



مدیریت آب و آبیاری

دوره ۱۲ ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۴۰۱

صفحه‌های ۱۸۵-۱۷۱

DOI: 10.22059/jwim.2022.331905.937

مقاله پژوهشی:

برآورد حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی پایین دست سد حسنلو با استفاده از الگوریتم METRIC

فاطمه کردی^۱، حسین یوسفی^{۲*}، مسعود تاجری^۳

۱. کارشناسی ارشد سنجش از دور، مرکز تحقیقات سنجش از دور (RSRC)، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران.

۲. دانشیار، گروه انرژی های نو و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۳. استاده مدیر مرکز تحقیقات سنجش از دور (RSRC)، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۱۱/۱۷

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۸/۱۰

چکیده

توسعه بی‌رویه اراضی کشاورزی، کاشت محصولات با نیاز آبی بالا در سطح حوضه آبخیز دریاچه ارومیه و هم‌چنین راندمان پایین آبیاری سبب کاهش چشم‌گیر سطح دریاچه در سال‌های اخیر شده است. بنابراین برآورد مصرف آب در بخش کشاورزی می‌تواند در مدیریت صحیح بخش کشاورزی و مدیریت منابع آب کارآمد واقع شود. در این مطالعه با استفاده از الگوریتم METRIC و تصاویر ماهواره Landsat 8 و MODIS مقادیر تبخیرتعرق واقعی برای بخشی از حوضه آبخیز دریاچه ارومیه - اراضی پایاب سد حسنلو - برای سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ شمسی تخمین زده شده است. سپس با در نظر گرفتن بارش در ایستگاه سینوپتیک نقده به‌عنوان نماینده بارش در منطقه مورد مطالعه، میزان آب آبیاری مصرف‌شده در بخش کشاورزی در پایین‌دست سد حسنلو تخمین زده شد و با مقدار آب تخصیص داده‌شده به این سد و حجم آب تخمین زده‌شده توسط سامانه WaPOR مقایسه شد. براساس نتایج به‌دست‌آمده از الگوریتم METRIC مقادیر تبخیر و تعرق محاسبه‌شده از تصاویر ماهواره Landsat هشت، ۴۶۸ و ۳۱۵ میلی‌متر و از تصاویر ماهواره MODIS، ۲۴۰ و ۲۰۸ میلی‌متر برای سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ محاسبه شده است. میزان مصرف تخمینی از الگوریتم METRIC اختلاف قابل‌توجهی با مقادیر تخصیص داده‌شده و سامانه WaPOR دارد به طوری که تقریباً در تمام ماه‌های دو سال مذکور، مقادیر برآوردشده بسیار بیش‌تر از مقادیر آمار زمینی و سامانه WaPOR است. این اختلاف میان METRIC با آمار زمینی و با سامانه WaPOR در منطقه مطالعاتی به ترتیب برابر ۲۳ و ۲۶/۶ میلیون مترمکعب محاسبه شده است.

کلیدواژه‌ها: تبخیر و تعرق، دریاچه ارومیه، سد حسنلو، METRIC.

Estimation of water consumption in the downstream agricultural area of Hasanlu Dam using METRIC algorithm

Fatemeh Kordi¹, Hossein Yousefi^{2*}, Masoud Tajrishi³

1. M.Sc. of Remote Sensing, Researcher of Remote Sensing Research Center (RSRC), Sharif university of Technology, Tehran, Iran.

2. Associate professor, Department of Renewable Energies and Environment, Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran.

3. Professor, Director of Remote Sensing Research Center (RSRC), Faculty of Civil Engineering, Sharif university of Technology, Tehran, Iran.

Received: November 01, 2021

Accepted: February 06, 2022

Abstract

Irregular development of agricultural areas, crops planting with high water need in the Urmia Lake Basin and also low irrigation efficiency have caused a significant reduction in the lake surface in recent years, so estimating water consumption in agriculture can be efficient in both accurate agriculture management and water resources management. In this context, by using METRIC algorithm and Landsat 8 and MODIS satellite images, the actual evapotranspiration have been estimated for a part of the Urmia Lake basin - Hasanlu dam downstream-in the year 2015 and 2016. Therefore, by considering the precipitation at Naghadeh station as the representative of precipitation in the study area, the valoum of irrigation water used in the agricultural area downstream of Hasanlu Dam was estimated. Then, the valoum of water allocated to this dam and estimation water volume was compared to the WaPOR product. The estimated values for Landsat 8 are 468 and 315 mm and for MODIS, 240 and 208 mm for 2015 and 2016, respectively. The estimated usage of the METRIC algorithm is significantly different from the allocated values and the WaPOR system. The estimated values are far higher than the ground statistics and the WaPOR system for nearly all months of the two years. The difference between METRIC and ground statistics and WaPOR product in the study area is calculated equal 23 and 26.6 million cubic meters, respectively.

Keywords: Evapotranspiration, Hasanlu Dam, METRIC, Urmia Lake Basin.

مقدمه

براساس گزارش FAO (2012) در حدود ۷۰ درصد از آب موجود در سطح جهان در بخش کشاورزی، ۱۱ درصد آن در بخش شهری و ۱۹ درصد در سیستم‌های صنعتی مصرف می‌شود، بنابراین بخش کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب در جهان است (Frenken & Kiersch, 2011). افزایش جمعیت و نیاز به افزایش ۵۰ درصدی تولیدات این بخش تا سال ۲۰۳۰ نشان‌دهنده اهمیت آب مصرفی در بخش کشاورزی است. یکی از ابزارها و شاخص‌های کلیدی در برنامه‌ریزی‌های کلان مربوط به تأمین، تخصیص و مصرف اصولی از آب در بخش‌های مختلف از جمله کشاورزی، تخمین و یا تعیین مقدار آب در دسترس می‌باشد (Parris, 2010).

تبخیر و تعرق واقعی یکی از مهم‌ترین ترم‌های بیلان آب است که بیش از ۶۰ درصد بارش سطحی زمین را به اتمسفر برمی‌گرداند (Oki & Kanac, 2006)، لذا در تولید ابر تأثیر به‌سزایی دارد. تبخیر و تعرق (ET) تنها شار آبی است که بین چرخه آب زمین و اتمسفر ارتباط برقرار می‌کند. به‌عبارتی، تبادل آب و انرژی نامحسوس اتمسفر- زمین را اندازه می‌گیرد و رابط اصلی بین چرخه آب جهانی و انرژی است (Wetherald & Manabe, 1988). هم‌چنین این پارامتر نقشی اساسی در مدیریت منابع کشاورزی، طبیعی و طرح‌ریزی پاسخ‌های ممکن در برابر تغییرات اقلیمی ایفا می‌کند (Mu et al., 2007; Mu et al., 2011).

مدل‌های تخمین تبخیر/تعرق، با در نظر گرفتن دو فاکتور تبخیر و تعرق به‌صورت مجموعه واحد و یا جداگانه، به دو دسته کلی تک منبعی و دو منبعی تقسیم‌بندی می‌شوند. در مدل‌های تک منبعی، تنها از یک مقاومت آئرو‌دینامیک در فرایند انتقال آب- گرما استفاده و فرض می‌شود تمامی سطح، تحت تأثیر دما و رطوبت قرار می‌گیرد (Nishida et al., 2003). حال آن‌که در مدل‌های

دو منبعی از چندین مقاومت مجزا برای گیاه و خاک استفاده می‌شود. برآورد دقیق تبخیر/تعرق می‌تواند منجر به حداقل نمودن اتلاف آب و هزینه‌های مدیریتی و از طرفی سبب حداکثر نمودن تولیدات زراعی شود (Wagle & Gowda, 2019).

یکی از الگوریتم‌های نسبتاً جدید و کاربردی مبتنی بر سنجش از دور جهت برآورد میزان تبخیر و تعرق که بر پایه مفهوم بیلان انرژی در سطح بیان شده است، الگوریتم METRIC (برای به‌دست آوردن تبخیر/تعرق با قدرت تفکیک مکانی بالا با کالیبراسیون داخلی) می‌باشد که توسط Allen et al. (2007) ارائه شده است. این الگوریتم قادر است تا با به‌کاربردن حداقل داده‌های زمینی، میزان تبخیر و تعرق را در مقیاس‌های زمانی متفاوت (لحظه‌ای، روزانه و فصلی) محاسبه کند (Allen et al., 2002).

امروزه فناوری سنجش از دور و روش‌های مبتنی بر این تکنیک رشد قابل ملاحظه‌ای داشته است، به‌گونه‌ای که مطالعات زیست‌محیطی بسیاری هم‌چون برآورد نیاز آبی گیاهان و محاسبات بیلان آب حوضه مبتنی بر تکنیک‌های سنجش از دور بوده است؛ بنابراین می‌توان گفت که روش‌های ارائه‌شده و به‌کار گرفته‌شده مبتنی بر این علم پتانسیل و دقت بالایی را می‌توانند فراهم آورند. در پژوهشی Chavez & Mkhwanazi (2013) با استفاده از تصاویر ماهواره لندست و با به‌کارگیری دو الگوریتم سنجش از دور متریک و سبال مقادیر تبخیر و تعرق روزانه گیاه یونجه در شرق کلرادو را تخمین زدند. مقایسه نتایج حاصل از این دو مدل با داده‌های لایسمتری حاکی از آن است که خطای حاصل از به‌کارگیری الگوریتم متریک نسبت به الگوریتم سبال کم‌تر است. Pôças et al. (2014) نیز در مطالعه‌ای با استفاده از تصاویر ماهواره لندست در بازه زمانی ۲۰۱۰ تا

تعرق حوضه دریاچه ارومیه با دو الگوی متریک و WaPOR که یک مدل دو منبعی است پرداختند. براساس یافته‌های آن‌ها تبخیر تعرق حاصل از مدل متریک بیش تر از WaPOR برآورد می‌شود، هم‌چنین ثابت شد که اختلاف بین مقادیر برآورد این دو مدل مکمل یکدیگرند و استفاده از هر یک در یک کاربری خاص توصیه می‌شود.

در مورد مقدار آب آبیاری مصرف شده مطالعات زیادی انجام گرفته است. به‌طور مثال Olgarenko et al. (2018) کوشیدند تا روشی بهینه از نظر فنی، زیست محیطی و اقتصادی در سیستم‌های آبیاری پایه ریزی کنند. در پژوهشی دیگر، Yanfei et al. (2018) به برآورد تبخیر تعرق روزانه و بهره‌وری آب آبیاری در یک منطقه خشک در چین با استفاده از داده‌های چند منبعی سنجش از دور (لندست) پرداختند. در این پژوهش، RMSE بین تبخیر تعرق تخمین زده شده و اندازه‌گیری شده ۰/۸۱ بوده، نتایج اعتبارسنجی نشان داد که تخمین‌ها برای مناطق زراعی ذرت و سبزیجات دقیق، برای مناطق تالابی و مسکونی بیش تر و برای مناطق باغی کم تر برآورد شده است.

برای شناخت و بررسی تغییرات حجم مصارف آب در بخش کشاورزی نیاز به برآورد پارامتر تبخیر تعرق واقعی (ET) و بارش مؤثر (ef) در سطح حوضه می‌باشد. ET یکی از مؤلفه‌های اصلی بیلان آب هر منطقه و هم‌چنین یکی از عوامل کلیدی برای برنامه‌ریزی صحیح و مناسب آبیاری به منظور بهبود راندمان آب مصرفی در اراضی کشاورزی می‌باشد (Tang et al., 2010).

در مطالعات مختلف با توجه به نحوه تعریف آب مصرفی، روش‌های مختلفی برای محاسبه آب مصرفی، با تکیه بر داده‌های زمینی و ماهواره‌ای تبیین شده است.

۲۰۱۲ برای یک باغ زیتون در جنوب پرتقال الگوریتم متریک را پیاده سازی در نهایت نتایج حاصله با داده‌های مشاهداتی تبخیر و تعرق را مقایسه نمودند، نتایج نشان‌دهنده دقت الگوریتم بالای الگوریتم در محاسبه تبخیر و تعرق بود. Wasti (2020) نیز برای شش ماه از سال تبخیر و تعرق را در نپال با استفاده از مدل متریک محاسبه نمود، او در پژوهش خود اذعان نمود، با وجود این‌که نپال یک منطقه متنوع از نظر توپوگرافی است و سرزمین‌هایی از دشت‌های هموار تا کوه‌های مرتفع را در بر دارد، نتایج به دست آمده از مدل متریک بسیار نزدیک به اندازه‌گیری‌های زمینی بوده و از دقت قابل قبولی برخوردار است. هم‌چنین او با بررسی همبستگی بین ارتفاع و پوششی گیاهی دریافت که یک رابطه معکوس بین تبخیر تعرق و ارتفاع وجود دارد چرا که دمای سطحی و پوشش گیاهی با افزایش ارتفاع کاهش می‌یابد. Liaquat & Choi (2015) و هم‌چنین Lian & Huang (2016) ضمن تأیید دقت بالای الگوریتم متریک جهت برآورد پارامترهای معادله بیلان انرژی، تأکید نمودند که انتخاب پیکسل سرد و گرم تأثیر به سزایی در میزان دقت مدل متریک جهت برآورد تبخیر و تعرق دارد. در حوضه دریاچه ارومیه نیز مطالعات مختلفی در خصوص تخمین تبخیر تعرق صورت گرفته است، Tasumi (2019) به برآورد تبخیر تعرق ماهانه در بازه زمانی ۱۳۹۳-۱۳۹۵ در حوضه غربی دریاچه ارومیه با استفاده از مدل متریک و داده‌های لندست ۸ پرداخت. به منظور ارزیابی صحت این روش نتایج مدل متریک با رویکرد تخمین مستقل تبخیر تعرق فائو-۵۶ مقایسه شد، نتیجه این مقایسه نشان داد که همبستگی خوبی بین نتایج دو روش در مناطق زراعی وجود دارد اما تخمین‌ها در مورد زمین‌های بایر بیش از حد برآورد شده بود. در مطالعه‌ای دیگر Javadian et al. (2019) به تخمین تبخیر

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

حوضه آبخیز دریاچه ارومیه یکی از حوضه‌های درجه یک کشور و دریاچه ارومیه به‌عنوان بزرگ‌ترین دریاچه ایران مقصد نهایی مجموعه‌هایی از رودخانه شمال‌غرب کشور می‌باشد که اهمیت بسیاری در بخش‌های اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی این منطقه دارد. وضعیت افت تراز آب دریاچه و فرایند تدریجی خشک‌شدن آن در سال‌های اخیر، مشکلات مهم اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی برای منطقه و از طرفی نگرانی‌های بین‌المللی را نیز به‌همراه داشته است.

به‌علت سهم بالای مصرف آب در بخش کشاورزی، مطالعات زیادی در زیرحوضه‌های مختلف آن به‌علت ارزیابی و شناخت وضعیت مصرف توسعه یافته است. یکی از مناطق عمده کشاورزی در حوضه دریاچه ارومیه، اراضی پایین‌دست سد حسنلو به‌عنوان یکی از شش سد مهم حوضه دریاچه ارومیه است که به‌موجب توسعه بخش کشاورزی در اراضی آبخور رودخانه گدارچای احداث شده و از سال ۱۳۸۰ در این حوضه به بهره‌برداری رسیده است (Fahmadaali et al., 2018). سطح خالص اراضی شبکه آبیاری و زهکشی حسنلو در حدود ۱۳۹۶۱ هکتار است که معادل ۳۹۹۱ هکتار آن به کشت گندم، ۲۶۶۱ هکتار به کشت جو و ۱۶۰۷ هکتار به کشت یونجه اختصاص دارد. سیستم آبیاری نیز تلفیقی از آبیاری سطحی و تحت فشار (بارانی) است که براساس آبیاری بارانی، راندمان سیستم ۶۴ درصد خواهد بود (Mahab et al., 2013). مناطق یک، دو و سه که در شکل (۱) نشان داده شده است، اراضی کشاورزی سد حسنلو بوده که به‌علت در دسترس بودن داده‌های زمینی هم‌چون سطح زیر کشت و میزان مصرف آب کشاورزی با توجه به تخصیص آب برآورد شده توسط سازمان منابع آب ایران، به‌عنوان مناطق مطالعاتی انتخاب شدند.

Faci et al. (2000) شاخص عملکرد آبیاری فصلی (SIPI) را به‌عنوان درصد فصلی از NIR به‌صورت حجم آب آبیاری تحویل داده‌شده به محصولات کشاورزی، تعریف کردند. برای محاسبه میزان آبیاری از شاخص آب مصرف‌شده برای آبیاری ($IWCU = ETa - ef$) استفاده شد که از اختلاف بین تبخیرتغرق واقعی و میزان بارش تعیین می‌شود (Burt et al., 1997). در مطالعه دیگری، نیاز آبی محصولات از اختلاف دو پارامتر تبخیرتغرق محصول (ETc) و بارش مؤثر (efP) بر منطقه ($IR = ETc - efP$) محاسبه شد. در این مطالعه بارش مؤثر قسمتی از بارندگی است که به داخل خاک نفوذ می‌کند، در ادامه روند تغییرات آبیاری در سال‌های خشک و تر بررسی و نتیجه نشان داد که بیش‌ترین میزان اختلاف در این دو حالت برای محصولاتی مثل یونجه بود که در طول بهار و تابستان کشت می‌شد. درنهایت تغییر میزان آبیاری در طول سال‌های ۱۳۶۱ تا ۱۳۸۵ مورد بررسی قرار گرفت که نتایج حاکی از افزایش میزان آبیاری مصرف‌شده در طول دوره موردنظر بود (Castaño et al., 2010).

با توجه به آن‌که، افزایش مصارف کشاورزی را به‌عنوان مهم‌ترین عامل مؤثر در کاهش تراز دریاچه شناخته شده است و آمارهای متفاوت و ناهماهنگ از میزان مصرف آب در بخش کشاورزی گزارش شده است، هدف از انجام این مطالعه بررسی یکی از ترم‌های مهم و مجهول در تعیین میزان مصارف حوضه آبریز دریاچه ارومیه، یعنی میزان تبخیر و تغرق وهم‌چنین تخمین حجم آب موردنیاز گیاه جهت آبیاری و حجم آب مصرفی در اراضی کشاورزی است. به‌عبارت دیگر، با انجام این مطالعه، نقشه ارزش نسبی تبخیر و تغرق به تبخیر دریاچه به‌دست‌آمده که نتایج این بررسی می‌تواند به‌منظور اتخاذ سیاست‌های کاهش مصرف آب کشاورزی و احیای دریاچه مورد استفاده قرار گیرد.

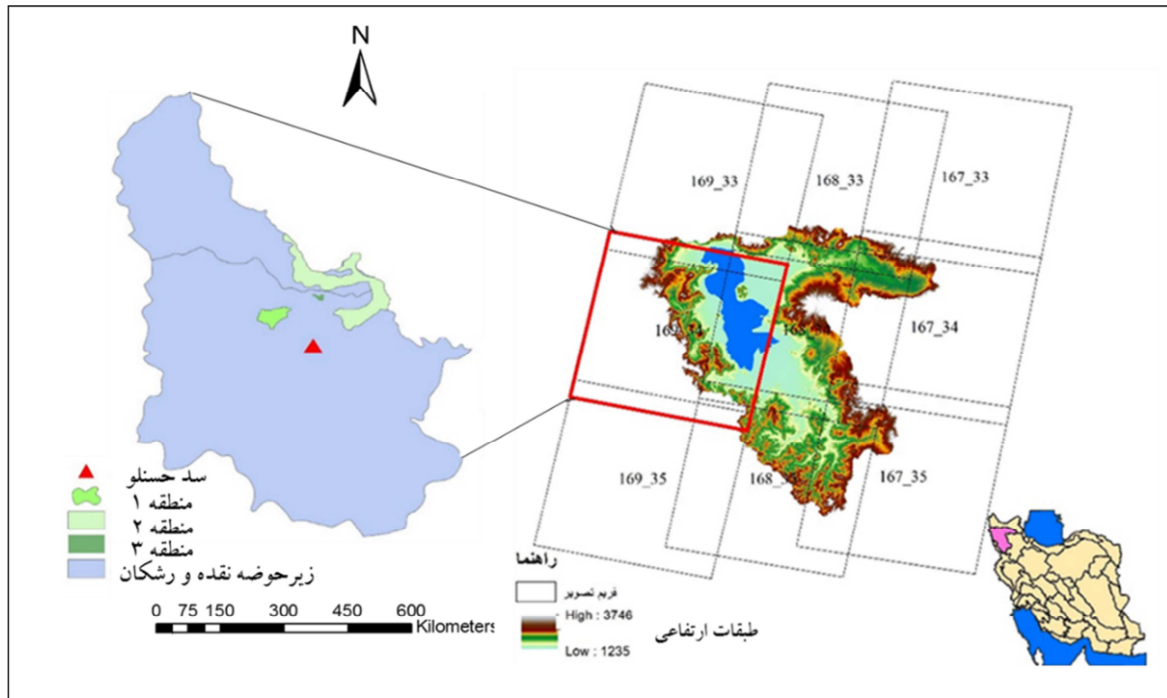


Figure 1. Study are

داده‌های تبخیر تعرق استخراج شده از سامانه WaPOR

سامانه WaPOR مجموعه‌ای از داده‌های ارزیابی بهره‌وری آب، پوشش زمین، طبقه‌بندی محصولات، بارش، تبخیر تعرق مرجع و واقعی را دربر می‌گیرد (Blatchford et al., 2020). در این مطالعه از داده‌های تبخیر تعرق واقعی این سامانه استفاده شده است، این داده‌ها با قدرت تفکیک زمانی سالانه و ۱۰ روزه و با قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ متر قابل استفاده می‌باشند. از آنجاکه مقادیر مصرف آب اعلام شده توسط سازمان مدیریت منابع آب به صورت ماهانه و در فصول گرم سال گزارش شده است، لذا جهت مقایسه نیاز است از داده‌های ۱۰ روزه تبخیر تعرق سامانه WaPOR استفاده شود تا بتوان به مقیاس زمانی ماهانه آن دست یافت. قابل ذکر است داده‌های مربوطه از تارنمای سامانه WaPOR برای منطقه مطالعاتی مورد نظر به صورت محصول آماده دانلود شده است.

مجموعه داده‌های مورد استفاده

داده‌های مربوط به تخمین تبخیر تعرق واقعی توسط الگوریتم METRIC

داده‌های زمینی مورد استفاده در این مطالعه، شامل داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک ارومیه می‌باشد. داده‌هایی که از اطلاعات ایستگاه سینوپتیک مورد استفاده قرار گرفته عبارتند از دمای هوا (برحسب درجه سانتی‌گراد) به صورت دمای کمینه و بیشینه و دمای متوسط روزانه، تعداد ساعات آفتابی، رطوبت نسبی و سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری (برحسب Knot) که در محاسبات به ارتفاع دو متری تبدیل شده است. برای تولید هر یک از ترم‌های معادله بیلان انرژی به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم، از تعدادی از محصولات سنجنده MODIS و داده‌های ماهواره‌ای Landsat8 استفاده شده است. جدول (۱) فهرستی از داده‌های دریافت شده به همراه قدرت تفکیک زمانی و مکانی و نوع آن‌ها را نشان می‌دهد.

Table 1. Basic data used in energy balance algorithm with spatial and temporal separation of data

Name	Data	Data Type	Temporal resolution	Spatial resolution
MOD11L2	LST (Land Surface Temperature)	Raster	Daily	1km
MCD15A3	LAI (Leaf Area Index)	Raster	4 Days	1km
MOD021KM	36 bands	Raster	Daily	1km
MOD13A2	NDVI (Normalized difference vegetation index)	Raster	16 Days	1km
Landsat8 (OLI)	11 bands	Raster	16 Days	30 m

داده‌های مربوط به تخمین آب آبیاری مصرف‌شده

جهت برآورد آب مصرفی در منطقه نیاز به داده‌های تبخیرتعرق و بارش می‌باشد. توزیع مکانی تبخیرتعرق توسط الگوریتم METRIC و سامانه WaPOR تخمین زده شده است. همچنین داده‌های بارش موردنیاز از ایستگاه نقده و سازمان هواشناسی استان آذربایجان غربی تهیه شد و آمار مربوط به تخصیص سد حسنلو در سال‌های مورد مطالعه از ستاد احیای دریاچه ارومیه نیز اخذ شد. لازم به ذکر است که داده‌های مربوط به تخصیص سد حسنلو جهت مقایسه با مقادیر برآوردی مطالعه حاضر اخذ شده است.

روش‌شناسی

در این مطالعه، نرخ تبخیرتعرق واقعی منطقه مطالعاتی با استفاده از الگوریتم METRIC و تصاویر سنجنده Landsat8 و MODIS در سال‌های ۱۳۹۳، ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ برآورد شده است. درگام بعد با استفاده از نتایج ET به دست آمده برای ماه‌های موردنظر و میزان میانگین بارش (که اطلاعات ایستگاه نقده به عنوان نماینده منطقه استفاده شده است) و سطح زیر کشت، حجم آب آبیاری مصرف‌شده با احتساب راندمان ۶۴ درصد در پایین دست سد حسنلو محاسبه شد.

تخمین تبخیرتعرق واقعی توسط الگوریتم METRIC

در این بخش به منظور برآورد میزان تبخیر و تعرق واقعی، از الگوریتم METRIC با استفاده از تصاویر ماهواره MODIS و

Landsat8 استفاده شده است. در مدل METRIC، نرخ تبخیرتعرق واقعی با به‌کارگیری تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های هواشناسی با استفاده از بیلان انرژی در سطح براساس معادله (۱)، محاسبه می‌شود. ابتدا شار گرمای تبخیر برای هر پیکسل تصویر به صورت لحظه‌ای (برای زمان دریافت تصویر) محاسبه و سپس برای گام‌های زمانی روزانه و ماهانه تعمیم داده می‌شود (Allen et al., 2002).

$$\lambda ET = R_n - G - H \quad (1)$$

در این رابطه λET شار گرمای نهان تبخیر و تعرق ($W.m^{-2}$)، R_n شار تشعشع خالص در سطح زمین ($W.m^{-2}$)، G شار گرمایی زمین ($W.m^{-2}$) و H شار گرمای محسوس به سمت جو ($W.m^{-2}$) می‌باشند (شکل ۲).

میزان تشعشع خالص از تفاضل تشعشعات ورودی و خروجی حاصل و محاسبه آن در سطح زمین (R_n) با استفاده از رابطه ذیل است:

$$R_n = (1 - \alpha)R_s \downarrow + R_L \downarrow - R_L \uparrow - (1 - \epsilon_0)R_L \quad (2)$$

که در آن، $R_s \downarrow$ تابش ورودی طول‌موج کوتاه، $R_L \downarrow$ تابش ورودی طول‌موج بلند و $R_L \uparrow$ تابش خروجی طول‌موج بلند می‌باشند (تمامی پارامترهای فوق برحسب وات بر مترمربع می‌باشند)، α آلبدو و ϵ_0 گسیلندگی سطح می‌باشند.

شار گرمایی زمین درواقع نرخ ذخیره حرارت در خاک و گیاه در اثر انتقال است، این شار که در اثر تابش خورشید در طول روز ایجاد می‌شود به اعماق نیم‌رخ خاک، تغییرات درجه حرارت، ظرفیت گرمایی خاک و ضریب هدایت گرمایی خاک بستگی دارد. جهت برآورد شار گرمایی زمین، الگوریتم METRIC، نسبت G/R_n را با

برگ کاهش می‌یابد. معادله (۵) نشان می‌دهد که برای خاک بدون پوشش G نسبت به دمای سطح افزایش می‌یابد. در برخی کاربردهای متریک برای خاک‌های مناطق صحرایی که معمولاً دارای ترک‌ها، پوسته ورقه‌ورقه‌شده، فقدان ساختار یا درصد رطوبت پایین هستند، امکان دارد رسانایی حرارتی نزدیک سطح کم‌تر از خاک‌های زراعی باشد، لذا برای محاسبه $\frac{G}{R_n}$ از معادله (۵) استفاده شده است. شار حرارتی محسوس مبتنی بر تئوری انتقال توده‌ای گرما و اندازه حرکت بین سطح و محیط نزدیک سطح و محاسبه مقاومت آئروپنمیک، برآورد می‌شود. رابطه به کار رفته جهت محاسبه این ترم مطابق رابطه (۶) می‌باشد (Allen et al., 2002).

$$H = (\rho \times C_p \times dT)/r_{ah} \quad (6)$$

که در آن، ρ چگالی هوا [225 kg.m^{-3}], C_p گرمای ویژه در فشار معین [$1004 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$], $dT[\text{K}]$ اختلاف دمای هوای بین دو ارتفاع مشخص (که طبق پیشنهاد Allen et al. (2007) در این مطالعه ۰/۱ متر و دو متر در نظر گرفته می‌شود) و r_{ah} مقاومت آئروپنمیک در برابر انتقال حرارت [day.m^{-1}] است.

در نهایت پس از محاسبه شار گرمای نهان تبخیرتورق توسط معادله (۱) بایستی آن را به صورت ارتفاعی گزارش کرد. ارتفاع تبخیرتورق لحظه‌ای از رابطه (۷) قابل محاسبه است:

$$ET_{inst} = 3600 \frac{\lambda ET}{\lambda \rho_w} \quad (7)$$

که در آن ET_{inst} تبخیرتورق لحظه‌ای (mm.hr^{-1})، عدد ۳۶۰۰ تبدیل زمان از ثانیه به ساعت و λ گرمای نهان تبخیر یا گرمای جذب شده در هنگامی که یک کیلوگرم آب تبخیر می‌شود (J.kg^{-1}) و ρ_w چگالی آب معادل ۱۰۰۰ Kg.m^{-3} می‌باشد.

همان‌طور که بیان شد، الگوریتم METRIC، تبخیرتورق را در لحظه دریافت تصویر محاسبه می‌کند؛ اما به دلیل این که

استفاده از رابطه تجربی (۳) تخمین می‌زند (Bastiaanssen, 2000):

$$\frac{G}{R_n} = T_s / \alpha (0.003 \alpha + 0.0074 \alpha^2) (1 - 0.98NDVI^4) \quad (3)$$

که در آن، T_s دمای سطح اصلاح‌نشده (K)، α آلبدوی سطح (Broadband Albedo) و NDVI شاخص پوشش گیاهی است.

مقادیر G/R_n برای آب و برف به صورت ذیل در نظر گرفته می‌شود (Allen et al., 2002):

اگر $NDVI < 0$ باشد، آن سطح آب فرض می‌شود ($G/R_n = 0.5$).

اگر $T_s < 4$ و $\alpha > 0.45$ باشد، آن سطح برف فرض می‌شود ($G/R_n = 0.5$).

به‌طور کلی می‌توان گفت در تخمین نسبت G به R_n برای سطوح خاک و گیاه از رابطه (۳) و برای دیگر سطوح مقدار ۰/۵ استفاده شود (Allen et al., 2002). در مناطق کوهستانی نیز روند تخمین G به شکل فوق می‌باشد و نیازی به اصلاح T_s و سایر پارامترها نمی‌باشد. Allen et al. (2007) روش دیگری برای محاسبه شار گرمای خاک در مدل متریک پیشنهاد کرد که معادلات آن به صورت زیر می‌باشد و در این مطالعه نیز از این روش استفاده شده است:

$$\frac{G}{R_n} = 0.05 + 0.18e^{-0.521LAI} \quad LAI \geq 0.5 \quad (4)$$

$$\frac{G}{R_n} = 1.80(T_s - 273.15)/R_n + 0.084 \quad LAI < 0.5 \quad (5)$$

معادله (۵) درآیداهو، کالیفرنیا و نیومکزیکو به کار رفته است. معادلات (۴) و (۵) پارامتر G اندازه‌گیری شده را نزدیک کیمبرلی آیداهو نسبتاً صحیح پیش‌بینی کرده‌اند و نسبت $\frac{G}{R_n}$ را برای خاک‌های کشاورزی نمایش می‌دهند، اما اگر خاک دارای مقدار زیادی ترک‌خوردگی با پوسته ورقه‌ورقه شده باشد استفاده از این روش نامناسب می‌باشد. معادله (۴) نشان می‌دهد که $\frac{G}{R_n}$ با افزایش سطح

که در آن ET_{0-24} مقدار تجمعی تبخیرتعرق مرجع در ۲۴ ساعت روز تصویر است ($mm.day^{-1}$). هم‌چنین ET_n برحسب میلی‌متر از رابطه (۱۰) محاسبه می‌گردد.

$$ET_n = ET_0 F \cdot \sum_1^n ET_{0-24} \quad (10)$$

در رابطه بالا، ET_n مقدار تبخیرتعرق در هر دوره دلخواه و n تعداد روزهای دوره زمانی است.

روند محاسباتی الگوریتم شامل مقاومت آئرودینامیکی در برابر انتقال حرارت (r_{ah}) و شار حرارتی محسوس مطابق با روابط ارائه‌شده در الگوریتم METRIC (2007) در شکل (۳) نشان داده شده است.

مقدار این پارامتر در بازه ماهانه و سالانه قابلیت کاربرد دارد، لذا با استفاده از نسبت تبخیرتعرق مرجع، مقدار ET لحظه‌ای به ماهانه و فصلی تبدیل می‌شود. نسبت تبخیرتعرق مرجع به‌عنوان نسبت ET لحظه‌ای (ET_{inst}) در هر پیکسل به ET مرجع (ET_0) که با استفاده از داده‌های هواشناسی به‌دست آمده، مطابق رابطه (۸) تعریف می‌شود.

$$ET_0 F = \frac{ET_{inst}}{ET_0} \quad (8)$$

بنابراین ET_{24} برحسب $mm.day^{-1}$ و از رابطه (۹)

محاسبه می‌شود:

$$ET_{24} = ET_0 F \times ET_{0-24} \quad (9)$$

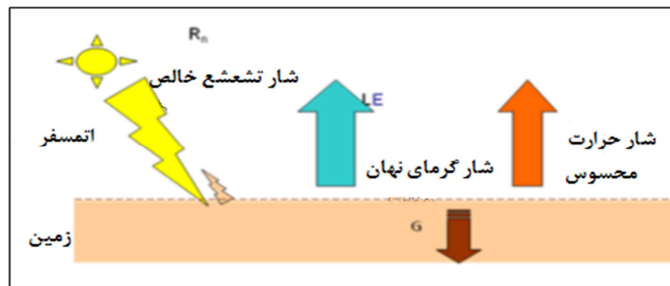


Figure 2. Energy balance at ground level

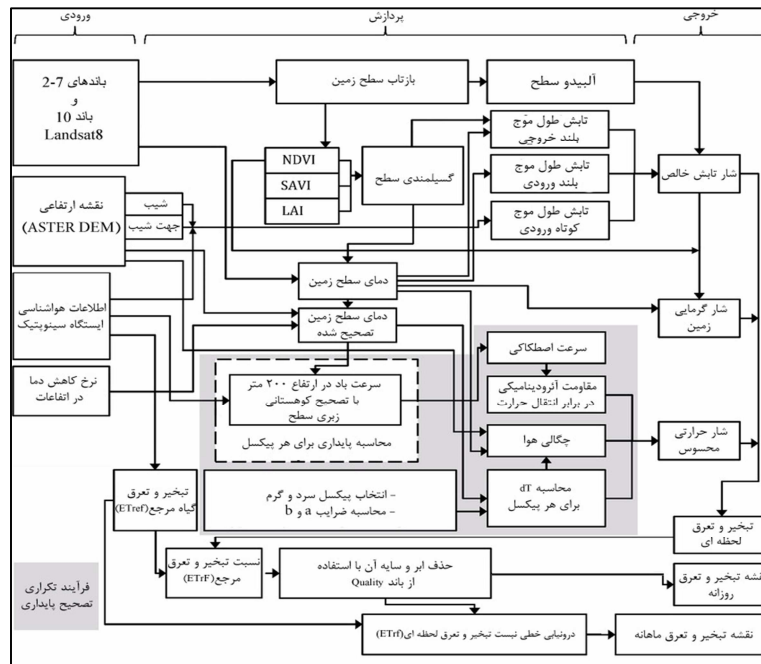


Figure 3. Steps of implementation of METRIC algorithm (2007) (Hamimed et al., 2009)

تخمین آب مصرفی

میزان آبیاری در واقع عمق آب آبیاری است که جهت تولید محصول مناسب مورد نیاز می باشد. با توجه به این که میزان بارش برآورد شده به طور متوسط کم تر از ۲۵۰ میلی متر بوده است (اقلیم گرم و خشک)، در محاسبه میزان آب آبیاری، مقدار بارش و رطوبت خاک در نظر گرفته نشده و آب آبیاری مصرف شده (U) تنها با کسر تبخیر تعرق واقعی محصول (ET) از مقدار آب در دسترس محصول از طریق بارش مؤثر (ef) به دست می آید (Haley et al., 2007).

$$U = ET - ef \quad (11)$$

جهت تخمین حجم آب آبیاری مصرفی در اراضی کشاورزی، لازم است سطح زیر کشت اراضی کشاورزی در مقدار U (ارتفاع آب آبیاری مصرف شده بر حسب میلی متر) ضرب شود. سپس با فرض این که آب با راندمان آبیاری ۶۴ درصد مصرف می شود مقادیر حجم آب آبیاری محاسبه شده است.

نتایج و بحث

در مطالعه صورت گرفته، نرخ تبخیر تعرق واقعی منطقه مطالعاتی با استفاده از الگوریتم METRIC و تصاویر سنجنده Landsat8 و MODIS در سال های ۱۳۹۳، ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ برآورد شده است. درگام بعد با استفاده از نتایج ET به دست آمده برای ماه های مورد نظر و میزان میانگین بارش (که اطلاعات ایستگاه نقده به عنوان نماینده منطقه استفاده شده است) و با در نظر گرفتن سطح زیر کشت، حجم آب آبیاری مصرف شده با احتساب راندمان ۶۴ درصد در پایین دست سد حسنلو محاسبه شد. جدول (۲)، مقادیر تبخیر تعرق و آب آبیاری محاسبه شده توسط تصاویر Landsat8 و جدول (۳)، مقادیر ET و آب آبیاری برآورد شده از تصاویر MODIS را نشان می دهد. همان طوری که مشاهده می شود، میزان تبخیر تعرق

به دست آمده از سنجنده Landsat8، مقادیر بالایی را نشان می دهد که به ترتیب برای سال های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ تقریباً برابر با ۴۶۸ و ۳۱۵ میلی متر بوده است. این مقدار با استفاده از تصاویر MODIS برابر ۲۴۰ و ۲۰۸ میلی متر به دست آمده است که علت این اختلاف را می توان ناشی از تفاوت دقت مکانی سنجنده ها و آماده سازی لایه های ورودی و مبنای دانست.

مطابق با جدول (۳)، در تمام ماه های سال ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ به جز ماه اردیبهشت ۱۳۹۵، مقادیر آب آبیاری برآورده شده توسط الگوریتم METRIC بیش از آمار سازمان مدیریت منابع آب و سامانه WaPOR است، در صورتی که در سال ۱۳۹۳، مقادیر آبیاری محاسبه شده توسط METRIC کم تر از آمار می باشد. در سال ۱۳۹۵ بیشترین اختلاف مقادیر حجم آبیاری برآورد شده توسط الگوریتم METRIC با سامانه WaPOR و آمار سازمان مدیریت منابع آب مربوط به ماه ژوئن به ترتیب با مقدار ۲۶/۶۶ و ۲۳/۰۶ میلیون مترمکعب و کمترین اختلاف، مربوط به ماه آوریل و با مقدار ۵/۴۷ و ۰/۵۲ میلیون مترمکعب می باشد. همچنین این در حالی است که الگوریتم METRIC، میزان آب آبیاری مصرف شده در اردیبهشت ماه ۱۳۹۵ را کم تر از مقدار همان ماه در سال ۱۳۹۴ (میزان اختلاف ۱۰/۵ میلیون هکتار به دست آمده است) نشان می دهد. در سال ۱۳۹۴، بیشترین تفاوت بین مقادیر حجم آبیاری برآورد شده توسط الگوریتم METRIC با سامانه WaPOR و آمار سازمان مدیریت منابع آب در ماه سپتامبر به ترتیب با مقدار ۱۶ و ۱۱ میلیون مترمکعب و کمترین در ماه ژوئیه با مقدار ۱۲/۱۱ و ۶/۵۵ میلیون مترمکعب اتفاق افتاده است.

با توجه به شکل (۴)، روند تغییرات حجم آبیاری (چه برآورد شده و چه آمار) در سال های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵، در ابتدا افزایشی و سپس کاهشی است. بیشترین مقادیر

تبخیر تعرق (سامانه WaPOR و الگوریتم METRIC) و آب رهاسازی شده که توسط سازمان مدیریت منابع آب برای سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ میلادی گزارش شده، مشابه یکدیگر است و تنها در ماه ژوئن ۲۰۱۶ (معادل تیرماه ۱۳۹۵)، اختلاف قابل توجهی در میزان حجم آبیاری مصرف شده مشاهده می‌شود. میزان اختلاف حجم آبیاری برآورد شده توسط METRIC با آمار رهاسازی و سامانه WaPOR در این ماه به ترتیب ۲۳ و ۲۶/۶ میلیون مترمکعب (بیش از ۷۰ درصد) محاسبه شده است.

حجم آبیاری در تمام ماه‌های دو سال مذکور، مربوط به الگوریتم METRIC و کم‌ترین آن مربوط به سامانه WaPOR می‌باشد. براساس آمار رهاسازی سازمان مدیریت منابع آب، وزارت نیرو در تمام ماه‌های سال ۱۳۹۵ نسبت به ماه‌های متناظر در سال ۱۳۹۴ به جز اردیبهشت‌ماه میزان رهاسازی را کاهش داده است. به عبارتی، میزان رهاسازی در اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۵ نسبت به اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۴ به میزان ۰/۹ میلیون مترمکعب افزایش یافته است. با توجه به شکل (۵)، روند تغییرات میزان حجم

Table 2. Estimated transpiration rate by Landsat satellite and comparison with release statistics of Iran Water Resources Management Organization

Year	Date	Area (ha)	ET (mm)	ET METRIC (MCM)	Water consumption into account efficiency 64% (MCM)	Amount of allocation of Iran Water Resources Management Organization (MCM)
2016	20 Apr	4874.3	198	9.7	15.1	0.3
	22 May	4874.3	166	8.1	12.6	8.2
	23 Jun	4874.3	486	22.8	35.6	8.8
	10 Aug	4874.3	275	13.4	20.9	3.1
	11 Sep	4874.3	264	12.9	20.1	1.1
2015	20 May	4874.3	291	14.2	22.2	7.1
	21 Jun	4874.3	237	11.6	18.1	10.1
	7 Jul	4874.3	307	15	23.4	11.1
	8 Aug	4874.3	315	15.4	24	

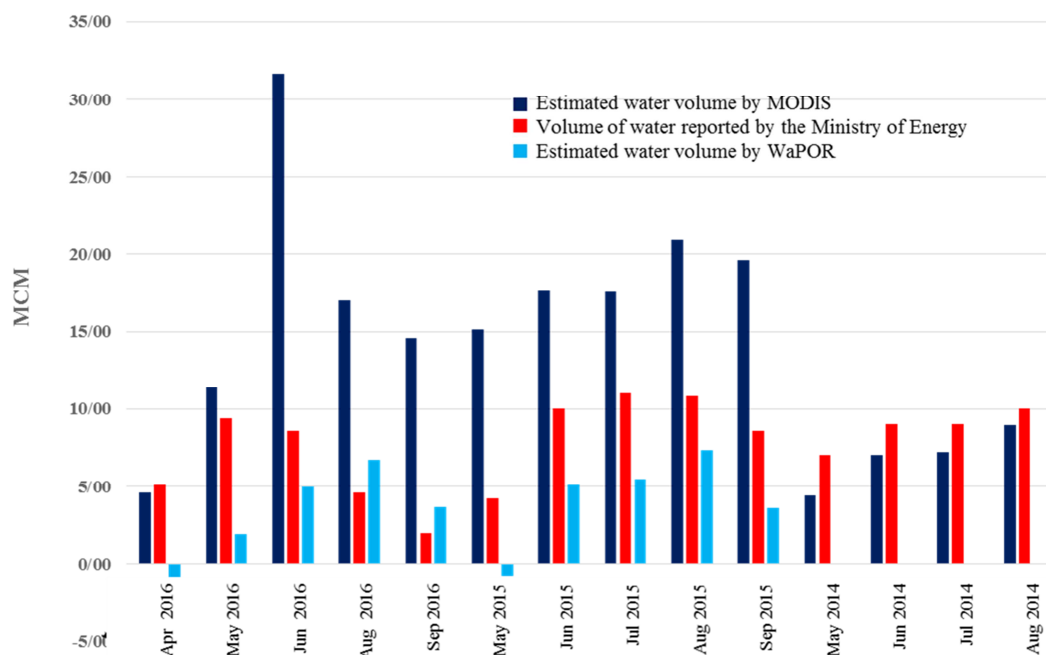


Figure 4. Water volume estimated by MODIS images, WaPOR system and Ministry of Energy statistics (million cubic meters)

Table 3. Estimated evapotranspiration values by MODIS sensor, irrigation volume and comparison of calculated values with release statistics of Iran Water Resources Management Organization and WaPOR system

Year	Date	Precipitation at Naqadeh station (mm)	Zone 1			Zone 2			Zone 3			Water volume consumption by METRIC algorithm with efficiency of 64% (MCM)	Plant water need based on Penman-Monith method (mm)	Water volume consumption by WaPOR with efficiency of 64% (MCM)	Allocation statistics from Hasanlu Dam (MCM)	The difference between the estimated irrigation rate and the announced allocation rate from Hasanlu Dam (mm)
			Area (ha)	ET (mm)	ET volume (MCM)	Area (ha)	ET (mm)	ET volume (MCM)	Area (ha)	ET (mm)	ET volume (MCM)					
2016	20 Apr	36	743.6	73	0.28	4870.7	90	2.63	81.5	64	0.02	4.58	128.9	-0.89*	5.1	-9
	22 May	18	743.6	118	0.74	4870.7	151	6.48	81.5	90	0.06	11.38	184.52	1.9	9.4	34.68
	23 Jun	0.2	743.6	313	2.33	4870.7	363	17.67	81.5	325	0.26	31.66	214.9	5	8.6	405
	10 Aug	0	743.6	200	1.49	4870.7	189	9.21	81.5	208	0.17	16.97	224.69	6.7	4.6	217
	11 Sep	0	743.6	175	1.30	4870.7	162	7.89	81.5	182	0.15	14.59	189.34	3.65	2	221
2015	20 May	42	743.6	199	1.17	4870.7	215	8.43	81.5	167	0.1	15.15	190.75	*-0.07	4.2	192
	21 Jun	5.1	743.6	195	1.19	4870.7	210	9.98	81.5	123	0.1	17.6	249.926	5.1	10	133.46
	7 Jul	28	743.6	184	1.16	4870.7	233	9.98	81.5	134	0.09	17.55	241.329	5.4	11	114.97
	8 Aug	0	743.6	211	1.57	4870.7	240	11.69	81.5	172	0.14	20.94	226.208	7.35	10.8	177.95
	25 Aug	1	743.6	196	1.45	4870.7	226	10.96	81.5	157	0.13	19.59	158.276	3.6	8.6	192.9
2014	May		743.6	39	0.29	4870.7	52	2.53	81.5	0	0	4.41	-	-	7	-45
	Jun		743.6	41	0.30	4870.7	86	4.19	81.5	0	0	7.02	-	-	9	-35
	Jul		743.6	22	0.16	4870.7	91	4.43	81.5	0	0	7.18	-	-	9	-32
	Aug		743.6	13	0.10	4870.7	116	5.65	81.5	0	0	8.98	-	-	10	-18

*: مقادیر تبخیر تعرق کم تر از مقدار بارش می باشد.

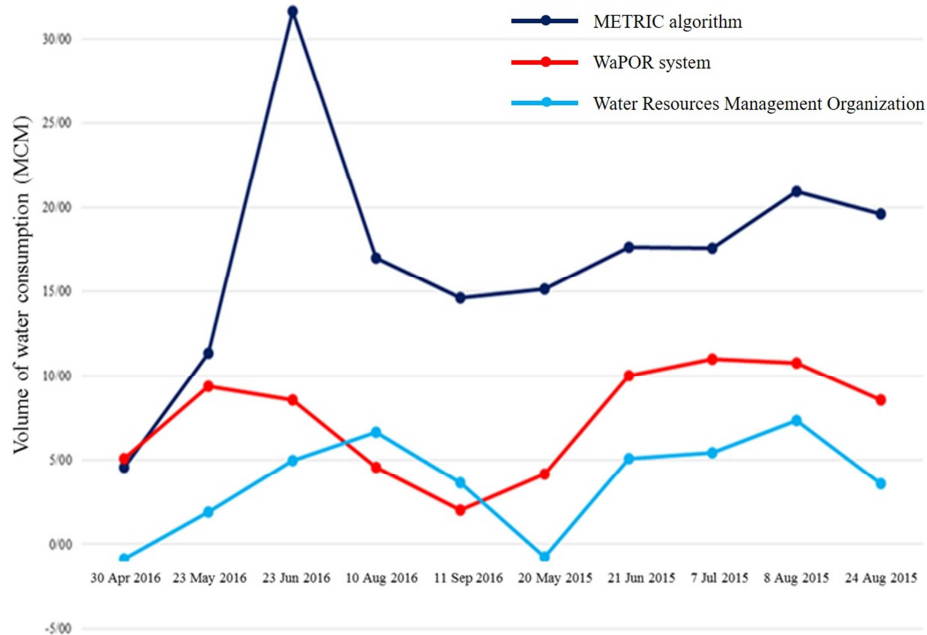


Figure 5. Distribution diagram of irrigation water volume calculated by METRIC algorithm, WaPOR system and release statistics of water resources management organization (million cubic meters) in 2015 and 2016

نتیجه گیری

هدف از انجام این مطالعه، تخمین آب مصرف شده در پایین دست سد حسنلو و اراضی کشاورزی آن با استفاده از داده‌های سنجش از دور است. پیش از این مطالعه نیز Javadian et al. (2019) چهار محصول جهانی تبخیر و تعرق GLEAM، MOD16، ECMWF و WaPOR را در سال ۲۰۱۰ با الگوریتم SEBAL در حوضه دریاچه ارومیه جهت تخمین مصارف کشاورزی مقایسه کردند. نتایج این مطالعه حاکی از آن بود که در ماه‌های آوریل و می مقادیر تبخیر حاصل از ECMWF اندکی بیش‌تر از نتایج تبخیر تعرق الگوریتم SEBAL است که در ماه‌های گرم، این روند برعکس شده و نتایج SEBAL مقادیر بیش‌تری را نسبت به ECMWF نشان می‌دهند. مقایسه نتایج تبخیر تعرق MOD16 و الگوریتم SEBAL نیز نشان می‌دهد محصول MOD16 در اکثر ماه‌ها و بیش‌تر نقاط، مقادیر ET را خیلی کم‌تر از الگوریتم SEBAL برآورد می‌کند. مقایسه نتایج تبخیر تعرق GLEAM با الگوریتم SEBAL در سال ۲۰۱۰ نیز نشان داد که در اکثر ماه‌ها اختلاف زیادی بین این دو لایه دیده می‌شود و فقط در مجموع تبخیر تعرق سالانه نزدیکی خوبی با یکدیگر دارند. مقایسه نتایج تبخیر تعرق پایگاه داده WaPOR با الگوریتم SEBAL نیز نشان داد که نقاط بیشینه در نقشه‌های اختلاف تبخیر و تعرق الگوریتم SEBAL و سامانه WaPOR مناطقی می‌باشند که در نقشه کاربری اراضی حوضه آبریز دریاچه ارومیه، به‌عنوان مراتع معرفی شده‌اند. در گزارشی دیگر که شرکت مهندسی مشاور یکم برای ارائه راه‌کارهایی جهت کاهش ۴۰ درصدی مصرف آب کشاورزی در حوضه دریاچه ارومیه منتشر کرده است، حوضه مذکور را به چندین منطقه مطالعاتی براساس وضعیت شبکه آبیاری زهکشی، نوع کشت و نوع آبرسانی و همین‌طور وضعیت هیدرولوژیک منطقه تقسیم شده است. در این گزارش برای هریک از مناطق مطالعاتی میزان مصرف آب کشاورزی با توجه به

تخصیص آب برآورد شده است. در این مطالعه نیز محصول تبخیر تعرق WaPOR هم از نظر تفکیک مکانی و هم از نظر توزیع مکانی از الگوی بهتری نسبت به دیگر محصولات برخوردار است (Yekom Consulting engineering, 2016). در مطالعه‌ای دیگر در حوضه آبریز دریاچه ارومیه به بررسی مؤلفه‌های مختلف بیلان آب شامل تغییرات حجم آبخوان، تبخیر از پیکره‌های آبی، تبخیر تعرق واقعی و تغییرات رطوبت خاک به روش‌های تک منبعی SEBAL و METRIC و مدل‌های دو منبعی TSEB و STSEB به‌همراه مدل ترکیبی SEBAL-TSEB تبخیر تعرق تخمین زده شد. هم‌چنین نتایج این پژوهش با مقادیر لایسیمیتری واقع در یک مزرعه در حوضه مطالعاتی به‌صورت نمونه مقایسه شد که از بین سایر مدل‌ها نتایج روش METRIC، با درصد خطای متوسط ۱۹ درصد در مقیاس روزانه، بیش‌ترین همخوانی را با مقادیر اندازه‌گیری شده نشان داد (Bagheri Haroni, 2011).

در مطالعه حاضر نتایج مقادیر مصارف کشاورزی به‌دست آمده با مقادیر تخصیص داده شده توسط سازمان مدیریت منابع آب ایران و سامانه WaPOR در سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ مقایسه و بررسی‌ها نشان می‌دهد که بیش‌ترین میزان حجم آب آبیاری مصرف شده در تمام ماه‌های مورد بررسی مربوط به الگوریتم METRIC و کم‌ترین آن مربوط به سامانه WaPOR می‌باشد. در سال ۱۳۹۵ بیش‌ترین اختلاف مقادیر حجم آبیاری برآورد شده توسط الگوریتم METRIC با سامانه WaPOR و آمار سازمان مدیریت منابع آب مربوط به ماه ژوئن و به‌ترتیب با مقدار ۲۶/۶۶ و ۲۳/۰۶ میلیون مترمکعب و کم‌ترین اختلاف، مربوط به ماه آوریل و با مقدار ۵/۴۷ و ۰/۵۲ میلیون مترمکعب می‌باشد. هم‌چنین در سال ۲۰۱۵ میلادی، بیش‌ترین تفاوت بین مقادیر حجم آبیاری برآورد شده توسط الگوریتم METRIC با سامانه WaPOR و آمار سازمان مدیریت منابع آب در ماه سپتامبر به‌ترتیب

تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

منابع

1. Allen, R., Tasumi, M., Trezza, R., Waters, R., & Bastiaanssen, W. (2002). SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land). *Advance Training and Users Manual-Idaho Implementation, version, 1*, 97.
2. Allen, R. G., Tasumi, M., & Trezza, R. (2007). Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC)—Model. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 133(4), 380-394.
3. Bagheri Haroni, MH. (2011). Evaluating remote sensing to estimate water balance in regional scale harvest ground water Emphasizing the net purification of groundwater (case study: Urmia Lake basin), M.Sc. thesis, TMU university.[Persian]
4. Bastiaanssen, W. G. M. (2000). SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. *Journal of hydrology*, 229(1), 87-100.
5. Blatchford, M.L., Mannaerts, C.M., Zeng, Y., Nouri, H., & Karimi, P. (2020). Influence of Spatial Resolution on Remote Sensing-Based Irrigation Performance Assessment Using WaPOR Data. *Remote Sens*, 12, 2949.
6. Burt, C.M., Clemmens, A.J., Strelkoff, T.S., Solomon, K.H., Bliesner, R.D., Hardy, L.A., Howell, T.A., Eisenhauer, D.E. (1997). Irrigation performance measures: efficiency and uniformity. *J. Irrig. Drain. Eng. ASCE*, 123 (6), 423-442.
7. Castaño, S., Sanz, D., & Gómez-Alday, J. J. (2010). Methodology for quantifying groundwater abstractions for agriculture via remote sensing and GIS. *Water resources management*, 24(4), 795-814
8. Chavez, J.L., & Mkhwanazi, M.M. (2013). Mapping evapotranspiration with the remote sensing ET algorithms METRIC and SEBAL under advective and non-advective conditions: accuracy determination with weighing Lysimeters. Civil and Environmental Engineering Department Colorado State University Fort Collins, Pp: 67-72.
9. Faci, J.M., Bensaci, A., Salti, A., & Playán, E., (2000). A case study for irrigation modernisation. I. Characterisation of the district and analysis of water delivery records. *Agric. Water Manage*, 42, 315-334.

با مقدار ۱۶ و ۱۱ میلیون مترمکعب و کمترین در ماه ژوئیه با مقدار ۱۲/۱۱ و ۶/۵۵ میلیون مترمکعب اتفاق افتاده است. در سال ۱۳۹۳، مقادیر حجم آبیاری برآورد شده با اختلاف کمتری نسبت به دو سال دیگر، بیش از حجم آبیاری گزارش شده وزارت نیرو است.

میزان آب رهاسازی شده توسط وزارت نیرو در تمام ماه های سال ۱۳۹۵ نسبت به ماه های متناظر در سال ۱۳۹۴ به جز اردیبهشت ماه کاهش یافته است. این در حالی است که الگوریتم METRIC این تفاوت را در تیرماه نشان می دهد، به عبارتی میزان آب مصرف شده جهت آبیاری در تیرماه ۱۳۹۵ بیش از تیرماه ۱۳۹۴ است. این اختلاف ناشی از تفاوت در پارامترها و روش های مختلفی است که هر کدام از این الگوریتم ها بر روی آن تمرکز دارند. روند تغییرات مصرف آبیاری (چه اندازه گیری شده و چه گزارش شده) در هر سه سال ابتدا افزایشی و سپس کاهش می دهد. هم چنین روند تغییرات حجم آبیاری به دست آمده توسط الگوریتم METRIC، سامانه WaPOR و مقدار گزارش شده توسط آمار وزارت نیرو در سال های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ مشابه یکدیگر می باشد و تنها در ماه ژوئن ۲۰۱۶ (تیرماه ۱۳۹۵)، اختلاف قابل توجهی در میزان حجم آبیاری مشاهده می شود. در این ماه الگوریتم METRIC، مقدار حجم آبیاری را بیش از ۷۰ درصد بیش تر از آمار رهاسازی و سامانه WaPOR برآورد کرده است. نکته مهمی که باید در این تحلیل به آن اشاره کرد این است که احتمالاً میزان آب مصرفی این مناطق از مقادیر مشاهداتی باید بیش تر باشد، چراکه کشاورزان معمولاً جدا از مقادیر تخصیص یافته ممکن است از چاه های غیرمجاز نیز برای آبیاری استفاده کرده باشند که قاعدتاً در این مقادیر مشاهداتی لحاظ نشده است. پس با در نظر گرفتن این نکته، الگوریتم METRIC برتری محسوسی نسبت به محصول WaPOR در تخمین مقادیر آب مصرفی شبکه آبیاری زهکشی داشته است.

10. Fahmadaali, J., Barani, G. A., Qaderi, K., & Hessari, B. (2018). Analysis of the effects of water management strategies and climate change on the environmental and agricultural sustainability of Urmia Lake Basin, Iran. *Water*, 10(2), 160. (in Persian)
11. FAO. (2012). Aquastat: FAO's information source. FAO. www.fao.org/nr/water/aquastat/water_use (accessed 9 Nov. 2012).
12. Frenken, K., Kiersch, B., & Land, F. A. O. (2011). Monitoring agricultural water use at country level. *Food Agric Organ United Nations*.
13. Haley, M. B., Dukes, M. D., & Miller, G. L. (2007). Residential irrigation water use in Central Florida. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 133(5), 427-434.
14. Wagle, P., Gowda, P.H., (2019). Editorial for the Special Issue "Remote Sensing of Evapotranspiration (ET)". Multidisciplinary Digital Publishing Institute.
15. Hamimed, A., Khaldi, A., Mederbal, K., & Seddini, A. (2009, May). Estimation of daily actual evapotranspiration in Algerian semiarid environment with satellite ASTER. In *Remote Sensing for a Changing Europe: Proceedings of the 28th Symposium of the European Association of Remote Sensing Laboratories, Istanbul, Turkey, 2-5 June 2008* (p. 448). IOS Press.
16. <http://www.fao.org/in-action/remote-sensing-for-water-productivity/WaPOR/en/#/home>. Access date, (2021)
17. Javadian, M., Behrangi, A., Gholizadeh, M., & Tajrishy, M. (2019). METRIC and WaPOR estimates of evapotranspiration over the Lake Urmia Basin: comparative analysis and composite assessment. *Water*, 11(8), 1647. (In Persian).
18. Javadian, M., Kordi, F., & Tajrishy, M. (2019). Evaluation and comparison of estimation methods for actual evapotranspiration in the Urmia Lake Basin. *Iranian journal of Ecohydrology*, 6(1), 125-136 (In Persian).
19. Lian, J., & Huang, M. (2016). Comparison of three remote sensing based models to estimate evapotranspiration in an oasis-desert region. *Agricultural Water Management*, 165, 153-162.
20. Liaqat, U.W., & Choi, M. (2015). Surface energy fluxes in the Northeast Asia ecosystem: SEBS and METRIC models using Landsat satellite images. *Agricultural and Forest Meteorology*, 214, 60-79.
21. Mahab Quds Consulting Engineering. (2013). Upgrading the comprehensive water plan of the country in Aras basins (Talesh, Talab Anzali), Great Sefidrud, between Sefidrud and Haraz (Haraz-Gareh su), (Gorganrud-Gareh su), Atrak, Urmia, Agricultural Studies Of Lake Urmia catchment area. (in Persian)
22. Mu, Q., Heinsch, F. A., Zhao, M., & Running, S.W. (2007). Development of a global evapotranspiration algorithm based on MODIS and global meteorology data. *Remote sensing of Environment*, 111(4), 519-536.
23. Mu, Q., Zhao, M., & Running, S. W. (2011). Improvements to a MODIS global terrestrial evapotranspiration algorithm. *Remote sensing of environment*, 115(8), 1781-1800.
24. Nishida, K., Nemani, R. R., Running, S. W., & Glassy, J. M. (2003). An operational remote sensing algorithm of land surface evaporation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984-2012), 108(D9).
25. OECD. (2010). Sustainable management of water resources in agriculture. OECD Publ. www.oecd.org (accessed 9 May 2014).
26. Oki, T., & Kanae, S. (2006). Global hydrological cycles and world water resources. *Science*, 313(5790), 1068-1072.
27. Olgarenko, V.I., Olgarenko, G.V., & Olgarenko, IV. A. (2018) method of integral efficiency evaluation of water use on irrigation systems. International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM. 18(3.1):3-9.
28. Parris, K. (2010). *Sustainable management of water resources in agriculture*. OECD Publishing.
29. Pôças, I., Paoç, T., Cunha, M., Andrade, J., Silvestre, J., Sousa, A., Santos, F., & Pereira, L. (2014). Satellite-based evapotranspiration of a super-intensive olive orchard: Application of METRIC algorithm. *Biosystem engineering*, Pp: 1-13.
30. Tang, R., Li, Z.-L., & Tang, B. (2010). An application of the T s-VI triangle method with enhanced edges determination for evapotranspiration estimation from MODIS data in arid and semi-arid regions: Implementation and validation. *Remote Sensing of Environment*, 114, 540-551.
31. 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*, 20(226), 105805.
32. Wasti, S. (2020). Estimation of land surface Evapotranspiration in Nepal using Landsat based METRIC model. arXiv preprint arXiv:2007.13922.

33. Wetherald, R. T., & Manabe, S. (1988). Cloud feedback processes in a general circulation model. *Journal of Atmospheric Sciences*, 45(8), 1397-1416.
34. Yanfei, M. Shaomin, L., Lisheng, S., Ziwei, X., Yaling, L., Tongren, X., & Zhongli, Z. (2018). Estimation of daily evapotranspiration and irrigation water efficiency at a Landsat-like scale for an arid irrigation area using multi-source remote sensing data. *Remote Sensing of Environment*, 216, 715-734.
35. Yekom Consulting engineering. (2016). Implementation of 40 percent reduction in agricultural water consumption in the Zarrine-Rud and Simin-e Hidro rivers basin (case study: Saeen ghalee and miandoab). (Persian]