نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۲، جلد ۱۴، خرداد - تیر ۱۳۹۹، ص. ۳۹۲-۳۷۹

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 2, Vol. 14, Jan.-Jul. 2020, p. 379-392

ارزیابی وضعیت منابع و مصارف آب با رویکرد حسابداری آب درحوضه آبریز رخ-نیشابور به کمک چارچوب +WA در شرایط کمبود داده

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

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۲۱

چکیده

توسعه سامانه‌های حسابداری آب یکی از مهم‌ترین زیرساخت‌ها در مدیریت منابع آب به شمار می‌رود. رشد فناوری‌های نوین از جمله سنجش از دور و مدل‌های هیدرولوژی سبب شده تا توسعه آنها با هدف مدیریتی کردن اجزای بیلان آب در دنیا گسترش یابد. هدف از پژوهش حاضر بررسی وضعیت منابع و مصارف آب در حوضه آبریز رخ-نیشابور با توسعه و کاربرد چارچوب حسابداری آب +WA در شرایط کمبود داده است. برای این منظور رویکردی تلفیقی با استفاده از تحلیل تصاویر ماهواره‌ای و مدل‌سازی هیدرولوژیکی به کار گرفته شد و توسعه کاربرگ‌های منابع و مصارف آب در حوضه برای سه سال تر، نرمال و خشک بررسی شد. همچنین ارزیابی وضعیت منابع و مصارف حوضه با تعریف نمایه‌های کارایی مختلف در این دوره انجام شد. نتایج نشان داد که این رویکرد به همراه کاربرد چارچوب +WA می‌تواند نتایج ارزشمندی از شرایط و وضعیت منابع و مصارف آب در حوضه مورد مطالعه فراهم نماید. در کاربرگ‌های توسعه یافته نتایج «تبخیرتعرق طبیعی» در کاربری‌های مختلف زمین و همچنین سهم مصرف آب در بخش‌های کشاورزی با کاربرد مفهوم «تبخیرتعرق آبیاری» (۶۱۰ میلیون‌متر مکعب)، شرب (۱۵ میلیون‌متر مکعب) و صنعت (۲ میلیون‌متر مکعب) به صورت جداگانه ارائه شد. تحلیل نمایه‌های کارایی نشان داد حوضه در شرایط کم‌یابی آب است و میزان مصرف به آب تجدیدپذیر در دوره پژوهش بیشتر از ۱ بود که نشان دهنده ناپایداری حوضه است و اولین نتیجه آن مشکلات اجتماعی و اقتصادی خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: تبخیرتعرق، سنجش از دور، نمایه‌های کارایی، SWAT

مقدمه

با توجه به پیچیدگی‌ها و پویایی‌های بخش آب، توجه به رویکرد یکپارچه مدیریت منابع آب ضروری است. از سویی دیگر، مدیریت آب فرایندی فرابخشی و چند بخشی است که سیاست‌گذاری و تصمیم‌گیری در مورد آن باید با رویکردی کلان‌نگر و با در نظر گرفتن پیوند بخش آب با اقتصاد کلان کشور باشد. بنابراین کاربرد سیاست‌های پایدار در مدیریت منابع آب نیازمند آن است که بخش آب به عنوان یک سامانه یکپارچه مورد ارزیابی و تجزیه و تحلیل قرار گیرد (Falkenmark, 1994). مشکلات زیادی که هم‌اکنون در ارائه و محاسبه تراز منابع آب درحوضه‌ها وجود دارد، از جمله نبود پیوند مناسب میان بخش‌های مختلف تراز (مانند دوره تراز و مقیاس محاسبات) و انواع ترازنامه‌ها (مانند آب‌اقلیم‌شناسی[5]، آب زیرزمینی و عمومی)، ناپویایی محاسبات در پیوند با اجزای تراز، به‌روز نبودن بیشتر روش‌های محاسبه اجزای تراز، مناسب نبودن آنها در اقلیم‌های مختلف، نبود چارچوب‌های مشخص و کاربردی برای برآورد ناشناخته‌های معادله تراز و شیوه ارائه یافته‌های تراز هستند. ایجاد و استفاده از چارچوب‌های حسابداری آب می‌تواند تاثیر چشمگیری در ساده‌سازی محاسبات و ارائه تراز منابع و مصارف آب در حوضه‌ها داشته باشد (شفیعی و همکاران، ۱۳۹۶). از مهمترین و کاربردی‌ترین چارچوب‌های موجود، چارچوب حسابداری آب +WA[6] است که از ارزنده‌ترین سودمندی‌های این چارچوب، همخوانی ساختار و قوانین آن با نمایه‌های بررسی پایداری و امنیت آب و غذا، امکان بررسی مصارف آب (به‌ویژه تبخیرتعرق) در کاربری‌های مختلف زمین، جداسازی مصارف مدیریت‌شده و مدیریت‌نشده است. بیشتر داده‌های مورد نیاز این چارچوب می‌تواند از تصاویر ماهواره‌ای محاسبه شود. بنابراین وابستگی این سامانه به سازمان‌های محلی و سامانه‌های گردآوری

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
۴- استادیار پژوهش، گروه هیدروانفورماتیک، مرکز پژوهشی آب و محیط زیست شرق- مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: raeini@yahoo.com)

5- Hydro climatology
6- Water Accounting plus

داده کمتر است. در این راستا کریمی و همکاران در پژوهش خود +WA را با چهار کاربرگ منابع آب، تبخیرتعرق، بهره‌وری محصول و برداشت معرفی کردند (Karimi et al., 2013a). در ادامه کریمی و همکاران کاربرد این چارچوب را برای ارزیابی کاهش منابع آبی، تغییرات ذخیره و بهره‌وری زمین و آب در حوضه ایندا‌س[1] نشان دادند (Karimi et al., 2013b). آنان نشان دادند که چگونه برآوردهای بارش، تبخیرتعرق و میزان زیست توده از تصاویر ماهواره‌ای می‌تواند در +WA سودمند واقع شوند. آنان همچنین نشان دادند که چگونه یافته‌های حسابداری می‌تواند برای شناسایی مشکلات و حل آنها در آینده تفسیر شود. در یافته‌های این حسابداری دیده می‌شود که حوضه ایندا‌س تقریبا یک حوضه بسته است و نزدیک به ۹۵ درصدِ آب در دسترس آن مصرف می‌شود. همچنین مصرف سالانه آب به اضافه جریان‌های خروجی در این حوضه از کل بارندگی بیشتر است. ازاین‌رو ذخیره آب زیرزمینی رو به کاهش است. 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. پژوهش آنان نشان داد که از آب قابل بهره‌برداری نزدیک به ۴۵ درصد در بخش کشاورزی مصرف می‌شود و ۳۵ درصد آن نیز در دسترس است (Peiser and Bastiansen., 2015). در پژوهشی دیگر با استفاده از مدل توسعه یافته SWAT-LU و به‌کارگیری سامانه حسابداری آب +WA راهکارهای مختلفی برای صرفه‌جویی آب در حوضه ارومیه و افزایش جریان آب به این حوضه ارائه شد (فرخ‌نیا و همکاران، ۱۳۹۷). هدف از پژوهش حاضر، بررسی وضعیت منابع و مصارف آب در حوضه آبریز رخ- نیشابور با کاربرد چارچوب حسابداری آب +WA در شرایط کمبود داده است. با توجه به اینکه به این چارچوب در ایران بسیار کم پرداخته شده و این حوضه در شرایط فوق بحرانی منابع آب قرار دارد، نیاز است تا فرایندهای هیدرولوژیکی آن با جزئیات بیشتری بررسی گردد و گزینه‌های مدیریتی آن به صورت خلاصه ارائه شود. چارچوب +WA ابزاری مناسب برای این هدف می‌باشد. برای این منظور رویکردی تلفیقی برای استفاده از تصویرهای ماهواره‌ای و مدل‌سازی هیدرولوژیکی به کار گرفته شد. مقادیر مصرف خالص به صورت مستقیم از تحلیل تصاویر ماهواره‌ای برآورد و سپس شبیه‌سازی همه اجزای تراز با مدل SWAT انجام شد. در این پژوهش برای واسنجی مدل افزون بر داده‌های رواناب، از داده‌های تبخیرتعرق واقعی نیز استفاده شد که باعث افزایش دقت مدل‌سازی شد. همچنین جدا کردن مقادیر تبخیرتعرق طبیعی[2] و تبخیرتعرق آبیاری[3] از نقاط قوت این پژوهش محسوب می‌شود. در ادامه، کاربرگ[4] منابع و مصارف چارچوب +WA برای سه سال تر، نرمال و خشک ارائه و با نمایه‌های کارایی[5] تحلیل شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

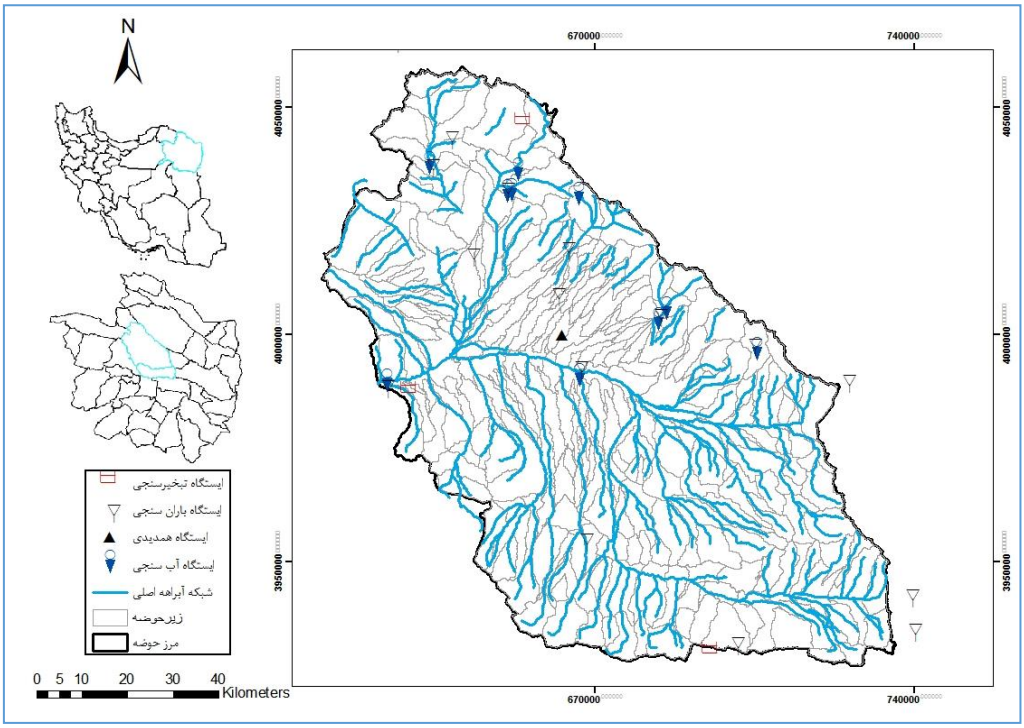
حوضه آبریز رخ-نیشابور با وسعت نزدیک به ۹۱۵۸ کیلومتر مربع در شرق حوضه آبریز کویر مرکزی واقع است. آب و هوای آن خشک و نیمه‌خشک است و میانگین بارندگی دوره ۴۵ ساله آن ۲۶۴ میلی‌متر است (شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۳۹۰). نزدیک به ۴۷ درصد سطح اراضی حوضه به کشاورزی (شامل کشاورزی آبی، دیم و باغات) و ۴۸ درصد به مراتع اختصاص یافته است. اصلی‌ترین آبراهه حوضه، رودخانه کالشور است که عمده رواناب سطحی و سیلاب‌های این دشت را زهکشی و از محل روستای حسین آباد جنگل به بیرون از حوضه تخلیه می‌نماید (ایزدی، ۱۳۹۲؛ علیزاده و همکاران، ۱۳۹۲) (شکل ۱).

معرفی چارچوب +WA

در حال حاضر این چارچوب دارای ۸ کاربرگ توسعه یافته است که شامل کاربرگ منابع آب، کاربرگ تبخیرتعرق، کاربرگ خدمات کشاورزی، کاربرگ آب استفاده شده، کاربرگ آب سطحی، کاربرگ آب زیرزمینی، کاربرگ خدمات بوم‌زیستی-هیدرولوژیکی و کاربرگ پایداری منابع آب می‌شود (خزاعی و همکاران، ۱۳۹۷). تعریف واژه‌های استفاده شده در جدول ۱ ارائه شده است. در این پژوهش کاربرگ منابع و مصارف آب برای سه سال آبی تر، نرمال و خشک مورد استفاده قرار گرفت. این کاربرگ اطلاعات کلی ازحجم منابع و مصارف آب در حوضه آبریز را شامل می‌شود. ورودی ناخالص[6] آب به حوضه شامل بارش و جریان‌های ورودی از مرزهای حوضه است. وقتی مقدار تغییرات اجزای ذخیره آب در حوضه به آن اضافه شود، جریان خالص[7] آب محاسبه می‌شود. برای محاسبه جریان خالص مقادیر منفی ذخیره آب در حوضه به مقدار جریان ناخالص اضافه و مقادیر مثبت از آن کم می‌شود زیرا مقادیر منفی گویای این است که حجم آب اضافی برای مصارف در حوضه از منابع آبی برداشت شده است (Karimi et al., 2013a).

۱- حوضه‌ای که مساحت آن واقع در بخش‌هایی از کشورهای پاکستان، هند، چین و افغانستان است.

2-Landscape evapotranspiration
3- Incremental evapotranspiration
4 -Sheet
5- Performance indices
6- Gross inflow
7- Net inflow



شکل ۱- موقعیت مکانی ایستگاه‌های آب و هواشناسی حوضه آبریز رخ-نیشابور و زیرحوضه‌های تولید شده در مدل SWAT

جدول ۱- تعریف واژه‌های به کار برده شده در چارچوب WA+ (Karimi et al., 2013a)

واژه‌ها	تعریف
جریان ناخالص	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	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، رطوبت خاک، ذوب برف و یخ می‌شود.
تبخیر تعرق طبیعی(آب سبز یا بارش موثر)	تبخیرتعرق ناشی از چرخه طبیعی آب و بدون در نظر گرفتن برداشت‌ها. آبی که به صورت طبیعی برای رشد گیاه به مصرف می‌رسد.
آب قابل بهره‌برداری (آب آبی)	آب قابل بهره‌برداری بخشی از جریان خالص است که تبخیر نشده و برای مصارف و برداشت در حوضه در دسترس است.
تبخیر تعرق آبیاری	تبخیرتعرق ناشی از آب‌های برداشت شده از منابع آبی و یا تفاوت برداشت آب وجریان برگشتی است. این مقدار در مراحل رشد گیاه به مصرف می‌رسد.

جریان خالص خود نیز به دو بخش کلی تبخیرتعرق طبیعی و آب قابل بهره‌برداری[1] تقسیم می‌شود. علاوه بر تبخیرتعرق طبیعی، تبخیرتعرق ناشی از آبیاری نیز در این کاربرگ تعیین می‌شود (شکل ۱). یکی از روش‌های جداسازی تبخیرتعرق طبیعی و آبیاری از مقدار کل تبخیرتعرق در زمین‌های کشاورزی فاریاب استفاده از بارش مؤثر[2] است (Karimi et al., 2013a). در این پژوهش از رابطه USDA برای برآورد بارش مؤثر در حوضه استفاده شد (کولاییان و غلامی سفیدکوهی، ۱۳۹۱). بنابراین بعد از محاسبه بارش مؤثر یا همان تبخیرتعرق طبیعی با داشتن تبخیرتعرق کل، مقدار تبخیرتعرق آبیاری محاسبه شد. همچنین برای محاسبه خروجی آب سطحی از داده‌های آب‌سنجی ایستگاه حسین‌آباد جنگل واقع در خروجی حوضه و برای محاسبه خروجی آب زیرزمینی از اطلاعات گزارش‌های تراز آب برای حوضه استفاده شد (شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۳۹۰). در چارچوب WA+ نمایه‌های کارایی تعریف می‌شود تا بتوان وضعیت حوضه آبریز را تحلیل کرد. این نمایه‌ها به مدیران منابع آب کمک می‌کنند تا اطلاعات کلیدی جنبه‌های مختلف مدیریت آب در حوضه

1- Exploitable water
2- Effective rainfall

را به دست آورند. با داشتن این داده‌ها در طول زمان، روند تغییرات نمایه‌ها را می‌توان نشان داد (جدول ۴) (Karimi et al., 2013a).

محاسبه تبخیرتعرق واقعی و مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوضه آبریز با مدل SWAT

برای برآورد تبخیرتعرق به کمک سنجش از دور از الگوریتم‌های مختلفی استفاده می‌شود که شامل نمایه تراز انرژی سطحی (SEBI)، تراز انرژی سطحی بالای زمین (SEBAL)، تبادل معکوس جو–زمین (ALEXI)، نمایه تراز انرژی سطحی ساده شده (S-SEBI)، سامانه تراز انرژی سطحی (SEBS) و تهیه نقشه تبخیرتعرق با واسنجی درونی (METRIC) می‌شود. همه این مدل‌ها برای برآورد تبخیرتعرق، در مقیاس‌های محلی و منطقه‌ای و با استفاده درآمیزه‌ای از داده‌های سنجش از دور و دیدبانی‌های زمینی (میدانی) به‌کار برده می‌شوند (Vinukollu et al., 2011). الگوریتم سبال یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین روش‌های باقیمانده انرژی برای برآورد تبخیرتعرق با استفاده از داده‌های سنجش از دور می‌باشد. سبال روشی است که بر پایه روابط تجربی و فیزیکی، میزان تبخیرتعرق را با کمترین داده‌های زمینی برآورد می‌کند (Bastiansen, 2000). با توجه به نمایه خشکسالی SPI (McKee, 1995) سال‌های آبی ۸۴–۱۳۸۳، ۸۵–۱۳۸۴ و ۸۷–۱۳۸۶ به ترتیب به عنوان سال‌های تر، نرمال و خشک برگزیده شدند. ازاین‌رو، در این پژوهش مقادیر تبخیرتعرق واقعی به کمک تصاویر ماهواره‌ای مودیس[1] در این سال‌ها با الگوریتم سبال برآورد شد. برای نقشه‌های رقومی مدل ارتفاعی SRTM با اندازه سلول ۹۰ متر به عنوان مدل تراز ارتفاعی پایه برگزیده شد. همچنین پارامترهای مورد نیاز برای هر لایه از نیمرخ خاک و همچنین نقشه کاربری اراضی نیز وارد مدل شد. با توجه به اینکه حوضه آبریز رخ–نیشابور یک حوضه کشاورزی است و بنابراین فرآیندهایی که اجزای تراز آبی را تحت تأثیر قرار می‌دهند به شدت به مدیریت گیاه وابسته است. برای دوره شبیه‌سازی، محصولات گندم آبی و دیم، جو و ذرت علوفه‌ای به عنوان نماینده محصولات زراعی انتخاب شدند. داده‌های مدیریتی معمول همانند محصولات عمده کشت شده، تاریخ کاشت، داشت و برداشت، نوع و مقدار کود مصرفی، میزان آب مصرفی و بازده‌های آبیاری در نظر گرفته شد (ایزدی، ۱۳۹۲؛ علیزاده و همکاران، ۱۳۹۲). برای داده‌های اقلیمی داده‌های ۲۳ ایستگاه باران‌سنجی، ۴ ایستگاه تبخیرسنجی و ۳ ایستگاه تابش‌سنجی در یک دوره ۱۴ ساله (۸۹–۱۳۷۶) در مدل‌سازی با SWAT مورد استفاده قرار گرفت. این اطلاعات از شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی دریافت شد. رطوبت نسبی و سرعت باد با استفاده ار مولد داده‌های اقلیمی SWAT تولید شد. اجرای مدل برپایه گام زمانی روزانه از ۷ مهر ۱۳۷۶ (۲۳ سپتامبر ۱۹۹۷) تا ۸ مهر۱۳۸۹ (۳۰ سپتامبر ۲۰۱۰) صورت گرفت. از داده‌های سه سال نخست برای سازگاری مدل[2] با شرایط موجود و تعیین اولیه ضرایب پارامترها مورد استفاده قرار گرفت. ۷ سال آبی برای واسنجی و ۳ سال آبی نیز برای اعتبارسنجی استفاده شد. در این پژوهش کل حوضه آبریز به ۲۴۸ زیرحوضه تقسیم شد و هر زیرحوضه خود به عنوان یک واحد پاسخ هیدرولوژیک (HRU) در نظر گرفته شد. برای محصولات گندم آبی و دیم، جو و ذرت علوفه‌ای داده‌های مدیریتی وارد مدل شد و از روش هارگریوز– سامانی (Hargreaves and Samani, 1982) برای محاسبه تبخیرتعرق پتانسیل در مدل استفاده شد.

واسنجی و تحلیل عدم قطعیت

در این پژوهش از روش SUFI2 برای واسنجی و تحلیل عدم قطعیت خروجی مدل SWAT در قالب نرم‌افزار SWAT-CUP استفاده شد (Abbaspour, 2015). در این پژوهش برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل از ترکیب دو مولفه رواناب و تبخیرتعرق استفاده شد. از این‌رو در آغاز پارامترهایی از مدل که بر مقدار جریان مؤثر بودند بر اساس مطالعات مشابه پیشین انتخاب شدند (Pisinaras et al., 2010; Li et al., 2010; Milewski et al., 2009). پس از انجام آنالیز حساسیت، پارامترهای مهمتر انتخاب شدند و دامنه تغییرات نهایی آنها پس از واسنجی بر اساس داده‌های جریان رودخانه‌ای در ایستگاه حسین‌آبادجنگل واقع در خروجی حوضه در بازه زمانی ۱۳۷۶ تا ۱۳۸۹ مشخص شد. در ادامه از مقادیر به دست آمده برای پارامترها استفاده شد و مدل بار دیگر بر اساس مقادیر تبخیرتعرق واقعی محاسبه شده برای سال‌های ۸۴–۱۳۸۳ و ۸۵–۱۳۸۴ در بازه زمانی ۱۳۷۶ تا ۱۳۸۵ واسنجی شد. برای واسنجی مدل SWAT با مقادیر تبخیرتعرق واقعی به مقدار آن در زیرحوضه‌ها نیازداشتیم که تبخیرتعرق واقعی در هر زیرحوضه با برش از روی تصاویر کل حوضه آبریز به دست آمد. با توجه به اینکه تعداد ۲۴۸ زیرحوضه موجود بود، واسنجی مدل برای دقت بیشتر در دو مرحله انجام شد که در مرحله اول با ۳۰ زیرحوضه منتخب کشاورزی و در مرحله دوم با ۲۰ زیر حوضه منتخب با کاربری مرتع انجام گرفت. اعتبارسنجی مدل برای دوره زمانی ۱۳۸۶ تا ۱۳۸۹ با داده‌های تبخیرتعرق واقعی سال آبی ۸۷–۱۳۸۶ انجام شد.

نتایج و بحث

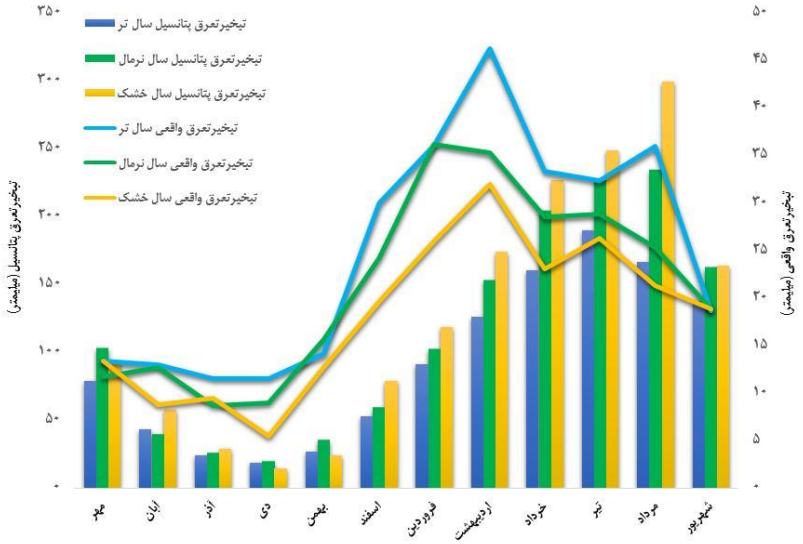
برآورد تبخیرتعرق واقعی

تبخیرتعرق واقعی حوضه با استفاده از روش سبال و برای سال‌های ۸۴–۱۳۸۳، ۸۵–۱۳۸۴ و ۸۷–۱۳۸۶، به ترتیب به‌عنوان

1- MODIS

2-Warm up

نماینده سال‌های تر، نرمال و خشک، برآورد شد. شکل ۲ تبخیرتعرق پتانسیل و واقعی را برای سه سال تر، نرمال و خشک ارائه می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود مقدار تبخیر تعرق پتانسیل در سال خشک بیشتر از نرمال و در این سال بیشتر از سال تر بوده است. همچنین در ماه‌های گرمتر سال مقدار آن بیشتر بوده است. ولی تبخیرتعرق واقعی در سال تر بیشتر از نرمال و در سال نرمال بیشتر از سال خشک بوده است. در ماه‌های فروردین و اردیبهشت بیشترین مقدار تبخیرتعرق واقعی و در ماه‌های دی و بهمن کمترین مقدار آن اتفاق افتاده است. با توجه به اینکه تبخیرتعرق پتانسیل بیشتر تحت تاثیر انرژی خالص و کمبود اشباع است انتظار می‌رود که در سال‌های خشک‌تر میزان این متغیر بیشتر باشد. ولی با توجه به اینکه رطوبت در سال تر بیشتر از دو سال خشک و نرمال بوده و تفاوت دمایی با سال نرمال و خشک زیاده نبوده، بنابراین تبخیرتعرق واقعی در این سال بیشتر از دو سال دیگر برآورد شده است. مقدار تبخیرتعرق واقعی در هر ماه متناسب با مقدار رطوبت و انرژی تغییر می‌کند، به این صورت که در ماه‌هایی از سال که هم رطوبت و هم انرژی در دسترس است از ماه‌های دیگر که رطوبت و یا انرژی کافی نیست مقدار آن بیشتر است. در ماه‌هایی از سال که بارش مناسبی رخ داده به دلیل انرژی کم (دمای کم) میزان تبخیرتعرق افزایشی نداشته که این امر نشان دهنده تاثیرپذیری زیاد تبخیرتعرق از انرژی نسبت به رطوبت است. همانطور که مشاهده می‌شود مقدار تبخیرتعرق در ماه‌های فروردین و اردیبهشت بیشتر از ماه‌های گرم سال است. زیرا در ماه‌های گرم بارش وجود نداشته و تبخیرتعرق بیشتر ناشی از آب آبیاری است. این نتایج با نتایج مشاهده شده در پژوهش میان‌آبادی و همکاران (۱۳۹۵) تطابق دارد. همچنین مشابه این رفتار در پژوهش حوضه نیل نیز مشاهده شده است (Yilmaz et al., 2014)



شکل ۲- مقایسه مقادیر تبخیرتعرق واقعی و پتانسیل در سال‌های تر، نرمال و خشک

واسنجی مدل SWAT

یک مدل هیدرولوژیک زمانی درست‌تر واسنجی خواهد شد که قسمت عمده‌ای از چرخه هیدرولوژیک جاری در حوضه آبریز در فرایند واسنجی به کار گرفته شود. این موضوع در حوضه‌های آبریز گسترده همانند رخ-نیشابور آشکارتر خواهد بود. همچنین حوضه رخ-نیشابور دارای کاربری کشاورزی بوده و نقش تبخیرتعرق در چنین حوضه‌هایی به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک در تراز آب سطحی بیش از پیش نمایان می‌گردد. همچنین استفاده از تبخیرتعرق واقعی می‌تواند اعتمادپذیری مدل در شبیه‌سازی رشد محصول، رطوبت خاک و نفوذ عمقی را نیز افزایش دهد (Akhavan et al., 2010; Li et al., 2010). در این منطقه مقادیر اندازه‌گیری شده دبی رواناب در بیشتر ایستگاه‌ها مقداری اندک داشته و حتی در بسیاری از ماه‌ها صفر بوده است. از این‌رو واسنجی مدل تنها بر اساس دبی رواناب در این حوضه‌ها معقول نبوده و همانطور که گفته شد واسنجی مدل با مقادیر تلفیقی رواناب و تبخیرتعرق واقعی انجام شد. جدول ۲ کمینه، بیشینه و مقدار بهینه پارامترهای مدل در مرحله واسنجی را ارائه می‌کند. شکل‌های ۱ و ۲ برای نمونه نشان‌دهنده مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده تبخیرتعرق در مرحله واسنجی مدل را نشان می‌دهند.

جدول ۲- دامنه تغییرات نهایی شده پارامترها در مرحله واسنجی برای مناطق کشاورزی و مرتع

نام	شرح	کشاورزی			مرتع		
		کمینه	بیشینه	بهینه	کمینه	بیشینه	بهینه
V*_CANMX.hru	بیشترین نگهداشت آب توسط پوشش گیاهی (میلی‌متر)	۰	۰/۳	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۲۴	۰/۱۲
r*__SOL_AWC.sol	ظرفیت آب در دسترس خاک (میلی‌متر بر میلی‌متر)	-۰/۵۰	-۰/۴۲	-۰/۴۹	-۰/۴۶	-۰/۴۰	-۰/۴۰
v__ BLAI.crop	بیشینه نمایه سطح برگ	۰/۵۰	۰/۵۳	۰/۵۰	۰/۵	۰/۵۳	۰/۵۲
r__SOL_BD.sol	چگالی ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	۰/۱۹	۰/۳۲	۰/۲۵	۰/۱۸	۰/۲۷	۰/۲۱
v__EPCO.hru	ضریب تصحیح جذب آب از خاک توسط گیاه	۰/۲۳	۰/۲۵	۰/۲۴	۰/۲۳	۰/۲۵	۰/۲۴
r__SOL_K.sol	هدایت هیدرولیکی خاک (میلی‌متر بر ساعت)	۰/۲۱	۰/۴۰	۰/۲۳	۰/۱۵	۰/۳۲	۰/۲۲
r__GW_REVAP.gw	ضریب نفوذ به آبخوان ژرف یا فرازش مویینگی از آبخوان کم ژرف	-۰/۰۹	-۰/۰۳	-۰/۰۴	-۰/۰۷	-۰/۰۲	-۰/۰۴
v__ESCO.hru	ضریب تصحیح تبخیر از خاک	۰/۹۴	۰/۹۶	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۹۵	۰/۹۵

r* تغییرات نسبی (ضرب در مقدار پارامتر به صورت درصد) و v تغییرات مطلق (جایگزین مقادیر پارامتر)

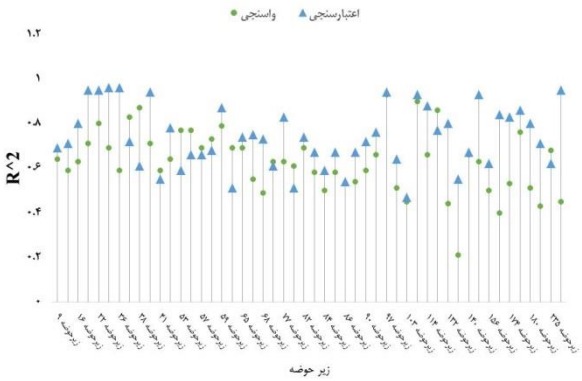
شکل‌های ۳ و ۴ بیانگر نزدیکی عملکرد مدل SWAT واسنجی شده با مقادیر برآورد شده تبخیرتعرق واقعی در هر دو مرحله واسنجی و اعتبارسنجی است. این نتایج در قیاس با ارائه مقادیر مرزی ۰/۴ و ۰/۵ به ترتیب برای معیارهای NS و R^2 توسط گرین و گرینسون و همچنین توصیه موریاسی و همکاران مبنی بر مقادیر بیشتر از ۰/۵ برای معیار NS حکایت از رضایت بخش بودن مراحل واسنجی و اعتبارسنجی مدل دارد (Moriasi et al., 2007; Green and Griensven., 2008). مقادیر نمایه‌های NS و R^2 در مرحله واسنجی به ترتیب در ۶۰ و ۹۰ درصد زیرحوضه‌ها و در مرحله اعتبارسنجی در ۷۶ و ۹۸ درصد زیرحوضه‌ها بیشتر از ۰/۵ بوده است همچنین تحلیل‌های آماری نشان داد که در همه زیرحوضه‌ها تفاوت معنی‌داری بین میانگین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده وجود ندارد و میانگین p-value در آزمون مقایسه میانگین برای آنها نزدیک به ۰/۷ بود که در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد(p-value> ۰/۰۵) فرض صفر (برابری میانگین‌ها) پذیرفته شد. شکل‌های ۵ و ۶ مقایسه مقادیر مشاهده‌ای تبخیرتعرق برآورد شده از روش سبال و مقادیر شبیه‌سازی شده توسط SWAT در دو زیرحوضه انتخابی است. مجموع تبخیرتعرق واقعی حاصل از سبال در دوره واسنجی برای زیرحوضه منتخب کشاورزی ۱۰۴۶ میلی‌متر و توسط مدل نزدیک به ۱۰۵۳ میلی‌متر است که نشان می‌دهد مدل نزدیک به ۷ درصد دارای بیش برآورد بوده است. همچنین در زیرحوضه منتخب مرتع نیز مدل نزدیک به ۱۰/۵ درصد بیش‌برآورد داشته است. بنابراین می‌توان گفت مدل توانسته شبیه‌سازی خوبی از حوضه ارائه کند.

چارچوب WA+

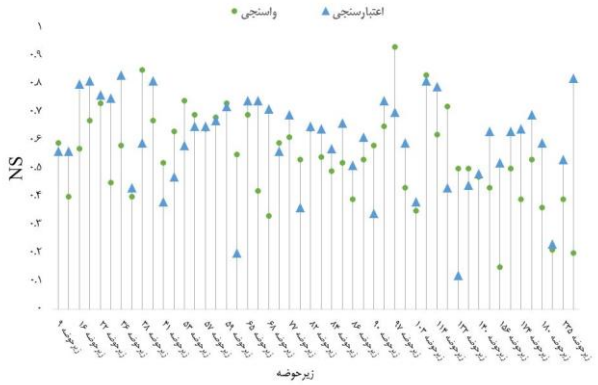
به منظور کاربرد چارچوب WA+، کاربری‌های مختلف در حوضه در دسته‌بندی‌های معرفی شده در این چارچوب قرار گرفتند (جدول ۳) (Karimi et al., 2013a).

کاربرگ منابع و مصارف آب در سال تر (۸۴-۱۳۸۳)

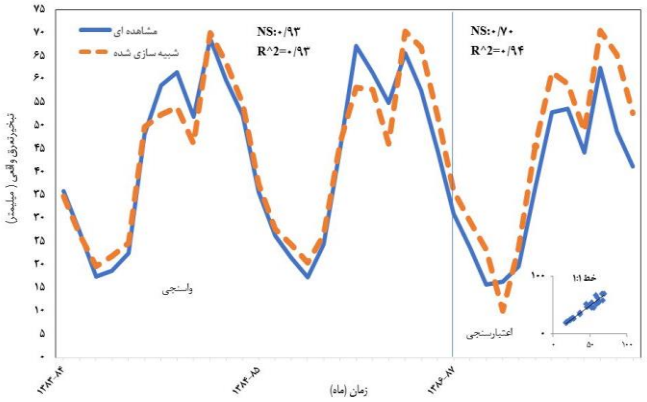
شکل (۷-الف) کاربرگ منابع و مصارف را برای سال تر نشان می‌دهد. میانگین حجم بارش سالانه در حوضه نزدیک به ۲۹۳۰ میلیون متر مکعب بود و از آنجایی که ورودی آب‌های سطحی و زیرزمینی به این حوضه وجود ندارد، مقدار ناخالص جریان ورودی به حوضه همان ۲۹۳۰ میلیون متر مکعب محاسبه شد. با توجه به تفاوت ورودی‌ها و خروجی‌های حوضه نزدیک به ۱۳۶ میلیون متر مکعب اضافه برداشت از آب‌های زیرزمینی سبب شده تا کسری مخزن در حوضه وجود داشته باشد. میانگین رطوبت خاک نزدیک به ۱۹ میلیون متر مکعب در پایان دوره بررسی افزایش داشته که نشان می‌دهد با توجه به بارش‌ها این مقدار رطوبت در خاک ذخیره شده بود. بنابراین مقدار خالص جریان آب قابل استفاده در حوضه نزدیک به ۳۰۴۷ میلیون متر مکعب برآورد شد. از این مقدار جریان نزدیک به ۲۳۵۴ میلیون متر مکعب صرف تبخیرتعرق طبیعی شده که شامل کاربری زمین‌های حفاظت شده، طبیعی، دستکاری شده و مدیریت شده آبی است. تفاوت این مقدار از جریان خالص، آب قابل بهره‌برداری (۶۹۳ میلیون‌متر مکعب) است. از این مقدار آب نیز در بخش‌های کشاورزی (فاریاب)، شرب و صنعت استفاده شده است. آب مصرف شده در کشاورزی در این بخش شامل حجم تبخیرتعرق آبیاری بوده که نزدیک به ۶۱۰ میلیون متر مکعب برآورد شد. مقادیر مصرف در بخش‌های شرب و صنعت نیز به ترتیب نزدیک به ۱۵ و ۲ میلیون متر مکعب در نظر گرفته شد (شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۳۹۰). از کل آب قابل بهره‌برداری در حوضه ۶۶ میلیون متر مکعب مصرف نشده که به صورت آب‌های سطحی و زیرزمینی از حوضه خارج شده است. بر اساس اطلاعات موجود از حوضه سهم جریان زیست‌محیطی در نظر گرفته نمی‌شود. نزدیک به ۶۰ میلیون متر مکعب از آب‌های سطحی و ۶ میلیون متر مکعب از آب‌های زیرزمینی از حوضه خارج شده است.



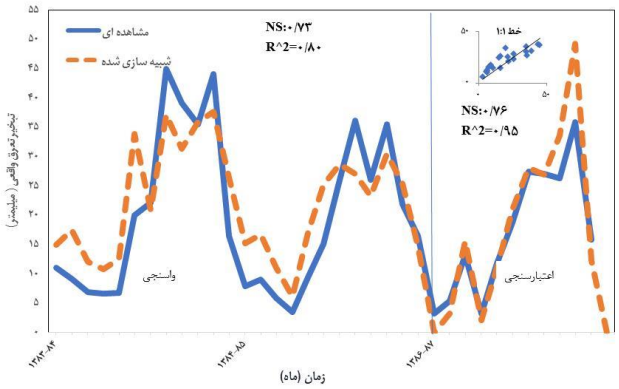
شکل ٤- توزیع مقادیر NS در زیرحوضه‌های منتخب



شکل ۳- توزیع مقادیر R^2 در زیرحوضه‌های منتخب



شکل ٥- مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده برای زیرحوضه منتخب کشاورزی (زیرحوضه ۹۷) در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی



شکل ٦- مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده برای زیرحوضه منتخب مرتع (زیرحوضه ۲۲) در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی

جدول ۳- دسته‌بندی کاربری‌های زمین در +WA

نوع کاربری	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد مساحت از کل حوضه
زمین‌های مدیریت شده آبی (کشت آبی)[1]	۳۲۴۲/۳	۳۵/۴
زمین‌های دستکاری شده (دیم)[2]	۱۳۷۶/۱	۱۵
زمین‌های طبیعی (مراتع)[3]	۴۵۲۴/۵	۴۹/۴
زمین‌های حفاظت شده (جنگل)[4]	۱۲/۹	۰/۱۵
کل حوضه	۹۱۵۵/۸	۱۰۰

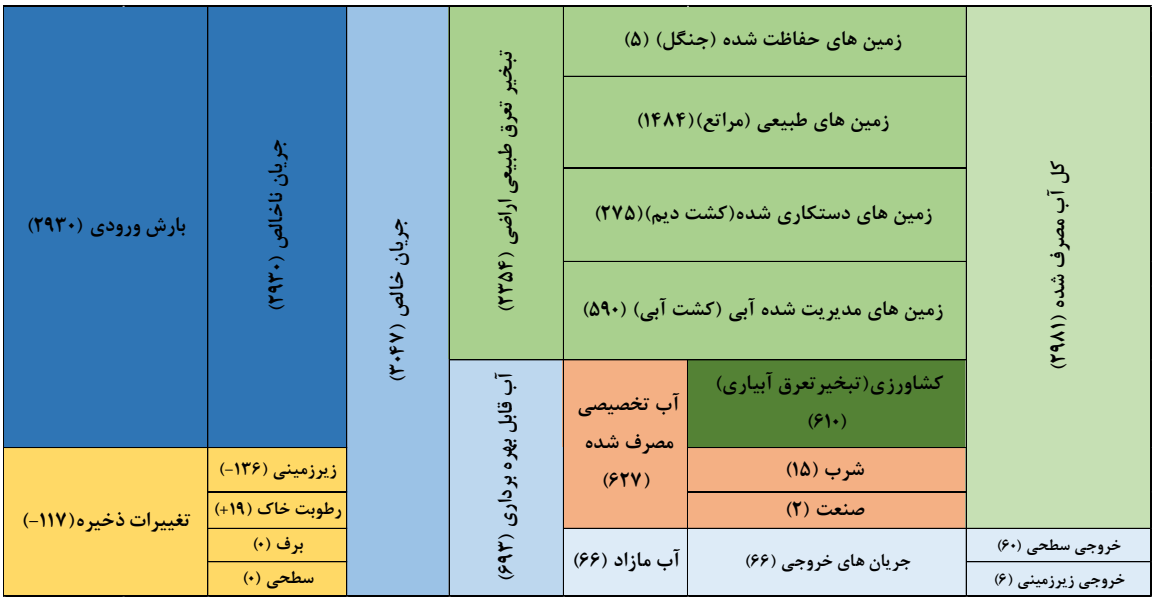
1- Managed water use
2- Modified land use
3- utilized land use
4- Protected land use

کاربرگ منابع و مصارف آب در سال نرمال (۸۵-۱۳۸٤)

شکل (۷-ب) کاربرگ منابع و مصارف را برای سال خشک نشان می‌دهد. میانگین حجم بارش سالانه و مقدار ناخالص جریان ورودی به حوضه نزدیک به ۱۸۵۲ میلیون متر مکعب بود. با توجه به تفاوت ورودی‌ها و خروجی‌های حوضه نزدیک به ۲۳۴ میلیون متر مکعب اضافه برداشت از آب‌های زیرزمینی سبب شده تا کسری مخزن در حوضه وجود داشته باشد. میانگین رطوبت خاک نزدیک به ۲۰ میلیون متر مکعب افت داشته که نشان داد این مقدار از ذخیره رطوبت خاک در طول سال در حوضه مصرف شده است. بنابراین مقدار خالص جریان آب قابل استفاده در حوضه نزدیک به ۲۱۰۶ میلیون متر مکعب برآورد شد. از این مقدار جریان نزدیک به ۱۴۷۲ میلیون‌متر مکعب صرف تبخیرتعرق طبیعی شده که شامل کاربری زمین‌های حفاظت شده، طبیعی، دستکاری شده و مدیریت شده آبی است. آب قابل بهره‌برداری در این سال آبی ۶۳۴ میلیون‌متر مکعب بود. آب مصرف شده در کشاورزی در این بخش شامل حجم تبخیرتعرق ناشی از برداشت از منابع آبی می‌شود که نزدیک به ۶۱۰ میلیون متر مکعب برآورد شد. مقادیر مصرف در بخش‌های شرب و صنعت نیز به ترتیب ۱۵ و ۲ میلیون متر مکعب در نظر گرفته شد (شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۳۹۰). از کل آب قابل بهره‌برداری در حوضه ۳ میلیون متر مکعب مصرف نشده که به صورت آب‌های سطحی و زیرزمینی به ترتیب نزدیک به ۱ میلیون متر مکعب و ۲ میلیون متر مکعب از حوضه خارج شده است.

کاربرگ منابع و مصارف آب در سال خشک (۸۷-۱۳۸٦)

شکل (۷-ج) کاربرگ منابع و مصارف را برای سال خشک نشان می‌دهد. میانگین حجم بارش سالانه و مقدار ناخالص جریان ورودی به حوضه نزدیک به ۱۴۵۹ میلیون متر مکعب بود. با توجه به تفاوت ورودی‌ها و خروجی‌های حوضه نزدیک به ۲۲۷/۵ میلیون متر مکعب اضافه برداشت از آب‌های زیرزمینی سبب شده تا کسری مخزن در حوضه وجود داشته باشد. میانگین رطوبت خاک نزدیک به ۱۴ میلیون متر مکعب افت کرده که نشان می‌دهد این مقدار از ذخیره رطوبت خاک در طول سال در حوضه مصرف شده است. بنابراین مقدار خالص جریان آب قابل استفاده در حوضه نزدیک به ۱۷۰۰/۵ میلیون متر مکعب برآورد شد. از این مقدار نزدیک به ۱۰۶۷ میلیون‌متر مکعب صرف تبخیرتعرق طبیعی شده که شامل کاربری زمین‌های حفاظت شده، طبیعی، دستکاری شده و مدیریت شده آبی است. آب قابل بهره‌برداری در این سال آبی ۵۴۲ میلیون‌متر مکعب است. آب مصرف شده در کشاورزی در این بخش شامل حجم تبخیرتعرق آبیاری می‌شود که نزدیک به ۶۳۳/۵ میلیون متر مکعب برآورد شده است. مقادیر مصرف در بخش‌های شرب و صنعت نیز به ترتیب نزدیک به ۱۵ و ۲ میلیون متر مکعب در نظر گرفته شد (شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۳۹۰). از کل آب قابل بهره‌برداری در حوضه ۲ میلیون متر مکعب مصرف نشده که به صورت آب‌های سطحی و زیرزمینی به ترتیب نزدیک به ۰/۵ میلیون متر مکعب و ۱/۵ میلیون متر مکعب از حوضه خارج شده است.



(الف)

شکل ۷- کاربرگ منابع و مصارف آب الف) سال تر (۸۴-۸۳) ب) سال نرمال (۸۵-۸۴) ج) سال خشک (۸۷-۸۶)

نمایه‌های کارایی

تعدادی از نمایه‌های کارایی برای حوضه محاسبه شده (جدول ۴) که در ادامه تفسیر آنها ارائه شده است.

نمایه تنش نسبی آب: مقدار این نمایه در سال تر، نرمال و خشک به ترتیب ۱/۲، ۱/۷ و ۱/۶ محاسبه شد. این نمایه نشان داد که مقدار مصرف (کشاورزی، شرب و صنعت) در هر سه سال بیشتر از حجم آب تجدیدپذیر در حوضه بوده و در واقع این حوضه از نظر منابع آبی در شرایط عدم تعادل تراز آب و ناپایدار بوده است. این در حالی است که حتی اگر این نسبت به ۰/۷ (مرز شرایط بحرانی طبق استاندارد جهانی) برسد باز هم مشکلات زیست محیطی و کیفیت آب

وجود خواهد داشت. بنابراین برنامه‌ریزی‌های بلندمدت توسعه پایدار باید بر اساس نسبت ۰/۴ باشد که بیانگر شرایط توسعه پایدار در خشکسالی‌های طولانی مدت است. با این توصیف برای رسیدن به مرز بحرانی پایداری منابع آب در سال تر باید نزدیک به ۴۳ درصد، در سال نرمال ۵۸ درصد و در سال خشک ۵۷ درصد از مصارف کاهش یابد. برای رسیدن به مرز پایداری مطلوب نیز در هر سه سال باید بیش از ۷۰ درصد مصارف کاهش یابد. با توجه به شرایط موجود در حوضه مدل‌سازی دقیق و توزیعی منابع آب برای ارزیابی و تخصیص بهینه منابع آب امری ضروری است.

نمایه فالکن مارک (FI): مقدار این نمایه در سال تر، نرمال و خشک به ترتیب ۱۰۳۵، ۷۵۶ و ۷۸۱ متر مکعب برای هر نفر محاسبه شد. بر اساس مقادیر استاندارد این نمایه، حوضه رخ–نیشابور در وضعیت کمیابی آب است که اگر مقدار این نمایه کمتر از ۵۰۰ شود در وضعیت کمیابی مطلق قرار می‌گیرد. با توجه به رشد سریع جمعیت و خشکسالی‌های پی در پی بدون شک در آینده‌ای نزدیک این حوضه با شرایط کمبود مطلق آب رو به رو خواهد شد که در نتیجه آن مشکلات اجتماعی زیادی در برخواهد داشت.

نمایه تغییرات ذخیره آب به آب قابل بهره‌برداری: در سال تر نزدیک به ۱۷ درصد، در سال نرمال ۴۰ درصد و در سال خشک ۳۸ درصد از ذخیره آب شیرین در حوضه مورد بهره‌برداری قرار گرفته است.

نمایه تغییرات ذخیره آب زیرزمینی به آب قابل بهره‌برداری: مقدار آن برای سال تر نزدیک به ۲۰ درصد برآورد شده که نشان دهنده افت ذخیره منابع آب زیرزمینی یا اضافه برداشت در حوضه است. این مقدار اضافه برداشت در سال‌های نرمال و خشک با شدت بیشتری اتفاق افتاده است. کاهش ۱۳۶ میلیون‌متر مکعب در سال از حجم منابع آب زیرزمینی در سال تر، ۲۳۴ میلیون‌متر مکعب در سال نرمال و ۲۲۷/۵ میلیون‌متر مکعب در سال خشک از شواهد شرایط ناپایدار در حوضه است که با مقادیر گزارش شده افت سالانه منابع آب زیرزمینی در گزارش‌های تراز شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی تطابق دارد (شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۳۹۰).

نمایه بسته بودن حوضه: مقدار این نمایه برای سال تر 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 رخ–نیشابور به طور کلی یک حوضه بسته تلقی می‌شود که همه آب موجود در حوضه داخل آن مصرف می‌شود.

نمایه مصرف ناپایدار آب: در سال تر نزدیک به ۱۱۷ میلیون متر مکعب، در سال نرمال ۲۵۵ میلیون متر مکعب و در سال خشک ۲۴۲ میلیون متر مکعب مصرف مازاد بر آب تجدیدپذیر در حوضه اتفاق افتاده است. این نمایه نشان می‌دهد که شرایط ناپایداری از مصرف آب در حوضه وجود دارد که باعث فشار بر منابع ذخیره آب در حوضه شده است.

نمایه ET کل به بارش: در هر سه سال این نسبت بیشتر از ۱ است که نشان می‌دهد در حوضه علاوه بر بارش از منابع ذخیره آب در حوضه نیز استفاده شده است. این موضوع برای حوضه‌هایی با شرایط اقلیمی گرم و خشک و با کاربری کشاورزی اتفاق می‌افتد.

نمایه ET کشاورزی به ET کل: در سال تر نزدیک به ۴۰ درصد، در سال نرمال و خشک نزدیک به ۵۳ درصد از تبخیرتعرق حوضه مربوط به زمین‌های کشاورزی بوده است. این نشان می‌دهد که بیش از ۵۰ درصد تبخیرتعرق در حوضه مربوط به کشاورزی بوده که قابل کنترل نیز است. راهکارهای زیادی از قبیل تغییر الگوی کشت، کاهش سطح زیر کشت و... برای مدیریت مصرف در بخش کشاورزی وجود دارد.

نمایه آب مصرف شده در کشاورزی: بر اساس این نمایه نزدیک به ۹۷ درصد آبی که در حوضه مصرف شده مربوط به کشاورزی است که درصد قابل توجهی است. بنابراین محور اصلی تصمیم‌های مدیریت کاهش مصرف در حوضه باید در بخش کشاورزی باشد.

نتیجه‌گیری

هدف از این پژوهش، بررسی وضعیت منابع و مصارف آب در حوضه آبریز رخ–نیشابور با کاربرد چارچوب حسابداری آب WA+ است. این چارچوب می‌تواند برای ایجاد درک درست و کامل‌تری از وضعیت منابع آب، مشکلات، چالش‌ها و فرصت‌های بهبود آن به تصمیم‌گیران کمک نماید. برای این منظور گزارش‌های آن در قالب کاربرگ‌های مختلف خلاصه می‌شود. یکی از مهمترین ویژگی‌های این چارچوب استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به جای داده‌های زمینی به ویژه در مناطقی با کمبود داده است. برای نمونه برآورد تبخیرتعرق واقعی حوضه از داده‌های ماهواره‌ای می‌تواند مقدار مصرف خالص در حوضه را ارائه دهد. بنابراین دیگر لزومی به داشتن مقدار برداشت و جریان برگشتی برای محاسبه مقدار مصرف خالص وجود ندارد. در این پژوهش در آغاز داده‌های تبخیرتعرق واقعی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مودیس و الگوریتم سبال برای سه سال تر، نرمال و خشک محاسبه شد. در مرحله بعد شبیه‌سازی حوضه به کمک مدل SWAT در سال‌های مورد نظر انجام شد. از نتایج به دست آمده در این دو مرحله و داده‌های جمع‌آوری شده از منابع مختلف، کاربرگ منابع و مصارف آب برای این سه سال ارائه شد. این کاربرگ با روشی آسان وضعیت جریان‌های ورودی، خروجی و مصارف در حوضه را به تصویر کشیده است. یکی از ویژگی‌های این کاربرگ نمایش مصارف آب در کاربری‌های مختلف زمین است.

جدول ٤- نمایه‌های کارایی استخراج شده از کاربرگ منابع و مصارف

نمایه	معرفی	سال تر	سال نرمال	سال خشک
نمایه تنش نسبی آب (Asano et al., 2006)	نسبت آب مصرفی به آب تجدیدپذیر در حوضه (آب تجدیدپذیر= بارش- تبخیرتعرق طبیعی-آب‌های خروجی)	۱/۲	۱/۷	۱/۶
نمایه فالکن مارک (Falkenmaark and Widstrand, 1992)	سرانه آب تجدید پذیر سالانه (person/m3) (با در نظر گرفتن ۴۹۳۲۰۴ نفر بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۰)	۱۰۳۵	۷۵۶	۷۸۱
نمایه تغییرات ذخیره به آب قابل بهره‌برداری	نسبتی از آب قابل بهره‌برداری که از تغییرات ذخیره منابع آب (سطحی، زیرزمینی، برف و رطوبت خاک) تامین شده است.	-۰/۱۷	-۰/۴۰	-۰/۳۸
نمایه تغییرات ذخیره آب زیرزمینی به آب قابل بهره‌برداری	میزان پایداری منابع آب زیرزمینی حوضه را نشان می‌دهد.	-۰/۲۰	-۰/۳۷	-۰/۳۶
نمایه بسته بودن حوضه (آب استفاده شد ه به آب قابل بهره‌برداری)	نسبتی از آب قابل بهره‌برداری در حوضه است که با رعایت حقابه‌های پایین دست در داخل آن قابل مصرف باشد.	۰/۹۲	۰/۹۹	۱
نمایه مصرف ناپایدار آب (Monzonis et al., 2015).	حجم آب مازاد بر آب تجدیدپذیر که مصرف شده است. (آب تجدیدپذیر- مصرف)	-۱۱۷	-۲۵۵	-۲۴۲
نمایه ET کل به بارش	مقایسه ET کل در حوضه با مقدار بارش	۱/۰۲	۱/۱۳	۱/۱۶
نمایه ET کشاورزی به ET کل	نسبتی از تبخیرتعرق کل که مربوط به زمین‌های کشاورزی است.	۰/۴۰	۰/۵۳	۰/۵۳
نمایه آب مصرف شده در کشاورزی	نسبت آب مصرف شده در کشاورزی به کل آب مصرف شده در حوضه	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۷

همچنین جداکردن تبخیرتعرق طبیعی ناشی از توزیع بارش و تبخیرتعرقی ناشی از برداشت آب برای آبیاری از منابع ذخیره حوضه در این کاربرگ منظور شده است. در گام بعد نشانگرهایی محاسبه شد که به کاربر دید بهتری از وضعیت حوضه می‌دهد. این نشانگرها می‌توانند تحلیل، تفسیر و برای اقدامات مدیریتی مؤثر واقع شوند. به طور کلی نتایج نشان داد که با استفاده از این چارچوب و نمایه‌های آن می‌توان وضعیت منابع آبی حوضه را تحلیل کرد و همچنین راه‌کارهایی را اندیشید. برای نمونه در این کاربرگ دیده می‌شود که سهم جریان زیست محیطی برای پایین دست در نظر گرفته نشده است. همپنین نتایج نشان داد که با توجه به نمایه تنش نسبی آب و فالکن مارک، حوضه در شرایط فوق بحرانی و عدم تعادل تراز منابع آب قرار دارد و در این راستا باید به کمک مدیریت یکپارچه، مصارف حوضه کاهش یابد. افزون بر این نتایج نشان داد که رخ-نیشابور حوضه‌ای بسته است که تقریبا همه آب موجود در داخل آن به مصرف می‌رسد و سالانه بیش از ۲۰۰ میلیون‌متر مکعب اضافه برداشت از منابع آب‌های زیرزمینی موجب کاهش شدید این منابع درحوضه شده است. همچنین نشان داده شد که حدود ۹۷ درصد از آب مصرفی در حوضه مربوط به کشاورزی بوده است.

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

ایزدی، ع. ۱۳۹۲. کاربرد و ارزیابی یک مدل توسعه یافته تلفیقی آب زیرزمینی- آب سطحی در حوضه آبریز نیشابور. رساله دکتری. گروه مهندسی آب. دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

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

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

شفیعی، م.، مجیدی، م.، جودوی، ع و کریمی،پ. ۱۳۹۶. حسابداری آب: لزوم تعریف ماموریت جدید دفاتر مطالعات پایه شرکت‌های آب منطقه‌ای کشور با هدف تغییر رویکرد از تولید داده خام به کیمیاگری. اولین اجلاس هم‌اندیشی با متخصصان علوم آب و محیط زیست. وزارت نیرو.

علیزاده، الف.، ایزدی، ع.، داوری، ک.، ضیائی، ع.، اخوان، س و حمیدی، ز. ۱۳۹۲. برآورد تبخیرتعرق واقعی در مقیاس سال-حوضه با استفاده از SWAT. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۲. ۷: ۲۴۳-۲۵۸.

فرخ نیا، الف.، مرید، س.، دلاور، م و عباسپور، ک. ۱۳۹۷. توسعه مدل SWAT_LU برای بررسی و شبیه‌سازی علل افت تراز دریاچه

ارومیه و ارزیابی اثربخشی راه‌کارهای مطرح در احیای آن. بخش سوم: تحلیل حسابداری آب و ارزیابی راه‌کارهای احیای دریاچه ارومیه. ۶. ۱۲: ۱۳۶۲-۱۳۸۰.

کولائیان، ع. و غلامی سفیدکوهی، م. ۱۳۹۱. معرفی بهترین روش تعیین بارندگی مؤثر کشت برنج در شهرستان قائمشهر. سومین همایش ملی مدیریت جامع مدیریت منابع آب. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

میان‌آبادی، الف.، علیزاده، الف.، ثنایی‌نژاد، ح.، قهرمان، ب و داوری، ک. ۱۳۹۵. ارزیابی الگوریتم سبال برای تخمین تبخیرتعرق واقعی حوضه آبریز نیشابور-رخ با استفاده از مدل SWAT. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۳. ۴.

Abbaspour, K.C., Rouholahnejad, E., Vaghefi, S., Srinivasan, R., Yang, H and Klove, B. 2015. A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model. Journal of Hydrology. 524: 733–752.

Akhavan, S., Abedi-Koupai, J., Mousavi, S.F., Afyuni, M., Eslamian, S.S., and Abbaspour K.C. 2010. Application of SWAT model to investigate nitrate leaching in Hamadan-Bahar watershed, Iran. Agriculture, Ecosystems and Environment, 139: 675-688.

Asano, T., Leverenz, H., Tsuchihashi, R and Tchobanoglous, G. 2006. Water reuse: issues, technologies, and applications. 1st Ed.

Bastiaanssen, W.G.M. 2000. SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. Journal of Hydrology, 229(1-2):87–100. DOI: 10/1016/S0022-1694(99)00202-4.

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.

Falkenmark, M. and Widstrand, C. 1992. Population and water resources: a delicate balance. Population Bulletin. 47. 3:1-36.

Falkenmark, M. 1994. The dangerous spiral: Near-future risks for water-related eco-conflicts. Paper read at ICRC Symposium.

Green, C.H and Griensven, A.V. 2008. Autocalibration in hydrologic modeling: Using SWAT2005 in small-scale watersheds. Environmental modeling and software. 23: 422-434.

Hargreaves, G and Samani, Z. 1982. Estimating potential evapotranspiration. Journal of the Irrigation and Drainage Division, 108.3: 225–230.

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. Hydrol. Earth Syst. Sci. 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, Hydrol. Earth Syst. Sci. 17:2473–2486.

Li, Z., Shao, Q., Xu, Z and Cai, X. 2010. Analysis of parameter uncertainty in semi-distributed hydrological models using bootstrap method: A case study of SWAT model applied to Yingluoxia watershed in northwest China. Journal of Hydrology. 385: 76-83.

McKee, T.B., Doesken, N.J and Kleist, J. 1995. Drought Monitoring with Multiple Time Scales. Proceeding of the Ninth Conference on Applied Climatology. American Meteorological Society: Boston.

Milewski, A., Sultan, M., Yan, E., Becker, R., Abdeldayem, A., Soliman, F., and Gelil, K.A. 2009. A remote sensing solution for estimating runoff and recharge in arid environments. Journal of Hydrology. 373: 1-14.

Moriasi, D.N., Arnold, J.G., Van Liew, M.W., Binger, R.L., Harmel, R.D and Veith, T. 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. Transactions of American Society of Agricultural and Biological Engineers. 50.3: 885-900.

Monzonís, M.P., Solera, A., Ferrer, J., Estrela, T and Paredes-Arquiola, J. 2015. A review of water scarcity and drought indexes in water resources planning and management. Journal of Hydrology. 527: 482-493.

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.

Pisinaras, V., Petalas, C., Gikas G.D., Gemitzi, A and Tsihrintzis, V.A. 2010. Hydrological and water quality modeling in a medium-sized basin using the soil and water assessment tool (SWAT). Desalination. 250: 274-286.

Vinukollu, R.K., Wood, E.F., Ferguson, C.R and Fisher, J.B. 2011. Global Estimates of Evapotranspiration for Climate Studies using Multi-Sensor Remote Sensing Data: Evaluation of Three Process-Based

Approaches. Remote Sensing of Environment. 115: 801-82.

Yilmaz, M.T., Anderson, M.C., Zaitchik, B., Hain, C. R., Crow, W.T., Ozdogan, M., Chun, J.A and Evans, J. 2014. Comparison of prognostic and diagnostic surface flux modeling approaches over the Nile River basin, Water Resour. Res., 50, 386–408, doi:10.1002/2013WR014194, 2014.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 2, Vol. 14, Jan.-Jul. 2020, p. 379-392

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۲، جلد ۱۴، خرداد - تیر ۱۳۹۹، ص. ۳۹۲-۳۷۹

Assessing the Status of Water Resources and Consumptions Using Water Accounting Approach in the Rokh-Nieshaboor Basin by WA+ Framework in Data Scarcity Condition

S. Khazaei[1], M. Rabini Sarjaz*[2], K. Davari[3], M. Shafiei[4]

Recived: Dec.30, 2019 Accepted: Feb.10, 2020

Abstract

Development of water accounting frameworks is one of the most important infrastructures in water resources management. New technologies, including remote sensing and hydrology models, have been developed around the world to manage water balance components. The objective of this paper is assessing the status of water resources and consumptions by developing and applying WA+ framework in the Rokh-Nieshaboor basin in data scarcity condition. For this purpose, a combined approach has been applied to the use of satellite measurements and hydrological modelling.and developing water resources and consumption sheet Checked out for the basin for three years, wet, normal and dry year. Water resources and consumption in the basin were also assessed by defining different performance indices during this period.The results showed that this approach along with application of WA+ framework can provide valuable results from the conditions and status of water resources and consumptions in the studied basin.In the developed sheets, the results of " Landscape evapotranspiration " in different land uses, as well as the share of water consumption in agricultural sectors using the concepts of " Incremental evapotranspiration" (610 million cubic meters), drinking (15 million cubic meters) and industry (2 Million cubic meters) presented separately. The analysis of performance indices showed that the basin is in a water scarcity conditions and ratio of consumed water to renewable water in the study period was more than 1, indicating the instability of the basin and the first result would be social and economic problems.

Keywords: Evapotranspiration- Remote sensing- Performance indices- SWAT

.

1- Ph.D. Candidate of Irrigation and Drainage, Department of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
2- Professor, Department of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran
3- Professor, Department of Water Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
4- Assistant Professor, Department of Hydroinformatics, East Water &Environmental Research Institute. Mashhad, Iran
(*- Corresponding Author Email: Raeini@yahoo.com)