Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 4, Vol. 15, Oct.-Nov. 2021, p. 828-841

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۴، جلد ۱۵، مهر - آبان ۱۴۰۰، ص. ۸۴۱-۸۲۸

مقاله علمی-پژوهشی

# حسابداری آب ضرورتی برای ساماندهی اطلاعات، گزارش‌دهی، برنامه‌ریزی و ارزیابی منابع و مصارف آب (مطالعه موردی: حوضه آبریز رخ-نیشابور)

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

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۱۵

## چکیده

یکی از عوامل اصلی ایجاد بحران آب در کشور نبود یک چارچوب ساماندهی شده دقیق برای آگاهی‌رسانی در زمینه اجزای تراز آبی و کاربری‌های آب است. بنابراین استفاده از یک چارچوب حسابداری آب به عنوان یک ضرورت مطرح می‌شود. هدف از این پژوهش نشان دادن ظرفیت چارچوب +WA برای تهیه حساب‌های آب در حوضه رخ-نیشابور است که در چهار بخش اصلی ساماندهی اطلاعات، گزارش‌دهی، برنامه‌ریزی و ارزیابی ارائه شده است. بخش ساماندهی اطلاعات دربرگیرنده گردآوری آمار از منابع مختلف از جمله تصاویر ماهواره‌ای و مدل‌سازی است. بخش برنامه‌ریزی دربرگیرنده سناریوپردازی است که در این پژوهش هم‌راستا با مصوبات شورای عالی آب دو سناریوی کاهش برداشت از آبخوان در نظر گرفته شد. گزارش‌دهی با تکمیل کاربرگ‌های مختلف +WA برای سه سال تر، نرمال و خشک در حالت واقعی و شرایط سناریوها انجام شد. بخش ارزیابی به کمک نشانگرها برای هر کاربرگ و برای شرایط واقعی و سناریوها ارائه شد. نتایج بررسی وضعیت آب در حوضه نشان داد که در حوضه رخ-نیشابور هر سال افت شدید ذخیره آبخوان رخ می‌دهد. همچنین نزدیک به ۸۰ درصد بارش در حوضه تبخیر و از دسترس خارج می‌شود. همچنین یافته‌های به‌کارگیری سناریوهای کاهش برداشت از آبخوان (مطابق با طرح احیا و تعادل‌بخشی) نشان داد که اگر برداشت از آبخوان به اندازه آب تجدیدپذیر شود کسری مخزن سالانه به صفر رسیده و به ذخیره آن افزوده خواهد شد.

**واژه‌های کلیدی:** سناریوپردازی، شورای عالی آب، طرح احیا و تعادل‌بخشی، کاربرگ، نشانگرها

## مقدمه

آب به سرعت در حال تبدیل شدن به مهمترین موضوع بحث با محوریت تامین نیاز محیط زیست، امنیت غذایی و تغییرات اقلیمی در جهان است. بارزترین گام برای تحقق مدیریت کارآمد بر منابع محدود آب، داشتن آمار بهنگام، تحلیل اطلاعات، برنامه‌ریزی، اجرا و پایش پیوسته است. به‌طورکلی رویکردهای مدیریت بر این امر استوار هستند که اگر چیزی را نتوان اندازه‌گیری کرد نمی‌توان مدیریت کرد. بنابراین حسابداری آب با هدف ارتقای سطح کیفی مدیریت منابع آب در سال‌های اخیر توسعه یافته است. (فرهادی و همکاران، ۱۳۹۸). حسابداری آب، رویکردی برای استاندارد کردن شیوه ساماندهی داده‌ها و اطلاعات می‌باشد. این رویکرد، برای فراهم کردن مدیریتی جامع و یکپارچه برای منابع آبی با ساماندهی داده‌های مختلف از بخش‌های گوناگون هیدرولوژیکی، محیطزیستی و اقتصادی امکان پردازش و تفسیر آنها را در کنار یکدیگر فراهم می‌کند (بابائیان و همکاران، ۱۳۹۵). چارچوب‌های مختلفی برای پیاده‌سازی حسابداری آب تا کنون ارائه شده که یکی از مهمترین و جدیدترین آنها +WA[۵] است که به استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و جداسازی مصارف در آن تاکید شده است. کریمی و همکاران این چارچوب را بر پایه توسعه روش IWMI[۶] پیشنهاد دادند (Karimi et al., 2013a). آنان کاربرد این چارچوب

۱- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۲- استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۳- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی- دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۴- استادیار پژوهش- گروه هیدروانفورماتیک، مرکز پژوهشی آب و محیط زیست شرق- مشهد، مشهد، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: raeini@yahoo.com)
DOR: 20.1001.1.20087942.2021.15.4.8.8

5- Water Accounting plus
6- International Water Management Institute

www.SID.ir

Archive of SID


را برای ارزیابی منابع آبی، تغییرات ذخیره و بهره‌وری زمین و آب در حوضه ایندس در هندوستان نشان دادند (Karimi et al., 2013b). در پژوهشی با استفاده از مدل توسعه یافته SWAT-LU و به‌کارگیری WA+ راهکارهای مختلفی برای صرفه‌جویی آب در حوضه دریاچه ارومیه و افزایش جریان آب به این حوضه آبریز ارائه شد (فرخ‌نیا و همکاران، ۱۳۹۷). باستیانسن و همکاران از نسخه توسعه یافته چارچوب WA+ برای تهیه گزارش‌های وضعیت منابع آب و مدیریت آنها در حوضه رودخانه کا در ویتنام استفاده کردند. (Bastiansen et al., 2015). پایرز و باستیانسن برای تولید جدول‌های حسابداری آب برای رودخانه هیلمند در کشور افغانستان از چارچوب WA+ استفاده کردند(Peiser and Bastiaanssen, 2015 . دلاور و همکاران (۱۳۹۹) کاربرگ‌های منابع و مصارف، تبخیرتعرق و آب بهره‌برداری شده WA+ را برای حوضه آبریز طشک-بختگان در استان فارس پیاده‌سازی کردند. رضاپور و همکاران (۱۳۹۹) نیز چارچوب WA+ را در حوضه آبریز فریزی واقع در استان خراسان رضوی پیاده کردند.

هدف از این پژوهش نشان دادن ظرفیت WA+ برای تهیه حساب‌های آب در حوضه رخ–نیشابور است که در چهار بخش «ساماندهی اطلاعات»، «گزارش‌دهی»، «برنامه‌ریزی» و« ارزیابی» ارائه شده است. بخش ساماندهی اطلاعات دربرگیرنده گردآوری آمار از منابع مختلف از جمله تصاویر ماهواره‌ای است که در WA+ بر آن تاکید شده است. همچنین برای اطلاعات تکمیلی مربوط به حوضه، مدل‌سازی هیدرولوژیکی انجام شد. محاسبات مربوط به برآورد تبخیرتعرق واقعی از تصاویر ماهواره‌ای و مدل‌سازی با SWAT در پژوهش خزاعی و همکاران (۱۳۹۹) ارائه شده و به دیگر بخش‌ها (گزارش‌دهی، برنامه‌ریزی و ارزیابی) در این پژوهش پرداخته شده است. گزارش‌دهی دربرگیرنده تکمیل کاربرگ[1]های منابع و مصارف، تبخیرتعرق، آب بهره‌برداری شده، آب سطحی و آب زیرزمینی است. بخش برنامه‌ریزی دربرگیرنده «سناریوپردازی» است که در این پژوهش هم‌راستا با مصوبات شورای عالی آب (مصوبات پانزدهمین جلسه شورای عالی آب، ۱۳۹۳)، در راستای طرح احیا و تعادل‌بخشی منابع آب سناریوهای مختلف بهره‌برداری از منابع آب در نظر گرفته شد. با توجه به افت پیوسته سطح آب زیرزمینی، وزارت نیرو در رابطه با مدیریت منابع آب از اقدامات سازه‌ای، به توسعه پایدار و مدیریت مصرف و برپایی مدیریت به هم پیوسته منابع آب در حوضه‌های کشور تغییر رویکرد داده است. بر پایه مصوبات پانزدهمین جلسه شورای عالی آب طرح جامع «احیاء و تعادل‌بخشی آبهای زیرزمینی» مطرح شد که در طول برنامه ششم توسعه، باید کل بیش برداشت‌ها متوقف شود و سپس در یک روند جبرانی، ظرف ۲۰ سال، میزان کسری تجمعی در دهه‌های اخیر را پوشش دهد. بخش ارزیابی نیز با نشانگرهای تحلیلی برای هر کاربرگ و برای شرایط واقعی و سناریوها انجام شد.

## مواد و روش ها

### معرفی چارچوب WA+

در حال حاضر این چارچوب با ۸ کاربرگ معرفی شده که دربرگیرنده کاربرگ‌های منابع و مصارف آب، تبخیرتعرق، کشاورزی، آب بهره‌برداری شده، آب سطحی، آب زیرزمینی، خدمات بوم‌زیستی–هیدرولوژیکی و پایداری منابع آب می‌شود، که در جدول ۱ کاربرگ‌های استفاده شده در این پژوهش معرفی شده است. (خزاعی و همکاران، ۱۳۹۷).

### پیاده‌سازی حسابداری آب در حوضه آبریز رخ–نیشابور

**ساماندهی اطلاعات:** مشخصات حوضه آبریز، نحوه گردآوری آمار، تجزیه و تحلیل تبخیرتعرق واقعی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نتایج مدل‌سازی با SWAT، در پژوهش خزاعی و همکاران (۱۳۹۹) به طور مفصل آمده است.

**سناریوپردازی:** حسابداری آب با فراهم آوردن تصویر دقیق از وضعیت موجود، نه تنها رویکرد مدیریت حاضر را مورد تحلیل و بررسی قرار می‌دهد، بلکه می‌تواند یافته‌های حاصل از به‌کارگیری برنامه‌های گوناگون مدیریت منابع آبی را مورد تجزیه و تحلیل قرار دهد. در زمینه حسابداری آب سناریوپردازی روشی است که می‌تواند به تصمیم‌گیران برای شناخت عدم قطعیت‌ها و مخاطرات فرایندهای توسعه و برنامه‌ریزی‌ها کمک کند. بنابراین در نظرگرفتن سناریوهای مختلف در حسابداری آب به برنامه‌ریزی‌های کارآمد خواهد انجامید (فرهادی و همکاران، ۱۳۹۸). در این پژوهش با بررسی دو سناریوی کاهش برداشت از آبخوان هم‌راستا با هدف‌های طرح احیا و تعادل‌بخشی پیوند بین تصمیمات مدیریتی و حسابداری آب به تصویر کشیده شده است. در حوضه آبریز رخ–نیشابورکه یکی از مهمترین و بزرگترین دشت‌های ممنوعه بحرانی استان خراسان رضوی بوده، به دلیل نبود مدیریت مناسب برداشت‌ها، افزایش جمعیت و صنایع وابسته به آب، مشکلاتی مانند افت شدید و برگشت‌ناپذیر سطح آب زیرزمینی به وجود آمده است. بنابراین در این پژوهش دو سناریوی کاهش برداشت از آبخوان در نظر گرفته شد (علیپور، ۱۳۹۸). در سناریوی نخست میزان برداشت (W) از آبخوان برابر آب تجدیدپذیر(RW) در نظر گرفته شد (S1:W=RW) و در سناریوی دوم بر پایه مصوبه گفته شده، ۷۵ درصد آب تجدیدپذیر زیرزمینی به عنوان برداشت در نظر گرفته شد (S2:W=0.75RW). برای به‌کارگیری این سناریوها نیاز به تعریف سناریوی مرجع و محاسبه آب تجدیدپذیر زیرزمینی بود که

1- Sheet

www.SID.ir

Archive of SID



بر پایه آن اثر کاهش برداشت در سال‌های تر، نرمال و خشک بر آبخوان مشخص شود. بدین منظور تراز آبی حوضه برای داده‌های ۱۰ سال (سالهای ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۰) محاسبه شد و آب تجدیدپذیر زیرزمینی آبخوان حوضه به صورت میانگین برای دوره مورد نظر تعیین شد، و مبنای محاسبات قرار گرفت. با محاسبه مقدار آب تجدیدپذیر زیرزمینی مقدار برداشت برای هر سناریو محاسبه شد. برای به‌کارگیری این سناریو زیرحوضه‌هایی با کاربری کشاورزی فاریاب واقع در آبخوان حوضه مشخص شدند. تفاوت مقدار برداشت در حالت واقعی و سناریو تعیین و بنابراین درصد کاهش عمق آبیاری محاسبه شد. این مقدار کاهش در مدل SWAT به کار رفت. این کار برای دو سناریو و هر بار برای ۳ سال تر، نرمال و خشک انجام گرفت و در هر بار برای شرایط جدید، مدل اجرا و نتایج خروجی جدید تولید شد.

**گزارش‌دهی:** کاربرگ‌های منابع و مصارف، تبخیرتعرق، آب بهره‌برداری شده، آب سطحی و آب زیرزمینی برای حوضه آبریز رخ- نیشابور با توجه به اطلاعات مرحله نخست، آمار و اطلاعات گرفته شده از شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی و استفاده از نظر متخصصان بازطراحی و برای سه سال تر، نرمال و خشک تکمیل شدند. همچنین یافته‌های سناریوپردازی نیز در قالب کاربرگ‌های مختلف گزارش شد. در کاربرگ منابع و مصارف برای جدا کردن مقدار تبخیرتعرق طبیعی و آبیاری در زمین‌های کشاورزی فاریاب، مدل SWAT یک بار با درنظر گرفتن عمق آبیاری و یک بار بدون آبیاری اجرا شد. برای تکمیل کاربرگ تبخیرتعرق و جداکردن تبخیرتعرق کل به مقدار برگاب، تبخیر از سطح خاک و تعرق، تغییری در یکی از کدهای SWAT انجام شد تا مقدار این اجزا به صورت جداگانه محاسبه شود.

**ارزیابی:** ارزیابی جزئی جدایی‌ناپذیر از مدیریت است. اطلاعات به‌دست آمده از مرحله ارزیابی می‌تواند در طرح‌ریزی، طراحی، پیاده‌سازی برنامه‌ها و یا اجرای پروژه‌های آینده بکار آید. پایش و ارزیابی مدیریت آب با استفاده از نشانگرها، یکی از مهم‌ترین اقداماتی است که در این زمینه انجام می‌شود. نشانگرها ابزاری ارزنده برای سیاست‌گذاران و مدیران برای فهم کاستی‌ها و توانمندی‌های تصمیمات بوده و همچنین به گزینش سیاست‌های درخور برای تقویت و بهبود مدیریت می‌انجامد. به عبارت دیگر نقش اصلی ارزیابی و پایش مدیریت آب، ارائه اطلاعات به تصمیم‌گیران در مورد وضعیت و روند منابع آب است (رحمانی، ۱۳۹۸). بر این اساس، +WA برای هر کاربرگ، نشانگرهایی در نظر گرفته که می‌تواند وضعیت موجود را تحلیل کند. با استفاده از اطلاعات جمع‌آوری شده در مرحله نخست و کاربرگ‌های تکمیل شده در مرحله دوم، نشانگرهای مربوط به هر کاربرگ محاسبه شد.

**جدول ۱- معرفی کاربرگ‌های +WA**

| کاربرگ | معرفی |
|---|---|
| منابع و مصارف | اطلاعات کلی از حجم منابع و مصارف بر اساس کاربری زمین را به تصویر می‌کشد. در سمت راست، ورودی آب به حوضه، بخش میانی نشان دهنده چگونگی مصرف آب و سمت چپ، خروجی آب از حوضه است. «جریان ناخالص»[1] آب به حوضه دربرگیرنده بارش و جریان‌های ورودی از مرزهای حوضه است. با افزودن مقدار تغییرات ذخیره آب در حوضه «جریان خالص»[2] آب محاسبه می‌شود. جریان خالص به دو بخش «تبخیرتعرق طبیعی»[3] یا تبخیرتعرق ناشی از بارش و «آب قابل بهره‌برداری»[4] تقسیم می‌شود. همچنین «تبخیرتعرق آبیاری»[5] نیز در این کاربرگ مشخص می‌شود. |
| تبخیرتعرق | نشان می‌دهد که در فرایند تبخیرتعرق و با جداسازی کاربری زمین چه مقدار از آن در شرایط مدیریت شده، قابل مدیریت و غیرقابل مدیریت رخ داده است. همچنین ارزیابی سودمندی مصرف آب در این کاربرگ انجام می شود (Rutter et al., 1971; Savenije, 2004). |
| آب بهره‌برداری شده | اطلاعاتی را در زمینه شیوه جریان آب در زمین‌های مدیریت شده آبی (کشاورزی فاریاب، شهری و صنعتی) نشان می‌دهد. همچنین نشان دهنده بخش مصرف شده و نشده آب برداشتی از منابع سطحی و زیرزمینی است. |
| آب سطحی | دربرگیرنده جریان‌های سطحی ورودی و خروجی، رواناب کل حوضه، برداشت از آب‌های سطحی و جریان برگشتی است. |
| آب زیرزمینی | اجزای تراز آب زیرزمینی (مقادیر آبگیری و تخلیه آبخوان) و شیوه ارتباط آنها با هم را نشان می‌دهد. |

1- Gross inflow
2- Net inflow
3- Landscape ET
4- Exploitable water
5- Incremental ET

www.SID.ir

Archive of SID


## نتایج و بحث

### گزارش دهی با کاربرگ منابع و مصارف

شکل ۱ کاربرگ منابع و مصارف را برای سال‌های تر، نرمال و خشک در وضعیت واقعی و سناریوها نشان می‌دهد. میانگین حجم بارش سالانه در حوضه برای سال‌های تر، نرمال و خشک به ترتیب نزدیک به ۲۹۳۰ ، ۱۸۵۲ و ۱۴۵۹میلیون‌مترمکعب بود و از آنجایی که ورودی آبهای سطحی و زیرزمینی به این حوضه وجود ندارد، مقدار جریان ناخالص ورودی به حوضه برابر مقدار بارش است. با توجه به تفاوت ورودی‌ها و خروجی‌های حوضه برای سال‌های تر، نرمال و خشک به ترتیب نزدیک به ۱۳۶ ، ۲۳۴ و ۲۵۰ میلیون‌مترمکعب بیش برداشت از آب‌های زیرزمینی سبب شد تا کسری مخزن در حوضه وجود داشته باشد. با توجه به کاهش بارش در سال‌های نرمال و خشک نسبت به سال تر و همچنین عدم مدیریت برداشت‌ها، کسری مخزن در این سال‌ها افزایش یافته است. میانگین رطوبت خاک در سال تر نزدیک به ۱۹ میلیون‌مترمکعب در پایان دوره بررسی افزایش داشت که نشان می‌دهد با توجه به بارش‌ها، این مقدار رطوبت در خاک ذخیره شده بود. اما در سال‌های نرمال و خشک به ترتیب ۲۰- و ۱۳/۵- میلیون‌مترمکعب در پایان سال از رطوبت خاک کاسته شد. بنابراین با افزودن تغییرات ذخیره در حوضه به مقدار جریان ناخالص، مقدار جریان خالص نزدیک به ۳۰۴۷ میلیون‌مترمکعب در سال تر، ۲۱۰۶ میلیون‌مترمکعب در سال نرمال و ۱۷۲۲/۵ میلیون‌مترمکعب در سال خشک برآورد شد. از این مقدار جریان نزدیک به ۲۳۵۴ میلیون‌مترمکعب (۸۰ درصد بارش یا ۷۷ درصد از جریان خالص) در سال تر، ۱۴۷۲ میلیون‌مترمکعب (۷۹ درصد بارش یا ۷۰ درصد از جریان خالص) ۱۰۸۹ میلیون‌مترمکعب (۷۵ درصد بارش یا ۶۳ درصد از جریان خالص) صرف تبخیرتعرق طبیعی شد که دربرگیرنده کاربری زمین‌های حفاظت شده، طبیعی، دستکاری شده و مدیریت شده آبی است. این حجم چشم‌گیر از مصرف آب در حوضه تنها می‌تواند در برخی موارد با اصلاح خاک و کاربری زمین‌ها مدیریت شود و بیشتر تحت تاثیر اقلیم منطقه است.

همانطور که در شکل دیده می‌شود تبخیرتعرق طبیعی در مراتع سهم چشم‌گیری را به خود اختصاص داده که به ترتیب ۴۹ درصد جریان خالص در سال تر و ۳۶ درصد جریان خالص در سال نرمال و ۳۷ درصد جریان خالص در سال خشک است. در سال نرمال نسبت به سال تر بارش نزدیک به ۳۷ درصد کاهش یافته و کاهش تبخیرتعرق طبیعی در این سال نیز نزدیک به همین مقدار است و همچنین در سال خشک نسبت به سال تر نزدیک به ۵۰ درصد کاهش بارش بوده که این کاهش در مقدار تبخیرتعرق طبیعی ۵۴ درصد بوده است. می‌توان نتیجه گرفت که مقدار آبی که در حوضه به صورت طبیعی مصرف می‌شود با مقدار بارش رابطه مستقیمی دارد. بازمانده بارش به همراه مقدار برداشت از ذخایر حوضه مقدار آب قابل بهره‌برداری را مشخص می‌کند. آب قابل بهره‌برداری در حوضه در سال تر ۶۹۳ میلیون‌مترمکعب (۲۷ درصد از جریان خالص) بوده که به ۶۳۴ (۳۰ درصد از جریان خالص) و ۶۳۳/۵ ( ۳۸ درصد از جریان خالص) میلیون‌مترمکعب در سال‌های نرمال و خشک کاهش یافته است. از این مقدار آب نیز در بخش‌های کشاورزی (فاریاب)، شرب و صنعت استفاده می‌شود که به آن آب تخصیصی مصرف شده گفته می‌شود. آب مصرف شده در کشاورزی با مقدار نزدیک به ۶۱۰ میلیون‌مترمکعب همان حجم تبخیرتعرق ناشی از برداشت برای آبیاری بوده است. مقادیر مصرف در بخش‌های شرب و صنعت نیز به ترتیب نزدیک به ۱۵ و ۲ میلیون‌مترمکعب در نظر گرفته شد. با توجه به ثابت بودن مقدار آب تخصیصی مصرف شده در هر سه سال تر، نرمال و خشک نشان می‌دهد که برنامه‌ریزی مصرف بر اساس سال‌های تر و خشک وجود نداشته است. کل آب مصرف شده در زمین‌های کشاورزی فاریاب مجموع تبخیرتعرق طبیعی و تبخیرتعرق آبیاری است که در سال‌های تر، نرمال و خشک به ترتیب ۱۲۰۰ میلیون‌مترمکعب (۳۹ درصد جریان خالص)، ۱۱۰۳ میلیون‌مترمکعب (۵۲ درصد جریان خالص) و ۸۹۲ میلیون‌مترمکعب (۵۲ درصد جریان خالص) بود که سهم چشم‌گیری از مصرف در حوضه را دربرمی‌گیرد. از کل آب قابل بهره‌برداری در حوضه در سال تر ۶۶ میلیون‌مترمکعب مصرف نشده که به صورت آبهای سطحی (۶۰ میلیون‌مترمکعب) و زیرزمینی (۶ میلیون‌مترمکعب) از حوضه خارج شد. با وجود تغییرپذیری کند آب زیرزمینی و با توجه به سطح آب چاه‌های مشاهده‌ای در خروجی حوضه، خروجی آب زیرزمینی در سه سال مورد بررسی ثابت بوده در حالیکه خروجی آب سطحی به شدت متاثر از میزان بارش بوده که در سالهای نرمال و خشک به ترتیب تنها ۱ و ۰/۵ میلیون‌مترمکعب آب سطحی از حوضه خارج شده است.

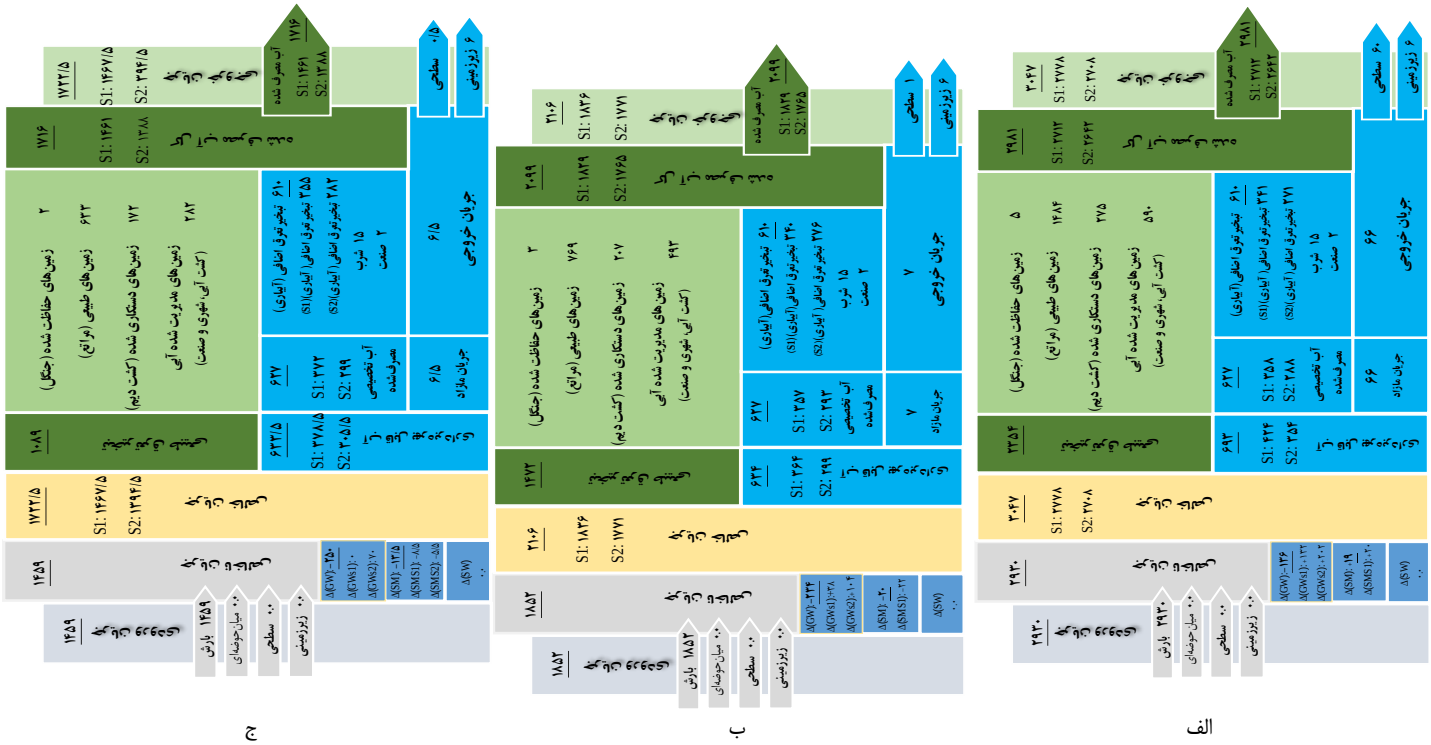
با به‌کارگیری سناریوی نخست مقدار برداشت ۵۶ درصد کاهش یافت و کسری مخزن در سال تر و نرمال برطرف و به ذخیره آن افزوده شد، به طوری که ۲۳۲ درصد در سال تر، ۱۳۸ درصد در سال نرمال و ۱۰۰ درصد در سال خشک سبب بهبود در ذخیره منابع آب زیرزمینی شد. جریان خالص حوضه که ناشی از برداشت‌هاست در این سناریو برای سال های تر، نرمال و خشک به ترتیب برابر ۲۷۷۸، ۱۸۳۶ و ۱۴۶۷/۵ میلیون‌مترمکعب برآورد شد که نسبت به وضعیت واقعی ۹ درصد برای سال تر و خشک و ۱۳ درصد برای سال نرمال کاهش یافت. با توجه به کاهش مصرف آب برای زمین‌های کشاورزی تبخیرتعرق ناشی از برداشت برای آبیاری نزدیک به ۴۴ درصد در سال تر و نرمال و ۴۲ درصد در سال خشک کم شد. با به‌کارگیری این سناریو ۴۶۵/۵ میلیون‌مترمکعب صرفه‌جویی در مصرف آب رخ داد.

www.SID.ir

Archive of SID



با به‌کارگیری سناریوی دوم مقدار برداشت ۶۷ درصد کاهش یافت و کسری مخزن در هر سه سال تر، نرمال و خشک برطرف و به ذخیره آن نیز افزوده شد، به طوری که ۲۸۵ درصد در سال تر، ۱۶۵ درصد در سال نرمال و ۱۸۵ درصد در سال خشک به بهبود در ذخیره منابع آب زیرزمینی منجر شد. جریان خالص حوضه که ناشی از برداشت‌هاست در این سناریو برای سال های تر، نرمال و خشک به ترتیب برابر ۲۷۰۸، ۱۷۷۲ و ۱۳۹۴/۵ میلیون‌مترمکعب برآورد شد، که نسبت به وضعیت واقعی ۱۱ درصد برای سال تر، ۱۶ درصد برای سال نرمال و ۱۹ درصد برای سال خشک کاهش یافت. با توجه به کاهش مصرف آب برای زمین های کشاورزی تبخیرتعرق ناشی از برداشت برای آبیاری نزدیک به ۵۵ درصد در سال تر و نرمال و ۵۴ درصد در سال خشک کم شد. با به‌کارگیری این سناریو ۵۵۸ میلیون‌مترمکعب در سال تر صرفه‌جویی در مصرف آب رخ داد.




**شکل ۱- کاربرگ منابع و مصارف آب برای سال تر (الف)، سال نرمال (ب) و سال خشک (ج) برای حالت واقعی، سناریوی نخست (S1) و سناریوی دوم (S2) (میلیون‌مترمکعب)**

## ارزیابی با نشانگرهای کاربرگ منابع و مصارف

**نسبت آب قابل بهره‌برداری:** در وضعیت واقعی مقدار این نشانگر برای سال تر ۰/۲۳ و برای سال‌های نرمال و خشک به ترتیب ۰/۳ و ۰/۳۷ بود که بیشتر از سال تر برآورد شدند. این مقایسه نشان می‌دهد که در سال‌های کم بارش‌تر مقدار تخصیص آب برای مصرف تغییری نکرده و بنابرین با توجه به جریان خالص کمتر، سهم جریان قابل بهره‌برداری در این سالها از سال تر بیشتر است. با توجه به اینکه میزان برداشت در حوضه رابطه مستقیمی با میزان جریان آب قابل بهره‌برداری دارد، بنابراین در هر دو سناریو با کاهش برداشت مقدار این نشانگر نیز کم شد (جدول ۲).

## تغییرات ذخیره آب زیرزمینی به آب قابل بهره‌برداری

مقدار این نشانگر برای سال تر ۰/۲ برای سال نرمال ۰/۳۷ و برای سال خشک ۰/۳۹ برآورد شده که نشان می‌دهد حجم چشم‌گیری از آب قابل بهره‌برداری در حوضه از ذخیره منابع آب زیرزمینی یا بیش برداشت تامین شده است. این مقدار بیش برداشت در سال‌های نرمال و خشک با توجه به کم شدن تغذیه، سبب کاهش بیشتری از مقدار ذخیره شده است. کاهش ۱۳۶ میلیون‌مترمکعب در سال از حجم منابع آب زیرزمینی در سال تر، ۲۳۴ میلیون‌مترمکعب در سال نرمال و ۲۵۰ میلیون‌مترمکعب در سال خشک از شواهد شرایط ناپایدار در حوضه است. این مقادیر با اعداد گزارش شده کسری مخزن سالانه در گزارش‌های شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی (شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۳۹۰) مقایسه شد و نتایج نشان داد که

www.SID.ir

Archive of SID


میانگین اختلافی نزدیک به ۲۳ درصد وجود دارد که با توجه به متفاوت بودن روش‌ها منطقی است. با به‌کارگیری سناریوهای نخست و دوم مقدار این نشانگر مثبت شد و به معنی توقف بیش برداشت از ذخایر آب زیرزمینی و افزایش ذخیره است (جدول ۲).

**بسته بودن حوضه:** مقدار این نشانگر برای سال تر (۰/۹) نشان می‌دهد که نزدیک به ۹۰ درصد آب در حوضه مصرف می‌شود. اما در سال‌های نرمال و خشک نزدیک به ۹۹ درصد آب در حوضه مصرف شده و آب خروجی از حوضه ناچیز است. بنابراین حوضه رخ‌نیشابور به طور کلی یک حوضه بسته است که همه آب موجود درون خود حوضه به مصرف می‌رسد. با به‌کارگیری سناریوها مقدار این نشانگر اندکی کاهش یافت که نشان می‌دهد کاهش برداشت تاثیر زیادی بر شرایط بسته بودن حوضه نداشت (جدول ۲).

**جدول ۲- نشانگرهای کاربرگ منابع و مصارف**

| نشانگر | معرفی | وضعیت | سال تر | سال نرمال | سال خشک |
|---|---|---|---|---|---|
| نسبت آب قابل بهره‌برداری | نسبتی از جریان خالص آب در حوضه که از راه تبخیرتعرق طبیعی مصرف نشده یا نسبت آب قابل بهره‌برداری به جریان خالص آب در حوضه | واقعی | ۰/۲۳ | ۰/۳۰ | ۰/۳۷ |
| | | سناریوی نخست | ۰/۱۵ | ۰/۲ | ۰/۲۶ |
| | | سناریوی دوم | ۰/۱۳ | ۰/۱۷ | ۰/۲۲ |
| تغییرات ذخیره آب زیرزمینی به آب قابل بهره‌برداری | میزان پایداری منابع آب زیرزمینی حوضه را نشان می‌دهد. | واقعی | -۰/۲۰ | -۰/۳۷ | -۰/۳۹ |
| | | سناریوی نخست | ۰/۳۱ | ۰/۱۰ | -۰/۰۰ |
| | | سناریوی دوم | ۰/۵۷ | ۰/۳۴ | ۰/۲۲ |
| بسته بودن حوضه (آب تخصیصی مصرف شده به آب قابل بهره برداری) | نسبتی از آب قابل بهره‌برداری در حوضه است که با رعایت حقابه‌های پایین دست در داخل آن قابل مصرف باشد. | واقعی | ۰/۹۰ | ۰/۹۹ | ۰/۹۹ |
| | | سناریوی نخست | ۰/۸۵ | ۰/۹۸ | ۰/۹۸ |
| | | سناریوی دوم | ۰/۸۱ | ۰/۹۸ | ۰/۹۸ |

## گزارش‌دهی با کاربرگ تبخیرتعرق

شکل ۲ کاربرگ تبخیرتعرق را برای سه سال تر، نرمال و خشک در وضعیت واقعی و سناریوها ارائه می‌کند. دیده می‌شود که بیش از ۵۰ درصد تبخیرتعرق در حوضه اختصاص به کاربری‌های مدیریت شده یا همان کشاورزی دارد. مقدار آبی که از راه کشاورزی با در نظر گرفتن کشت دیم و آبی مصرف شده در سال تر ۱۴۷۵، در سال نرمال ۱۳۱۰ و در سال خشک ۱۰۶۴ میلیون‌مترمکعب بود. همچنین از این مقدار بیش از ۸۰ درصد سهم کشاورزی فاریاب و ۲۰ درصد آن مربوط به کشاورزی دیم بود. تبخیرتعرق در کشاورزی فاریاب در سال تر ۱۲۰۰، در سال نرمال ۱۱۰۲ و در سال خشک ۸۹۲ میلیون‌مترمکعب برآورد شد که تفاوت آنها بیشتر به دلیل تفاوت در حجم تبخیر از بارش است. تعرق در کشاورزی فاریاب در سال تر ۳۸ درصد، در سال نرمال ۴۱ درصد و در سال خشک ۴۹ درصد از تبخیرتعرق این بخش را دربرمی‌گیرد که در مقایسه با دیگر حوضه‌ها مانند حوضه ارومیه با نسبت ۶۷ درصد نشان می‌دهد که آب بیشتری در این کاربری هدر می‌رود (karimi et al., 2019). با توجه به اینکه در سال خشک نسبت به سال تر بارش نزدیک به ۵۰ درصد کاهش داشت ولی کاهش در مقدار تعرق کشاورزی فاریاب نزدیک به ۴ درصد بود. از آنجایی که نزدیک به ۵۱ درصد در سال تر، ۵۵ درصد در سال نرمال و ۶۸ درصد در سال خشک از تبخیرتعرق کشاورزی فاریاب مربوط به برداشت از منابع آبی است نشان می‌دهد که راهبردهای مدیریتی که هدف آنها بهبود روش‌های آبیاری در مزرعه است می‌تواند در کاهش تبخیر و افزایش مصرف مفید آب در کشاورزی فاریاب کارآمد باشد. به طور میانگین در هر سه سال تر، نرمال و خشک نزدیک به ۶۰ درصد آب مصرف شده در کشت دیم از راه فرآیند تبخیر مصرف می‌شود. از آنجایی که مقدار تعرق رابطه مستقیم با تولید زیست‌توده را در گیاه دارد، بنابراین می توان گفت که کشاورزی دیم در حال حاضر از پتانسیل خود در تولید عقب است و بهره‌وری آب در آن کم است. مقدار تبخیر از سطح خاک در حوضه در سال تر ۱۸۳۱، در سال نرمال، ۱۳۰۶و در سال خشک ۱۰۰۷/۵ میلیون‌مترمکعب برآورد شد. نتایج نشان می‌دهد که مقدار تبخیر از سطح خاک در سال تر نسبت به سال نرمال ۴۰ درصد و نسبت به سال خشک ۸۲ درصد بیشتر بوده

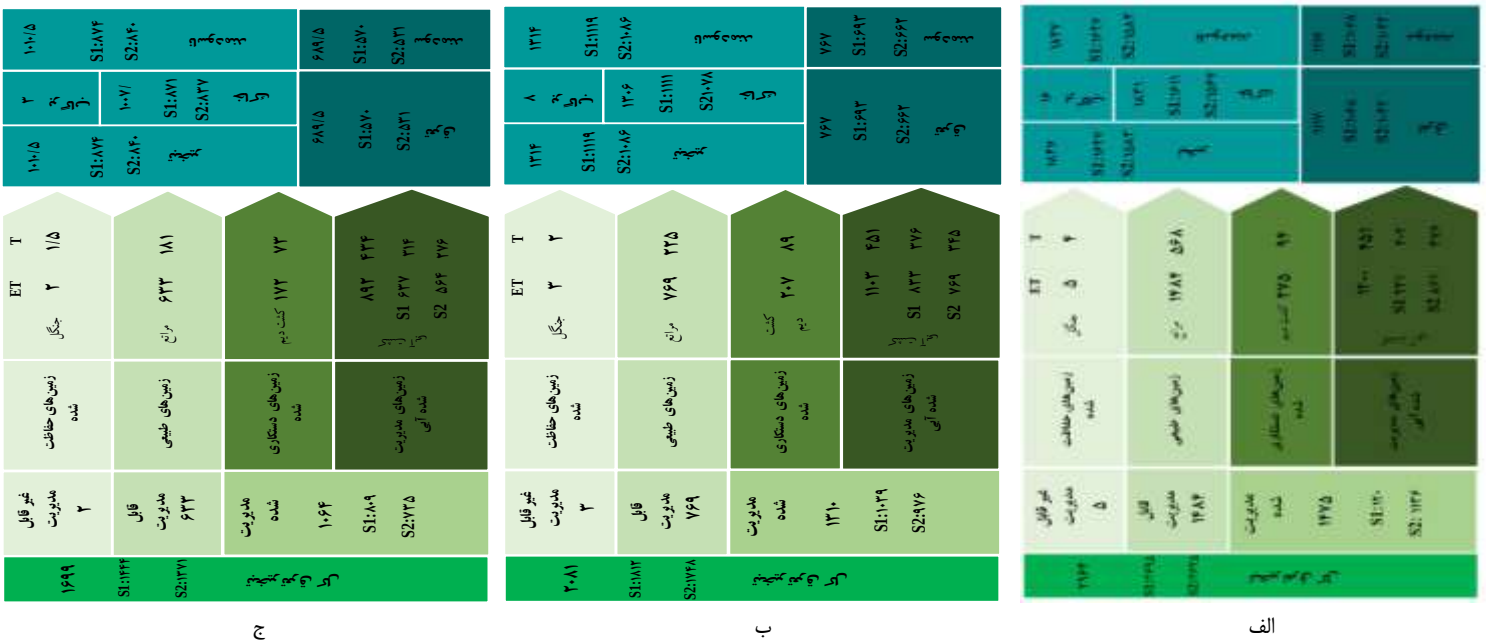
www.SID.ir

Archive of SID



که دلیل آن بارش‌های بیشتر در سطح حوضه بوده است. تبخیر از سطح خاک بیشترین حجم مصرف یعنی نزدیک به ۶۱ درصد از کل تبخیرتعرق را به‌خود اختصاص داده است. به طور کلی سهم برگاب از مصرف زیاد نبوده و کمتر از ۰/۵ درصد بوده است. سهم تعرق یا همان بخش سودمند مصرف که نزدیک به ۳۹ درصد از کل تبخیرتعرق را در برمی‌گیرد در سال تر، نرمال و خشک به ترتیب ۱۱۱۶، ۷۶۷ و ۶۸۹/۵ میلیون‌مترمکعب بوده است.

با به‌کارگیری سناریوی نخست، مقدار تبخیرتعرق کل در سال تر ۹ درصد، در سال نرمال ۱۳ درصد و در سال خشک ۱۵درصد کم شد. مقدار تبخیر کل حوضه از سطح خاک در سال تر ۱۲ درصد، در سال نرمال ۱۵ درصد و در سال خشک ۱۳/۵ درصد و مقدار تعرق کل حوضه در سال تر ۱۱ درصد، در سال نرمال ۱۶ درصد و در سال خشک ۱۹ درصد کم شد. مقدار تبخیر کل حوضه از سطح خاک در سال تر ۱۴ درصد، در سال نرمال و خشک ۱۷ درصد و مقدار تعرق کل حوضه در سال تر ۷ درصد، در سال نرمال ۱۴ درصد و در سال خشک ۲۳ درصد کاهش یافت. همچنین مقدار تعرق در کشاورزی فاریاب در سال تر ۱۷ درصد، درسال نرمال ۲۳ درصد و در سال خشک ۳۶ درصد کاهش یافت.



الف ب ج

**شکل ۲- کاربرگ تبخیرتعرق برای سال تر (الف)، سال نرمال (ب) و سال خشک (ج) برای حالت واقعی، سناریوی نخست (S1) و سناریوی دوم (S2) (میلیون‌مترمکعب)**

## ارزیابی با نشانگرهای کاربرگ تبخیرتعرق

**نسبت تعرق:** نسبت تعرق یا همان مصرف سودمند در حوضه در سال تر ۰/۳۸، در سال نرمال ۰/۳۷ و در سال خشک ۰/۴۱ بود که نشان می‌دهد در درجه نخست با کاهش بارش‌ها نسبت تعرق افزایش یافته که به معنی کاهش تبخیر از سطح خاک در سال کم بارش است. همچنین این نسبت نشان می‌دهد حجم بیشتری از آب حوضه صرف تبخیر شده که مصرف ناسودمند تلقی می‌شود. با به‌کارگیری سناریوها این نسبت برای هر سه سال تر، نرمال و خشک تفاوت چندانی نکرد (جدول ۳).

**نسبت تبخیرتعرق مدیریت شده یا کشاورزی:** با توجه به نسبت‌های به دست آمده می‌توان گفت در سال تر ۵۰ درصد و در سال نرمال و خشک ۶۳ درصد از تبخیرتعرق حوضه در کاربری کشاورزی بوده که در دسته کاربری مدیریت شده قرار می‌گیرد و نشان می‌دهد که کشاورزی یکی از مصرف کنندگان اصلی آب است. با به‌کارگیری سناریوها این نسبت کاهش یافت که دلیل آن برداشت کمتر در بخش کشاورزی بود (جدول ۳).

**نسبت تعرق کشاورزی فاریاب:** نسبت تعرق کشاورزی فاریاب به کل تبخیرتعرق کشاورزی در حوضه در سال تر ۰/۱۵، در سال نرمال ۰/۲۲ و در سال خشک ۰/۴۱ بود که نشان می‌دهد در سال‌های خشک‌تر به دلیل کم شدن بارش سهم تبخیر کمتر و در نتیجه سهم تعرق بیشتر می‌شود. با به‌کارگیری سناریوها و کاهش برداشت برای بخش کشاورزی این نسبت برای هر سه سال تر، نرمال

www.SID.ir

Archive of SID


و خشک اندکی کاهش یافت (جدول ۳).

**نسبت تبخیرتعرق کشاورزی فاریاب:** نسبت تبخیرتعرق فاریاب به کل تبخیرتعرق کشاورزی در حوضه در سال تر ۰/۸۱، در سال نرمال و خشک ۰/۸۴ بود که نشان می‌دهد در سال‌های خشک با توجه به کاهش بارش، سهم آبیاری در تولیدات کشاورزی بیشتر نمایان می‌شود. با به‌کارگیری سناریوها این نسبت نیز برای هر سه سال تر، نرمال خشک کاهش یافت (جدول ۳).

**جدول ۳- نشانگرهای کارایی کاربرگ منابع و مصارف**

| نشانگر | معرفی | وضعیت | سال تر | سال نرمال | سال خشک |
|---|---|---|---|---|---|
| نسبت تعرق (مصرف سودمند) | نسبتی از تبخیرتعرق کل که صرف تعرق گیاهان شده و بر رشد بیوفیزیکی آنها تأثیر داشته است. | واقعی | ۰/۳۸ | ۰/۳۷ | ۰/۴۱ |
| | | سناریوی نخست | ۰/۴۰ | ۰/۳۸ | ۰/۳۹ |
| | | سناریوی دوم | ۰/۴۰ | ۰/۳۸ | ۰/۳۹ |
| نسبت تبخیرتعرق مدیریت شده (کشاورزی) | نسبتی از تبخیرتعرق در حوضه که صرف تولیدات کشاورزی شده است. | واقعی | ۰/۵۰ | ۰/۶۳ | ۰/۶۳ |
| | | سناریوی نخست | ۰/۴۵ | ۰/۵۷ | ۰/۵۶ |
| | | سناریوی دوم | ۰/۴۳ | ۰/۵۶ | ۰/۵۴ |
| نسبت تعرق کشاورزی فاریاب به کل تبخیرتعرق | نسبتی از تبخیرتعرق کل که صرف تعرق در کشاورزی فاریاب شده است. | واقعی | ۰/۱۵ | ۰/۲۲ | ۰/۲۶ |
| | | سناریوی نخست | ۰/۱۵ | ۰/۲۱ | ۰/۲۲ |
| | | سناریوی دوم | ۰/۱۴ | ۰/۲۰ | ۰/۲۰ |
| نسبت تبخیرتعرق کشاورزی فاریاب | نسبتی از تبخیرتعرق کشاورزی در حوضه که از روش آبیاری تامین شده است. | واقعی | ۰/۸۱ | ۰/۸۴ | ۰/۸۴ |
| | | سناریوی نخست | ۰/۷۷ | ۰/۸۰ | ۰/۷۹ |
| | | سناریوی دوم | ۰/۷۶ | ۰/۷۹ | ۰/۷۷ |

**گزارش‌دهی با کاربرگ آب بهره‌برداری شده:** شکل ۳ کاربرگ آب بهره‌برداری شده را برای سه سال تر، نرمال و خشک در وضعیت واقعی و سناریوها ارائه می‌کند. مقدار جریان برداشتی از منابع آب زیرزمینی ۱۰۰۵ و از منابع آب سطحی ۴۶ میلیون‌مترمکعب و در مجموع ۱۰۵۱ میلیون‌مترمکعب برداشت ناخالص از منابع آب حوضه انجام شده است. از این حجم ۹۹۳ میلیون‌مترمکعب برای بخش کشاورزی، ۴۹ میلیون‌مترمکعب برای بخش شرب و ۹ میلیون‌مترمکعب برای بخش صنعت برداشت شده است. در بخش کشاورزی ۶۱۰ میلیون‌مترمکعب مصرف شده که نزدیک به ۶۱ درصد از برداشت را دربرمی‌گیرد و ۳۸۳ میلیون‌مترمکعب دیگر مصرف نشده و به منابع آب زیرزمینی برگشته است. در مجموع ۶۲۷ میلیون‌مترمکعب آب در حوضه مصرف شده که ۶۰ درصد برداشت‌ها را دربرمی‌گیرد. نزدیک به ۴۲۴ میلیون‌مترمکعب از آب برداشت شده به منابع آب زیرزمینی بازمی‌گردد. این بخش در تحلیل بازده سامانه‌های آبیاری به عنوان هدررفت در نظر گرفته می‌شود اما در عمل جز هدررفت واقعی آب محسوب نمی‌شود زیرا از چرخه آبی حوضه خارج نشده و قابلیت بازیابی و استفاده مجدد داردکه در حوضه مورد مطالعه ۴۰ درصد برداشت‌ها را در برمی‌گیرد.

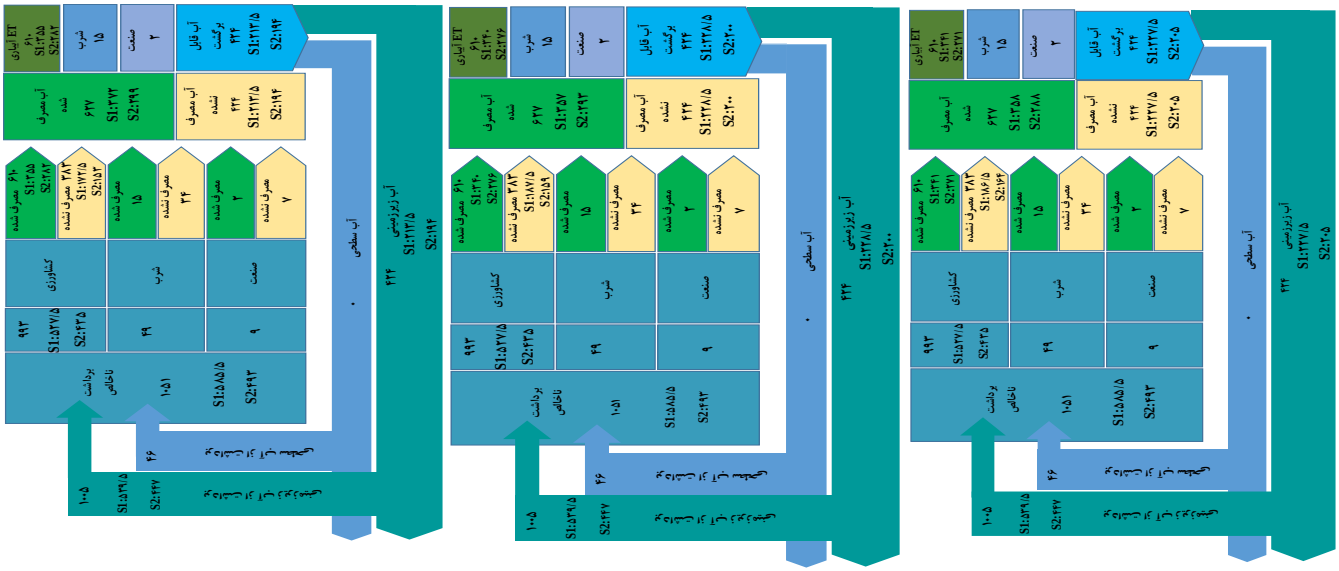
با به‌کارگیری سناریوی نخست میزان برداشت از آب زیرزمینی در کل حوضه برای هر سه سال تر، نرمال و خشک ۴۶ درصد کاهش یافت. نسبت بازیابی در سال تر و نرمال ۴۶ درصد و در سال خشک ۵۰ درصد کاهش یافت. میزان کاهش مصرف در سال تر و نرمال ۴۳ درصد و در سال خشک ۴۱ درصد بود.

با به‌کارگیری سناریوی دوم میزان برداشت از آب زیرزمینی در کل حوضه برای هر سه سال تر، نرمال و خشک ۵۶ درصد کاهش یافت. نسبت بازیابی در سال تر ۵۲ درصد و در سال نرمال ۴۷ درصد و در سال خشک ۵۴ درصد کاهش یافت. میزان کاهش مصرف در سال تر ۵۴ درصد و در سال نرمال ۵۳ درصد و در سال خشک ۵۲ درصد بود.

www.SID.ir

Archive of SID





الف ب ج

**شکل ۳- کاربرگ آب بهره‌برداری شده برای سال تر (الف)، سال نرمال (ب) و سال خشک (ج) برای حالت واقعی، سناریوی نخست (S1) و سناریوی دوم (S2) (میلیون‌مترمکعب)**

## ارزیابی با نشانگرهای کاربرگ آب بهره‌برداری شده

**نسبت برداشت آب زیرزمینی:** مقدار این نشانگر که وابستگی حوضه به منابع آب زیرزمینی را نشان می‌دهد ۰/۹۶ بوده و بر اساس تقسیم‌بندی یونسکو مقادیر بیشتر از ۰/۵ نشان دهنده میزان وابستگی زیاد است. این وابستگی در شرایط به‌کارگیری سناریوها نیز زیاد بود و به ۰/۹۲ در سناریوی نخست و ۰/۹۱ در سناریوی دوم رسید(جدول ۴).

**راندمان آبیاری کلاسیک:** راندمان آبیاری در مقیاس حوضه ۰/۶۱ محاسبه شد و به این معنی است که ۶۱ درصد آب برداشتی برای کشاورزی مصرف شده و ۳۹ درصد از آن دوباره به منابع آب حوضه بازگشته است. با به‌کارگیری سناریوها راندمان مقداری بهبود یافت و حداکثر به ۰/۶۷ در شرایط سناریوی دوم در سال خشک رسید (جدول ۴).

**جدول ٤- نشانگرهای کاربرگ آب بهره‌برداری شده**

| نشانگر | معرفی | وضعیت | سال تر | سال نرمال | سال خشک |
|---|---|---|---|---|---|
| نسبت برداشت آب زیرزمینی | حجم بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی به کل برداشت در حوضه (میزان وابستگی به آب زیرزمینی) | واقعی | ۰/۹۶ | ۰/۹۶ | ۰/۹۶ |
| | | سناریوی نخست | ۰/۹۲ | ۰/۹۲ | ۰/۹۲ |
| | | سناریوی دوم | ۰/۹۱ | ۰/۹۱ | ۰/۹۱ |
| راندمان آبیاری کلاسیک | راندمان آبیاری در مقیاس حوضه آبریز | واقعی | ۰/۶۱ | ۰/۶۱ | ۰/۶۱ |
| | | سناریوی نخست | ۰/۶۵ | ۰/۶۴ | ۰/۶۷ |
| | | سناریوی دوم | ۰/۶۲ | ۰/۶۳ | ۰/۶۵ |
| نسبت بازیابی | نسبت آب برگشتی از مصارف به منابع آبهای سطحی و زیرزمینی | واقعی | ۰/۴۰ | ۰/۴۰ | ۰/۴۰ |
| | | سناریوی نخست | ۰/۳۹ | ۰/۳۹ | ۰/۳۶ |
| | | سناریوی دوم | ۰/۴۱ | ۰/۴۱ | ۰/۳۹ |

www.SID.ir

Archive of SID


**نسبت بازیابی :** مقدار این نشانگر ۰/۴ محاسبه شد کـه نشـان داد نزدیک به ۴۰ درصد از حجم آب برداشت شده در حوضه دوباره به منـابع آب زیرزمینـی حوضـه بازگشـته و مصـرف نشـده اسـت. بـا به‌کارگیری سناریوها نسبت جریان برگشتی کاهش یافت و در کمترین حالت به ۰/۳۶ در وضعیت سناریوی نخست و در سال خشـک رسـید (جدول ۴).

### گزارش‌دهی با کاربرگ آب سطحی

شکل ۴ کاربرگ آب سـطحی را بـرای سـه سـال تـر، نرمـال و خشک ارائه می‌کند. جریان ورودی آب سطحی به حوضه صفر بوده و رواناب کل تولید شده در حوضه در سال تر ۲۲۹، در سال نرمـال ۱۰۱ و در سـال خشـک ۶۸/۵ میلیـون‌مترمکعـب بـود. نزدیـک بـه ۴۶ میلیون‌مترمکعب برداشت از آب سطحی با نهرهـا، آب‌بنـدها و موتـور تلمبه ها انجام می شود. مقدار جریان برگشتی از برداشت سطحی ۱۹ میلیون‌مترمکعب بوده که به منابع آب زیرزمینی بازگشته و برگشت به آب سطحی صفر فرض شده است.

الف ب ج

**شکل ٤- کاربرگ آب سطحی برای سال تر (الف)، سال نرمال (ب) و سال خشک (ج) برای حالت واقعی، سناریوی نخست (S1) و سناریوی دوم (S2) (میلیون‌مترمکعب)**

### گزارش‌دهی با کاربرگ آب زیرزمینی

شکل ۵ کاربرگ آب زیرزمینی را بـرای سـه سـال تـر، نرمـال و خشک در وضعیت واقعی و سناریوها ارائه مـی‌کنـد. در سـال تـر کـل آبگیری طبیعی آبخوان حوضه ۴۳۱، در سـال نرمـال ۳۳۳ و در سـال خشک ۲۹۸/۵ میلیون‌مترمکعب برآورد شد که در سال‌هـای نرمـال و خشک به ترتیب ۲۲ و ۳۱ درصد کاهش آبگیری اتفـاق افتـاده اسـت. همچنـین ۲۶۰ میلیـون‌مترمکعـب از آبگیـری، ناشـی از نفـوذ آب از مخروط افکنه‌ها بوده است که بـیش از ۶۰ درصـد میـزان آبگیـری را دربرمی‌گیرد. در سال تـر ۴۸، در سـال نرمـال ۱۹ و در سـال خشـک ۱۶/۵ میلیون‌مترمکعب از آبگیری آبخوان، از بارش هـا حاصـل شـده است. افزون بر آن در سـال تـر ۱۲۳، در سـال نرمـال ۵۴ و در سـال خشک ۲۲ میلیون‌مترمکعب نفوذ از آبهای سطحی حوضه اتفاق افتاده است. مقادیر برداشت از آبخوان برای هر سه سال تر، نرمال و خشک بـرای بخـش کشـاورزی، شـرب و صـنعت بـه ترتیـب ۷۸۶، ۴۲ و ۷ میلیون‌مترمکعب بـوده اسـت کـه مجمـوع برداشـت از آبخـوان ۸۳۵ میلیون‌مترمکعب برآورد شـد. همچنـین مجمـوع جریـان برگشـتی از مصارف آب در سال‌های تر و نرمال، ۲۵۶ میلیون‌مترمکعب و درسـال خشک ۲۷۴/۵ میلیون‌مترمکعب بـوده کـه ۲۲۲ میلیـون‌مترمکعـب در سال‌های تر و نرمال و ۲۴۰/۵ میلیـون‌مترمکعـب در سـال خشـک از بخـش کشـاورزی و ۲۹ میلیـون‌مترمکعـب از بخـش شـرب و ۵ میلیون‌مترمکعب از بخش صنعت به آبخوان برگشته است. نزدیک بـه ۱ میلیون‌مترمکعب فرازش موبینگی برآورد شد. بـا توجـه بـه مقـادیر

www.SID.ir

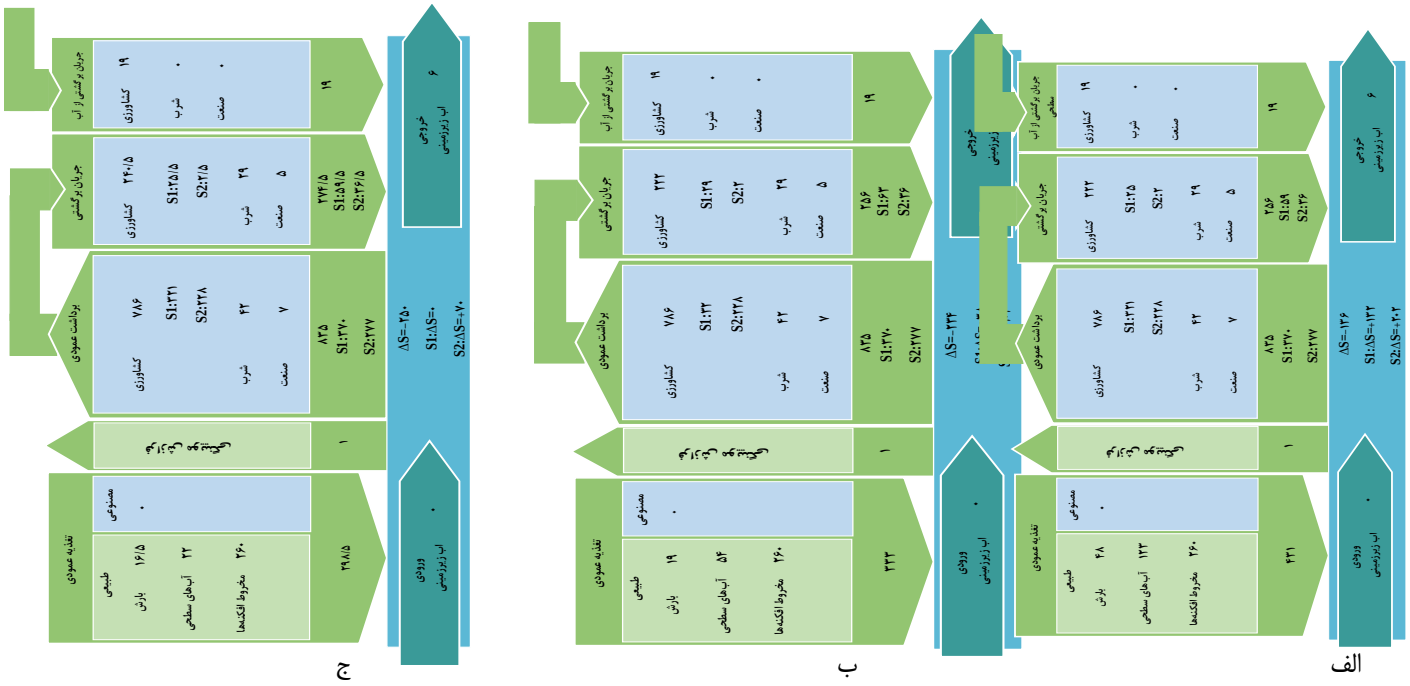
Archive of SID



تخلیه و آبگیری آبخوان، ۱۳۶ ، ۲۳۴ و ۲۵۰ میلیون‌مترمکعب کسری مخزن به ترتیب در سال‌های تر، نرمال و خشک اتفاق افتاده است.

با به‌کارگیری سناریوی نخست میزان برداشت از آبخوان ۵۶ درصد کاهش یافت در حالیکه کاهش جریان برگشتی در سال تر ۷۷ درصد، در سال نرمال ۷۵ درصد و در سال خشک ۷۸ درصد بود. کسری مخزن در سال تر در حالت واقعی ۱۳۶ میلیون‌مترمکعب بود که با به‌کارگیری این سناریو کسری مخزن برطرف شد و ۱۳۲ میلیون‌مترمکعب نیز به ذخیره مخزن افزوده شد. همچنین در سال نرمال در حالت واقعی کسری مخزن ۲۳۴ میلیون‌مترمکعب بود که با به‌کارگیری سناریو کسری مخزن برطرف و ۳۸ میلیون‌مترمکعب به ذخیره آن افزوده شد. در سال خشک کسری مخزن ۲۵۰ میلیون‌مترمکعب بود که با به‌کارگیری این سناریو کسری مخزن برطرف شد و ۷۰ میلیون‌مترمکعب به ذخیره آن افزوده شد.

با به‌کارگیری سناریوی دوم میزان برداشت از آبخوان ۶۷ درصد کاهش یافت. در حالیکه کاهش جریان برگشتی در سال تر ۸۶ درصد، در سال نرمال ۸۶ درصد و در سال خشک ۸۷ درصد بود. کسری مخزن در سال تر در حالت واقعی ۱۳۶ میلیون‌مترمکعب بود که با به‌کارگیری این سناریو کسری مخزن برطرف شد و ۲۰۲ میلیون‌مترمکعب نیز به ذخیره مخزن افزوده شد. همچنین در سال نرمال در حالت واقعی کسری مخزن ۲۳۴ میلیون‌مترمکعب بود که با به‌کارگیری سناریو کسری مخزن برطرف و ۱۰۴ میلیون‌مترمکعب به ذخیره آن افزوده شد. در سال خشک کسری مخزن ۲۵۰ میلیون‌مترمکعب بود که با به‌کارگیری این سناریو کسری مخزن برطرف شد و ۷۰ میلیون‌مترمکعب به ذخیره آن افزوده شد.




**شکل ۵- کاربرگ آب زیرزمینی برای سال تر (الف)، سال نرمال (ب) سال خشک (ج) برای حالت واقعی، سناریوی نخست (S1) و سناریوی دوم (S2) (میلیون‌مترمکعب)**

**ارزیابی با نشانگرهای کاربرگ آب زیرزمینی:**

**تنش حاصل از افزایش برداشت از آب زیرزمینی:** این نسبت که معرف پایداری آبخوان است، نسبت برداشت به مقدار آبگیری آبخوان را نشان می‌دهد. در هر سه سال تر، نرمال و خشک بیشتر از ۱ بوده و بر اساس تعاریف استاندارد (Pires et al., 2017) مقادیر بیشتر از ۰/۴ نشان دهنده فشار زیاد بر منابع آب زیرزمینی است و نشان می دهد که مقدار آب خروجی از آبخوان از مقدار آبی که به عنوان تغذیه به آن وارد می شود بیشتر بوده و به معنی ناپایداری آبخوان است. با به‌کارگیری سناریوها این نسبت بهبود یافت(جدول ۵).

**نسبت برداشت به آب تجدیدپذیر آبخوان:** در حالت واقعی این نسبت در سال تر ۲، در سال نرمال ۲/۶ و در سال خشک ۲/۹ بوده و نشان می‌دهد آبی که از منابع برداشت می شود بیشتر از آبی است که در حوضه تجدید می‌شود. این نسبت برای سناریوی نخست در سال تر به ۰/۸۷ و در سال نرمال به ۱/۱۳ و در سال خشک به ۱/۳۰ رسید و برای سناریوی دوم به ۰/۶۵ در سال تر، به

www.SID.ir

Archive of SID


۰/۸۵ در سال نرمال و به ۰/۹۵ در سال خشک رسید (جدول ۵).

**نسبت جریان برگشتی به برداشت:** این نسبت برای هر سه سال تر، نرمال و خشک ۰/۳ بوده و به این معنی است که ۳۰ درصد از آب برداشت شده به منابع آبی حوضه برمی گردد. با به‌کارگیری سناریوی نخست این نسبت نزدیک به ۴۸ درصد و در سناریوی دوم نزدیک به ۵۸ درصد کاهش یافت (جدول ۵).

**جدول ۵- نشانگرهای کاربرگ آب زیرزمینی**

| نشانگر | معرفی | وضعیت | سال تر | سال نرمال | سال خشک |
|---|---|---|---|---|---|
| تنش حاصل از افزایش برداشت از آب زیرزمینی | نشان دهنده پایداری آبخوان | واقعی | ۱/۱۹ | ۱/۳۸ | ۱/۳۷ |
| | | سناریوی نخست | ۰/۷۴ | ۰/۹۰ | ۰/۹۵ |
| | | سناریوی دوم | ۰/۵۸ | ۰/۷۳ | ۰/۸۰ |
| نسبت برداشت به آب تجدیدپذیر آبخوان | مقایسه آب تجدیدپذیر آبخوان با میزان برداشت را نشان می دهد. | واقعی | ۲/۰۰ | ۲/۶۰ | ۲/۹۰ |
| | | سناریوی نخست | ۰/۸۷ | ۱/۱۳ | ۱/۳۰ |
| | | سناریوی دوم | ۰/۶۵ | ۰/۸۵ | ۰/۹۵ |
| نسبت جریان برگشتی به برداشت | نسبتی از برداشت که به صورت جریان برگشتی به آبخوان بازگشته است. | واقعی | ۰/۳۱ | ۰/۳۱ | ۰/۳۳ |
| | | سناریوی نخست | ۰/۱۶ | ۰/۱۷ | ۰/۱۶ |
| | | سناریوی دوم | ۰/۱۳ | ۰/۱۳ | ۰/۱۳ |

## نتیجه‌گیری

در این پژوهش ظرفیت چارچوب +WA برای تهیه حساب‌های آب در حوضه رخ–نیشابور در چهار بخش اصلی ساماندهی اطلاعات، گزارش‌دهی، برنامه‌ریزی و ارزیابی بررسی شد. بخش ساماندهی اطلاعات دربرگیرنده گردآوری آمار از منابع مختلف از جمله تصاویر ماهواره‌ای است که در +WA به آن تاکید شده است. همچنین برای اطلاعات تکمیلی مربوط به حوضه، مدل‌سازی هیدرولوژیکی انجام شد. گزارش‌دهی با تکمیل کاربرگ‌های منابع و مصارف، تبخیرتعرق، آب بهره‌برداری شده، آب سطحی و آب زیرزمینی برای سه سال نمونه تر، نرمال و خشک انجام شد. به طور کلی نشان داده شد که نسبت مصرف در حوضه در هر سه سال تر، نرمال و خشک به مقدار آب تجدیدپذیر بیشتر از یک بوده و فشار زیادی بر منابع آب زیرزمینی برای تامین آب حوضه وارد شده است. بخش برنامه‌ریزی که دربرگیرنده سناریوپردازی است با در نظر گرفتن دو سناریوی کاهش برداشت از آبخوان هم‌راستا با مصوبات شورای عالی آب در راستای طرح احیا و تعادل‌بخشی منابع آب، در نظر گرفته شد و نشان داده شد که تحلیل این سناریوها با کاربرگ‌های +WA می‌تواند ارزیابی سیاست‌ها و راهکارهای مدیریتی را در ایجاد پایداری منابع آب فراهم کند. با به‌کارگیری این سناریوها کسری مخزن برطرف و به ذخیره آن افزوده شد. در بخش ارزیابی برای حالت واقعی و سناریوها نشانگرهای مختلفی برای هر کاربرگ محاسبه شد که ابزاری ارزنده برای سیاست‌گذاران و مدیران برای فهم نقاط ضعف و قوت تصمیمات بوده و همچنین سبب ایجاد سیاست‌های درخور برای تقویت و بهبود مدیریت می‌شوند. در این پژوهش نشان داده شد که حسابداری آب چگونه می‌تواند در پشتیبانی از تصمیمات کلان کشور در مدیریت منابع و مصارف آب کارآمد باشد، زیرا به یکپارچه‌سازی اطلاعات و ایجاد زبان مشترک بین نهادهای مختلف آبی می‌انجامد. همچنین امکان سناریوپردازی و ارزیابی سیاست‌ها و راهکارهای مدیریتی در ایجاد پایداری منابع آب را فراهم می‌کند.

## سپاسگزاری

بدینوسیله از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری و شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی به دلیل حمایت‌های مالی و معنوی این پژوهش که بخشی از طرح پژوهشی با شماره قرارداد ۹۷/۱۸۸۸۸/۱۱/۳ است، قدردانی می‌شود.

## منابع

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

خزاعی س.، رائینی سرجاز، م.، داوری، ک و شفیعی، م. ۱۳۹۷. معرفی چارچوب حسابداری آب +WA. مجله آب و توسعه پایدار. ۵ (۲): ۱۱۷-۱۲۸.

خزاعی، س.، رائینی، م.، داوری، ک. و شفیعی، م. ۱۳۹۹. ارزیابی وضعیت منابع و مصارف آب با رویکرد حسابداری آب درحوضه آبریز رخ–نیشابور به کمک چارچوب +WA در شرایط کمبود داده. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. شماره ۱۴(۲): ۳۹۲-۳۷۹.

دلاور،م.، مرید، س و رئیسی، ل. ۱۳۹۹. پیاده‌سازی سیستم حسابداری

www.SID.ir

Archive of SID



آب +WA در سطح حوضه آبریـز و چـالش‌هـای پـیش روی آن (درس آموخته‌ها از مطالعه موردی حوضه آبریز طشک-بختگان).

رحمانی، م. ۱۳۹۸. تعیین مناسبترین شاخص‌ها برای تدوین چـارچوب ارزیابی مدیریت آب با هدف پایـایی (مطالعـه مـوردی :محـدوده مطالعاتی مشهد). رساله دکتری. دانشگاه فردوسی مشهد.

رضاپور، الف. ۱۳۹۹. تعیین شاخص‌های مرتبط با صـفحه‌هـای منـابع مصارف و برداشت در چارچوب حسابداری آب با اسـتفاده از مـدل SWAT(مطالعه موردی: حوضه آبریز فریزی). رساله کارشناسـی ارشد. دانشگاه فردوسی مشهد.

شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی. ۱۳۹۰. مطالعات بهنگام سـازی بیلان منابع آب محدوده‌های مطالعاتی حوضه آبریز کویر مرکـزی منتهی با سال آبی ۹۰-۸۹، ۵. ارزیابی منابع آب.

علیپور، الـف. ۱۳۹۸. مـدیریت تـوأم منـابع و تقاضـای آب بـا هـدف متعادل‌سازی سطح آب زیرزمینی در دشت نیشابور. رساله دکتری. دانشگاه فردوسی مشهد.

فرخ‌نیا، الف.، مرید، س.، دلاور، م و عباسپور، ک. ۱۳۹۷. توسعه مـدل SWAT- LU برای بررسی و شبیه‌سازی علل افت تـراز دریاچـه ارومیه و ارزیابی اثربخشی راه‌کارهای مطرح در احیای آن. بخـش سوم: تحلیل حسابداری آب و ارزیابی راه‌کارهـای احیـای دریاچـه ارومیه. مجله آبیاری و زهکشی ایران. ۱۲ (۶): ۱۳۶۲-۱۳۸۰.

فرهادی، ع.، احسانی، م.، اقبالی، م.، اسدی، ن.، داسـدار، و.، سـیاهی، م.ک.، معلمـی، م.، براهیمـی، م.، ناشـر، ح. و جنگـی، ع. ۱۳۹۸. حسابداری و حسابرسی آب . گروه کار توسعه و مـدیریت سـامانه های آبیاری . کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. شـماره انتشـار ۱۸۳.

مصـــوباب پـــانزدهمین جلســـه شـــورای عـــالی آب. ۱۳۹۳. https://swc.moe.gov.ir

Bastiaanssen, W., Than, H. 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.

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

Karimi, P., Bastiaanssen, W. M., Molden, D and Cheema, M. M. 2013b. Basin-wide water accounting based on remote sensing data: an application for the Indus Basin Journal Hydrology and Earth System Sciences. 17:2473–2486.

Karimi, P., Pareeth, S., Michailovsky, C. 2019. Rapid assessment of the water accounts in Urmia Lake basin. Project report, IHE Delft, The Netherland.

Pires, A., Morato, J., Peixoto, H., Botero, V., Zuluaga, L., and Figueroa, A. 2017. Sustainability Assessment of indicators for integrated water resources management. Science of the Total Environment, 578 (6): 139–147.

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.

Rutter, A. J., Kershaw, K. A., Robins, P. C. and Morton, A. J. 1971. A predictive model of rainfall interception in forests. I:Derivation of the model from observations in a plantation of Corsican pin. Agricultural Meteorology. 9: 367– 84.

Savenije, H. H. G. 2004. The importance of interception and why we should delete the term evapotranspiration from our vocabulary. Hydrological Processes. 18: 1507–1511.

www.SID.ir

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 4, Vol. 15, Oct.-Nov. 2021, p. 828-841

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۴، جلد ۱۵، مهر - آبان ۱۴۰۰، ص. ۸۴۱-۸۲۸

# Water Accounting a Necessity for Organizing Information, Reporting, Planning and Assessing water Resources and Consumptions(Case study: Rokh-Nieshabour

**S. Khazaei[1], M. Rabini Sarjaz[*2], K. Davari[3], M. Shafiei[4]**
Recived: Feb. 25, 2021 Accepted: May. 05, 2021

## Abstract

One of the main causes of the water crisis in Iran is the lack of a well-organized framework for providing information about water balance components and water uses. Therefore, the use of a water accounting framework is a necessity. The purpose of this study is to show the capacity of the WA + framework for the preparation of water accounts in Rokh-Neishabour basin, which is presented in four main sections: Organizing information, reporting, planning and assessing. The Organizing information section includes the collection of data from various sources, including ~~of~~ satellite measurements and modelling. The planning section include scenario development that in this study, two scenarios of reducing aquifer withdrawals were considered which were in line with the approvals of the Supreme Water Council. Reporting was done by completing various WA + sheets for three years inculding wet, normal and dry under real and scenario conditions. The assessing section was presented by the indicators for each sheet and for real and scenarios conditions.The results of the water situation in the basin showed that in Rokh-Neishabour basin, a sharp drop in aquifer storage occurs every year. Also, about 80% of rainfall in the basin evaporates and becomes unavailable. Finally, the findings of using scenarios to reduce aquifer withdrawals (according to aquifer restoration plan) showed that if the aquifer withdraw was equal to renewable water, the annual aquifer deficit would reach zero and its reserve would increase.

**Key words:** Aquifer restoration plan, Developing scenario, Indicators-Sheet, Supreme Water Council

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 , Department of Hydroinformatics, East Water &Environmental Research Institute, Mashhad, Iran
(*- Corresponding Author Email: Raeini@yahoo.com)

www.SID.ir