

## Evaluation of Renewable Water Resources of Urmia Lake Basin Using GLEAM

M. Banitalebi Dehkordi<sup>1</sup> and H. Rezaie<sup>2\*</sup>

### Abstract

Lake Urmia, located at northwestern of Iran, is the biggest territorial lake in Iran and one of the most hyper saline lakes of the world with a basin of 51876 km<sup>2</sup>. In recent years, as a consequence of excessive water extraction in upstream, ambitious water projects and decrease in precipitation, the lake water level has been dramatically lowered. One of the important factors to analyze the drop in Lake's water level is the Water Balance of the Basin. In this research, in order to evaluate basin's water balance, different tools like GLEAM, lake water balance and the updates by the Iran Water Resources Management Company have been used. Based on the results from GLEAM, the basin's Natural Renewable Water (NRW) for water year 1394-1395 have been 5780.59 MCM more than 83% of which has been used in agricultural sector. The estimated Available Water based on the updates by the Iran Water Resources Management Company was 3% less and the calculated Available Water based on historical data was 45% more than GLEAM's result. Another important note is that in the study water year, 1541.02 MCM of the Potential Water have been used in the basin, from which, 421.4 MCM of it was regarded to the reduction in lake's water level and the remaining 1119.62 MCM, have been provided by the groundwater supplies which caused reduction in ground water level in the basin. The official data released by the Iran Water Resources Management Company (IWRMC) have reported the basin's groundwater exploitation as 2210.99 MCM for the water year 1389-1390.

**Keywords:** Lake Urmia Basin, Available Water, Actual Evapotranspiration, GLEAM.

Received: March 11, 2019

Accepted: June 18, 2019

## ارزیابی آب تجدیدپذیر حوضه آبریز دریاچه ارومیه با کمک مدل GLEAM

مصطفی بنی طالبی دهکردی<sup>۱</sup> و حسین رضایی<sup>۲\*</sup>

### چکیده

دریاچه ارومیه بزرگ‌ترین دریاچه داخلی و یکی از دریاچه‌های بسیار شور جهان است. مساحت حوضه آبریز آن ۵۱۸۷۶ Km<sup>2</sup> است. در سال‌های اخیر به علت برداشت بی‌رویه از منابع آب، پروژه‌های جاه‌طلبانه و کاهش بارش‌ها، تراز سطح دریاچه با افت چشمگیری روبرو شده است. یکی از عوامل مهم برای بررسی کاهش تراز دریاچه ارومیه، ارزیابی بیلان آبی حوضه آبریز آن می‌باشد که در این تحقیق، جهت ارزیابی بیلان آبی از روش‌های مختلفی مانند مدل GLEAM، بیلان آبی دریاچه و مطالعات بهنگام‌سازی مدیریت منابع آب ایران استفاده شده است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از مدل GLEAM آب تجدیدپذیر حوضه در سال آبی ۱۳۹۴-۱۳۹۵ برابر MCM ۵۷۸۰/۵۹ بوده که بیش از ۸۳٪ آن صرف کشاورزی شده است؛ مجموع مصارف شرب، صنعت و کشاورزی حوضه آبریز دریاچه MCM ۵۴۰۸/۹۷ که معادل ۹۳/۵٪ آب تجدیدپذیر حوضه می‌باشد؛ آب تجدیدپذیر تخمین زده شده با استناد به مطالعات شرکت مدیریت منابع آب حدود ۳٪ کمتر و این مقدار با استناد به داده‌های آماری ۴۵٪ بیشتر از نتایج GLEAM محاسبه شده است. نکته حائز اهمیت دیگر این است که حوضه در سال آبی مذکور MCM ۱۵۴۱/۰۲ از پتانسیل آبی خود را استفاده کرده که از این مقدار تنها MCM ۴۲۱/۴ آن مربوط به افت سطح آب در دریاچه بوده و MCM ۱۱۱۹/۶۲ باقیمانده از سفره‌های آب زیرزمینی تأمین شده که منجر به افت تراز آب زیرزمینی در کل حوضه شده است. این در حالی است که آمار ارائه شده از جانب شرکت مدیریت منابع آب، برداشت از آب‌های زیرزمینی را در سال آبی ۹۰-۸۹، MCM ۲۲۱۰/۹۹ اعلام داشته است.

**کلمات کلیدی:** حوضه آبریز دریاچه ارومیه، آب تجدیدپذیر، تبخیر و تعرق واقعی، GLEAM.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۷/۱۲/۲۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۸/۳/۲۸

1- Ph.D. Student in Water Resources Engineering, Water Engineering Department, Agriculture Faculty, Urmia University, Iran.

2- Professor, Water Engineering Department, Agriculture Faculty, Urmia University, Urmia, Iran. Email: h.rezaie@urmia.ac.ir

\*- Corresponding Author

۱- دانشجوی دکتری منابع آب، گروه آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه.

۲- پروفسور، استاد گروه آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، کیلومتر ۱۰ جاده نازلو، ایران.

\*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان زمستان ۱۳۹۸ امکانپذیر است.

شود. آب تجدیدپذیر بر اساس قیود سیاسی، اجتماعی، قانونی و زیست محیطی به سه نوع طبیعی، واقعی و قابل مدیریت و بهره‌برداری تقسیم می‌شود.

آب تجدیدپذیر طبیعی ( $NRW^2$ ) در واقع همان آب آبی (آب زیرزمینی و سطحی، چه داخل حوضه باشند و یا از خارج به حوضه وارد شود) است که به کمک سیکل هیدرولوژی به دست می‌آید. شامل منابع آب تجدیدپذیر طبیعی داخلی که در برآورد آن هیچ قیدی برای حفاظت از منابع آب به نفع مصارف پایین دست وجود ندارد و منابع آب تجدیدپذیر طبیعی خارجی که ذخایر آبی مازاد یک حوضه بالادست را نیز شامل می‌شود. پس برای مقیاس حوضه‌ای؛ ورودی از حوضه‌های مجاور در محاسبات آب تجدیدپذیر طبیعی منظور می‌شود. آب تجدیدپذیر طبیعی، با توجه به تغییر مقدار بارش‌ها از سالی به سال دیگر در نوسان است. اما تمام این مقدار برای استفاده در دسترس نیست. آب تجدیدپذیر واقعی ( $ARW^3$ ) به بخشی از منابع آب تجدیدپذیر طبیعی گویند که تحت فشارهای اقتصادی و سیاسی و محدودیت‌های دانش و تکنولوژی تعیین می‌گردد؛ زیرا بخشی از این منابع به لحاظ سیاسی (فشارهای قومی و منطقه‌ای و/یا اقتصادی) یا هزینه احداث و بهره‌برداری سازه‌های تنظیم و کنترل (سد، بند خاکی، خط انتقال آب و غیره) محدود شده و مورد بهره‌برداری قرار نمی‌گیرد. برای مقیاس حوضه‌ای تفاوت ورودی از حوضه‌های مجاور و خروجی به حوضه‌های مجاور در محاسبات آب تجدیدپذیر واقعی منظور می‌شود. در واقع در برآورد آب تجدیدپذیر طبیعی هیچ قیدی برای حفاظت از منابع آب به نفع مصارف پایین دست وجود ندارد. آب تجدیدپذیر واقعی، علاوه بر نوسانات آب تجدیدپذیر طبیعی تابع تغییرات الگوهای مصرف از سالی به سال دیگر نیز هست. آب تجدیدپذیر قابل مدیریت و بهره‌برداری ( $MRW^4$ ) به نوبه خود قسمتی از منابع آب تجدیدپذیر واقعی می‌باشد که علاوه بر فشارهای اقتصادی و سیاسی، فشارهای اجتماعی و محدودیت‌های محیط زیستی را نیز در نظر می‌گیرد. در واقع در تعریف این نوع آب تجدیدپذیر، پایداری سیستم‌های اجتماعی و بوم زیستی نیز لحاظ می‌گردد. این کار با رهاسازی حداقل جریان لازم برای پایین دست (در نظر گرفتن حبابه) انجام خواهد شد. به عبارتی چنانچه سهم خاصی به عنوان رهاسازی برای پایین دست باید تأمین و تحویل گردد (که در وضعیت موجود برآورده نمی‌شود)، لازم است در محاسبات مقدار آب تجدیدپذیر قابل مدیریت و بهره‌برداری لحاظ گردد. طبق تعریف عوامل محدودکننده آب تجدیدپذیر قابل مدیریت و بهره‌برداری عبارت‌اند از: امکان اقتصادی و فیزیکی ذخیره سیلاب پشت سدها یا استخراج آب زیرزمینی (تجدیدپذیر)، امکان جذب آب جاری (از طریق مصرف و یا تغذیه) در حوضه قبل از خروج از آن و رهاسازی حداقل جریان لازم برای پایین دست (حبابه ساکنین و نیازهای زیست محیطی

آب موجود در آبخوان‌ها از گذشته‌های دور (بیش از هزاران سال قبل تاکنون) ذخیره شده است و سرعت تغذیه در آن‌ها (در مقیاس زمانی انسانی) ناچیز می‌باشد. به عبارتی تغذیه حاصل از بارش سالانه در مقایسه با حجم نسبتاً بالای آب ذخیره شده در لایه‌های زیرین زمین اندک می‌باشد. به‌طور تقریبی هر ۲۵ تا ۵۰ سانتیمتر افت آب زیرزمینی معادل یک سال تغذیه آب زیرزمینی از طریق نفوذ است. اگر برداشت سالانه از منابع آب تجدیدشونده زیرزمینی صورت گیرد، سطح آب زیرزمینی ثابت باقی می‌ماند، ولی اگر برداشت سالانه بیشتر از میزان تجدیدشوندگی آن باشد، افت سطح آب زیرزمینی رخ می‌دهد. ولی با وقوع افت مستمر سطح آب زیرزمینی برگشت به حالت قبل برای تغذیه آبخوان تقریباً غیرممکن است؛ زیرا افت مستمر سطح آب زیرزمینی موجب افزایش تراکم آبرفت در اثر تحکیم و کاهش ضریب ذخیره آب در آبخوان شده و فرونشست ناهمگن سطح زمین را به دنبال خواهد داشت که خود خسارتی غیرقابل برگشت است. در واقع این منابع تجدیدناپذیر می‌توانند در شرایط خشک‌سالی‌های شدید و طولانی مدت نقشی استراتژیک ایفا کرده و آب مورد نیاز برای برداشت را (در شرایط بحرانی) تأمین کنند. به‌خصوص در مناطقی که تأمین آب، صرفاً وابسته به بارش و رواناب سطحی است، در نبود بارش، باوجود این ذخایر استراتژیک آب زیرزمینی، دسترسی قابل اطمینانی به آب زیرزمینی وجود خواهد داشت (FAO, 1996).

دریاچه ارومیه به‌عنوان بزرگ‌ترین دریاچه داخلی ایران و دومین دریاچه آب شور دنیا از اهمیت زیادی برای پایداری زیست محیطی منطقه برخوردار است. آب این دریاچه بسیار شور بوده و بیشترین سهم تغذیه آبی آن توسط رودخانه‌های زربینه‌رود، سیمینه‌رود، تلخه‌رود، گدار، باراندوز، شهرچای، نازلو و زولا تأمین می‌شود. مساحت حوضه آبریز دریاچه ارومیه ۵۱۸۷۶ کیلومترمربع است (Delju et al., 2013). بر اساس تحقیقات مقدسی و همکاران برای احیای دریاچه ارومیه نتایج نشان داد که تأمین حبابه دریاچه به کاهش حدود ۲۰ تا ۲۵ درصدی حبابه بخش زراعت آبی در استان‌های آذربایجان غربی و شرقی نیاز دارد (Moghaddasi et al., 2019). این دریاچه طی سال‌های اخیر دچار افت تراز شدیدی شده که بخش عمده آن در اثر کاهش جریان‌های سطحی ورودی به آن بوده است (Fathian and Morid, 2015). برای بررسی علل کاهش این جریان‌های ورودی به دریاچه لازم است که در ابتدا با مفهوم آب تجدیدپذیر آشنا شویم. آب تجدیدپذیر ( $RW^1$ )، مقدار آبی است که حوضه، طی چرخه آبی سالیانه توانایی بازبازی آن را دارد. در تعیین مقدار آب تجدیدپذیر بایستی هدف و فشارهای واردشده در نظر گرفته

پایین دست) و حفظ پایداری کیفی منابع آب با تخلیه و خارج نمودن آب شور و آلوده از حوضه (FAO, 1996).

بر پایه تحقیقات صورت گرفته ایران با داشتن ۱۳۷/۵ کیلومتر مکعب آب تجدیدپذیر، در رده ۵۸ از ۱۷۴ کشور موجود در لیست قرار دارد. نکته قابل توجه در این رابطه قرار گرفتن کشورهای نظیر فنلاند در رتبه ۶۴ عراق در رتبه ۷۱، هلند در رتبه ۷۵، اتریش در رتبه ۷۷، سوئیس در رتبه ۹۱، ایرلند در رتبه ۹۷، ارمنستان در رتبه ۱۳۶، دانمارک در رتبه ۱۴۲ و سنگاپور در رتبه ۱۵۸ می باشد؛ بیشتر بودن آب تجدیدپذیر ایران از کشورهای به ظاهر پرباری نظیر هلند و فنلاند، نشان دهنده اهمیت بالای مدیریت صحیح منابع آبی حوضه های آبریز کشور می باشد (The World Fact book, 2015).

تبخیر و تعرق یکی از مؤلفه های اصلی بیلان آب هر منطقه و همچنین یکی از عوامل کلیدی برای برنامه ریزی صحیح و مناسب آبیاری به منظور بهبود راندمان آب مصرفی در اراضی کشاورزی می باشد. یکی از مشکلات اصلی در تعیین بیلان آبی و آب تجدیدپذیر حوضه های آبریز، تعیین تبخیر و تعرق می باشد، چرا که این متغیر هم به بارش و هم به آبیاری صورت گرفته در سطح حوضه وابسته است. همانگونه که اشاره شد استفاده از داده های نقطه ای تبخیر در سطح حوضه، به دلیل عدم دقت کافی محبوبیت چندانی نداشته و در عوض استفاده از مدل های مبتنی بر تصاویر ماهواره ای در اولویت قرار گرفته است.

در کشور چین به منظور ارزیابی مدل GLEAM برای تعیین تبخیر و تعرق واقعی تحقیقاتی صورت گرفت که این مدل برای ۸ محل که شامل شرایط محیطی مختلفی از قبیل خاک لخت، علفزار، جنگل، بوته زار و غیره بودند، در مقیاس روزانه، ماهانه و سالانه به کار گرفته شد و نتایج نشان داد که این مدل از دقت قابل قبولی برای تخمین تبخیر و تعرق واقعی برخوردار است. این مدل امتیاز بالایی برای تخمین تبخیر و تعرق در اکثر مناطق به جز منطقه جنگلی «زیشوانگ بانا» به دست آورد (Yang, 2017).

جوادیان و همکاران در تحقیقی به بررسی و مقایسه روش های برآورد تبخیر و تعرق واقعی در حوضه دریاچه ارومیه پرداختند؛ آن ها بیان داشتند روش هایی مانند استفاده از تبخیر و تعرق مرجع به دلیل نقطه ای بودن آن کاربرد چندانی ندارند. علاوه بر این مقایسه نتایج تبخیر و تعرق GLEAM با الگوریتم SEBAL در سال ۲۰۱۰ نشان داد که در اکثر ماه ها اختلاف زیادی بین این دو روش دیده می شود ولی در مجموع در مقیاس سالانه اختلاف کمی با یکدیگر دارند (Javadian et al., 2018).

بر طبق مطالعات بهنگام سازی بیلان منابع آب محدوده های مطالعاتی حوضه آبریز دریاچه ارومیه منتهی به سال آبی ۹۰-۸۹ که توسط شرکت مدیریت منابع آب ایران انجام گرفته است، حوضه به دو بخش مناطق کوهستانی و دشت ها تقسیم شده و برای هر ناحیه میزان تبخیر از بارش و به تبع آن بارش مؤثر برای هر ناحیه و همچنین کل حوضه محاسبه شده است؛ در نهایت آب تجدیدپذیر حوضه برای سال آبی ۹۰-۸۹ ارائه شده است (Iran Ministry of Energy, 2015).

برای محاسبه آب قابل مدیریت و بهره برداری در حوضه، نیاز به داده های بلند مدت زیست محیطی و تحلیل های اقتصادی- اجتماعی گسترده می باشد. یکی از مهم ترین مشکلات برای تعیین آب تجدیدپذیر حوضه، عدم وجود داده های بروز برداشت آب از منابع سطحی و زیرزمینی (علی الخصوص برداشت های کشاورزی) می باشد. همانگونه که اشاره شد، آخرین مطالعات صورت گرفته در زمینه تعیین آب تجدیدپذیر حوضه دریاچه ارومیه مربوط به سال آبی ۹۰-۸۹ بوده که مصارف آب ذکر شده در آن، برای استفاده در سال آبی ۹۵-۹۴، با توجه به رشد روزافزون بخش کشاورزی در حوضه، قابل اعتماد نمی باشد؛ از طرف دیگر یکی از مهمترین عوامل در راستای توسعه پایدار در زمینه استفاده از منابع آبی، آگاهی از مقدار آب تجدیدپذیر حوضه است. به همین منظور در تحقیق حاضر، با استفاده از مدل GLEAM، تبخیر و تعرق واقعی حوضه محاسبه شده و سپس تعرق ناشی از آبیاری یا به عبارت دیگر مجموع مصارف آبیاری در سال آبی مورد نظر تخمین زده شده است. پس از آن با داشتن مجموع مصارف و محاسبه بیلان آبی در بخش های مختلف حوضه، آب تجدیدپذیر حوضه محاسبه شده است. در حوضه دریاچه ارومیه با توجه به اینکه انتقال آبی به خارج از حوضه وجود ندارد، در عمل آب تجدیدپذیر واقعی و طبیعی مقداری برابر خواهند داشت که هدف این پژوهش نیز محاسبه همین مقدار است.

## ۲- روش انجام کار

برای حوضه دریاچه ارومیه آب تجدیدپذیر از تفاضل ورودی ها و خروجی ها محاسبه می گردد. ورودی های آبی حوضه دریاچه ارومیه بارش و آب های سطحی و زیرزمینی ورودی از سمت ترکیه را شامل می شود و خروجی ها نیز شامل تبخیر و خروجی آب زیرزمینی به سمت کشور ترکیه است (Iran Ministry of Energy, 2015).

بارش در این پژوهش مقادیر بارش کلیه ایستگاه های باران سنجی حوضه برای سال آبی ۹۵-۹۴ از سازمان هواشناسی جمهوری اسلامی ایران دریافت شده و سپس با استفاده از روش چندضلعی های تیسن<sup>۶</sup>

که در شکل ۱ نمایش داده شده است، میانگین بارش در هر ماه و همچنین مقدار سالانه آن محاسبه شده است.

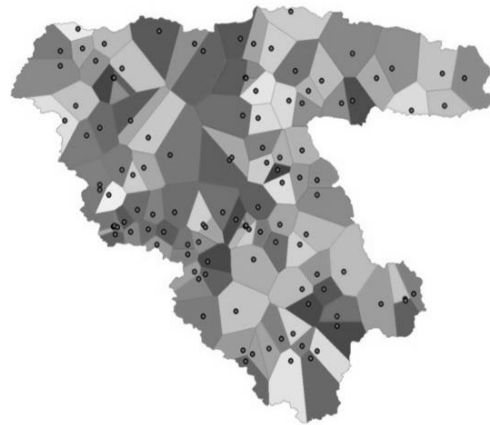


Fig. 1- Thiessen Polygons To Calculate Mean Precipitation

شکل ۱- چندضلعی‌های تیسسن برای محاسبه میانگین بارش

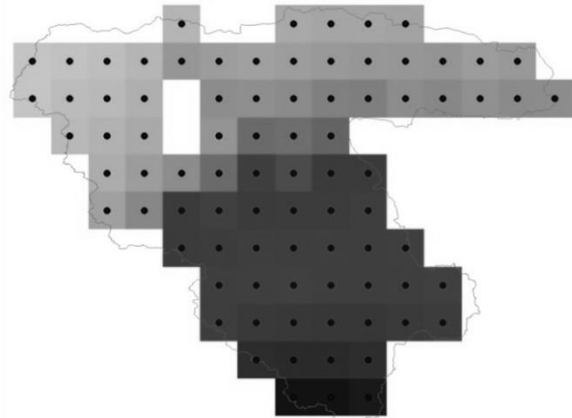


Fig. 2- Specified Cells of Urmia Lake Basin in GLEAM

شکل ۲- سلول‌های شاخص حوضه دریاچه ارومیه در مدل GLEAM

تبخیر و تعرق کل حوضه به منظور محاسبه میزان تبخیر و تعرق در حوضه نیز از مدل GLEAM که میزان تبخیر و تعرق واقعی را در مقیاس روزانه و با مقیاس مکانی ۰/۲۵ درجه فراهم می‌کند، استفاده شده است. این مدل اولین بار توسط (Miralles et al. 2011) ارائه شده است. با توجه به اینکه داده‌های آماری GLEAM بر اساس سال‌های میلادی و مقیاس روزانه ارائه شده است، لذا از داده‌های روزانه دو سال میلادی ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ جهت محاسبه داده‌های سال آبی ۱۳۹۴-۱۳۹۵ استفاده شده است.

GLEAM شامل یک سری از الگوریتم‌هایی است که اجزای تشکیل‌دهنده تبخیر واقعی (تبخیر و تعرق) را به صورت جداگانه تخمین

می‌زند. این اجزا شامل تعرق، تبخیر از خاک خشک، بخشی از بارش که به واسطه شاخه و برگ گیاهان به خاک نمی‌رسد<sup>۷</sup> و تبخیر می‌شود و نهایتاً تبخیر (تصعید) از سطح برف می‌باشند. علاوه بر این رطوبت خاک سطحی و ناحیه ریشه و همچنین پتانسیل تبخیر و شرایط تنش تبخیری را نیز از GLEAM می‌توان استخراج کرد. حداکثرسازی بازیابی اطلاعات مربوط به تبخیر در متغیرهای مشاهدات اقلیمی و محیطی تصاویر ماهواره‌ای اساس روش GLEAM است (Miralles, 2011).

در این مدل از روابط پرستلی و تیلور<sup>۸</sup> برای اندازه‌گیری تبخیر پتانسیل بر اساس مشاهدات تابش خالص سطحی و دمای نزدیک سطح زمین استفاده شده است. تخمین‌های تبخیر پتانسیل برای هر بخش از خاک به وسیله عامل‌های تنش تبخیری<sup>۹</sup> که بر پایه مشاهدات میکروویو نوری پوشش گیاهی (VOD)<sup>۱۰</sup> و تخمین رطوبت خاک در ناحیه ریشه استوار است، به تبخیر و تعرق واقعی<sup>۱۱</sup> تبدیل می‌شود. برای تصحیح خطاهای ناخواسته، مشاهدات رطوبت خاک سطحی به شکل پروفیل خاک شبیه‌سازی می‌شود. آبی که به واسطه شاخه و برگ گیاهان به زمین نمی‌رسد نیز به صورت جداگانه توسط مدل تحلیلی گش<sup>۱۲</sup> (Gash, 1979) محاسبه شده و در نهایت برای محاسبه تبخیر واقعی از سطح پهنه‌های آبی و مناطق پوشیده از یخ و برف نیز یک مدل تعمیم‌یافته از روابط پرستلی و تیلور استفاده می‌شود (Miralles, 2011).

این مدل مبنای فیزیکی داشته و اگرچه برخی پارامترهای ضمنی را نیز شامل می‌شود ولی این پارامترها از نتایج تحقیقات میدانی به دست آمده و بنابراین کالیبره کردن آن ضرورتی ندارد. داده‌های تبخیر تولید شده توسط مدل با موفقیت در پوشش‌های گیاهی و شرایط اقلیمی مختلف به وسیله مشاهدات آزمایشگاهی از ۴۳ ایستگاه FLUXNET، شبکه جهانی اندازه‌گیری شار هواشناسی ریز مقیاس<sup>۱۳</sup>، صحت‌سنجی شده‌اند (Martens, 2017).

GLEAM از محدوده وسیعی از مشاهدات سنجش‌ازدور به عنوان مبنای تخمین تبخیر واقعی روزانه در مقیاس جهانی و با رزولوشن مکانی ۰/۲۵ درجه استفاده می‌کند که برای این منظور این مدل از چهار واحد متصل به هم تشکیل شده است:

- مدول تأخیر بارش
- مدول آب-خاک
- مدول تنش
- مدول (بارش-تعرق) PT

تعیین آب تجدیدپذیر با استناد به داده‌های آماری  
تعیین آب تجدیدپذیر با استناد به نتایج مدل GLEAM

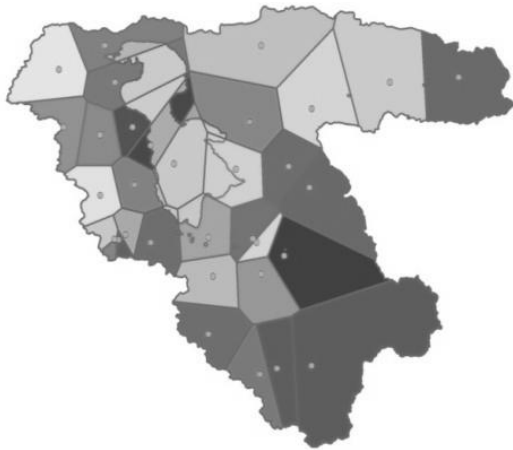


Fig. 3- Thiessen Polygons to Calculate Evapotranspiration of The Basin

شکل ۳- چندضلعی‌های تیسن برای محاسبه تبخیر-تعرق  
حوضه آبریز دریاچه ارومیه



Fig. 4- Snipped Thiessen Polygons Covering The Urmia Lake

شکل ۴- چندضلعی‌های تیسن برش خورده دریاچه ارومیه

### ۳- نتایج و تحلیل نتایج

در این تحقیق محاسبات در سه مرحله تخمین اولیه آب تجدیدپذیر حوضه، حل معادله بیلان برای کل حوضه و محاسبه آب تجدیدپذیر حوضه صورت گرفته است.

#### ۳-۱- تخمین اولیه آب تجدیدپذیر حوضه

عوامل مؤثر در محاسبه آب تجدیدپذیر حوضه در جدول ۱ ارائه شده است، در ردیف اول مقادیر بارش کل حوضه بر اساس میلیون

این مدل برای سه نوع پوشش زمین مختلف دارای ویژگی‌های خاص خودشان فرمول‌بندی شده است:

زمین‌های پوشیده شده با درختان و پوشش گیاهی بلند  
زمین‌های پوشیده شده با پوشش گیاهی کوتاه  
زمین لخت (Martens, 2017).

در این تحقیق، از آخرین نسخه v3.2a GLEAM استفاده شده است که پایگاه داده‌ای در مقیاس جهانی و برای دوره آماری ۱۸۹۰ تا ۲۰۱۷ ارائه می‌کند. این مدل بر مبنای آنالیز تابش خالص و دمای هوا، ترکیبی از داده‌های اندازه‌گیری شده، آنالیز داده‌های ماهواره‌ای بارش و پوشش گیاهی توسعه داده شده است.

تبخیر از دریاچه برای تعیین میزان تبخیر از سطح دریاچه ارومیه، از دو روش استفاده شده است؛ در روش اول برای محاسبه تبخیر و تعرق واقعی حوضه از داده‌های GLEAM استفاده شده است. این داده‌ها که از آنالیز نقشه‌های ماهواره‌ای استخراج شده‌اند برای کل خشکی‌های دنیا موجود بوده و حوضه آبریز دریاچه ارومیه شامل ۸۶ سلول می‌شود (شکل ۲). لازم به ذکر است که این مدل توانایی محاسبه تبخیر از سطح آب‌های آزاد وسیع را نداشته و تنها در خشکی‌ها و نهایتاً نواحی ساحلی دارای آمار می‌باشد؛ به همین دلیل از ۸۶ سلول موجود، دو سلول آن را به‌عنوان دریاچه ارومیه شناخته و فاقد آمار تبخیر بوده است. به همین دلیل، برای محاسبه تبخیر از دریاچه، داده‌های تبخیر از سطح آزاد آب ده سلول اطراف آن که توسط مدل برآورد شده بود، میانگین‌گیری شده و مقدار بدست آمده به هر سلول اختصاص داده شده است.

در روش دوم محاسبات تبخیر از سطح دریاچه، با استفاده از داده‌های تبخیر از تشتک ارائه‌شده توسط سازمان هواشناسی، ابتدا به روش چندضلعی‌های تیسن منطقه تأثیر هر ایستگاه تبخیرسنجی و به تبع آن تبخیر هر ناحیه مشخص می‌شود (شکل ۳)، سپس با استفاده از نرم‌افزار ARCMAP نواحی موجود در محدوده دریاچه برش داده شده و مساحت هر کدام مشخص می‌شود (شکل ۴)، سپس با میانگین‌گیری وزنی از نواحی موجود تبخیر کلی دریاچه محاسبه شده و با توجه به اینکه تبخیر از آب شور کمتر از آب شیرین است، مقادیر به‌دست آمده در ضریب ۰/۷ ضرب شده است (Iran Ministry of Energy, 2015).

در این پژوهش آب تجدیدپذیر حوضه و معادلات بیلان به سه روش محاسبه شده است:

تخمین آب تجدیدپذیر با استناد به مطالعات بهنگام‌سازی شرکت مدیریت منابع آب ایران

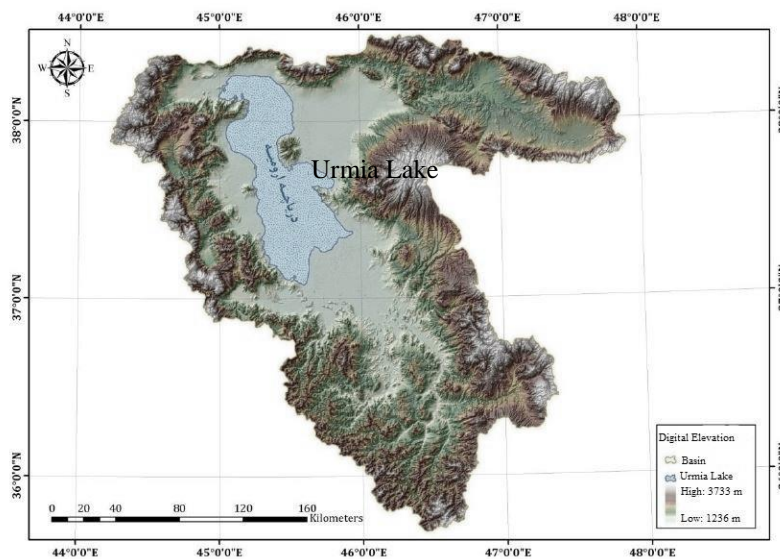
زیرزمینی و رواناب می‌شود درحالی‌که در ارتفاعات به دلیل کشاورزی و تعرق کمتر، ۶۷/۲۸٪ بارش تبخیر شده و ۳۲/۷۲٪ آن تبدیل به رواناب و یا نفوذ عمقی می‌شود. حال اگر از این مقادیر میانگین وزنی بگیریم می‌توان نتیجه گرفت که ۷۴٪ بارش در کل حوضه به صورت تبخیر و تعرق از دسترس خارج شده و تنها ۲۶٪ آن صرف تغذیه آبخوان‌ها و رواناب می‌شود (Iran Ministry of Energy, 2015).

در این تحقیق، با توجه به نتایج مطالعات بیلان شرکت مدیریت منابع آب ایران، فرض اینکه تنها ۲۶٪ بارش صرف تغذیه آب‌های زیرزمینی و رواناب می‌شود صحیح در نظر گرفته شده و در ادامه با روش آزمون و خطا، مقدار دقیق آن مشخص خواهد شد. در ردیف ۶ جدول نیز تبخیر و تعرق ناشی از بارش بر همین اساس محاسبه شده است، یعنی ۷۴٪ کل بارش به‌عنوان تبخیر در نظر گرفته شده است (مطالعات بهنگام‌سازی بیلان منابع آب محدوده‌های مطالعاتی حوضه دریاچه ارومیه). در ردیف ۷ جدول آب تجدیدپذیر یا آب در دسترس حوضه محاسبه شده است. این مقدار برای حوضه دریاچه ارومیه در سال آبی ۹۴-۹۵ معادل ۵۵۹۱/۶۵ میلیون مترمکعب بوده است.

$$NRW = P + SW_{in} + GW_{in} - ET - SW_{out} - GW_{out} \quad (1)$$

در رابطه فوق NRW آب تجدیدپذیر طبیعی (آب در دسترس)، P حجم بارش روی کل حوضه،  $SW_{in}$  آب سطحی ورودی به حوضه،  $GW_{in}$  آب زیرزمینی ورودی به حوضه، ET تبخیر و تعرق ناشی از بارش،  $SW_{out}$  آب سطحی خروجی از حوضه و  $GW_{out}$  آب زیرزمینی خروجی از حوضه می‌باشد.

مترمکعب ارائه شده است. لازم به ذکر است که داده‌های بارش حوضه با استفاده از روش چندضلعی‌های تیسن تبدیل به یک عدد واحد که نماینده کل حوضه می‌باشد، شده و با ضرب این عدد در مساحت حوضه، مقدار حجم بارش محاسبه شده است. در سال آبی مذکور میانگین بارش در حوضه دریاچه ارومیه ۳۸۸/۳ میلی‌متر بوده است، حال آنکه این میانگین در دوره آماری ۷۵-۷۴ الی ۹۲-۹۱ برابر ۳۱۷ میلی‌متر است که افزایش ۲۲ درصدی را نسبت به میانگین بلندمدت نشان می‌دهد. در ردیف دوم و سوم این جدول مقادیر آب سطحی و زیرزمینی ورودی از سمت ترکیه بر اساس محاسبات بیلان شرکت مدیریت منابع آب ایران در سال ۹۰ ارائه شده است. با توجه به بسته بودن حوضه آبریز دریاچه ارومیه، تبادل آب سطحی و زیرزمینی در مرزها ناچیز است و تنها تبدلات آبی در قسمتی از حوضه که در خاک ترکیه واقع شده است رخ می‌دهد. مقادیر آب سطحی و زیرزمینی خروجی از حوضه به سمت ترکیه در ردیف ۴ و ۵ جدول ارائه شده است؛ همان‌گونه که مشخص است، آب سطحی خروجی وجود نداشته و مقدار آب زیرزمینی خروجی نیز بسیار ناچیز است. حوضه دریاچه ارومیه که مشترک بین سه استان آذربایجان غربی و آذربایجان شرقی و کردستان می‌باشد و همان‌گونه که در شکل ۵ مشخص است از دو بخش تشکیل شده است؛ ارتفاعات به مساحت ۳۶۸۹۲/۲ کیلومترمربع که ۷۱/۸٪ و دشت‌ها و پهنه آبی دریاچه و حواشی آن به مساحت ۱۴۹۲۳ کیلومترمربع که ۲۸/۲٪ از مساحت کل حوضه آبریز را تشکیل می‌دهند. در محدوده دشت‌ها و پهنه آبی ۹۱/۰۸٪ بارش‌ها به صورت تبخیر و تعرق از دسترس خارج شده و تنها ۸/۹۲٪ صرف تغذیه آب‌های



**Fig. 5- Urmia Lake Basin**  
شکل ۵- حوضه آبریز دریاچه ارومیه

### ۳-۲- معادله بیلان برای حوضه دریاچه ارومیه

دریاچه نیز با ضرب این مقدار در افت تراز آب در ردیف ۸ جدول ۳ محاسبه شده است.

در تحقیق حاضر، با توجه به شکل ۶، معادلات بیلان برای سه حالت نوشته شده است:

#### معادله بیلان برای دریاچه

$$P_{lake} + Q_{in\ lake} = E_{lake} + \Delta V_{lake} \quad (2)$$

که  $P_{lake}$  حجم بارش روی دریاچه،  $Q_{in\ lake}$  حجم آب ورودی به دریاچه،  $E_{lake}$  تبخیر از دریاچه و  $\Delta V_{lake}$  نیز تغییرات حجم آب دریاچه در سال آبی مورد مطالعه می‌باشد.

از حل معادله فوق مقدار  $Q_{in\ lake}$  معادل ۱۷۲۴/۲۵ میلیون مترمکعب محاسبه شده است. لازم به ذکر است که از آنجاکه تبخیر از دریاچه از دو روش محاسبه شده است، مقدار نیاز واقعی دریاچه در سال آبی مذکور نیز دو مقدار داشته که در ردیف‌های ۹ و ۱۰ جدول ۳ محاسبه شده است.

#### معادله بیلان برای کل حوضه (شامل دریاچه)

برای محاسبه میزان برداشت از پتانسیل آبی حوضه نیز می‌توان از رابطه ۳ استفاده کرد:

$$P_{total} + Q_{in} - Q_{out} - ET_{total} + \Delta V_{lake} = \Delta V_{potential} \quad (3)$$

رابطه که در رابطه فوق  $ET_{total}$  تبخیر و تعرق واقعی کل حوضه و  $\Delta V_{potential}$  برداشت از پتانسیل آبی حوضه می‌باشد.

در تحقیق حاضر برای محاسبه تبخیر و تعرق واقعی حوضه از داده‌های مدل GLEAM نیز استفاده شده است. این مدل توانایی محاسبه تبخیر از سطح آب‌های آزاد وسیع را نداشته و تنها در خشکی‌ها و نهایتاً نواحی ساحلی دارای آمار می‌باشد؛ به همین دلیل از ۸۶ سلول موجود، دو سلول آن را به‌عنوان دریاچه ارومیه شناخته و فاقد آمار تبخیر است. برای محاسبه تبخیر از دریاچه، داده‌های تبخیر از سطح آب آزاد ده سلول اطراف آن میانگین‌گیری شده و مقدار حاصل به هر سلول اختصاص داده شده است. به‌این‌ترتیب تبخیر از دریاچه ارومیه محاسبه شده که معادل ۲۰۴۶/۶۲ میلیون مترمکعب می‌باشد که در ردیف ۵ جدول ۳ ارائه شده است. روش دیگری که می‌توان تبخیر از سطح دریاچه را محاسبه نمود استفاده از داده‌های تبخیر از تشتک ارائه شده توسط سازمان هواشناسی است. تبخیر محاسبه شده از این روش ۵۴۲۰/۹۹ میلیون مترمکعب می‌باشد که در ردیف ۶ جدول ارائه شده است. دلیل اختلاف این روش با GLEAM شاید این باشد که در این روش کل مساحت دریاچه در تراز نرمال مدنظر قرار گرفته شده است؛ حال آنکه قسمت عمده‌ای از دریاچه خشک بوده و عملاً تبخیر کمتری نسبت به سطح آب آزاد دارد.

بر اساس آمار نوسان سطح آب دریاچه ارائه شده توسط سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان غربی که در جدول ۲ ارائه شده است، تراز آب دریاچه ارومیه طی سال آبی ۱۳۹۵-۱۳۹۴، حدود ۲۲ سانتیمتر افت داشته است. اگر میانگین سطح دریاچه را محاسبه کرده و در ارتفاع بارش ضرب کنیم، حجم بارش روی دریاچه مشخص می‌شود که این مقدار در ردیف ۲ جدول ۳ ارائه شده است، همچنین حجم افت آب

Table 1- Estimation of Basin's Natural Renewable Water (NRW)

جدول ۱- تخمین آب تجدید پذیر حوضه

row	character		Annual (mcm)
1	precipitation	PRECIPITATION	20099.01947
2	Surface water input	SW INPUT	178.81
3	Groundwater input	GW INPUT	204.3
4	Surface water output	SW OUTPUT	0
5	Groundwater output	GW OUTPUT	17.2
6	Actual ET without irrigation impact	0.74 * precipitation	14873.27
7	NRW	1+2+3-4-5-6	5591.65

Table 2- Altitude and Area of the Lake

جدول ۲- تراز و سطح دریاچه

Lake area (km <sup>2</sup> )	Water level (m)	Date
2047.49	1270.54	2015/09/23
1783.47	1270.32	2016/09/23

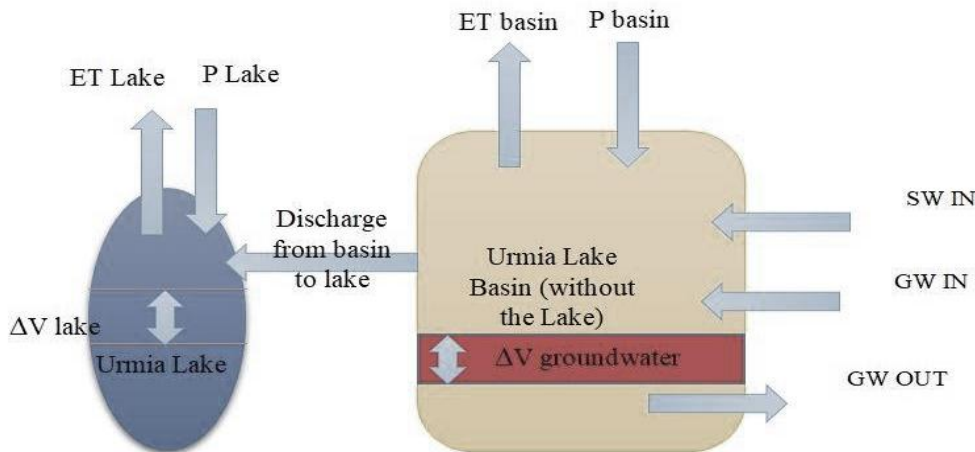


Fig. 6- Water Resources of Urmia Lake Basin  
 شکل ۶- منابع آبی حوضه آبریز دریاچه ارومیه

$Q_{in\ real} + \Delta V_{potential}$   
 که در رابطه فوق  $\Delta V_{potential}$  حجم تخلیه از پتانسیل آبی حوضه،  $Q_{Agriculture}$  حجم آب مصرف شده در کشاورزی،  $Q_{Industries}$  حجم آب مصرف شده در صنعت و  $Q_{Domestic}$  حجم آب مصارف شرب می باشد.

آب تجدیدپذیر حوضه محاسبه شده بر اساس رابطه ۶ در ردیف های ۲۱ و ۲۲ جدول ۳ ارائه شده است. در رویکرد دوم، آب تجدیدپذیر حوضه برابر است با تفاضل آبهای ورودی و خروجی در حوضه. در این حالت معادله بیلان به شکل زیر بیان می شود:

$$AW = P_{total} + Q_{in} - Q_{out} - P_{un-effective} \quad (7)$$

که در رابطه فوق  $P_{un-effective}$  درصدی از بارش است که به صورت تبخیر و تعرق از دسترس خارج شده و تاثیری در تغذیه آبهای زیرزمینی و ایجاد رواناب ندارد؛ همانگونه که اشاره شد، با توجه به نتایج تحقیقات صورت گرفته توسط سازمان مدیریت منابع آب ایران، ۷۴٪ بارش به صورت تبخیر و تعرق از دسترس خارج می شود. در تحقیق حاضر و با روش آزمون و خطا، مقدار دقیق این عدد ۷۳/۰۶٪ محاسبه شده است، بر این اساس و با توجه به رابطه ۷، مقدار آب تجدیدپذیر حوضه ۵۷۸۰/۵۹ میلیون متر مکعب محاسبه شد که در ردیف ۲۳ جدول ۳ ارائه شده است.

همانگونه که در ردیف ۱۴ جدول مشاهده می شود، مقدار کل مصرف آب کشاورزی بر اساس داده های تاریخی در سال آبی ۹۵-۹۴ معادل ۴۳۰۲/۹ میلیون مترمکعب می باشد. حال اگر ردیف ۱۸ جدول ۳ از ردیف ۳ کسر گردد، یا به عبارت دیگر تبخیر و تعرق محاسبه شده ناشی از بارش از تبخیر و تعرق واقعی حوضه که به وسیله GLEAM محاسبه شده و شامل تعرق ناشی از آبیاری می باشد کسر گردد، تعرق

این مقدار برای سال آبی مورد نظر ۱۵۴۱/۰۲ میلیون متر مکعب بوده و در ردیف ۱۱ جدول ۳ محاسبه شده است؛ از سوی دیگر با توجه به ناچیز بودن حجم مخازن سطحی ذخیره آب در مقایسه با حجم مخازن زیرزمینی و حجم دریاچه، می توان نتیجه گرفت که این حجم از برداشت از پتانسیل آبی حوضه توسط افت سطح آب زیرزمینی و همچنین افت سطح آب دریاچه جبران شده است:

$$\Delta V_{potential} = \Delta V_{lake} + \Delta V_{GW} \quad (4)$$

که در رابطه فوق  $\Delta V_{GW}$  حجم آب برداشت شده از سفره های زیرزمینی بوده و در ردیف ۱۲ جدول ۳ نشان داده شده است.

### معادله بیلان برای حوضه (بدون دریاچه)

برای اطمینان از صحت محاسبات، می توان معادله بیلان را برای خشکی های حوضه برقرار کرد:

$$P_{basin} + Q_{in} - Q_{out} + ET_{basin} = Q_{to\ lake} + \Delta V_{GW} \quad (5)$$

که در رابطه فوق،  $P_{basin}$  بارش روی خشکی های حوضه،  $ET_{basin}$  تبخیر و تعرق واقعی از خشکی های حوضه و  $Q_{to\ lake}$  نیز آبی است که از حوضه به دریاچه ریخته شده است، همان طور که در ردیف ۱۳ جدول ۳ مشاهده می شود، این مقدار دقیقاً با مقدار  $Q_{in\ lake}$  برابر است.

### ۳-۳- محاسبه آب تجدیدپذیر حوضه دریاچه ارومیه

برای محاسبه آب تجدیدپذیر حوضه، دو رویکرد می توان متصور بود؛ در حالت اول، آب تجدیدپذیر برابر است با مجموع مصارف کشاورزی، شرب، صنعت و آب ورودی به دریاچه به علاوه آب مصرف شده از منابع آب تجدیدپذیر حوضه. در این حالت می توان معادله بیلان را به صورت زیر نوشت:

$$AW = Q_{Agriculture} + Q_{Industries} + Q_{Domestic} + \quad (6)$$



**Table 3- Water Balance Equations for Urmia Lake**

جدول ۳- معادله بیلان برای دریاچه ارومیه

Row	Parameter	(MCM) Annual
1	P(basin+lake) (MCM)	20099.02
2	P LAKE (MCM)	743.77
3	P(basin-lake) (MCM)	19355.24
4	ET (basin+lake) GLEAM (MCM)	21584.55
5	E lake (GLEAM) (MCM)	2046.62
6	E lake (data) (MCM)	5421.00
7	ET (basin-lake) GLEAM (MCM)	19537.93
8	LAKE DELTA V (MCM)	-421.40
9	Q IN REAL GLEAM (MCM)	1724.25
10	Q IN REAL DATA (MCM)	5098.62
11	DELTA V POTENTIAL(BASIN+LAKE) (MCM)	-1541.02
12	DELTA V GROUNDWATER (MCM)	-1119.62
13	Q TO LAKE (MCM)	1724.25
14	IRRIGATION WATER data (MCM) <sup>14</sup>	4302.90
15	INDUSTRIAL WATER (MCM) <sup>14</sup>	56.90
16	DOMESTIC WATER (MCM) <sup>14</sup>	498.49
17	IRRIGATION WATER GLEAM (MCM)	4853.58
18	P un-effective (MCM)	14684.34
19	Basin Consumption (GLEAM) (MCM)	5408.97
20	Basin Consumption (data) (MCM) <sup>14</sup>	4858.29
21	NRW GLEAM (MCM)	5592.19
22	NRW DATA (MCM)	8415.89
23	FINAL NRW (MCM)	5780.59

لازم به ذکر است که همان‌گونه که قبلاً اشاره شد، این‌گونه فرض شده است که تنها ۲۶٪ از بارش صرف تغذیه آب‌های زیرزمینی و رواناب شده و ۷۴٪ باقیمانده صرف تبخیر و تعرق شده است؛ در این تحقیق با استفاده از روش آزمون و خطا مقادیر دقیق این ضرایب تعیین شد، مقدار تعیین شده برای بارش مفید ۲۶/۹۴٪ بود که در نتیجه ۷۳/۰۶٪ از کل بارش‌ها نیز صرف تبخیر و تعرق می‌شود. لازم به ذکر است که رابطه ۷، که به عنوان رابطه بیلان اصلی برای تعیین آب تجدیدپذیر در مقیاس حوضه یا کشور مورد استفاده قرار می‌گیرد، وابستگی مستقیم به میزان این ضریب دارد؛ بدین معنا که هر چه این ضریب بزرگتر باشد، بخش بزرگتری از بارش به صورت تبخیر و تعرق از دسترس خارج می‌شود. از طرف دیگر، بر اساس رابطه ۶، آب تجدیدپذیر حوضه برابر است با مجموع مصارف کشاورزی، شرب، صنعت و نیاز آبی دریاچه به علاوه مقدار برداشت از پتانسیل آبی حوضه؛ در روش استفاده شده در این تحقیق، مصرف آب کشاورزی برآورد شده نیز وابستگی معکوس به این ضریب دارد، بدان معنا که هر چه این

ناشی از آبیاری یا به عبارت دیگر مصرف آب کشاورزی مشخص می‌شود. این عدد که در ردیف ۱۷ جدول ۳ ارائه شده است، ۴۸۵۳/۵۸ میلیون مترمکعب می‌باشد که حدود ۵۵۰ میلیون مترمکعب بیشتر از حجم آبیاری محاسبه شده است، دلیل این اختلاف می‌تواند به روز نبودن مقادیر داده‌های مصرف آب در حوضه باشد. در ردیف‌های ۱۵ و ۱۶ نیز مصارف شرب و صنعت برای سال آبی ۹۵-۹۴ ارائه شده است که از جمع این مقادیر مصرف آب کل حوضه محاسبه می‌شود. اگر برای محاسبه آب کشاورزی به داده‌های تاریخی اتکا شود، مصرف آب حوضه معادل ۴۸۵۸/۲۹ میلیون مترمکعب خواهد بود. در حالی که اگر از نتایج GLEAM استفاده شود مصرف آب حوضه معادل ۵۴۰۸/۹۷ میلیون مترمکعب خواهد بود. آب تجدیدپذیر محاسبه شده برای حوضه دریاچه ارومیه با اتکا به داده‌های آماری برابر ۸۴۱۵/۸۹ میلیون مترمکعب و با استناد به نتایج مدل GLEAM برابر ۵۵۹۲/۱۹ میلیون مترمکعب محاسبه شده است.

## پی‌نوشت‌ها

- 1- Renewable Water
- 2- Natural Renewable Water
- 3- Actual Renewable Water
- 4- Manageable Renewable Water
- 5- Xishuangbanna
- 6- Thiessen Polygons
- 7- Interception Loss
- 8- Priestly Taylor Equations
- 9- Evaporative Stress Factor
- 10- Vegetation Optical Depth
- 11- Actual Evaporation
- 12- Gash Analytical Model
- 13- FLUXNET Global Network of Micrometeorological Flux Measurements

۱۴- مطالعات بهنگام‌سازی بیلان منابع آب محدوده‌های مطالعاتی حوضه دریاچه ارومیه

## ۵- مراجع

- Delju A, Ceylan A, Piguet E, Rebetez M (2013) Observed climate variability and change in Urmia Lake Basin, Iran. *Theoretical and Applied Climatology* 111:285-296
- Factbook, The World (2015) Total renewable water resources. The World Factbook Archived from The Original on 2015-06-12. Retrieved 2015-06-20
- Fathian F, Morid S, Kahya E (2015) Identification of trends in hydrological and climatic variables in Urmia Lake basin, Iran. *Theoretical and Applied Climatology* 119(3-4):443-464
- Gash J H C (1979) An analytical model of rainfall interception by forests. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 105(443):43-55
- Iran Ministry of Energy (2015) Macro planning bureau. The National Water Master Plan Study in the Urmia Lake Basin Area. fifth volume: Water Resources Evaluation, Year (2010) (In Persian)
- Javadian M, Kordi F, Tajrishi M (2018) Comparing different methods of actual evapotranspiration estimation in Urmia Lake Basin. 11th International Congress of Civil Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran (In Persian)
- Jean Margat R (1996) FAO/BRGM. Les ressources en eau: Manuels & méthodes n° 28. 148 pp
- Martens B, Gonzalez Miralles D, Lievens H, Van Der Schalie R, De Jeu R A, Fernández-Prieto D, Verhoest N (2017) GLEAM v3: Satellite-based land evaporation and root-zone soil moisture. *Geoscientific Model Development* 10(5):1903-1925

ضریب بزرگتر باشد، مقدار آب کشاورزی برآورد شده، مقداری کوچکتر خواهد بود. لذا با استفاده از روش آزمون و خطا، مقدار دقیق این ضریب به گونه‌ای مشخص شد که آب تجدیدپذیر محاسبه شده با استفاده از رابطه ۶، کمترین اختلاف را با مقدار تخمینی با استفاده از رابطه ۱ داشته باشد؛ سپس با اعمال ضریب جدید در رابطه ۷، مقدار نهایی آب تجدیدپذیر حوضه محاسبه شد. بر این اساس مقدار نهایی آب تجدیدپذیر طبیعی حوضه برابر ۵۷۸۰/۵۹ میلیون متر مکعب برآورد شده است.

## ۴- جمع‌بندی

با توجه به محاسبات صورت‌گرفته و نتایج استخراج شده از مدل GLEAM، آب تجدیدپذیر واقعی حوضه دریاچه ارومیه برای سال آبی ۹۴-۹۵ معادل ۵۷۸۰/۵۹ میلیون مترمکعب بوده است؛ این در حالی است که در سال آبی ذکرشده میانگین بارش معادل ۳۸۸/۳ میلی‌متر بوده که افزایش ۲۲ درصدی را نسبت به میانگین دوره ۱۳۹۲-۱۳۷۴ نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که گزارش بیلان شرکت مدیریت منابع آب ایران برای سال آبی ۹۰-۸۹، این عدد را ۵۴۵۳/۸۲ میلیون مترمکعب و ستاد احیای دریاچه ارومیه کل پتانسیل آب تجدیدپذیر حوضه را ۷۰۲۴ و آب تجدیدپذیر قابل برنامه‌ریزی و مصرف را ۳۱۶۰ میلیون مترمکعب گزارش نموده است.

با این وصف، در حالت اول که به داده‌های آماری موجود اتکا شده است، حوضه ۵۷/۷٪ از ظرفیت آب تجدیدپذیر خود را صرف مصارف کشاورزی، شرب و صنعت کرده و در حالت دوم و با استناد به نتایج مدل GLEAM حوضه ۹۳/۵٪ از ظرفیت آب تجدیدپذیر خود را برای موارد فوق، مصرف کرده است. شاخص کمیسیون توسعه پایدار سازمان ملل برای استفاده از آب تجدیدپذیر از صفر تا ۲۰ درصد را ایمن، از ۲۰ تا ۴۰ درصد را قابل‌قبول و بیش از ۴۰ درصد را بسیار پرخطر دانسته است. از طرف دیگر حوضه ۱۵۴۱/۰۲ میلیون مترمکعب از پتانسیل آبی خود را در سال آبی مورد مطالعه استفاده کرده که از این مقدار تنها ۴۲۱/۴ میلیون مترمکعب آن مربوط به افت سطح آب در دریاچه بوده است، از آنجا که حجم مخازن سطحی حوضه در مقایسه با حجم دریاچه و حجم مخازن زیرزمینی بسیار ناچیز است، می‌توان نتیجه گرفت که ۱۱۱۹/۶۲ میلیون مترمکعب باقیمانده از سفره‌های آب زیرزمینی تأمین شده که ادامه این روند برداشت در طول سالیان متمادی منجر به افت تراز آب زیرزمینی و افت تراز آب دریاچه ارومیه شده است. نکته حائز اهمیت این است که اگر میزان برداشت از پتانسیل آبی حوضه را نیز به مصارف اضافه کنیم، در این حالت حوضه ۱۲۰٪ منابع آب تجدیدپذیر خود را استفاده کرده است.

Ulrp, Urmia Lake Restoration Program (2015) Urmia lake restoration plan; challenges and solutions. Package I (In Persian)

Yang X, Yong B, Ren L, Zhang Y, Long D (2017) Multi-scale validation of GLEAM evapotranspiration products over China via ChinaFLUX ET measurements. International journal of Remote Sensing 38(20):5688-5709

Miralles D G, Holmes T R H, De Jeu R A M, Gash J H C, Meesters A G C A, Dolman A J (2011) Global land-surface evaporation estimated from satellite-based observations. Hydrology and Earth System Science 15:453:469

Moghaddasi M, Morid S, Delavar M, Hosseini Safa H (2019) Challenges and compromises of agricultural water supply and environmental water right in the lake Urmia Basin. Journal of Iran-Water Resources Research 15(2):30-40 (In Persian)