سال پنجم، شماره ۲، ۱۳۹۷، صفحات ۱۱۷ تا ۱۲۸
نشریه آب و توسعه پایدار

2019, Vol.5, No.2, Pages 117 to 128
Journal of Water and Sustainable Development

معرفی چارچوب حسابداری آب WA+

سحر خزاعی[۱]، محمود رایینی سرجاز[۲*]، کامران داوری[۳]، مجتبی شفیعی[۴]

۱-دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری. ۲- استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری. ۳-استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد. ٤-استادیار پژوهش، مرکز پژوهشی آب و محیط‌زیست شرق، مشهد.

*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: raeini@yahoo.com)
تاریخ دریافت: ۹۶/۰۶/۰۳
تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۰/۱۸

چکیده

کمبود آب یکی از بزرگترین چالش‌های بشر در سده حاضر است که می‌تواند سبب بسیاری از محدودیت‌ها در جهان شود. همچنین تقاضا برای آب شیرین به‌دلیل رشد اقتصادی و جمعیت رو به افزایش است. بنابراین برنامه‌ریزی مناسب برای منابع آب محدود از نظر ذخیره‌سازی، تخصیص، جریان برگشتی و خدمات محیط‌زیستی برای بهینه‌سازی منابع، امری حیاتی است. امروزه لازم است که یک سامانه حسابداری آب کارآمد بر اساس اندازه‌گیری، گزارش، برنامه‌ریزی و پایش منابع آب در دنیا به‌کار گرفته شود. این سامانه، به‌منظور فراهم نمودن مدیریتی جامع و یکپارچه برای منابع آبی با سازماندهی داده‌های مختلف از بخش‌های گوناگون هیدرولوژیکی، زیست‌محیطی و اقتصادی امکان پردازش و تفسیر آن‌ها را در کنار یکدیگر فراهم می‌کند. سامانه حسابداری آب، رویکردی در جهت استاندارد کردن نحوه‌ی سازماندهی داده‌ها و اطلاعات می‌باشد. هدف از این مطالعه، معرفی چارچوب حسابداری آب (WA+) به‌عنوان روشی آسان و استاندارد است که وضعیت مدیریت آب و زمین را در حوضه‌های آبریز پیچیده توصیف می‌کند. این روش برپایه بیلان منابع آب نهاده شده است. ویژگی آن استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای دسترسی به داده‌های پایه هیدرولوژیکی و فرایندهای سطح زمین است. به‌طورکلی داده‌های ورودی مورد نیاز این چارچوب می‌تواند از اندازه‌گیری‌های ماهواره‌ای، مدل‌های هیدرولوژیکی و داده‌های زمینی فراهم شود. در حال حاضر WA+ وضعیت مدیریت آب را در ۸ کاربرگ خلاصه می‌کند و نتایج به‌صورت جدول و نقشه نیز ارائه می‌شود. WA+ این امکان را فراهم می‌کند که از نتایج به دست آمده در هر کاربرگ، نشانگرهای کارایی محاسبه شود که در ارزیابی و تحلیل وضعیت منابع و مصارف حوضه آبریز مورد استفاده قرار می‌گیرد. WA+ دارای محدودیت‌هایی نیز است که لازم است در آینده این ضعف‌ها برطرف شود و برای کاربرد وسیع‌تر آن ویرایش شود. می

واژه‌های کلیدی: سنجش از دور، حسابداری آب، نشانگرهای کارایی، کاربری زمین.

Introducing the Water Accounting Plus (WA+) Framework

S. khazaei[1], M. Raeini Sarjaz[2*], K. Davari[3], M. Shafiei[4]

1- PhD candidate of Irrigation and Drainage, Department of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. 2- Professor, Department of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. 3- Professor, Department of Water Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. 4- Assistant Professor, East Water & Environmental Research Institute, Mashhad, Iran.

*(Corresponding Author Email: raeini@yahoo.com)
Received: 25-08-2017
Accepted: 08-01-2018

Abstract

Water scarcity is one of the greatest human challenges in this century which can cause many limitations in the world. Demand for freshwater is also increasing due to economic and population growth. Therefore, suitable planning for the limited water resources for storage, allocation, return flow, and environmental services is critical in order to optimize resources. Nowadays, an efficient water accounting system based on measuring, reporting, planning, and monitoring water resources in the world is needed. This system provides the possibility of processing and interpreting information in order to establish a comprehensive and integrated management of water resources through the organization of various data from different hydrological, environmental, and economic sectors. The water accounting system is an approach to standardize the way that data and information is organized. The purpose of this study is to introduce the WA+ water accounting framework as a simple and standard method that describes the state of water and land management in complex watersheds. This method is based on the water balance approach. Its feature is the use of satellite data to access the hydrological base data and surface ground processes. In general, the input data required for this framework can be derived from satellite measurements, hydrological models, and ground data. At present, WA+ contains 8 sheets which summarize water management situation and results are also presented as tables and maps. WA+ has a set of performance indicators that are used in the assessment and analysis of water resources and water consumption situations. WA+ has limitations that need to be resolved in the future and be edited for wider use.

Keywords: Remote sensing, Water accounting, Performance indicator, Land use.

DOI: 10.22067/jwsd.v5i1.67068

مقدمه

در طول سال‌های گذشته، جهان از وضعیت پرآبی به وضعیت کمبود آب تغییر کرده است. رشد جمعیت، تغییر الگوی غذایی و رشد اقتصادی، برخی از دلایل افزایش مصرف آب می‌باشد که باعث افزایش رقابت برای آب در قسمت‌های مختلف، تشکیل حوضه‌های بسته (حوضه‌ای که همه آب در دسترس آن مصرف می‌شود)، برداشت بیش‌از اندازه از منابع آب زیرزمینی، فروپاشی خاک، کاهش توان محیط‌زیست و بیابان‌زایی ناشی از فعالیت‌های انسان خواهد شد (Karimi و همکاران، ۲۰۱۳a). تغییر اقلیم، گوناگونی در آب و هوا و همچنین دیگر تغییرات جهانی و منطقه‌ای مانند کاهش سطح آب‌های زیرزمینی، موجب تشدید مسائل مربوط به آب می‌شود (Peiser و Bastiaanssen، ۲۰۱۵). گسترش رقابت برای دستیابی به منابع محدود و کمیاب آب، تقاضا برای استفاده بهینه از آب را زیاد کرده است. همچنین وجود اطلاعات دقیق در مورد آب برای مدیریت منابع الزامی است که این مسئله ضرورت شکل‌گیری حسابداری آب را بیش‌ازپیش آشکار می‌سازد (Slattery، ۲۰۰۸). سامانه حسابداری آب، رویکردی در جهت استاندارد کردن نحوه‌ی سازماندهی داده‌ها و اطلاعات می‌باشد. این سامانه، به‌منظور فراهم نمودن مدیریتی جامع و یکپارچه برای منابع آبی با سازماندهی داده‌های مختلف از بخش‌های گوناگون هیدرولوژیکی، زیست‌محیطی و اقتصادی امکان پردازش و تفسیر آن‌ها را در کنار یکدیگر فراهم می‌کند. هدف اصلی رویکرد حسابداری آب، به‌دست‌آوردن داده‌های مهم از منابع آب و اقتصاد، دسته‌بندی آن‌ها در قالب حساب‌ها، در کنار هم قرار دادن حساب‌ها و ایجاد بستری مناسب برای استخراج نشانگرهای تحلیلی است (بابائیان و همکاران، ۱۳۹۵).

رویکرد حسابداری آب با الگوبرداری از حسابداری مالی به گردآوری و شفاف‌سازی اطلاعاتی از قبیل میزان ذخیره موجود منابع آبی در نقطه‌ای از زمان و تغییرات آن در طی زمان می‌پردازد و ابزاری کارا در جهت مدیریت پایدار منابع آبی فراهم می‌آورد. اطلاعات ارائه شده توسط رویکرد حسابداری آب، مدیران و تصمیم‌گیران سیاسی را برای گرفتن تصمیمات کاراتر در زمینه بهره‌برداری از منابع آبی از قبیل توزیع آب بین بخش‌های مختلف اقتصادی و میزان تقاضای برنامه‌ریزی شده یاری می‌کند (ابوالحسنی و خلیلی، ۱۳۹۵). به‌طورکلی در ایران مطالعات کمتری در رابطه با حسابداری آب انجام شده و تاکنون پژوهشی با کاربرد چارچوب +WA[1] نیز منتشر نشده است.

یوسف‌زاده و همکاران (۱۳۹۳) سامانه منابع آب در محدوده مطالعاتی مشهد را با رویکرد یکپارچه بر اساس چارچوب حسابداری آب SEEA-Water[2] ارزیابی کردند. باتوجه‌به این چارچوب، نشانگرهایی استخراج شد و نتایج اولویت‌بندی تخصیص آب نشان داد به‌منظور به‌دست‌آوردن بهره‌وری بالاتر در مصرف آب و نیز حفظ تعادل آبخوان، کاهش سهم تخصیص آب به بخش کشاورزی و باز تخصیص قسمتی از آن به بخش خدمات از امتیاز و اهمیت بالایی برخوردار است. بابائیان و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی آسیب‌پذیری سیستم منابع آب نسبت به کم‌آبی را با استفاده از چارچوب حسابداری آب SEEA-Water در محدوده مطالعاتی رفسنجان تحلیل کردند. در این پژوهش برای ارزیابی آسیب‌پذیری، نشانگرهایی به کمک حسابداری آب استخراج شد. نتایج نشان داد سیستم‌های منابع آب و اقتصادی-اجتماعی منطقه مورد مطالعه نسبت به کمبود آب آسیب‌پذیر است. هدف از این مطالعه معرفی چارچوب +WA به‌عنوان روشی آسان و استاندارد است که وضعیت مدیریت آب و زمین را در حوضه‌های آبریز پیچیده توصیف می‌کند. داده‌های مورد نیاز این چارچوب می‌تواند از تصاویر ماهواره‌ای تهیه شود. Bastiaanssen (۲۰۰۹) برای اولین‌بار +WA را بر اساس چارچوب IWMI[3] معرفی نمود. در این پژوهش سه کاربرگ[4] منابع آب، مصارف و میزان بهره‌وری محصول معرفی شد. کاربرگ منابع آب بر اساس کاربری‌های مختلف زمین و همچنین استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای برآورد بارش، تبخیر، میزان زیست توده و تهیه نقشه‌های کاربری زمین توسعه داده شد. Droogers و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده از چارچوب +WA، وضعیت منابع آبی در اوکاوانگو واقع در کشور آنگولا را تحلیل کردند و کاربرگ‌های حسابداری را ارائه نمودند. نسبت تبخیرتعرق به بارندگی حدود ۱۰۲ درصد به‌دست‌آمد که نشان داد مقدار آبی که مصرف می‌شود کمی بیشتر از میزان بارش‌ها می‌باشد. همچنین نشانگر بسته بودن حوضه حدود ۹۲ درصد محاسبه شد و نشان داد که این حوضه هنوز به یک حوضه بسته تبدیل نشده است. Karimi و همکاران (۲۰۱۳a) تلاش نمودند که کاربرگ‌های دیگری برای +WA توسعه دهند. در این مطالعه چهار کاربرگ منابع آب، تبخیرتعرق، بهره‌وری محصول و برداشت معرفی شد. همچنین (Karimi و همکاران، ۲۰۱۳b) کاربرد چارچوب +WA را برای ارزیابی کاهش منابع آبی، تغییرات ذخیره و بهره‌وری زمین و آب در حوضه ایندا‌س نشان دادند. آن‌ها بیان کردند که چگونه برآوردهای حاصل از تصاویر ماهواره‌ای برای بارش، تبخیرتعرق و میزان زیست‌توده می‌تواند در +WA مفید واقع شود و چگونه نتایج حسابداری می‌تواند برای شناسایی مشکلات و حل آن‌ها در آینده تفسیر شود. در نتایج حسابداری آن‌ها گزارش شد که حوضه ایندا‌س تقریباً یک حوضه بسته است و حدود ۹۵ درصد از آب قابل دسترس مصرف می‌شود و همچنین نیمی از این آب مصرفی در فرآیندهایی که سود کمی دارند استفاده می‌شود. همچنین مصرف سالانه آب به اضافه جریان‌های خروجی در این حوضه از کل بارندگی بیشتر است. بنابراین مقدار ذخیره آب زیرزمینی در حال کاهش است. Dost و همکاران (۲۰۱۲) نیز کاربرگ‌های منابع آب، تبخیرتعرق و بهره‌وری محصول را برای حوضه رودخانه آواش واقع در کشور اتیوپی برای سه سال خشک، تر و نرمال تهیه نمودند. آن‌ها گزارش کردند که میانگین سالانه بارش در حوضه حدود ۵۸۱ میلیمتر و مقدار تبخیرتعرق ۵۰۷ میلیمتر است، بنابراین حدود ۷۴ میلیمتر از آب مازاد می‌تواند

آبخوان را تغذیه کند. Bastiaanssen و همکاران (۲۰۱۵) از نسخه توسعه یافته چارچوب +WA برای تهیه گزارش‌های وضعیت منابع آب و مدیریت آن در حوضه رودخانه کا واقع در ویتنام استفاده کردند. آن‌ها در ابتدا گزارشی از مشکلات موجود در حوضه تهیه کردند و سپس راه‌حل‌هایی برای آن ارائه کردند. راه‌حل‌هایی از جمله ایجاد سیستم‌های جنگلی سالم برای ذخیره باران و کنترل رواناب و در نتیجه کاهش فرسایش را گزارش کردند. همچنین راه‌کارهایی مانند ساخت مخازن بیشتر، مدیریت بهتر آب‌های خروجی از سدها بر اساس نیازهای پایین دست و نیازهای محیط‌زیست در دستور کار قرار گرفت. Peiser و Bastiaanssen (۲۰۱۵) برای رودخانه هیلمند واقع در کشور افغانستان از چارچوب +WA برای تولید جدول‌های حسابداری آب استفاده کردند. پژوهش آن‌ها نشان داد که مصرف آب در بخش کشاورزی حدود ۴۵ درصد آب قابل بهره‌برداری است و ۳۵ درصد آب قابل در دسترس است. همچنین آن‌ها نشان دادند که کاهش مصرف ناسودمند آب، از دو روش کشاورزی دیم و کشاورزی فاریاب امکان‌پذیر است. آن‌ها پیشنهاد دادند که فرآیندهای مدیریتی می‌تواند برای افزایش نفوذ آب در خاک مانند نگهداشت آب باران، افزایش ظرفیت نگهداشت رطوبت خاک با اضافه کردن مواد آلی به خاک و کاهش تبخیر از سطح خاک با استفاده از مالچ به‌کارگرفته شوند.

در این مقاله ضمن معرفی سامانه‌های حسابداری موجود و بیان محدودیت‌های آن‌ها، چارچوب تحلیلی +WA، نقش دسته‌بندی کاربری زمین در چارچوب +WA، لزوم استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، نشانگرهای کارایی، سودمندی‌ها و محدودیت‌های +WA نیز بیان شده است.

معرفی سامانه‌های حسابداری موجود

در دهه اخیر حسابداری آب به‌عنوان یک مفهوم نوین توجه بسیاری از متخصصان آب را به خود جلب کرده است. تاکنون سازمان‌های ملی و بین‌المللی مانند بخش آمار سازمان ملل (UNSD)[۵]، بخش آب سازمان ملل (UN-Water)[۶]، فائو (FAO)[۷]، سازمان بین‌المللی مدیریت آب (IWMI)، کمیسیون بین‌المللی آبیاری و زهکشی (ICID)[۸] و دولت استرالیا چارچوب‌هایی برای حسابداری آب ارائه کرده‌اند (Godfrey و Chalmers، ۲۰۱۲). همچنین در سال‌های اخیر چارچوب جدیدی از حسابداری آب بر پایه بیلان منابع آب حوضه آبریز، بر اساس قوانین IMWI و موسسه مهندسی هیدرولیک و محیط‌زیست دانشگاه دلف هلند و همچنین با همکاری فائو در سال ۲۰۱۳ توسعه یافته است (Karimi و همکاران، ۲۰۱۳a).

به‌طورکلی چارچوب‌های حسابداری آب بر اساس چگونگی مطالعه منابع آب و روش‌های برآورد مصارف آب به دو دسته تقسیم می‌شوند: گروه اول روش‌های مبتنی بر جریان‌های فیزیکی آب هستند. روش‌های حسابداری مبتنی بر جریان‌های فیزیکی آب بر اساس داده‌های اندازه‌گیری شده دبی رودخانه، آب‌بندها، تخصیص‌ها و برداشت‌ها می‌باشد. این سامانه‌ها بیشتر مفهوم آب آبی را در نظر می‌گیرند. این گروه چندین سامانه حسابداری مانند فائو، سامانه حسابداری اقتصادی-محیط‌زیستی سازمان ملل (SEEA-Water) و سامانه حسابداری استرالیا را در برمی‌گیرد. گروه دوم روش‌های مبتنی بر میزان آب مصرف شده می‌باشند. این روش‌های حسابداری در فرآیندهای محاسباتی خود مقدار مصارف آب را به‌جای میزان برداشت آب از منابع در نظر می‌گیرند. آب مصرفی به‌گونه‌ای است که کاربرد آن برای پایین دست امکان‌پذیر نباشد. براساس این تعریف، آب به‌صورت تبخیرتعرق، جریان‌های چاهه‌ای[۹]، شرکت در فرآیند تولید محصول یا کاهش کیفیت، مصرف می‌شود. همچنین به‌دلیل کمبود داده‌های مربوط به مقدار برداشت و جریان‌های برگشتی در حوضه‌های آبریز، کاربرد میزان مصارف به‌جای مقادیر برداشت می‌تواند از خطاهای برآورد آب برگشتی جلوگیری کند. چارچوب‌های حسابداری IWMI و ICID در این دسته قرار دارند. سامانه‌های حسابداری موجود هر یک دارای محدودیت‌هایی هستند که به برخی از آن‌ها در جدول (۱) اشاره شده است (Karimi و همکاران، ۲۰۱۲).

جدول ۱- شناسایی محدودیت‌های موجود در سامانه‌های حسابداری موجود

سامانه حسابداری	محدودیت‌ها
SEEA-Water و سامانه حسابداری آب استرالیا	نتایج برخی از این چارچوب‌ها برای کاربرد در تصمیم‌گیری‌ها بسیار پیچیده است.
SEEA-Water و سامانه حسابداری آب استرالیا	ورودی‌های مورد نیاز آن‌ها اغلب قابل دسترس نیست یا بر پایه پایش دراز مدت آن‌ها می‌باشد.
سامانه حسابداری آب استرالیا و FAO	بعضی از آن‌ها فقط مقادیر رواناب و برداشت از منابع را در نظر می‌گیرند.
FAO، IWMI و ICID	برخی از این چارچوب‌ها امکان تهیه حساب‌های مبتنی بر جریان‌های آب را به‌صورت دنباله‌های زمانی فراهم نمی‌کنند.
SEEA-Water و سامانه حسابداری آب استرالیا	برخی از این چارچوب‌ها ویژه منطقه خاصی هستند و جهانی نیستند.
SEEA-Water و سامانه حسابداری آب استرالیا	برخی قادر به ارزیابی اثرات به کارگیری روش‌های مختلف مدیریتی در منابع و مصارف آب نیستند.
سامانه حسابداری آب استرالیا، SEEA-Water، IWMI و ICID	برخی پیوند بین کاربری زمین و جریان آب را در نظر نمی‌گیرند.

معرفی چارچوب حسابداری آب +WA

روش +WA چارچوبی آسان، قابل فهم و استانداردی است که وضعیت مدیریت آب و زمین را در حوضه‌های آبریز پیچیده توصیف می‌کند. کمبود دسترسی به داده‌های منابع آب در حوضه‌های بین‌المللی یکی از چالش‌های بزرگ است. بنابراین استفاده از تصاویر ماهواره‌ای گزینه مناسبی برای دسترسی به داده‌های پایه هیدرولوژیکی و فرایندهای سطح زمین است. باتوجه‌به اینکه دسترسی به داده‌ها یکی از نکات کلیدی برای تهیه حساب‌های آب در حوضه‌های آبریز می‌باشد، داده‌های خام از تصاویر ماهواره‌ای نیاز به یکپارچه‌سازی، دسته‌بندی و ارائه در چارچوب قابل فهم دارند (Karimi و همکاران، ۲۰۱۳a).

چارچوب +WA از قانون‌های سامانه حسابداری آب IWMI پیروی می‌کند و مقدار مصرف را به‌جای برداشت در نظر می‌گیرد. +WA تعریف همسانی برای مصرف آب در نظر می‌گیرد، اما جزئیات بیشتری در فرایندهای ضروری در بر می‌گیرد. فرایند اصلی این چارچوب بر میزان مصرف آب بر اساس کاربری‌های مختلف زمین و آب قرار داده شده است. +WA بر اساس روش بیلان آب نهاده شده است. اساس بیلان آب در این روش به این صورت است که جریان خروجی در یک حوضه آبریز به دو بخش جریان خالص آب و مصرف آب در فرایندهای تبخیر-تعرق تقسیم می‌شود. در این روش نیازی به محاسبه برداشت و جریان برگشتی نیست و مقدار مصرف از داده‌های ماهواره‌ای می‌تواند اندازه‌گیری شود که از دلایل انتخاب این روش محسوب می‌شود.

بیلان کلی در یک حوضه در یک بازه زمانی به‌صورت زیر بیان می‌شود:

$$P+(Q_{in}^{SW}+Q_{in}^{GW})-ET-(Q_{in}^{SW}+Q_{in}^{GW})+\Delta S=0 \qquad (۱)$$

که در آن، P بارندگی، Q_{in}^{SW} و Q_{in}^{GW} جریان‌های سطحی و زیرزمینی ورودی به حوضه، Q_{out}^{SW} و Q_{out}^{GW} جریان‌های خروجی سطحی و زیرزمینی، ET میزان کل تبخیرتعرق و ΔS تغییرات در مقدار ذخیره است.

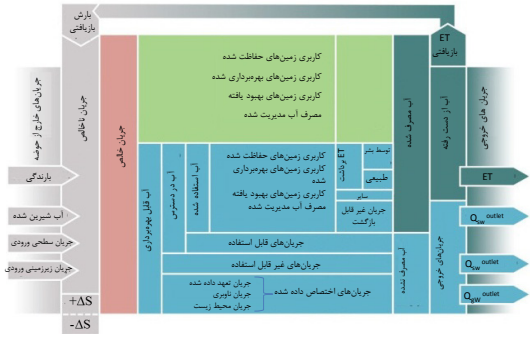
پارامتر تغییرات در مقدار ذخیره به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\Delta S=\Delta S_f^{SW}+\Delta S_f^{GW}+\Delta S_f^{SM}+\Delta S_P \qquad (۲)$$

که در آن، ΔS_f^{SW}، ΔS_f^{GW} و ΔS_f^{SM} به‌ترتیب تغییرات در مقدار ذخیره آب شیرین به‌صورت سطحی و زیرزمینی و ذوب حاصل از برف و یخ می‌باشد. ΔS_P تغییرات در مقدار آب آلوده شده است (Karimi و همکاران، ۲۰۱۳a).

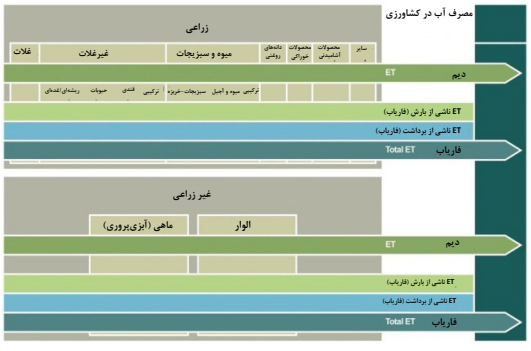
چارچوب تحلیلی +WA

+WA براساس اندازه‌گیری بارندگی، تبخیرتعرق واقعی، تولید زیست‌توده، کاربری زمین، سطح آب در دریاچه‌ها و مخازن بنا نهاده شده است. با استفاده از این داده‌ها فرایندهایی مانند توزیع رواناب برآورد می‌شود. داده‌های مورد نیاز دیگر مانند دبی رودخانه، دبی پایه، تغذیه آب زیرزمینی، و میزان برداشت‌ها نیز در این چارچوب استفاده می‌شود. به‌طورکلی داده‌های ورودی مورد نیاز این چارچوب می‌تواند از اندازه‌گیری‌های ماهواره‌ای، مدل‌های هیدرولوژیکی و داده‌های زمینی فراهم شود. مدل‌های هیدرولوژیکی مورد استفاده می‌تواند شامل مدل‌های استاندارد جهانی مانند PCR-Globwb, GlobWat یا مدل‌های منطقه‌ای مانند SWAT و MIKE باشد. چارچوب +WA براساس آخرین به‌روزرسانی در سال ۲۰۱۶، شامل ۸ کاربرگ است که در جدول (۲) معرفی شدند (WWW.WaterAccounting.org). واژه‌های به‌کاررفته در این سامانه نیز در جدول (۳) معرفی شدند. نمود کلی از جزئیات کاربرگ‌های +WA در شکل‌های (۱) تا (۱۰) ارائه شده است.



شکل ۱- کاربرگ منابع آب (m3/yr)

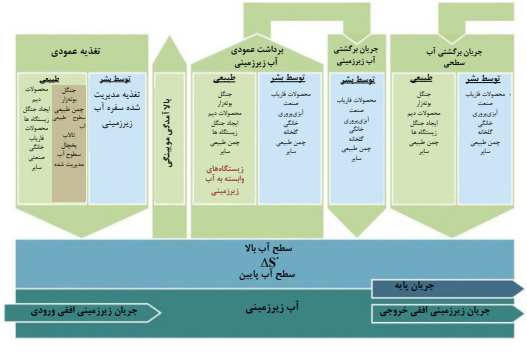
شکل ۲- کاربرگ تبخیرتعرق (m3/yr)



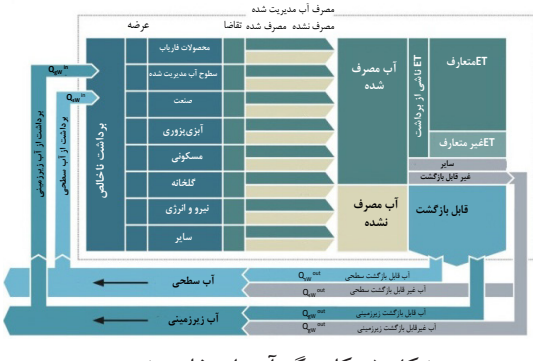
شکل ۳- کاربرگ خدمات کشاورزی- قسمت اول: مصرف آب در کشاورزی (m3/yr)

شکل ۷- کاربرگ آب سطحی (m3/yr)

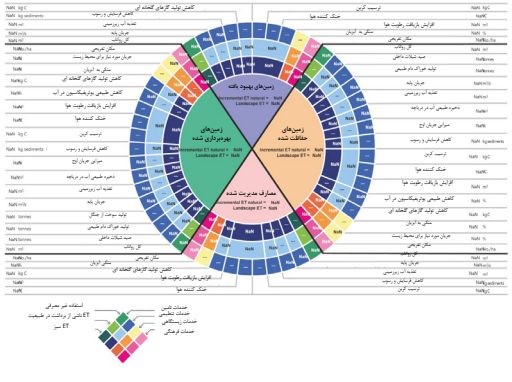
شکل ۴- کاربرگ خدمات کشاورزی- قسمت دوم: بهره‌وری زمین (kg/ha/yr) و بهره‌وری آب (kg/m3)



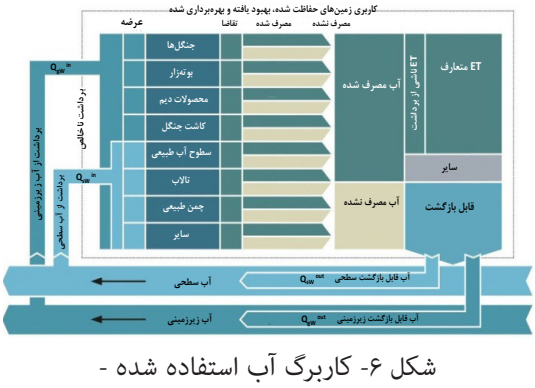
شکل ۸- کاربرگ آب زیرزمینی (m3/yr)



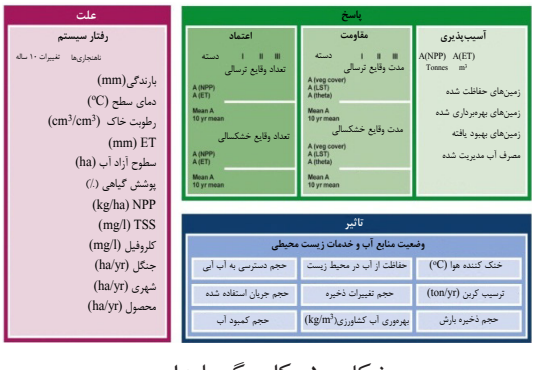
شکل ۵- کاربرگ آب استفاده شده - قسمت اول: توسط بشر (m3/yr)



شکل ۹- کاربرگ خدمات بوم‌زیستی-هیدرولوژیکی



شکل ۶- کاربرگ آب استفاده شده - قسمت دوم: طبیعی (m3/yr)



شکل ۱۰- کاربرگ پایداری

جدول ۲- معرفی کاربرگ‌های چارچوب حسابداری +WA

کاربرگ	فرایند تصمیم‌گیری در مدیریت آب	فرایندهای هیدرولوژیکی
کاربرگ منابع آب	دید کلی از منابع آب قابل بهره‌برداری، قابل مدیریت، غیرقابل مدیریت، اختصاص داده شده، استفاده شده و قابل استفاده را ایجاد می‌کند. پیوند بین تبخیرتعرق ناشی از بارش و تبخیرتعرق ناشی از برداشت‌های طبیعی و انسانی را تعیین می‌نماید. کمی کردن چرخه جو	بارندگی، تبخیرتعرق، رواناب، جریان‌های خالص و جریان رطوبتی جو
کاربرگ تبخیرتعرق	محاسبه مصرف آب به‌وسیله دسته‌بندی کاربری زمین و گروه‌های مصرف‌کننده آب، توصیف تأثیر انسان بر تبخیرتعرق، مصرف سودمند و ناسودمند، تقسیم مصرف سودمند به کشاورزی، زیست‌بومی، اقتصاد، انرژی، بخش تفریحی	تبخیرتعرق از خاک و سطح آب، تعرق و برگاب
کاربرگ خدمات کشاورزی	حفظ امنیت غذایی، تخصیص آب به آبیاری، نگهداری از سامانه‌های تولید دیم، تعریف سامانه‌های کشت آینده، اصلاح کاربری زمین، نشان دادن امکان ذخیره آب در بخش کشاورزی، کاهش و یا توسعه زمین‌های آبیاری شده	محصول، مصرف و بهره‌وری آب
کاربرگ آب استفاده‌شده	شناسایی مصرف‌های مختلف آب، شناسایی برداشت‌های انسانی و طبیعی، توصیف برداشت از آب سطحی و زیرزمینی، تمیز دادن بین آب مصرف شده و مصرف نشده، شناسایی آبهای قابل بازیافت و غیر قابل بازیافت، کمی کردن چرخه آب	برداشت‌ها، مصرف، جریان برگشتی، زهکشی، تغذیه، کاهش کیفیت آب
کاربرگ آب سطحی	شناسایی آب‌های سطحی در دسترس و برداشت‌های قابل استفاده در هر قسمت از حوضه، آماده سازی طرح‌های اختصاص آب سطحی، تعریف حقابه، ناوبری، حفظ گونه‌های در معرض خطر، برنامه‌ریزی زیرساخت‌ها و توسعه منابع آب	رواناب، زهکشی، برداشت، جریان طبیعی، جریان خالص، جریان برگشتی، تغییر در ذخیره
کاربرگ آب زیرزمینی	ارزیابی آبخوان‌ها به‌عنوان مخزن‌های ذخیره برای خشکسالی‌ها و نقش آن‌ها به‌عنوان یک مخزن ذخیره، آماده کردن طرح‌های برداشت مطمئن از آب زیرزمینی (یعنی جلوگیری از کاهش سطح آب زیرزمینی)، ارائه مجوز بهره‌برداری، تغذیه مدیریت شده آبخوان	تغذیه، برداشت‌ها، جریان برگشتی، جریان جانبی
کاربرگ خدمات بوم‌زیستی هیدرولوژیکی	حفاظت از تنوع زیستی گیاهان و جانوران، نگهداشت سیلاب و جریان‌های تاخیری، اجرای کشاورزی هوشمند، جلوگیری از تخریب فیزیکی و شیمیایی زمین، بازچرخانی جریان با کیفیت آب کاهش یافته، ترسیب کربن، کاهش آزاد شدن گازهای گلخانه‌ای، انعطاف پذیری خشکسالی، فرسایش خاک، رشد اقتصادی	بارش قابل بازیافت، رواناب سطحی، جریان پایه، دبی رودخانه، بهره‌وری آب، فرسایش، تبادل بین زمین و جو یعنی گازهای گلخانه‌ای (H_2O، CO_2، CH_4، N_2O)، ترسیب کربن، ظرفیت ذخیره آب
کاربرگ پایداری	پایش تغییرات در سطح، حجم و همچنین تغییرات در دوره و بزرگی سیلاب‌ها و خشکسالی‌ها، تغییرات در کاربری زمین، تغییرات در خدمات کشاورزی و محیط‌زیستی	دوره‌های زمانی بارش، رطوبت خاک، تغییرات کاربری زمین، ناهنجاری‌های تبخیرتعرق

جدول۳- تعریف واژه‌های به‌کاربرده شده در چارچوب +WA

واژه‌ها	تعریف
جریان‌ناخالص[10]	کل حجم آب ورودی به حوضه است که شامل بارندگی و هر نوع جریان ورودی از منابع سطحی و زیرزمینی از خارج از مرزهای حوضه می‌شود.
جریان خالص[11]	به مقدار جریان ناخالص پس از اصلاح آن برای تغییرات ذخیره آب در یک دوره زمانی گویند. تغییرات در مقدار ذخیره آب شیرین شامل ذخیره آب سطحی، ذخیره آب زیرزمینی شامل رطوبت خاک، ذوب برف و یخ می‌شود. زمانی که برداشت از منابع آب زیرزمینی انجام گیرد، جریان ورودی خالص به همان اندازه از جریان ناخالص بیشتر می‌شود.
تبخیر –تعرق سبز[12] (آب سبز) (Falkenmark و Rockstorm، ۲۰۰۶)	تبخیرتعرق ناشی از چرخه طبیعی آب و بدون در نظر گرفتن برداشت‌ها
آب قابل بهره‌برداری[13] (آب آبی) (Falkenmark و Rockstorm، ۲۰۰۶)	آب قابل بهره‌برداری که در مخزن‌ها، رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و آب‌های زیرزمینی موجود است به سه بخش آب مورد استفاده، آب قابل استفاده، آب غیر قابل استفاده و جریان‌های اختصاص داده شده تقسیم می‌شود.
جریان‌های اختصاص داده شده[14]	این جریان‌ها شامل جریان‌هایی که تعهد داده شدند، جریان‌های ناوبری و جریان‌های محیط‌زیستی می‌شوند.
آب در دسترس[15]	آب قابل بهره‌برداری منهای آب اختصاص داده شده و جریان‌های غیر قابل استفاده، آب در دسترس است که می‌تواند برای استفاده در بخش‌های مختلف به کار رود.
آب استفاده شده[16]	آبی که به مصرف رسیده و شامل تبخیرتعرق اضافی و آب آلوده شده می‌باشد.
آب قابل استفاده[17]	آب در دسترس منهای آب استفاده شده را، آب قابل استفاده می‌نامند. آبی که نه مصرف شده و نه اختصاص داده شده و قابل استفاده برای حوضه یا صادر کردن آن به حوضه‌های دیگر است.
آب غیر قابل استفاده (آب تنظیم‌نشده)[18]	جریان‌هایی هستند که اغلب در هنگام سیل یا بعد از آن جاری می‌شوند. قسمتی از این آب‌ها می‌تواند برای استفاده در پایین‌دست سهمیه‌بندی شوند اما چون حجم و زمان وقوع آن‌ها نامشخص است در دسته‌ای جدا گانه قرار گرفته‌اند.
جریان‌های‌خروجی[19]	مقدار آبی که به‌صورت فیزیکی حوضه را ترک کرده که به‌صورت سطحی و زیرزمینی است.
ET سودمند و ناسودمند[20]	در کاربرگ تبخیر تعرق می‌توان مصارفی همچون تبخیر از سطح خاک،آب، سطوح خیس مانند ساختمان‌ها و برگاب را مصارف ناسودمند دانست و فرایند تعرق را مصرف سودمند دانست. البته گاهی بسته به هدف مورد نظر می‌تواند این تعاریف کمی تغییر کند.

نقش دسته‌بندی کاربری زمین در +WA

برای نشان دادن نقش تغییرات کاربری زمین در چارچوب +WA، دسته‌های مختلف کاربری زمین در چهار دسته اصلی براساس توانایی مدیریت آن‌ها قرار می‌گیرند. این گروه‌ها شامل مصرف آب مدیریت شده، کاربری زمین‌های بهبود یافته، کاربری زمین‌های بهره‌برداری شده و کاربری زمین‌های حفاظت شده هستند (Karimi و همکاران، ۲۰۱۳a):

۱. دسته «مصرف آب مدیریت شده[21]»: نوعی از دسته‌بندی کاربری زمین است که در آن چرخه آب با ساخت سازه‌های فیزیکی دست‌کاری می‌شود، آب برای هدف‌های مختلف، نگهداری، برداشت و پمپاژ می‌شود و توسط ایستگاه‌های پمپاژ، شیرها، لوله‌ها، سدها، بندها، دریچه‌ها، کانال‌ها، آبگیرها، کالورت‌ها به مصرف می‌رسد. برای نمونه طرح‌های تامین آب شرب، سیستم‌های آبیاری، ذخیره برای نیروگاه‌ها، دریانوردی، ذخیره سیلاب در تالاب‌ها، مصرف آب خانگی در مناطق شهری و روستایی، کشاورزی فاریاب، توسعه صنعت برای پیشرفت اقتصادی و زمین‌های گلف را شامل می‌شود.

۲. دسته «کاربری زمین‌های بهبود یافته[22]»: به زمین‌هایی گفته می‌شود که توسط فعالیت‌های بشر برای تولید غذا، علوفه، سوخت‌های بیوفیزیکی و پرورش ماهی تغییر زیادی یافتند. همچنین شامل شبکه جاده‌ها، مکان‌های دفن زباله و توسعه مکان‌های تفریحی و مکان‌هایی برای رشد اجتماعی و اقتصادی هستند.

۳. دسته «کاربری زمین‌های بهره‌برداری شده[23]»: مناطقی شامل دامنه‌ای از خدمات زیست‌بومی هستند که ارتباط کمی با کارهای بشر دارند، اگرچه انسان‌ها از خدمات آن برای تولید غذا یا چوب

برای سوخت و چادرنشینی در چراگاه‌های طبیعی استفاده می‌کنند. برای نمونه، این گروه شامل چمن‌زارها یا دشت‌ها (برای چراندن یا تهیه چوب) و زمین‌های جنگلی (برای الوار) می‌شود. این دسته برای چرخه کربن نیز مطلوب است. نمونه‌های دیگر این نوع کاربری شامل حیوانات اهلی و وحشی، پرندگان، چوب ذغال، نفت و معدن می‌شود. زیست‌بوم‌های وابسته به آب‌های زیرزمینی بخشی از این گروه است که به‌عنوان گونه‌های مهاجم هستند.

۴. دسته «کاربری زمین‌های حفاظت شده[۲۴]»: مناطقی هستند که دست‌کاری بشر در آن‌ها کم بوده است که شامل زیست‌بوم‌های طبیعی، جنگل‌ها، آبکنارهای حفاظت شده، پارک‌های حفاظت شده، تپه‌های شنی، یخچال‌ها و تالاب‌های دارای اهمین بین‌المللی هستند.

لزوم استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در +WA

جمع‌آوری داده از منابع و سازمان‌های مختلف برای کاربرد آن در +WA پرچالش‌ترین کار و درعین‌حال مانعی بزرگ برای کاربردی کردن حسابداری آب است. ابزار سنجش از دور می‌تواند داده‌های مکانی را تولید کند و این امکان را فراهم می‌کند که چارچوب حسابداری برای مکان‌هایی که ایستگاه اندازه‌گیری وجود ندارد یا به تعداد کافی نیست به‌کارگرفته شود. فایده دیگر استفاده از سنجش از دور، هزینه کم برآورد داده‌ها و سرعت دسترسی به آن‌ها می‌باشد. اندازه‌گیری‌های میدانی وقت‌گیر، گران و تفسیر آن‌ها پیچیده است؛ اما این اندازه‌گیری‌ها در کنار داده‌های ماهواره‌ای می‌توانند برای تکمیل و بهبود آن‌ها سودمند باشند. داده‌های مربوط به کاربری زمین، بارندگی، تبخیرتعرق، رطوبت خاک، تولید زیست‌توده همه می‌توانند از داده‌های خام ماهواره‌ای محاسبه شوند به‌شرط اینکه الگوهای محاسبه‌ای مناسبی برای آن‌ها انتخاب شود (Calmant و همکاران، ۲۰۰۸). Karimi و همکاران (۲۰۱۵a) صحت الگوریتم‌های سنجش از دور را برای برآورد تبخیرتعرق، بارندگی و کاربری زمین با مرور مقالات زیادی در سرتاسر دنیا در مقایسه با داده‌های زمینی بررسی کردند. بررسی آن‌ها نشان داد که با استفاده از روش‌های سنجش از دور برای دوره‌های فصلی و سالانه مقدار تبخیرتعرق می‌تواند با دقت حدود ۹۵٪ ، بارش با دقت ۸۲٪ و کاربری زمین با دقت ۸۵٪ برآورد شود. بنابراین استفاده از داده‌های ماهواره‌ای را گامی بزرگ برای پژوهش‌های هیدرولوژیکی عنوان می‌کنند. با این وجود نیاز به مطالعات و بررسی‌های بیشتر در آینده را نیز پیشنهاد می‌کنند.

Karimi و همکاران (۲۰۱۵b) در پژوهش خود تأثیر خطاهای برآورد سنجش از دور را بر حسابداری آب و اطلاعاتی که به تصمیم‌گیرندگان می‌دهد بررسی کردند. برای این منظور حوضه آواش در کشور اتیوپی را مورد مطالعه قرار دادند. از روش مونت کارلو برای شبیه‌سازی تصادفی خروجی‌های +WA در یک دوره سه ساله استفاده کردند. نتایج نشان داد که میانگین تصادفی بیشتر پارامترهای +WA و نشانگرهای کارایی[۲۵] دارای ۵ درصد انحراف از مقادیر +WA بر اساس یک اجرای منفرد دارد. محاسبات تصادفی به‌عنوان فرایند استاندارد برای +WA انتخاب شد زیرا این روش دامنه‌ای از عدم قطعیت برای هر خروجی +WA در نظر می‌گیرد. بیشتر پارامترهای +WA و نشانگرهای کارایی دارای ضریب تغییرات کمتر از ۲۰ درصد بودند که قابل قبول می‌باشد. نتایج بررسی برای حوضه آواش نشان داد که آب استفاده شده و نشانگر نسبت بسته بودن حوضه بیشترین خطا را دارد.

پژوهشگران زیادی در ایران نیز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، تبخیرتعرق واقعی، بارش و میزان محصولات کشاورزی را اندازه‌گیری کرده‌اند. سهیلی‌فر و همکاران (۱۳۹۲) پژوهشی در سازمان کشت و صنعت نیشکر میرزا کوچک خان واقع در استان خوزستان انجام دادند، تبخیرتعرق واقعی برآورد شده از طریق مدل سبال با تبخیرتعرق گیاه محاسبه شده به روش فائو- پنمن-مانتیث در روزهای گذر ماهواره لندست ۷ [۲۶] مقایسه شد و نمایه‌های آماری مقایسه مذکور به‌صورت RMSE =۰/۶۶ و =۷/۶ SSE میلیمتر بر روز برای برآورد تبخیرتعرق واقعی و R^2 = ۰/۸۷ به‌دست‌آمد.

امیدوار و همکاران (۱۳۹۲) در مطالعه‌ای امکان استفاده از الگوریتم سبال جهت محاسبه تبخیرتعرق واقعی با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس در زیر حوضه آبریز مشهد را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که تصاویر سنجنده مودیس و الگوریتم سبال قادر هستند مقدار تبخیر تعرق واقعی را در مقیاس روزانه در منطقه مشهد به خوبی برآورد نمایند.

مددی و همکاران (۱۳۹۴) قابلیت داده‌های ماهواره TRMM[۲۷] در برآورد بارش روزانه، ماهانه و سالانه برای دوره آماری ۲۰۱۲-۲۰۰۰ و مقایسه آن با داده‌های بارش ۳۰ ایستگاه هواشناسی در غرب ایران را بررسی کردند. نتایج نشان داد که همبستگی معنی‌داری در سطح ۵ درصد بین داده‌های بارش زمینی و ماهواره‌ای در مقیاس ماهانه و سالانه وجود دارد.

محاسبه نشانگرهای کارایی

در چارچوب +WA نشانگرهایی تعریف می‌شود تا بتوان وضعیت حوضه آبریز را تحلیل نمود. این نشانگرها به مدیران منابع آب کمک می‌کنند تا اطلاعات کلیدی در مورد مدیریت آب در حوضه به‌دست‌آورند. با داشتن این داده‌ها در طول زمان، روند تغییرات نشانگرها را می‌توان نشان داد. همچنین با این نشانگرها تأثیر سیاست‌های آب بر کمبود آب و سود حاصل از مصرف آب کمی می‌شود (Karimi و همکاران، ۲۰۱۳a).

• نشانگرهای کاربرگ منابع آب:

۱. نسبت آب قابل بهره‌برداری= آب قابل بهره‌برداری/جریان خالص آب: نسبت آب قابل بهره‌برداری بخشی از جریان خالص آب است که توسط فرآیند تبخیرتعرق مصرف نشده است. این نسبت به کل جریان ایجاد شده در حوضه رودخانه و همچنین آب دریافت شده از ذخیره آب شیرین مربوط می‌شود.

۲. نسبت تغییرات ذخیره = تغییرات ذخیره آب شیرین/آب قابل بهره‌برداری: این نسبت درجه وابستگی به تغییرات ذخیره آب شیرین را بیان می‌کند. ذخیره آب شیرین شامل منابع آب سطحی، زیرزمینی و کل ذخیره آب است. مقادیر منفی آن نشان دهنده کاهش ذخیره و مقادیر مثبت آن بیان کننده افزایش آب در یک دوره محاسبه به حوضه است.

۳. نسبت آب در دسترس = آب در دسترس/آب قابل بهره‌برداری: نسبت آب در دسترس بخشی از آب قابل بهره‌برداری را که برای برداشت‌ها در حوضه در دسترس است بیان می‌کند.

۴. نسبت بسته بودن حوضه= آب استفاده شده/ آب در دسترس: این نسبت نشان می‌دهد که در چه مقیاسی آب در دسترس در حوضه مصرف می‌شود. در یک حوضه بسته کل آب در دسترس مصرف می‌شود.

۵. نسبت جریان‌های اختصاص داده شده= جریان‌های اختصاص داده شده/ مجموع جریان‌های خروجی سطحی و زیرزمینی: این نسبت نشان می‌دهد که چه مقدار از آب حوضه به مسائل محیط‌زیستی اختصاص داده شده است.

• نشانگرهای کاربرگ تبخیرتعرق:

۱. نسبت تعرق= مقدار تعرق/ مقدار کل تبخیرتعرق: این نسبت نشان می‌دهد که چه مقدار از تبخیرتعرق کل توسط گیاهان تعرق می‌یابد و تأثیر فرآیندهای بیوفیزیکی در حوضه را نشان می‌دهد.

۲. نسبت تبخیرتعرق سودمند= (تبخیر سودمند+ تعرق سودمند)/ تبخیرتعرق کل

۳. نسبت تبخیرتعرق مدیریت شده= تبخیرتعرق مدیریت شده/ تبخیرتعرق کل: این نسبت نشان می‌دهد که چه مقدار از تبخیرتعرق در حوضه می‌تواند با کاربری زمین، عملیات شخم و برداشت آب مدیریت شود.

۴. نسبت تبخیرتعرق کشاورزی= تبخیرتعرق ناشی از کشاورزی/ تبخیرتعرق کل

۵. نسبت تبخیرتعرق ناشی از آبیاری=تبخیرتعرق ناشی از زمین‌های آبیاری شده / تبخیرتعرق ناشی از کشاورزی: این نسبت نشان می‌دهد چه مقدار از تبخیرتعرق اتقاق افتاده در زمین‌های کشاورزی مربوط به کشاورزی فاریاب است.

• کاربرگ خدمات کشاورزی:

۱. بهره‌وری زمین برای محصولات کشاورزی=میزان محصول کشاورزی/مساحت زمین: این نسبت تولید محصول را در واحد سطح زمین در یک دوره حسابداری بر حسب کیلوگرم در هکتار بیان می‌کند.

۲. بهره‌وری زمین برای مراتع= میزان محصول برداشت شده از مرتع/ مساحت مرتع

۳. بهره‌وری آب برای محصولات دیم= میزان محصول برداشت شده از زمین‌های دیم/ تبخیرتعرق محصولات دیم

۴. بهره‌وری آب برای محصولات فاریاب= میزان محصول برداشت شده از زمین‌های فاریاب/ تبخیرتعرق محصولات فاریاب

۵. وابستگی تولید غذا به آبیاری= تولید غذا از زمین‌های فاریاب/ تولید کل غذا

• کاربرگ آب استفاده شده:

۱. نسبت برداشت از آب زیرزمینی= میزان برداشت از آب زیرزمینی/ (میزان کل برداشت از آب سطحی و زیرزمینی)

۲. راندمان آبیاری= تبخیرتعرق ناشی از برداشت در زمین‌های کشاورزی فاریاب/ میزان کل برداشت برای کشاورزی فاریاب

۳. نسبت آب برگشتی= کل میزان آب برگشتی/کل میزان آب برداشت شده

سودمندی‌ها و محدودیت‌های +WA

سامانه +WA دارای سودمندی‌ها و محدودیت‌هایی است که باید در کاربرد آن مورد توجه قرار گیرند (جدول ۴).

جدول ۴- سودمندی‌ها و محدودیت‌های +WA

سودمندی‌ها	محدودیت‌ها
از رابطه بین کاربری زمین و تبخیرتعرق، می‌توان تأثیر تغییرات کاربری زمین بر منابع آب قابل بهره‌برداری را یافت.	در حال حاضر نمی‌تواند مدل‌های هیدرولوژیکی را در تابع‌های خود جایگزین کند و اطلاعات با جزئیات بیشتری در مورد جریان آب در یک حوضه تولید کند.
مصرف‌های قابل مدیریت و غیر قابل مدیریت تعریف می‌شوند و این فرآیندها کمی می‌شوند و می‌توان مشاهده کرد که مقدار زیادی از آب به‌صورت طبیعی به فرآیندهای جغرافیایی و جوی واکنش نشان می‌دهد و قابل مدیریت نیست.	+WA مصرف آب در یک حوضه را به‌صورت خلاصه نمایش می‌دهد و جریان از یک مکان به مکان دیگر را تحلیل نمی‌کند. همه رودخانه‌ها به‌صورت یک رودخانه و همه آبخوان‌ها به‌صورت یک آبخوان در نظر گرفته می‌شوند.
داده‌های ورودی این سامانه می‌تواند علاوه بر داده‌های سنجش از دور از خروجی مدل‌های هیدرولوژیکی و داده‌های میدانی نیز تأمین شود.	برای تحلیل جریان در هر نقطه و نیز تجزیه و تحلیل سناریوها +WA به تنهایی نمی‌تواند اطلاعات مورد نیاز را فراهم کند. بنابراین ترکیب آن با مدل‌های هیدرولوژیکی می‌تواند راهگشا باشد.
منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی براساس نوع مدیریت آن‌ها جدا می‌شوند.	منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی اساس توسعه منابع آب و طرح‌های مدیریت حوضه است. اگرچه سهم آب‌های سطحی و زیرزمینی و برداشت ناخالص از آن‌ها در کاربرگ‌های +WA مشخص می‌شود، اما فرآیندی کاربردی در این چارچوب برای کمی کردن این جریان‌ها وجود ندارد.
تبخیرتعرق ناشی از برداشت برای کاربری‌های زمین و گروه‌های مصرف کننده مختلف محاسبه می‌شود و سود حاصل از مدیریت مصرف آب می‌تواند در بخش‌های مختلف تخصیص یابد.	+WA فقط راهنمایی‌های تجربی برای مصارف سودمند و ناسودمند آب ارائه می‌کند درصورتی‌که کاربر نیاز دارد تا آن‌ها را براساس معیارهای شخصی خود ارزیابی کند. زیرا سودمند یا ناسودمند بودن مصارف گاهی بستگی به هدف مورد نظر دارد. در حالی‌که تبخیرتعرق ناشی از برداشت در این چارچوب ارزیابی می‌شود، پژوهش‌های علمی بیشتری نیاز است تا راه‌حل عمومی برای تعیین تبخیرتعرق ناشی از برداشت از تبخیرتعرق کل و ناشی از بارش توسعه یابد.
داده‌های ورودی برای +WA می‌تواند با استفاده از اندازه‌گیری‌های ماهواره‌ای به‌دست آید. بنابراین وابستگی این سامانه به سازمان‌های محلی کاهش می‌یابد و روش‌های جمع‌آوری داده، استاندارد و شفاف می‌شود. همچنین مشکلات حقوقی در مورد استفاده از داده‌های سازمان‌های خاص وجود ندارد. این موضوع باعث می‌شود +WA در سطح بین‌المللی و برای حوضه‌ها کاربرد داشته باشد. امکان استفاده از داده‌های سنجش از دور در این روش، کاربر را از جمع‌آوری میدانی داده‌های زیاد بی‌نیاز می‌کند. همچنین پایش مکانی تغییرات منابع آبی و محیط زیستی توسط داده‌های سنجش از دور امکان‌پذیر می‌شود.	داده‌های ماهواره‌ای که در +WA استفاده می‌شوند اغلب دارای خطا هستند که باید در نظر گرفته شوند زیرا ماهواره‌ها فرایندهای هیدرولوژیکی را به صورت غیرمستقیم برآورد می‌کنند. خطاها در حجم بالای آب (مثلا بارش و تبخیرتعرق) می‌تواند خطاهای بزرگی در برآورد جریان‌های رودخانه و آبخوان ایجاد کند. پژوهش‌های زیادی لازم است تا تأثیر این خطاها در خروجی‌های +WA مشخص شود. همچنین استفاده از داده‌های ماهواره‌ای نیاز به کارشناس خبره در این زمینه دارد و توسط هر کسی قابل انجام نیست.
در صورت وجود داده و اطلاعات مورد نیاز +WA می‌تواند در مقیاس‌های کوچک مکانی و زمانی نیز تهیه شود.	+WA حساب‌های مالی مربوط به منابع و مصارف آب را شامل نمی‌شود.
باتوجه‌به اینکه +WA چرخه هیدرولوژیکی را در نظر می‌گیرد، اما روشی آسان و قابل فهم است.	+WA کاربرگ مجزایی برای تحلیل کیفیت منابع آبی در نظر نگرفته است.

تحلیل وضعیت منابع و مصارف آب در حوضه آبریز

با استفاده از جدول‌ها، نقشه‌ها و نتایج حاصل از نشانگرهای کارایی در چارچوب +WA می‌توان وضعیت منابع و مصارف آب در حوضه آبریز را ارزیابی و تحلیل کرد. چارچوب +WA بینش راهبردی در امکان تأمین منابع آب و انعطاف‌پذیری نسبت به خشکسالی و تغییرات اقلیمی را فراهم می‌کند و همچنین حجمی از آب را برای حفظ تنوع زیستی و جلوگیری از تخریب زمین در نظر می‌گیرد. چارچوب +WA امکان ارزیابی تأثیر کاربرد روش‌های مدیریتی مختلف را ممکن می‌سازد، مانند (۱) باز تخصیص آب، (۲) کاهش برداشت از آب زیرزمینی، (۳) کم‌آبیاری (۴) استفاده از روش‌های نوین آبیاری (۵) تغذیه مصنوعی (۶) حفظ آب و ذخیره‌سازی آن (۷) تصفیه فاضلاب (۸) بهبود بهره‌وری آب (۹) گسترش شهری (۱۰) جنگل زدایی (۱۱) معرفی محصولات زیستی سوختی (۱۲) تغییر الگوی کشت (۱۳) شیوه‌های اصلاح الگوی کشت و غیره.

جمع‌بندی

وجود سامانه‌های حسابداری آب برای فرآیند شناسایی، تشخیص، کمی‌سازی، ارائه گزارشگری و اطلاعات اعتباردهی در مورد آب، حقوق و سایر ادعاها نسبت به آب و تعهدات در برابر آن می‌تواند به‌ویژه برای مناطق خشک و نیمه‌خشک سودمند باشد. حسابداری آب، بر پایه اطلاعاتی در مورد منابع آب، انجام تصمیمات رسمی در مورد آب را تسهیل می‌کند. تاکنون چارچوب‌های حسابداری مختلفی شکل گرفتند که چارچوب +WA یکی از روش‌های جدیدی است که بر پایه بیلان منابع آب تعریف شده است. این چارچوب با دارا بودن ۸ کاربرگ جنبه‌های مختلفی از وضعیت هیدولوژیکی، کشاورزی، محیط‌زیستی و زیست‌بومی را در یک حوضه آبریز دربرمی‌گیرد. ویژگی اصلی این روش این است که می‌توان داده‌های ورودی مورد نیاز این چارچوب را از داده‌های ماهواره‌ای استخراج کرد. همچنین از مدل‌های هیدرولوژیکی و داده‌های زمینی می‌توان برای تهیه داده‌های مورد نیاز استفاده کرد. بنابراین با استفاده از نتایج این چارچوب می‌توان وضعیت حوضه آبریز را بررسی و ارزیابی کرد. نیاز است تا این سامانه در آینده ضعف‌های خود را برطرف کند و کاربرگ‌های دیگری را نیز تعریف نماید تا تحلیل حوضه را به‌صورت کامل و جامع میسر سازد.

باتوجه‌به اینکه در کشور ما مدیریت منابع آب در سازمان‌های مرتبط، براساس سیاست جداسازی مسئولیت‌ها و عملکردها است، به‌این ترتیب هر یك از بخش‌ها در محدوده هدف‌های تعیین شده، بدون پیوند با یکدیگر فعالیت می‌کنند و آثار خارج از مرزهای پروژه را در نظر نمی‌گیرند. بنابراین یکی از مهم‌ترین نیازهای بخش آب می‌تواند کاربرد سامانه حسابداری آب باشد. تاکنون پژوهش‌های کمی در این زمینه انجام شده و باتوجه‌به مطالب مرور شده فقط سامانه حسابداری اقتصادی- زیست‌محیطی در چند مورد محدود مورد بررسی قرار گرفته است. باتوجه‌به مطالب گفته شده در توصیف سامانه حسابداری +WA، می‌توان تلاش‌هایی در جهت کاربردی کردن آن برای حوضه‌های آبریز کشور انجام داد. از محدودیت‌های اصلی اجرای این سامانه و همچنین سامانه‌های حسابداری دیگر، نبود سامانه‌های یکپارچه و کامل از داده‌های آب و هواشناسی و هیدرولوژیکی حوضه‌ها است. همچنین بانک اطلاعاتی کامل، به‌روز و واسنجی شده از داده‌های سنجش از دور برای حوضه‌های آبریز وجود ندارد. بنابراین گام نخست همکاری نهادهای مرتبط با آب در ایجاد بانک‌های اطلاعاتی مورد نیاز است. این اطلاعات اگر به‌صورت مداوم و تحت وب پایش شوند، می‌توانند گام موثری در تولید حساب‌های مربوط به آب داشته باشند. همچنین باتوجه‌به اینکه نتایج اجرای مدل‌های هیدرولوژیکی در تولید کاربرگ‌های سامانه +WA می‌تواند بسیار راهگشا باشد، پیشنهاد می‌شود مطالعاتی در زمینه مدل‌سازی بهینه حوضه‌های آبریز کشور انجام گیرد و نتایج آن پیوسته برای تهیه حساب‌های آب تکمیل و مورد استفاده قرار گیرد. باوجود موانع زیرساختی در داده‌های مهم هیدرولوژیکی در حوضه‌ها، پیشنهاد می‌شود بیش‌ازپیش و با بهره‌گرفتن از تجربیات سایر کشورها گام‌هایی در جهت کاربرد سامانه‌های حسابداری آب صورت گیرد. این امر در شناسایی مشکلات موجود، بهبود وضعیت حوضه‌ها و تصمیم‌گیری‌های حیاتی در زمینه منابع و مصارف آب در کشور بسیار موثر است.

پی‌نوشت

1- Water Accounting plus
2- UNs SEEA-Water Accounting System
3- International Water Management Institute
4- Sheet
5- United Nations Statistics Division
6- United Nations-Water
7- Food and Agriculture Organization
8- International Commission on Irrigation and Drainage
9- Flows to sinks
10- Gross inflow
11- Net inflow
12- Landscape ET
13- Exploitable water
14- Reserved outflow
15- Available water
16- Utilized flow
17- Utilizable outflow
18- Non-Utilizable outflow
19- Out flow
20- Beneficial &Non-beneficial ET
21- Managed water use
22- Modified land use
23- utilized land use
24- Protected land use
25- Performance Indicator
26- Landsat
27- Tropical Rainfall Measuring Mission

منابع

ابوالحسنی، ل. و خلیلی، الف. ۱۳۹۵. بررسی روش‌های اجرای حسابداری آب، معرفی و اجرای کارآمدترین روش. مجله آب و توسعه پایدار، (۱): ۹-۲۳.

امیدوار، ج.، نوری، س.، داوری، ک. و فرید حسینی، ع. ر. ۱۳۹۲. برآورد تبخیرتعرق واقعی مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از دو الگوریتم سبال و متریک. فصلنامه علمی و پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، ۱۱(۳): ۱۲ -۲۲.

بابائیان، ف.، باقری، ع. و رفیعیان، م. ۱۳۹۵. تحلیل آسیب‌پذیری سیستم منابع آب نسبت به کم‌آبی با استفاده از چارچوب حسابداری آب (مطالعه موردی: محدوده مطالعاتی رفسنجان). تحقیقات منابع آب ایران، ۱۲(۱): ۱-۱۷.

سهیلی‌فر، ز.، میر لطیفی، س.م.، ناصری، ع.ع. و عصاری، م. ۱۳۹۲. برآورد تبخیرتعرق واقعی نیشکر با استفاده از داده‌های سنجش از دور در اراضی کشت و صنعت نیشکر میرزا کوچک خان. نشریه دانش آب و خاک، ۲۳(۱): ۱۵۱-۱۶۳.

مددی، غ.، حمزه، س. و نوروزی، ع.الف. ۱۳۹۴. ارزیابی بارش در مقیاس‌های روزانه، ماهانه و سالانه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (مطالعه موردی: حوزه مرزی غرب ایران). سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۶(۲): ۵۹-۷۴.

یوسف‌زاده، م.، باقری، ع. و داوری، ک. ۱۳۹۳. ارزیابی سیستم منابع آب با رویکرد یکپارچه بر اساس چارچوب حسابداری آب در محدوده مطالعاتی مشهد. آب و فاضلاب، ۳: ۵-۱۵.

Bastiaanssen W.G.M. 2009. Water accountants: De nieuwe generatie water beheer controleurs, intreerede (in Dutch); Delft University of Technology, Department of Civil Engineering and Geosciences: Delft, The Netherlands.

Bastiaanssen W., Than Ha L. and Fenn, M. 2015. Water Accounting Plus (+WA) for Reporting Water Resources Conditions and Management: A Case Study in the Ca River Basin, Vietnam, Winrock international.

Calmant S., Seyler F. and Cr´etaux J. F. 2008. Monitoring continental surface waters by satellite altimetry. Surv. Geophys., 29: 247–269.

Dost R., Obando E. B., Bastiaanssen W. and Hoogeveen J. 2012. Water Accounting Plus (+WA) in the Awash River Basin, Netherlands.

Droogers P., Simons G., Bastiaanssen and Hoogeveen J. 2010. Water Accounting Okavango Coping with Water Scarcity – Developing National Water Audits Africa. FAO, Land and Water Division.

Falkenmark M. and Rockstorm J. 2006. The new blue and green water paradigm: Breaking new ground for water resources planning and management .J.Water Resour.Plan.Manag, 129-132.

Godfrey J. M. and Chalmers K. 2012. Water accounting : International approaches to policy and decision – making, Edward Elgar Publishing.

Karimi P., Molden D., Bastiaanssen W.G.M. and Cai X. 2012.Water accounting to assess use and productivity of water – evolution of the concept and new frontiers. In Water accounting: International approaches to policy and decision-making, Chalmers, K.; Godfrey, J., Eds. Edgar Elger: Cheltenham, UK, 76-88.

Karimi P., Bastiaanssen W. G. M. and Molden D. 2013a. Water Accounting Plus (WAC) – a water accounting procedure for complex river basins based on satellite measurements. Hydrol. Earth Syst. Sci, 17: 2459–2472.

Karimi P., Bastiaanssen W.G.M. Molden D. and Cheema M. J.M. 2013b. Basin-wide water accounting based on remote sensing data :an application for the Indus Basin, Hydrol. Earth Syst. Sci., 17:2473–2486.

Karimi P. and Bastiaanssen W. G. M. 2015a. Spatial evapotranspiration, rainfall and land use data in water accounting – Part 1: Review of the accuracy of the remote sensing data, Hydrol. Earth Syst.Sci., 19: 507–532.

Karimi P., Bastiaanssen W. G. Sood A., Hoogeveen J. Peiser L., Bastidas-Obando E. and Dost R.J. 2015b. Spatial evapotranspiration, rainfall and land use data in water accounting – Part 2:Reliability of water accounting results for policy decisions in the Awash Basin, Hydrol. Earth Syst.Sci., 19: 533–550.

Peiser L. and Bastiaanssen W. G. M. 2015. Analysis on Water Availability and Uses in Afghanistan River Basins: Water Accounting through Remote Sensing (+WA) in Helmand River Basin. FAO project TCP /AFG/3402.

Slattery, M. 2008. Making every drop count. Water accounting: charter, 79(5):24-26.