد. نواحی کشاورزی آبی جایی است که بیشترین آب در آن مصرف شده و در رقابت مستقیم با دریاچه بر سر جریان ورودی به آن هستند. بررسی‌های حسابداری آب نیز نشان داد در این بین دشت‌های میاندوآب، ارومیه و تا حدودی مهاباد از مناطق اصلی برداشت از منابع آب هستند که باید برنامه صرفه‌جویی در منابع برای آن‌ها در نظر گرفته شود. به عبارت دیگر با توجه به اینکه امکان کاهش ۴۰ درصد مصرف آب در تمام

اراضی کشاورزی حوضه به صورت یکسان وجود ندارد، مناطق دارای بیشترین پتانسیل کاهش مصرف شناسایی تا مداخلات در این مناطق متمرکز گردد. در مطالعه حسابداری آب سال ۱۴۰۰ دشت‌های میاندوآب، ارومیه، مهاباد و نقده و در مطالعه سال ۱۳۹۳ دشت‌های میاندوآب، ارومیه و تا حدودی مهاباد به عنوان مناطق دارای بیشترین پتانسیل کاهش مصرف آب شناسایی شده‌اند. به طوری که ۷۶ درصد کل آب قابل صرفه‌جویی حاصل از آبیاری در کل حوضه مربوط به این چهار دشت بوده است. بنابراین تمرکز و اولویت اجرای سیاست‌های کاهش مصرف آب می‌تواند بر دشت‌های نامبرده قرار گیرد. به‌طور کلی برنامه‌ریزی بهتر برای مصرف آب بخش کشاورزی نیازمند تعیین نقاط دارای بیشترین پتانسیل کاهش مصرف و اقدام به کاهش در بهترین زمان می‌باشد. با تعیین مقدار آب قابل صرفه‌جویی در هر دوره از رشد گیاه و در نظر گرفتن نیاز آبی محصول و با توجه به تقویم زراعی منطقه می‌توان بهترین زمان انجام مداخله را مشخص کرد. با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تحلیل‌های مکانی نقشه‌های رستری تبخیر و تعرق واقعی و سایر پارامترها می‌توان مناطقی که دارای بیشترین پتانسیل کاهش مصرف آب هستند را شناسایی نمود. در تکمیل مطالعه سیمما و همکاران [55]، مطالعه تاسومی [61] در برآورد تبخیر و تعرق واقعی (ET_a) در حوضه آبریز دریاچه ارومیه نشان داده است که ارائه اطلاعات تبخیر و تعرق با کیفیت مکانی (۱۰۰ متر) و زمانی (ماهانه) با استفاده از مدل METRIC و تصاویر ماهواره ای Landsat 8 در دستیابی به مدیریت پایدار آب منطقه‌ای کمک می‌کند. نتایج حاکی از تخمین موفق ET_a و برآورد قابل قبول مصرف آب کشاورزی در اراضی آبی را نشان داد. درواقع تازگی این مطالعه در این واقعیت نهفته بود که این اولین داده ET_a برای این حوضه با تفکیک مکانی - زمانی و با مقیاس و دقت ۱۰۰ متر است. بنابراین، انتظار می‌رود که روش برآورد و نتایج به درک بهتر هیدرولوژی منطقه کمک کند. همچنین این امر برای احیای دریاچه ارومیه و برای دستیابی به مدیریت پایدار آب در منطقه ضروری است. به‌طور کلی بررسی‌ها نشان می‌دهد از مطالعات حسابداری آب می‌توان به‌عنوان ابزار کاربردی در مدیریت منابع آب استفاده نمود به‌طوری که:

- حسابداری آب لازم برای پشتیبانی از تصمیم مدیران و برنامه‌ریزان منابع آب را با در اختیار گذاشتن اطلاعات لازم فراهم می‌کند. این اطلاعات شامل وضعیت منابع و مصارف، میزان بهره‌وری محصولات، میزان توسعه سطح زیر کشت و میزان آب قابل صرفه‌جویی به تفکیک دشت‌های کشاورزی و به تفکیک محصول می‌باشد.
- دشت‌های میاندوآب، ارومیه و تا حدودی مهاباد براساس دو مطالعه اول و دشت‌های میاندوآب، ارومیه، مهاباد و نقده بر اساس مطالعه آخر، بیشترین پتانسیل صرفه‌جویی را دارند. به طوری که ۷۶ درصد کل آب قابل صرفه‌جویی حاصل از آبیاری در کل حوضه مربوط به این چهار دشت بوده است. بنابراین تمرکز و اولویت اجرای سیاست‌های کاهش مصرف آب می‌تواند بر دشت‌های نامبرده قرار گیرد.
- تجزیه و تحلیل‌های نتایج حسابداری آب نشان داد علیرغم اعمال کاهش ۴۰ درصد مصرف آب در حوضه از طریق مدیریت رهاسازی سدها، مصرف آب افزایش یافته است که با توجه به کاهش ذخیره آب در حوضه می‌تواند نشانگر انتقال فشار مصارف آب کشاورزی از آب سطحی به آب زیرزمینی باشد. بنابراین، مهمترین اقدام موثر در کاهش مصرف حقیقی در بخش کشاورزی می‌تواند تحویل حجمی تلفیقی آب سطحی و زیرزمینی باشد. همچنین لزوم اجرای برنامه‌های ترویجی و آموزشی و پایش مستمر آب‌های سطحی و زیرزمینی با داده‌های زمینی و تصاویری ماهواره‌ای را روشن می‌سازد. مقدار ۳۵۴ میلیون مترمکعب آب در حوضه بیش از نیاز آبی محصولات آبی مصرف شده که در صورت مدیریت صحیح این مقدار آب می‌تواند به سمت پیکره آبی دریاچه ارومیه هدایت گردد. محققان نیز توصیه کرده‌اند تا ستاد احیاء براساس تجربیات جهانی، مطالعات داخلی و تجربیات ۵ ساله خود، چشم‌انداز قابل حصول و خدمات جدیدی برای اکولوژی حوضه و دریاچه بر اساس واقعیت‌های سیاسی، اقتصادی و اجتماعی کشور و حوضه (فراتر از توان ستاد) تبیین نماید، در غیر این صورت امکان بهره‌برداری بهینه از فرصت زمانی و منابع اعتباری برای احیای دریاچه فراهم نخواهد شد [62,63]. از این رو به موازات عملیات اجرایی و دو مطالعه مذکور، با توجه به وسعت حوضه آبریز دریاچه ارومیه و اهمیت استفاده از ظرفیت متخصصین حاضر در منطقه، مطالعات تکمیلی طرح کاهش ۴۰ درصد مصرف آب کشاورزی در حوضه زرينه‌رود و سيمينه‌رود در دستور کار دبیرخانه کارگروه در سال ۱۳۹۳ قرار گرفت. حوضه آبریز دو رودخانه زرينه‌رود-سيمنه‌رود (جنوب دریاچه) که منتهی به شبکه میاندوآب به عنوان بزرگترین شبکه آبیاری و زهکشی حوضه آبریز دریاچه ارومیه تأمین‌کننده ۵۰ درصد از حقابه دریاچه ارومیه مهمترین نقش را در کلان طرح کاهش ۴۰ درصدی مصرف آب کشاورزی ایفا می‌نماید. از همین رو مطالعات توسط مشاوران از این حوضه در محدوده‌های میاندوآب و صائین قلعه در سال ۱۳۹۳ و در محدوده‌های تکاب، سقز و بوکان در سال ۱۳۹۶ توسط شرکت مشاور یکم آغاز گردید. همچنین از سال ۱۳۹۶ مطالعات کاهش ۴۰ درصدی مصرف آب کشاورزی در محدوده حوضه آبریز آجی‌چای توسط دانشگاه تبریز (شرق دریاچه) و حوضه آبریز دشت ارومیه (زیر حوضه‌های نالزو، باراندوز، شهرچای و روضه‌چای) توسط دانشگاه ارومیه (غرب دریاچه) آغاز گردید. مطالعات مزبور در ابتدای سال ۱۳۹۸ به اتمام رسید. کل محدوده‌های در نظر گرفته شده حدود ۶۷/۷ درصد از سطح حوضه دریاچه ارومیه را در بر می‌گیرد. محدوده سيمينه‌رود و زرينه‌رود دارای بیشترین پتانسیل برای رساندن آب به دریاچه هستند. محدوده آجی‌چای نیز با وجود سطح زیر کشت کمتر، از پتانسیل

خوبی برای ذخیره آب و رساندن به دریاچه برخوردار است. سطح محدوده، مصرف ناخالص کشاورزی و سطح زیر کشت محدوده‌های مطالعات پایه در حوضه دریاچه ارومیه توسط سه مشاور در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴- سطح محدوده، مصرف ناخالص کشاورزی و سطح زیر کشت محدوده‌های مطالعات پایه در حوضه دریاچه ارومیه

نام محدوده‌های مطالعاتی	سطح محدوده نسبت به حوضه (درصد)	مصرف ناخالص کشاورزی (میلیون متر مکعب)	سطح زیر کشت (هکتار)
آبی‌چای (دانشگاه تبریز)	۲۴/۳	۷۷۲	۱۰۰۳۰
سیمینه‌رود و زرینه‌رود (شرکت مشاور یکم)	۳۴/۰	۱۷۰۰	۱۷۰۰۰
شهرچای، باراندوزچای، روضه‌چای و نازلوچای (دانشگاه ارومیه)	۹/۴	۷۲۱	۷۸۰۰
مجموع	۶۶/۷	۳۱۹۳	۳۴۸۰۳۰

۴. نتیجه‌گیری

بررسی نتایج مطالعات مختلف در خصوص تشخیص علل افت سطح آب دریاچه ارومیه نشان داده است که وضعیت کنونی دریاچه ارومیه حاصل عملکرد مجموعه‌ای از عوامل انسانی و طبیعی طی دهه‌های گذشته بوده است. عوامل زیادی از جمله می‌توان به تغییر اقلیم و وقوع خشکسالی، توسعه سدسازی، برداشت فراوان کشاورزان از منابع آب‌های سطحی، چاه‌های مجاز و غیرمجاز در حوضه آبریز دریاچه ارومیه، احداث پل میان‌گذر و کشت محصولات پرمصرف در منطقه در خشک شدن تدریجی دریاچه ارومیه نقش داشته‌اند. بررسی و سنتز نتایج مطالعات نشان می‌دهد که هم عوامل انسانی و هم عوامل اقلیمی در کاهش سطح دریاچه ارومیه مؤثر بوده‌اند؛ اما عوامل انسانی تأثیر بیشتری داشته است. حوضه آبریز دریاچه ارومیه دارای یک سیستم منابع آب پیچیده بوده و منابع آب آن دارای ذی‌نفعان زیادی می‌باشد. تخصیص بهینه منابع آب حوضه در چنین سیستم پیچیده بدون در نظر گرفتن منافع تمام ذی‌نفعان، محدودیت‌های محیطی (اقلیمی، خاک، توپوگرافی و غیره) اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی و همچنین بدون توجه به قوانین کشوری حاکم بر نحوه بهره‌برداری از منابع آب و چارچوب‌های سازمان‌های متولی و ذی‌ربط نتیجه مطلوب را نداشته و قابلیت اجرایی نخواهد داشت. کشاورزان عمده‌ترین مصرف‌کننده آب در حوضه آبریز دریاچه ارومیه محسوب می‌شوند. یکی از برنامه‌های اصلی ستاد احیاء دریاچه ارومیه کاهش ۴۰ درصدی مصارف آب کشاورزی در حوضه و افزایش بهره‌وری از ۶۰ درصد آب باقیمانده می‌باشد؛ لذا کشاورزان اصلی‌ترین مخاطب و ذی‌نفعان این طرح و برنامه است. برای افزایش سود و یا حفظ سود کنونی کشاورزان و یا حداقل نمودن ضرر و زیان آن‌ها پس از کاهش مصارف آب کشاورزی، افزایش بهره‌وری اقتصادی آب و استفاده حداکثری از هر واحد آب مصرفی اجتناب‌ناپذیر است. به طور کلی هدف اصلی برنامه، کاهش ۴۰ درصدی مصارف آب کشاورزی در مناطق مختلف در حوضه آبریز دریاچه ارومیه می‌باشد.

نتایج مطالعات پایه و تکمیلی (سنجش از دور و حسابداری آب) صورت گرفته توسط مشاوران داخلی و خارجی از جمله شرکت مشاور یکم، دانشگاه ارومیه و دانشگاه تبریز و غیره در هر یک از مناطق مورد مطالعه نشان داد اولاً است پتانسیل کاهش ۴۰ درصد مصرف آب کشاورزی در دشت‌ها و محدوده‌های مختلف حوضه قابل دستیابی است. ثانیاً چارچوب کلی راهکارهای مدیریتی به‌منظور تدوین برنامه کاهش ۴۰ درصدی مصارف آب کشاورزی در حوضه در چارچوب راهکارهای مدیریت عرضه و تقاضای آب، حاکمیت بر برداشت آب و آموزش و ترویج تنظیم و اقدامات اجرایی منتخب طبق برنامه زمان‌بندی عملیاتی شده است. کنترل و کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی عمدتاً شامل مدیریت عرضه و تقاضای آب بوده که بر اساس ماهیت اجرایی مدیریت عرضه آب بیشتر به اقدامات سازه‌ای اشاره دارد. از طرف دیگر اقدامات مربوط به تقاضای آب بیشتر به برنامه‌های بخش کشاورزی و آبیاری اشاره دارد. بنابراین جهت نیل به اهداف طرح کاهش مصارف آب کشاورزی باید از مسیرهای مختلفی اقدام نمود که برخی از این مسیرها و راهکارها باید به صورت اقدامات فوری و الویت‌دار انجام شود و برخی نیز در الویت‌های بعدی و پروژه‌های طولانی مدت برنامه‌ریزی گردد. همچنین اقدامات حاکمیتی شرط لازم و اقدامات مشارکتی شرط کافی برای موفقیت پیاده‌سازی کاهش ۴۰ درصد مصرف آب کشاورزی می‌باشد. ارزیابی راهکارهای تامین نیاز زیست محیطی دریاچه ارومیه نیز نشان داده است که کاهش ۴۰ درصدی مصرف آب کشاورزی از منابع آب سطحی و زیرزمینی می‌تواند اثربخشی کاهش توجهی در تراز و حجم دریاچه ارومیه داشته باشد. بر اساس برنامه، اولویت‌بندی مکانی مکان‌یابی اجرای راهکارهای پیشنهادی کاهش ۴۰ درصد مصرف آب کشاورزی متناسب با شناسایی مناطق با پتانسیل صرفه‌جویی آب بر اساس مطالعات پایه و تکمیلی انجام شده است. همچنین عملیات و اقدامات مناسب به‌منظور کاهش آسیب‌پذیری با در نظر گرفتن محدودیت‌های مصرف در بخش‌های پرخطر به لحاظ ریسک خشکسالی و



بررسی تبعات آن انجام شده است. برنامه کامل نرم افزاری کاهش ۴۰ درصد مصرف آب کشاورزی و افزایش بهره‌وری از ۶۰ درصد آب باقیمانده در طرح احیاء دریاچه ارومیه توسط وزارت نیرو و جهاد کشاورزی در مطالعه و مقاله دیگری ارائه شده است.

۵. مراجع

- [1] Wurtsbaugh, W. A., Miller, C., Null, S. E., DeRose, R. J., Wilcock, P., Hahnenberger, M., Howe, F. and Moore, J. (2017), "Decline of the world's saline lakes," *Nature Geoscience*, **10** (816). <http://dx.doi.org/10.1038/ngeo3052>.
- [2] Günther, R.T. (1899), "Contributions to the Natural History of Lake Urmia, N.W. Persia, and its Neighbourhood," *Journal of the Linnean Society of London, Zoology*, **27**(177), pp 345-453. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1096-3642.1899.tb00414.x>.
- [3] Karimi, P. and Pareeth, S. (2019), "Rapid assessment of the water accounts in Urmia Lake basin," Project report, IHE Delft, The Netherlands.
- [4] Sima, S., Rosenberg, D. E., Wurtsbaugh, W. A., Null, S. E. and Kettenring, K. M. (2021), "Managing Lake Urmia, Iran for diverse restoration objectives: Moving beyond a uniform target lake level," *Journal of Hydrology: Regional Studies*, **35**, 100812. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214581821000410>.
- [5] Abbaspour, M. and Nazaridoust, A. (2007), "Determination Of Environmental Water Requirements of Lake Urmia, Iran: An Ecological Approach," *International Journal of Environmental Studies*, **64**, pp 161-169. 10.1080/00207230701238416.
- [6] Asem, A., Eimanifar, A. and Wink, M. (2016), "Update of Biodiversity of The Hypersaline Urmia Lake National Park (Nw Iran)," *Diversity*, **8**, NA. 10.3390/D8010006.
- [7] Parsinejad, M., Rosenberg, D. E., Ghale, Y. A. G., Khazaei, B., Null, S. E., Raja, O., ... and Wurtsbaugh, W. A. (2022), "40-years of Lake Urmia restoration research: Review, synthesis and next steps," *Science of The Total Environment*, **832**, pp 155055.
- [8] Danesh-Yazdi, M., Bayati, M., Tajrishy, M. and Chehrenegar, B. (2021), "Revisiting bathymetry dynamics in Lake Urmia using extensive field data and high-resolution satellite imagery," *Journal of Hydrology*, **603**, pp 126987.
- [9] Tisseuil, C., Roshan, G., R, Nasrabadi, T. and Asadpour, G. (2013), "Statistical Modeling of Future Lake Level Under Climatic Conditions, Case Study of Urmia Lake (Iran)," *International Journal of Environmental Research*, **7**, pp 69-80. NA.
- [10] Alizadeh-Choobari, O., Ahmadi-Givi, F., Mirzaei, N. and Owlad, E. (2016), "Climate change and anthropogenic impacts on the rapid shrinkage of Lake Urmia," *International Journal of Climatology*, **36**(13), pp 4276-4286.
- [11] Safaie, A., Alizadeh, A., Nikfar, M., Chamanmotlagh, F., Jamaat, A. and Zarei, A. (2021), "Numerical study of hydrodynamics, chemical properties, and water quality in Lake Urmia considering normal and abnormal inflows," ULRP-SUT-BMAS-RPT002, Urmia Lake Restoration Program (ULRP), Tehran, Iran.
- [12] RSRC. (2018), "Estimation of Lake Urmia Evaporation Using Remote Sensing Data," Remote Sensing Research Center (RSRC) at Sharif university of Technology, Urmia Lake Restoration Program, Tehran, Iran.
- [13] Sima, S. and Tajrishy, M. (2015), "Estimation of Urmia Lake Evaporation Using Remote Sensing Data," *Iran-Water Resources Research*, **11**, pp 32-48.
- [14] ULRP. (2015). "Urmia Lake Restoration Program: Brief Report and Projects Outline," Urmia Lake Restoration Program and Sharif University of Technology. <http://ulrp.sharif.ir/sites/default/files/field/files/02%20Urmia%20Lake%20Projects%20-%20%202094.09.02.pdf>.
- [15] Tajrishy, M. (2014), "Press conference," Conference of Perspectives on Urmia Lake Recovery Program.
- [16] Alizade Govarchin Ghale, Y., Baykara, M. and Unal, A. (2019), "Investigating the Interaction Between Agricultural Lands and Urmia Lake Ecosystem Using Remote Sensing Techniques and Hydro-Climatic Data Analysis," *Agricultural Water Management*, **221**, pp 566-579. 10.1016/J.AGWAT.2019.05.028.
- [17] Hajimoradi, A. (2021), "Lessons learned from projects in from Urmia Lake Restoration Program," Urmia Lake Restoration Program, Iran.
- [18] Chaudhari, S., Felfelani, F., Shin, S. and Pokhrel, Y. (2018), "Climate and anthropogenic contributions to the desiccation of the second largest saline lake in the twentieth century," *Journal of Hydrology*, **560**, pp 342-353.
- [19] Hamzehkhani H. 2015. Groundwater modeling to investigate the effectiveness of aquifer on surface flows by applying different exploitation policies using remote sensing technology (case study: Miandoab plain). M.Sc. Thesis, Sharif University of Technology, 175 p.



- [20] Hassanzadeh, E., Zarghami, M. and Hassanzadeh, Y. (2012), "Determining the main factors in declining the Urmia Lake level by using system dynamics modeling," *Water Resources Management*, **26**(1), pp 129-145.
- [21] Pooraliosseini, S. and Delavar, M. (2020), "A multi-model ensemble approach for the assessment of climatic and anthropogenic impacts on river flow change," *Hydrological Sciences Journal*, **65**(1), pp 71-86.
- [22] Farokhnia, A., Morid, S. and Delavar, M. (2018), "Study of Land Use Change in the Urmia Lake Water Shed Based on Landsat-TM Images and Pixel-Based and Object-Based Classification Techniques Iranian Journal of Irrigation and Drainage," **4** (12), pp 823-839.
- [23] Fathian, F., Dehghan, Z. and Eslamian, S. (2016), "Evaluating the impact of changes in land cover and climate variability on streamflow trends (case study: eastern subbasins of Lake Urmia, Iran)," *International Journal of Hydrology Science and Technology*, **6**, pp 1-26.
- [24] Fazel, N., Haghighi, A. T. and Kløve, B. (2017), "Analysis of land use and climate change impacts by comparing river flow records for headwaters and lowland reaches," *Global and Planetary Change*, **158**, pp 47-56.
- [25] Hassani, A., Azapagic, A., D'Odorico, P., Keshmiri, A., and Shokri, N. (2020), "Desiccation crisis of saline lakes: A new decision-support framework for building resilience to climate change," *Science of the Total Environment*, **703**.
- [26] Kamran, K.V. and Khorrami, B. (2018), "Change Detection and Prediction of Urmia Lake and its Surrounding Environment During the Past 60 Years Applying Geobased Remote Sensing Analysis," *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, **42**(3/W4).
- [27] Mehrian, M. R., Hernandez, R. P., Yavari, A. R., Faryadi, S. and Salehi, E. (2016), "Investigating the causality of changes in the landscape pattern of Lake Urmia basin, Iran using remote sensing and time series analysis," *Environmental monitoring and assessment*, **188**(8), pp 462.
- [28] Shadkam, S., Ludwig, F., Van, O., P, Kimit, and Kabat, P. (2016), "Impacts of Climate Change and Water Resources Development on The Declining Inflow into Iran's Urmia Lake," *Journal of Great Lakes Research*, **42**, pp 942-952. 10.1016/J.JGLR.2016.07.033.
- [29] Taheri, M., Emadzadeh, M., Gholizadeh, M., Tajrishi, M., Ahmadi, M. and Moradi, M. (2019), "Investigating the temporal and spatial variations of water consumption in Urmia Lake River Basin considering the climate and anthropogenic effects on the agriculture in the basin," *Agricultural water management*, **213**, pp 782-791.
- [30] Naderizadeh Shorabeh, S., Abdollahi Kakrodi, A., Nisani Samani, N. and Moradipour, F. (2018), "Analysis of the impact of periodic changes of Coastlines in expanding the salty marsh of the margin of Urmia Lake Using the Landsat Satellite Images," *Quantitative Geomorphological Research*, (7)1, pp 13-29.
- [31] Khazaei, B., Khatami, S., Alemohammad, S. H., Rashidi, L., Wu, C., Madani, K., ... and Aghakouchak, A. (2019), "Climatic or regionally induced by humans? Tracing hydro-climatic and land-use changes to better understand the Lake Urmia tragedy," *Journal of hydrology*, **569**, pp 203-217.
- [32] Bakhshianlamouki, E., Masia, S., Karimi, P., van der Zaag, P. and Sušnik, J. (2020), "A system dynamics model to quantify the impacts of restoration measures on the water-energy-food nexus in the Urmia Lake Basin, Iran," *Science of the Total Environment*, **708**.
- [33] Hamzekhani, F. G., Saghaian, and Araghinejad, S. (2016), "Environmental management in Urmia Lake: thresholds approach," *International Journal of Water Resources Development*, **32**(1), pp 77-88.
- [34] Hosseini-Moghari, S.-M., Araghinejad, S., Tourian, M., Ebrahimi, K. and Döll, P. (2020), "Quantifying the impacts of human water use and climate variations on recent drying of Lake Urmia basin: the value of different sets of spaceborne and in situ data for calibrating a global hydrological model," *Hydrology and Earth System Sciences*, **24**, pp 1939-1956.
- [35] Kanani, R., Fakheri Fard, A., Ghorbani, M.A., Dinpashoh, Y. (2020), "Analysis of the role of climatic and human factors in runoff variations (Case study: Lighvan river in Urmia Lake Basin, Iran)," *Journal of Water and Climate Change*, **11**, pp 291-302.
- [36] Nezamfar, H.F., Fathi, M.H. and Khaliji, M.A. (2015), "Investigating the Effects of Lake Urmia Water Level on the Biology of the Northwest of Iran Using Remote Sensing Data, Geography and Environmental Planning," **26**(59), pp 193-208.
- [37] Fathi, M.H., Madadi, A., Beheshti, A. and Sarmasti, N. (2015), "Assessment of Urmia Lake Water Level Fluctuations and Increase in Salt Areas in the North West Iran, Physical Geographic Research Quarterly," **47**(2), pp 271-285.
- [38] Ghashghaie, M. and Nozari, H. (2018), "Effect of Dam Construction on Lake Urmia: Time Series Analysis of Water Level via ARIMA," *Journal of Agricultural Science and Technology*, **20**(7), pp 1541-1553.



- [39] Bozorg-Haddad, O., Dehghan, P., Zareie, S. and Loáiciga, H. A. (2020), "System dynamics applied to water management in lakes," *Irrigation and Drainage*, **69**(4), pp 956-966.
- [40] Schulz, S., Darehshouri, S., Hassanzadeh, E., Tajrishy, M. and Schüth, C. (2020), "Climate change or irrigated agriculture—what drives the water level decline of Lake Urmia," *Scientific Reports*, **10**(1), pp 236.
- [41] Abdollahi, A., Jahani, A., Rayegani, B. and Mohammadi Fazel, A. (2017), "Impact Assessment of Dam Construction on Land Use Changes in the Western and Southern Catchments of Lake Urmia Using Satellite Images," *Environmental Researches*, **8**(13), pp 39-50.
- [42] Alborzi, A., Mirchi, A., Moftakhari, H., Mallakpour, I., Alian, S., Nazemi, A., ... and Norouzi, H. (2018), "Climate-informed environmental inflows to revive a drying lake facing meteorological and anthropogenic droughts," *Environmental Research Letters*, **13**(8), pp 084010.
- [43] Dalby, S. and Moussavi, Z. (2017), "Environmental security, geopolitics and the case of Lake Urmia's disappearance," *Global Change, Peace and Security*, **29**(1), pp 39-55.
- [44] Stone, R. (2015), "Saving Iran's Great Salt Lake," pp 1044-1047.
- [45] Dastranj, H.R., Tavakoli, F. and Soltanpour, A. (2018), "Investigating the water level and volume variations of Lake Urmia using satellite images and satellite altimetry," *The journal of Geographical Data*, **27**(107), pp 149-163.
- [46] Ashraf, S., AghaKouchak, A., Nazemi, A., Mirchi, A., Sadegh, M., Moftakhari, H. R., ... and Anjileli, H. (2019), "Compounding effects of human activities and climatic changes on surface water availability in Iran. Climatic change," **152**(3-4), pp 379-391.
- [47] Khaki, M., Forootan, E., Kuhn, M., Awange, J., van Dijk, A. I. J. M., Schumacher, M. and Sharifi, M. A. (2018), "Determining water storage depletion within Iran by assimilating GRACE data into the W3RA hydrological model," *Advances in water resources*, **114**, pp 1-18.
- [48] Hosseinzad, J., Sarbaz, A., & Ghorbani, M. A. (2019), "Effect of rainfall indices on ground water resource consumption and cropping patterns (case study: Shabestar plain from Urmia Lake Basin)," *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, **13**(1), pp 232-242.
- [49] Tourian, M. J., Elmi, O., Chen, Q., Devaraju, B., Roohi, S. and Sneeuw, N. (2015), "A spaceborne multisensory approach to monitor the desiccation of Lake Urmia in Iran. *Remote Sensing of Environment*," **156**, pp 349-360.
- [50] Nadiri, A. A., Taheri, Z., Khatibi, R., Barzegari, G. and Dideban, K. (2018), "Introducing a new framework for mapping subsidence vulnerability indices (SVIs): ALPRIFT," *Science of the Total Environment*, **628**: pp 1043-1057.
- [51] Moghtased-Azar, K., Mirzaei, A., Nankali, H. R. and Tavakoli, F. (2012), "Investigation of correlation of the variations in land subsidence (detected by continuous GPS measurements) and methodological data in the surrounding areas of Lake Urmia," *Nonlinear Processes in Geophysics*, **19**(6), pp 675-683.
- [52] Jafari, F. and Eftekhari, M. (2013), "Assessment of Urmia Lake Water Interactions and Saltwater Intrusion to Surrounding Aquifers," *The Journal of Water and Irrigation Management*, **3**(1), pp 30-48.
- [53] Nakhai, M. and Vadiati, M. (2014), "Spatial analysis of natural hazards caused by indiscriminate harvesting of groundwater in coastal aquifers Urmia," *Spatial analysis of environmental hazards*, **1**(1), pp 53-65.
- [54] Mehri, S., Alsheikh, A.A. and Javazadeh, Z. (2015), "An Assessment of Changes in Groundwater Quality and Groundwater Levels in Lake Urmia Basin, *Ecohydrology*," **4**(2), pp 395-404.
- [55] سیما، س.، صائمیان، پ.، فریدزاد، م.، یونس زاده جلیلی، س.، عمادزاده، م.، جلیلود، ا.، فرهمند، ح. و طاهری، م. (۱۳۹۴)، "برآورد تبخیر و تعرق، مصارف و میزان آب قابل صرفه جویی محدوده های کشاورزی حوضه آبریز دریاچه ارومیه در سال ۲۰۱۰ میلادی،" *ستاد احیای دریاچه ارومیه، گزارش فنی*، **۸۳** ص.
- [56] موسوی، س. م.، بابازاده، ح.، سرائی تبریزی، م. و خسروجردی، ا. (۱۴۰۲)، "ارزیابی راهکارهای تأمین نیاز محیط زیستی دریاچه ارومیه با استفاده از مدل شبیه سازی MODSIM و روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)،" *مدل سازی و مدیریت آب و خاک*، **۳**(۳)، ۱۳۴-۱۲۰.
- [57] دلاوری آرتیمانی، ز.، حاجی مرادی، ع.، مرادی، م.، محمودی انزایی، ا. و مصطفی زاده، م. (۱۴۰۱)، "جمع بندی مطالعات انجام شده در راستای کاهش ۴۰ درصد مصرف آب بخش کشاورزی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه،" **۱۸۵** ص.
- [58] عمادزاده، م. و صائمیان، پ. (۱۳۹۵)، "پایش تغییرات مصرف آب و کاربری اراضی کشاورزی حوضه آبریز دریاچه ارومیه، گزارش فنی، مرکز سنجش از راه دور شریف (RSRC)،" **۱۵۷** ص.



- [59] کردی، ف.، یوسفی، ح. و تجریشی، م. (۱۴۰۱)، "برآورد حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی پایین دست سد حسنلو با استفاده از الگوریتم METRIC، مدیریت آب و آبیاری"، ۱۲(۱)، ۱۸۵-۱۷۱.
- [60] رحمانی، ج.، دانش یزدی، م. و تجریشی، م. (۱۳۹۹)، "توسعه و معرفی جعبه ابزار نرخ تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از الگوریتم METRIC و تصاویر ماهواره‌ای Landsat 8.0 (مطالعه موردی: دشت ارومیه)، تحقیقات منابع آب ایران، ۱۶ (۳)، ۱۱۹-۱۰۹.
- [61] Tasumi, M. (2019), "Estimating evapotranspiration using METRIC model and Landsat data for better understandings of regional hydrology in the western Urmia Lake Basin," *Agricultural Water Management*, 226, pp 105805.
- [62] مقدسی، م.، مرید، س.، دلاور، م. و عرب‌پور، ف. (۱۳۹۴)، "رویکرد مدیریت مصرف آب بخش کشاورزی در راستای احیای دریاچه ارومیه، تحقیقات منابع آب ایران، ۱۱ (۱)، ۱-۱۲.
- [63] مقدسی، م.، مرید، س.، دلاور، م. و حسینی صفا، ح. (۱۳۹۸)، "چالش‌ها و تقابل تأمین آب کشاورزی و حبابه محیط‌زیستی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه، تحقیقات منابع آب ایران، ۱۵ (۲)، ۳۸-۲۶.