دوازدهمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه

۴ الی ۶ بهمن ۱۴۰۰ ،اهواز، دانشگاه شهید چمران

پیاده سازی سیستم حسابداری آب WA^+ در سطح حوضه‌های آبریز (مطالعه موردی: حوضه آبریز سد کرخه)

فرهاد نورمحمدی[۱]*، علی شهبازی[۲]، علی معتمدی[۳]

۱-کارشناس مدل های هیدرواقلیم، سازمان آب و برق خوزستان، Fnoormohamadi@gmail.com

۲- معاون مطالعات جامع منابع آب، سازمان آب و برق خوزستان، alish1980@gmail.com

۳- رئیس گروه پیش بینی های آب و هواشناسی، سازمان آب و برق خوزستان، motamedi238@gmail.com

چکیده

تحلیل سیستمهای منابع آب به منظور تدوین راهبردهای مدیریتی مناسب و حل مسائل و موضوعات آبی مستلزم وجود اطلاعات مختلف به منظور ایجاد درکی مناسب و عمیق از فرایندهای هیدرولوژیکی حوضه، جریانهای آب قابل مدیریت و غیرقابل مدیریت، ارتباط با کاربری اراضی و ارائه تصویری جامع در این خصوص است .در این راستا، چارچوب حسابداری آب به عنوان ابزاری مفید با یکپارچه سازی اطلاعات مختلف، بنایی برای مدیریتی جامع و یکپارچه برای منابع آب و به کارگیری سیاستهایی هدفمند را با شیوهای آگاهانه فراهم می نماید. هدف این مقاله ارائه روش شناسی استقرار حسابداری آب حوضه آبریز کشور بر اساس نتایج مدل مفهومی ویژه سازی شده SWAT-KARKHEH و چارچوب حسابداری آب WA^+ می باشد. در این مطالعه حوضه آبریز کرخه در استان خوزستان به عنوان منطقه پایلوت مطالعاتی در نظر گرفته شد و تحلیلی از شرایط حوضه آبریز در دو دوره زمانی بر مبنای نتایج حسابداری آب آن ارائه گردید. تحلیل نتایج استقرار چارچوب WA^+ نشان دهنده کاهش حدود ۱۰ در صدی بارش ورودی به حوضه در دو دوره مورد بررسی می‌باشد. از طرفی در مقابل ورودی‌ها، حوضه با دو خروجی عمده مواجه است که اولین و در عین حال موثرترین آن به تبخیر و تعرق طبیعی اراضی مربوط می‌باشد. طی دو دوره زمانی مورد بررسی، این مولفه حدود ٤ در صد کاهش یافته است. البته بعضا در اجزاء آن افزایش هم دیده می شود که ناشی از تغییرات سطح برخی کاربری‌ها نظیر اراضی کشاورزی دیم و آبی بوده است. اما اثر تغییر در شرایط اقلیمی حوضه (کاهش ۱۰ درصدی بارش ورودی در دوره دوم)، در تغییر مولفه آب قابل مدیریت خودنمایی می‌کند.

کلمات کلیدی: حسابداری آب، WA^+ ، مدل SWAT، مصرف واقعی، آب قابل مصرف.

مقدمه

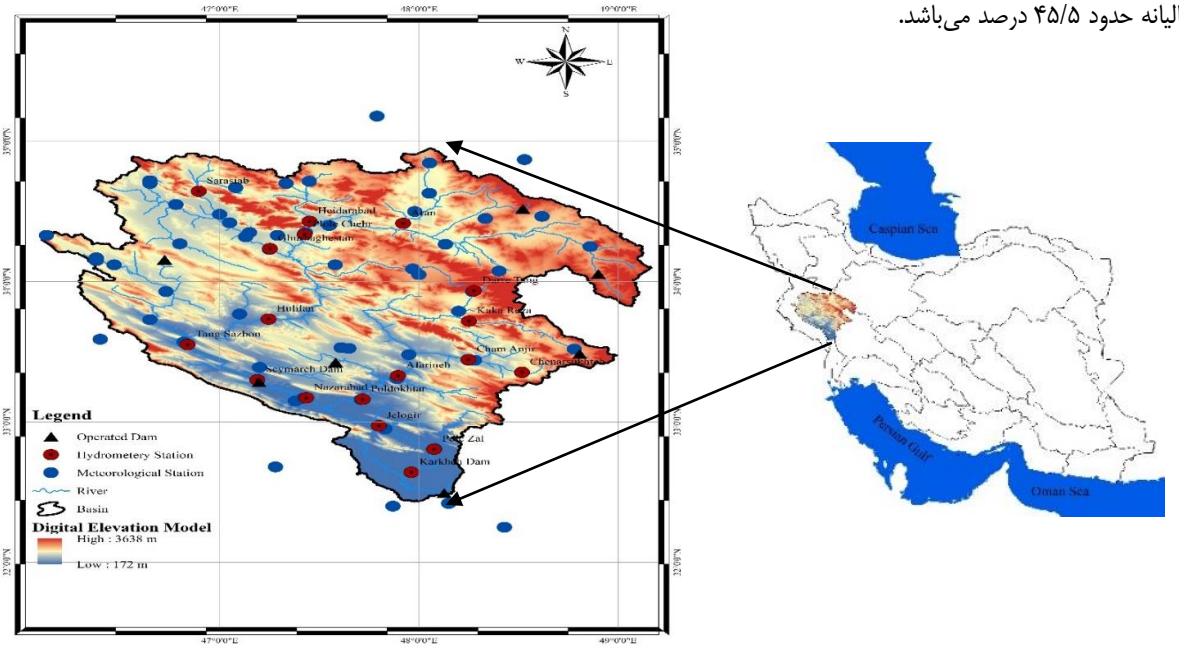
حسابداری آب فرایند ایجاد ارتباط بین اطلاعات منابع آبی و خدمات حاصل از استفاده مصرف‌کننده در یک محدوده جغرافیایی همچون یک حوضه آبریز، یک کشور یا یک کلاس کاربری اراضی با کاربرانی همچون سیاست‌گذاران، صاحب‌اختیاران آب، مدیران و ... است. در طی دهه‌های اخیر، رویکردهای بسیاری همچون حسابداری اقتصادی زیست‌محیطی برای آب (SEEAW,2012)، UNEP's Water Footprint, Neutrality, and Efficiency (WaFNE) (Morrison and Schulte, 2009) رویکرد حسابداری آب موسسه بین‌المللی مدیریت آب (IWMI) (Molden and Skthivadivel,1999)، "Water-use accounts" framework of the Challenge Program on Water and Food (CPWF) (Kirby, et al., 2010). حسابداری آب +WA با هدف استانداردسازی روش گزارش‌دهی اطلاعات مرتبط با آب ارائه شده‌اند.

از بین این چارچوب‌ها چارچوب حسابداری اقتصادی زیست‌محیطی برای آب مبتنی بر برداشت آب است در حالی‌که چارچوب حسابداری آب موسسه بین‌المللی مدیریت آب (IWMI) مبتنی بر مصرف آب است. چارچوب حسابداری آب +WA نیز از اصول چارچوب حسابداری آب IWMI یعنی مصرف آب به جای برداشت آب استفاده می‌کند اما جزئیات بیشتری را در فرایندها و مکانیزمهای اصلی آن در نظر می‌گیرد و در واقع ارتقا یافته چارچوب حسابداری آب ارائه شده توسط موسسه IWMI می‌باشد. چارچوب حسابداری آب WA^+ یک چارچوب جدید برای حسابداری آب است که توسط مؤسسه بین‌المللی مدیریت آب (IWMI) در همکاری با سازمان یونیسف توسعه یافته است. چارچوب WA^+ یک سیستم استاندارد جمع‌آوری اطلاعات را با استانداردهای کیفی شناخته شده از طریق مجموعه‌ای از نشانگرها نشان می‌دهد و اطلاعاتی را از طریق تعدادی گزارش استاندارد ارائه می‌دهد(Karimi et al., 2013b; 2012).

هدف این مقاله ارائه روش شناسی استقرار حسابداری آب حوضه آبریز کشور بر اساس نتایج مدل مفهومی ویژه‌سازی شده SWAT-KARKHEH و چارچوب حسابداری آب WA^+ می‌باشد. در این مطالعه حوضه آبریز کرخه به عنوان یکی از مناطق پایلوت مطالعاتی انجام شده در سطح کشور در نظر گرفته شد و ظرفیت‌ها و امکاناتی که رویکرد پیشنهادی در این مطالعه در بررسی وضعیت حوضه و همچنین کمک به بهبود تصمیمات راهبردی در مدیریت منابع آب و کشاورزی آن ایجاد می‌کند، مورد تحلیل قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

رودخانه کرخه از مناطق میانی و جنوب غربی رشته کوه‌های زاگرس در نواحی غرب و شمال غرب ایران سرچشمه گرفته و پس از طی مسافتی در حدود ۹۰۰ کیلومتر در امتداد شمال به جنوب سرانجام در مرز مشترک ایران و عراق به تالاب هورالعظیم می‌رسد. رودخانه کرخه پس از رودخانه‌های کارون و دز سومین رودخانه بزرگ ایران از نظر آبدهی محسوب می شود. سد کرخه نیز بزرگترین سد تاریخ ایران و دارای بزرگترین دریاچه مصنوعی کشور و همچنین ششمین سد طویل جهان می‌باشد. منطقه مطالعاتی این تحقیق حوضه‌آبریز سد کرخه به وسعت ۴۲۲۶۷/۳ کیلومتر مربع و بین مختصات جغرافیایی ۴۶ درجه و شش دقیقه تا ۴۹ درجه و ۱۰ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۴ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. حوضه آبریز رودخانه کرخه به لحاظ وسعت بسیار زیاد از شرایط آب و هوایی متنوعی برخوردار است. دشت خوزستان و قسمت‌های جنوبی حوضه، نیمه خشک با زمستان‌های ملایم و تابستان‌های گرم و طولانی است. درجه حرارت در حوضه از ۲۵- درجه تا حداکثر ۵۰ درجه سانتیگراد تغییر می‌کند. متوسط سالانه ریزش‌های جوی در حوضه ۳۰۰ تا ۸۰۰ میلی متر در سال متغییر است. از نظر آب‌وهوایی حوضه‌آبریز کرخه به اقلیم مدیترانه‌ای تعلق دارد. متوسط تبخیر سالیانه از سطح آزاد آب حدود ۲۰۷۹ میلیمتر است و میزان رطوبت نسبی سالیانه حدود ۴۵/۵ درصد می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه‌آبریز سد کرخه

چارچوب حسابداری آب

حسابداری آب یعنی تشکیل مکانیزمی برای ترکیب داده‌های گرداوری شده از منابع مختلف جهت تدوین یک مجموعه اطلاعات یکپارچه. هدف اصلی رویکرد حسابداری آب درنظر گرفتن تأثیر عوامل اجتماعی و اقتصادی بر مدیریت منابع آبی در کنار بعد هیدرولوژیکی آن که تنها بعد مورد توجه دردید سنتی بوده است می‌باشد. مراحل پیاده‌سازی این رویکرد استخراج داده‌های مهم از منابع آب و اقتصاد، دسته‌بندی آن‌ها در قالب تعدادی حساب، در کنار هم قرار دادن حساب‌ها و ایجاد بستری مناسب جهت استخراج نشانگرهای تحلیلی به منظور ارزیابی منطقه مورد مطالعه با توجه به سیستم منابع آب موجود در آن می‌باشد (یوسف زاده چابک و همکاران، ۱۳۹۲). در مطالعه حاضر سیستم ارتقاء یافته حسابداری آب ارائه شده توسط موسسه IWMI برای ارزیابی شرایط هیدرولوژیکی و کشاورزی حوضه و اثربخشی اقدامات سازگاری با تغییر اقلیم به‌کار گرفته خواهد شد (Karimi et al. ,2012). این سیستم بر اساس توصیف وضعیت هیدرولوژیکی و بهره‌وری آب در حوضه در ۴ گزارش مجزا (گزارش منابع، گزارش تبخیر و تعرق، گزارش تولید، گزارش برداشت) تعریف گردیده است.

پیکره بندی و آماده سازی مدل SWAT-KARKHEH

پس از آماده سازی مدل SWAT-KARKHEH، پیکره‌بندی حوضه با استفاده از نقشه‌های DEM و همچنین با توجه به موقعیت رودخانه‌ها، ایستگاه‌های هیدرومتری، سدها و محدوده‌های مطالعاتی به منظور تطابق بیشتر با شرایط واقعی و مدیریت فعلی حوضه صورت گرفت. پس از تهیه پیکره‌بندی حوضه، واحدهای همگن هیدرولوژیکی با استفاده از برهمنهی[۱]نقشه‌های DEM، خاک و کاربری اراضی استخراج و با توجه به آن‌ها داده‌های هواشناسی، مصارف، بهره‌برداری از سدها، نحوه مدیریت زراعی و همچنین پارامترهای موردنیاز در بخش‌های مختلف اعم از آب زیرزمینی، مخزن، برف و غیره در مدل اعمال گردید. بر این اساس کل حوضه آبریز سد کرخه به ۱۵۳ زیرحوضه تقسیم شد. برای تقسیم زیرحوضه‌ها به HRUها نیز از نقشه‌های کاربری اراضی حوضه مربوط به سال‌های ۱۹۹۳، ۲۰۰۰، ۲۰۰۵، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۵ که به همراه نقشه خاک FAO استفاده گردید. بعد از تشکیل HRU ها در ادامه پارامترهای مربوط به هر کدام از اجزای اصلی مدل شامل پارامترهای گیاهی (.Dat)، خاکشناسی (.Sol)، آب زیرزمینی (.Gw)، مدیریتی (.Mgt)، رودخانه (.Rte) بر اساس آمار و داده‌های موجود به مدل معرفی می‌شوند.

جدول ۱- داده های مورد استفاده در مطالعه حاضر

داده مورد استفاده	منبع
نقشه رقومی ارتفاعی	Aster – 30m
نقشه کاربری اراضی	GLCC (1992-1992) ESA (1998-2015)
نقشه خاک	FAO
داده های روزانه هواشناسی	ایستگاه های سینوپتیک و کلیماتولوژی سازمان هواشناسی، ایستگاه های بارانسنجی و تبخیر سنجی وزارت نیرو
داده های دبی مشاهداتی	ایستگاه های هیدرومتری شرکت مدیریت منابع آب ایران
اطلاعات کشاورزی و مدیریتی، الگوی کشت، تاریخ کاشت و برداشت محصولات، برنامه آبیاری و کوددهی، و تولید هر محصول در منطقه با اعمال ۶ بار آبیاری و ۲ محصول دیم	سند ملی آب کشاورزی(۲۰۱۳)

حسابداری آب حوضه در شرایط تاریخی بر مبنای نتایج مدل SWAT-KARKHEH

در این بخش تلاش گردید تا با استفاده از زیرساخت قبلی به بررسی قابلیت مدل در تحلیل شرایط حوضه در چارچوب حسابداری آب در دوره تاریخی پرداخته شود. لازم به ذکر است بر اساس زیر ساخت های تهیه شده امکان استخراج گزارشات حسابداری آب در زیرحوضه‌های پنج گانه سد کرخه فراهم شده است که در این گزارش به عنوان نمونه نتایج حسابداری آب در کل حوضه سد کرخه استخراج و مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج این فصل بر اساس سیستم حسابداری آب WA^{+} (Karimi et al., 2012b) در قالب چهار گزارش ۱) پایه منابع و مصارف، ۲) تبخیر–تعرق

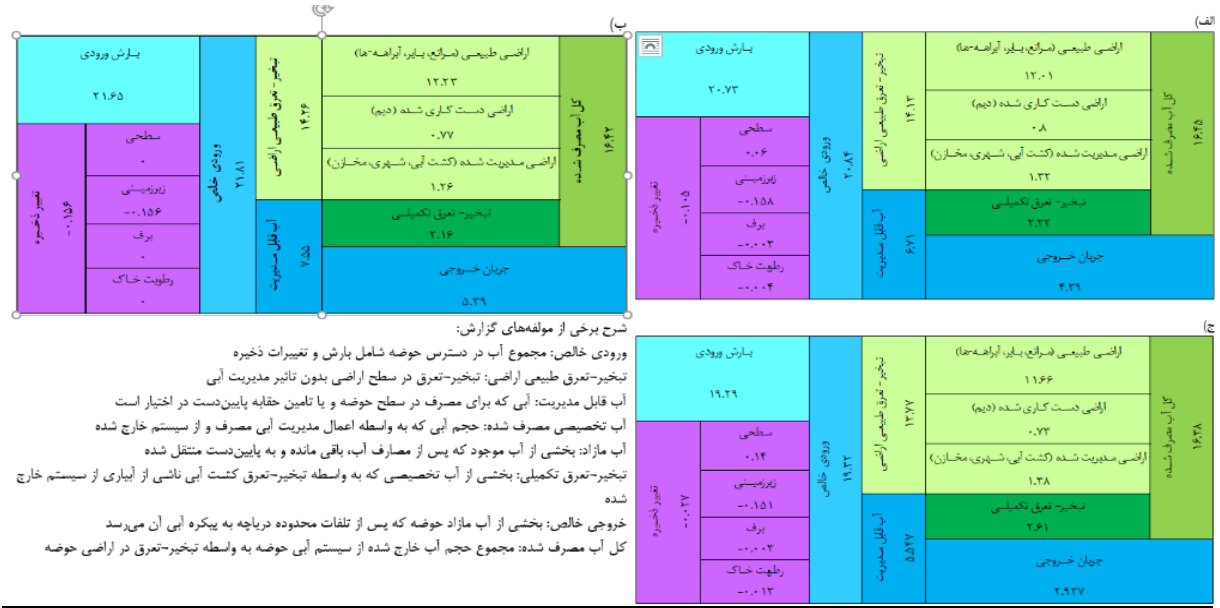
[۱] **Overlay**

، ۳) برداشت و ۴) بهره‌وری ارائه خواهد شد. در این بخش، شرایط آبی حوضه در وضعیت تاریخی بر اساس ۴ گزارش مورد اشاره، ارزیابی شده است. با توجه به دوره آماری ۳۰ ساله این تحقیق، تحلیل‌های مربوط علاوه بر کل دوره به تفکیک در دو دوره زمانی ۲۰۰۰–۱۹۸۵ و ۲۰۱۵–۲۰۰۰ مورد بررسی قرار می‌گیرد و تلاش می‌شود تا وضعیت چرخه آب حوضه بر اساس گزارش‌های فوق در این دو دوره که حوضه آبریز شرایط محیطی متفاوتی را در آن‌ها تجربه کرده، مقایسه و بحث شوند. همچنین برای هر یک از گزارش‌های مذکور شاخص‌هایی قابل استخراج است که قابلیت مقایسه بهتر دو دوره را فراهم می‌نمایند.

گزارش پایه منابع و مصارف

این گزارش حاوی اطلاعاتی در خصوص جریان احجام آب در سطح حوضه آبریز می‌باشد و به عبارت دیگر، ورودی و خروجی‌های خالص را در حوضه تبیین می‌کند. شکل (۱۳) گزارش مذکور را برای سه دوره زمانی مورد مطالعه را نشان می‌دهد. از مهم‌ترین تفاوت‌ها، کاهش حدود ۱۰ درصدی بارش ورودی به حوضه می‌باشد که حجم ۲۱/۶۵ میلیارد مترمکعب در دوره اول (**Error! Reference source not found.**۱۳–ب) را به ۱۹/۲۹ میلیارد مترمکعب (**Error! Reference source not found.**۱۳–ج) در دوره دوم رسانده است. در ادامه و با در نظر گرفتن تغییرات در مولفه‌های ذخیره حوضه، شامل تغییرات حجم ذخایر سطحی، زیرزمینی، برفی و رطوبت خاک، کاهش حدود ۲۶۰۰ میلیون متر مکعبی (۱۱ درصدی) در ورودی خالص آب حوضه مشاهده می‌شود (**Error! Reference source not found.**۱۳–ب و ج) که به دلیل تفاوت آن با ورودی بارش، عمدتاً به بیلان منفی ذخایر آبی حوضه و جریان سطحی خروجی حوضه در دوره دوم مرتبط بوده است.

جدول۲- شاخص‌های مستخرج از گزارش پایه منابع و مصارف سیستم حسابداری آب برای دوره‌های زمانی مختلف



عنوان شاخص	شرح	روش محاسبه	دوره تحلیل	مقدار

نسبت آب قابل مدیریت	چه نسبتی از ورودی خالص حوضه برای مصرف و تامین تعهدات پائین‌دست قابل برنامه‌ریزی است؟	آب قابل مدیریت / آب ورودی خالص	۱۹۸۵-۲۰۰۰	۰/۳۴
			۲۰۰۱-۲۰۱۵	۰/۲۸
نسبت تغییر ذخایر زیرزمینی	چه نسبتی از آب قابل مدیریت حوضه از تغییر حجم آب‌های زیرزمینی منشا گرفته است؟	تغییر حجم آب زیرزمینی / آب قابل مدیریت	۱۹۸۵-۲۰۰۰	-۰/۰۲
			۲۰۰۱-۲۰۱۵	-۰/۰۳
نسبت آب قابل مصرف	چه نسبتی از آب قابل تخصیص حوضه برای مصارف داخل حوضه قابل استفاده می‌باشد؟	تعهدات پایین‌دست-آب قابل مدیریت / آب قابل مدیریت	۱۹۸۵-۲۰۰۰	۰/۶۴
			۲۰۰۱-۲۰۱۵	۰/۵۱
نسبت مصرف	چه نسبتی از آب قابل تخصیص حوضه، در سطح آن مصرف شده است؟	تعرق و تبخیر تکمیلی / تعهدات پایین‌دست-آب قابل مدیریت	۱۹۸۵-۲۰۰۰	۰/۴۴
			۲۰۰۱-۲۰۱۵	۰/۹۱
نسبت تامین تعهدات پایین‌دست	چه نسبتی از تعهدات آبی حوضه به پایین‌دست تامین شده است؟	جریان خروجی / تعهدات پایین‌دست	۱۹۸۵-۲۰۰۰	۱/۹۹
			۲۰۰۱-۲۰۱۵	۱/۰۸

شکل۲- گزارش پایه منابع و مصارف سیستم حسابداری آب برای شرایط متوسط دوره زمانی الف) ۲۰۱۵-۱۹۸۵، ب) ۲۰۰۰-۱۹۸۵ و ج) ۲۰۱۵-۲۰۰۱ (میلیارد مترمکعب)

گزارش تبخیر-تعرق

این گزارش، شامل تفکیک مصارف آب در سطح حوضه و در دو بخش مختلف قابل مدیریت و غیر قابل مدیریت آن می‌باشد. شکل (۱۴) وضعیت حوضه را از منظر این گزارش برای دو دوره مورد بررسی و تغییرات آن‌ها را نشان می‌دهد. مولفه‌های سمت چپ شکل نشان می‌دهد که کمیت مصارف آب حوضه به تفکیک کاربری‌های مختلف اراضی به چه صورت بوده است. ملاحظه می‌گردد که تغییرات عمده این بخش در مصارف بخش اراضی مدیریت شده آبی بوده که ۱۷ درصد افزایش نشان می‌دهد که عمدتاً حاصل افزایش سطح زیر کشت آبی حوضه و آب مصرف شده ناشی از آبیاری بیشتر می‌باشد.

سمت راست گزارش نیز به تفکیک بخش‌های سودمند و غیرسودمند مصارف آب در سطح حوضه را نشان می‌دهد. برای این تحلیل‌ها، تعرق به عنوان بخش موثر در تولید گیاهی در قالب مصارف سودمند و تبخیر از سطوح مختلف (خاک، مخازن و ...) به عنوان مصارف غیر سودمندی که منجر به تولید نمی‌گردد، در نظر گرفته شده است. علی‌رغم کاهش آب قابل مدیریت حوضه که در گزارش قبلی مورد اشاره قرار گرفت، مصارف سودمند حوضه در دوره دوم افزایش ۱۰ درصدی را تجربه نموده که دلیل آن، به طور عمده متوجه افزایش ۳۰ درصدی تعرق گیاهان در سطح اراضی کشاورزی به واسطه گسترش سطح اراضی، افزایش گیاهان پرمصرف‌تر بوده است. در مقابل، تعرق گیاهان در اراضی طبیعی (مراتع) به واسطه کاهش سطح (جزئی) و تامین کمتر منابع رطوبتی مورد نیاز (ناشی از کاهش بارش‌ها)، ۳ درصد افت نشان می‌دهد.

در بخش مصارف غیرسودمند حوضه، مهم‌ترین مولفه با حجم حدود ۱۳ میلیارد مترمکعب مربوط به تبخیر از خاک بوده که ۸۰ درصد از کل سهم این مصارف را شامل می‌شود. مقدار این مولفه نیز عمدتاً تحت تاثیر کاهش بارش، حدود ۳ درصد افت داشته است. البته بالا رفتن سطح زیر کشت و حجم آبیاری اثرات افزایشی بر آن داشته، اما در حد تبعات منفی ناشی از کاهش بارش‌ها نبوده است. بخش قابل ملاحظه دیگر از مصارف غیرسودمند حوضه، مربوط به تلفات از پیکره های آبی حوضه می باشد که تقریبا ۲۰ میلیون متر مکعب افزایش را بین دو دوره زمانی نشان می‌دهد. این تغییر نیز بر اثر آبگیری و احداث سدهای سیمره، تنگ هاله، شیان، کلان ملایر و ایوشان در دوره دوم بوده است.

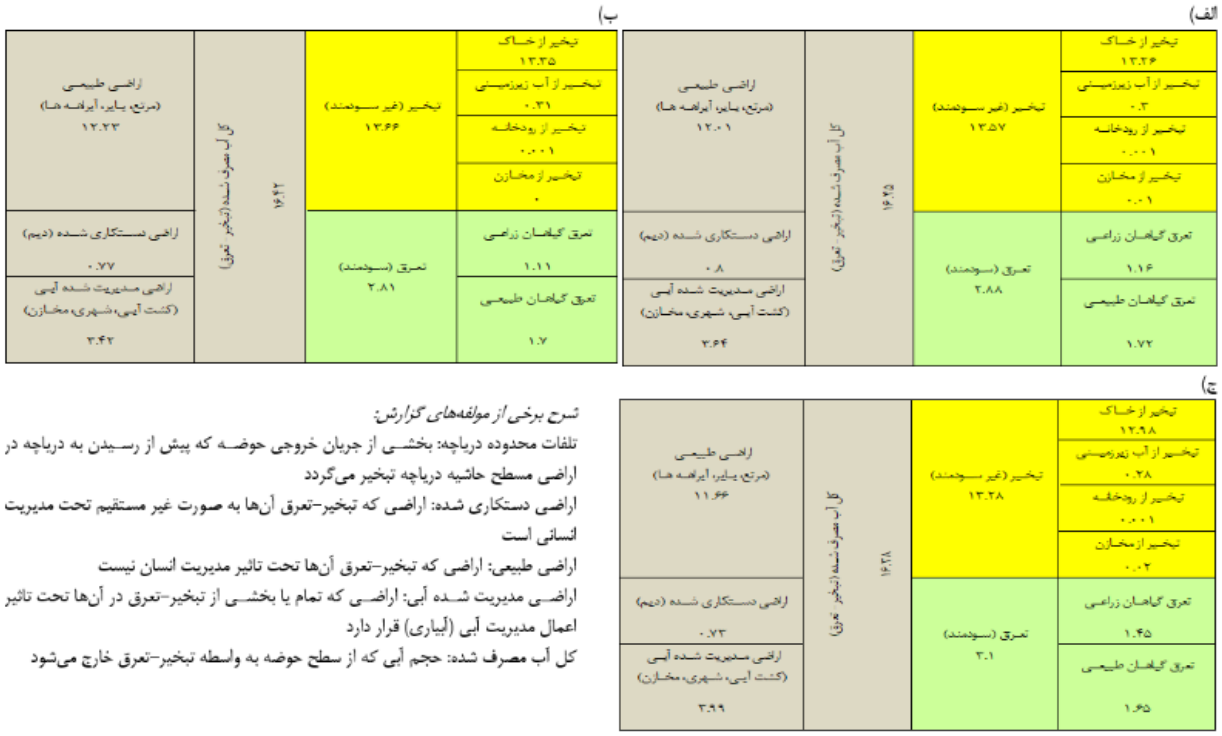
جدول۳- شاخص‌های مستخرج از گزارش تبخیر-تعرق حوضه برای دوره‌های زمانی مختلف

عنوان شاخص	شرح	روش محاسبه	دوره تحلیل	مقدار
نسبت تعرق (سودمندی مصرف حوضه)	چه بخشی از تبخیر-تعرق حوضه صرف تعرق گیاهان شده است؟ (چه میزان از مصارف آب حوضه سودمند بوده است؟)	کل تعرق / کل تبخیر و تعرق	۱۹۸۵-۲۰۰۰	۰/۱۷
			۲۰۰۱-۲۰۱۵	۰/۱۹
نسبت تعرق کشاورزی(سودمندی	چه بخشی از تبخیر-تعرق کشاورزی صرف تعرق گیاهان شده است؟ (چه میزان از مصارف آب کشاورزی سودمند بوده است؟)	تعرق کشاورزی / کل تبخیر تعرق کشاورزی	۱۹۸۵-۲۰۰۰	۰/۲۹
			۲۰۰۱-۲۰۱۵	۰/۳۸

مصرف بخش کشاورزی)				
نسبت مصارف قابل مدیریت	چه بخشی از مصارف آب حوضه در سطح اراضی تحت مدیریت اتفاق افتاده است؟	تبخیر و تعرق اراضی مدیریت شده / کل تبخیر و تعرق	۱۹۸۵-۲۰۰۰	۰/۲۰
			۲۰۰۱-۲۰۱۵	۰/۲۴
نسبت تبخیر-تعرق کشاورزی	چه بخشی از مصارف آب حوضه صرف تولید محصولات کشاورزی شده است؟	*تبخیر و تعرق کشاورزی / کل تبخیر و تعرق	۱۹۸۵-۲۰۰۰	۰/۲۳
			۲۰۰۱-۲۰۱۵	۰/۲۸
نسبت تبخیر-تعرق کشاورزی آبی	چه بخشی از مصارف آب کشاورزی حوضه از محل آبیاری تامین شده است؟	**تبخیر و تعرق کشاورزی آبی / تبخیر و تعرق کشاورزی	۱۹۸۵-۲۰۰۰	۰/۸۳
			۲۰۰۱-۲۰۱۵	۰/۸۷

* تبخیر-تعرق کل اراضی کشاورزی (دیم و آبی) حوضه در طول دوره رشد گیاه

** تبخیر-تعرق اراضی آبی حوضه در طول دوره رشد گیاه



شرح برخی از مولفه‌های گزارش:

تلفات محدوده دریاچه: بخشی از جریان خروجی حوضه که پیش از رسیدن به دریاچه در اراضی مسطح حاشیه دریاچه تبخیر می‌گردد

اراضی دستکاری شده: اراضی که تبخیر-تعرق آن‌ها به صورت غیر مستقیم تحت مدیریت انسانی است

اراضی طبیعی: اراضی که تبخیر-تعرق آن‌ها تحت تاثیر مدیریت انسان نیست

اراضی مدیریت شده آبی: اراضی که تمام یا بخشی از تبخیر-تعرق در آن‌ها تحت تاثیر اعمال مدیریت آبی (آبیاری) قرار دارد

کل آب مصرف شده: حجم آبی که از سطح حوضه به واسطه تبخیر-تعرق خارج می‌شود

شکل۳- گزارش تبخیر-تعرق سیستم حسابداری آب برای شرایط متوسط دوره زمانی الف) ۲۰۱۵-۱۹۸۵، ب) ۲۰۰۰-۱۹۸۵ و ج) ۲۰۱۵-۲۰۰۱ (میلیارد مترمکعب)

گزارش برداشت

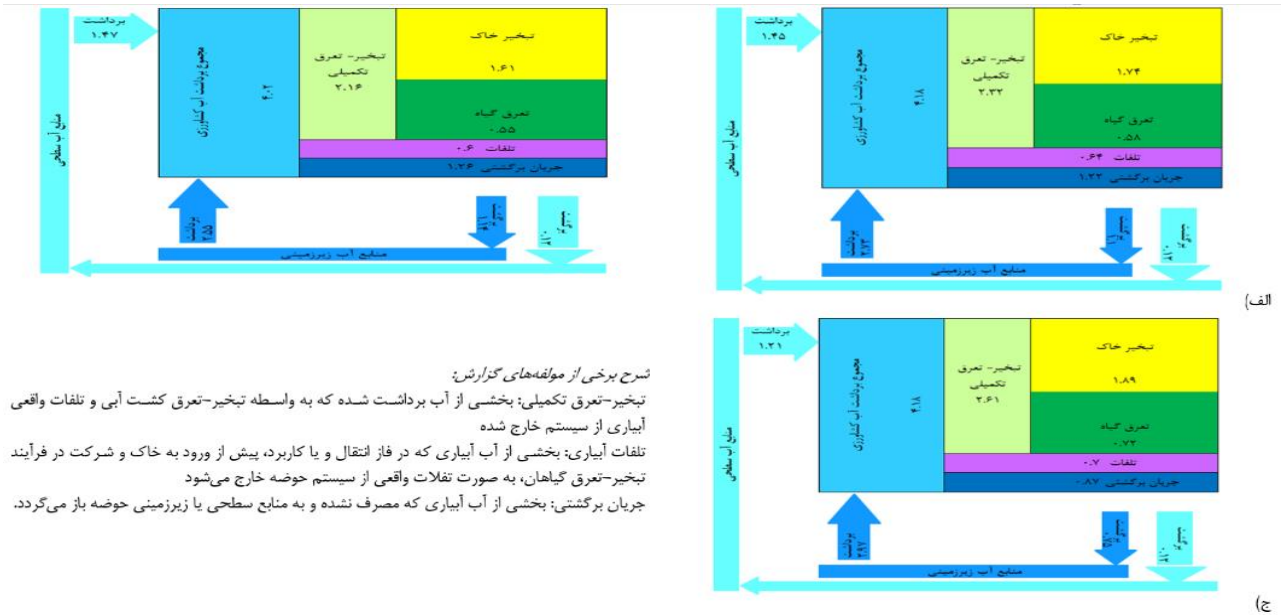
این گزارش اطلاعات را در خصوص مقدار برداشت۲از منابع مختلف، چرخه مصرف بخشی از آن و برگشت مابقی را در قالبی استاندارد ارائه می‌دهد. شکل (۱۵) گزارش برداشت دو دوره زمانی مورد بررسی را برای حوضه آبریز سد کرخه نشان می‌دهد. بر این مبنا می‌توان گفت، مقدار برداشت از منابع زیرزمینی و کل برداشت برای آبیاری اراضی کشاورزی در دوره دوم به ترتیب حدود ۱۷ و ۴ درصد افزایش یافته است. این افزایش برداشت به منظور تامین آب مورد نیاز برای اراضی زیر کشت آبی که در طول زمان توسعه یافته، صورت گرفته است. این در حالی است که با توجه

به کمبود منابع آب سطحی در دوره دوم به ویژه در مناطق پایین دست حوضه میزان برداشت از آب سطحی به میزان ۱۸ درصد کاهش یافته است. بر این اساس، مقدار مصارف آب (تبخیر–تعرق تکمیلی) و تلفات حدودا در دوره دوم ۲۰ درصد افزایش یافته است. تلفات انتقال و کاربرد آب آبیاری (شامل تبخیر مستقیم و نشت منتهی به تبخیر و یا مصرف توسط علف‌های هرز در داخل کانال‌های انتقال، تبخیر آب پیش از نفوذ در خاک مزرعه و سایر موارد) به دلیل بالا رفتن حجم برداشت آب، در حدود ۱۶ درصد افزایش داشته و از ۶۰۰ به ۷۰۰ میلیون مترمکعب رسیده است.

آخرین بخش این گزارش، به میزان برگشت بخشی از آب برداشت شده به منابع آب قابل استحصال حوضه می‌پردازد که در بسیاری موارد به اندازه کافی مورد توجه قرار نمی‌گیرد. این بخش عمدتا در تحلیل راندمان کلاسیک آبیاری به عنوان تلفات در نظر گرفته می‌شود (Lankford, 2012)، اما در عمل جزو تلفات واقعی آب محسوب نمی‌شود؛ چرا که از چرخه آبی حوضه خارج نشده و قابلیت بازیابی و استفاده مجدد آن وجود دارد (Keller and Keller, 1995). تحلیل انجام شده نشان می‌دهد، در حدود ۳۰ درصد آب برداشتی برای آبیاری در حوضه آبریز سد کرخه در این قالب قرار می‌گیرد که با توجه به افزایش مقدار آب برداشتی در طول زمان، مقدار آن در دوره دوم نسبت به دوره اول در حدود ۳۵ درصد افزایش یافته است. بخشی عمده آب برگشتی (بالغ به ۸۵ درصد) به منابع زیرزمینی برمی‌گردد. همانند قبل، برای این گزارش نیز تعدادی شاخص قابل استخراج می‌باشد که مشخصات و مقدار آن‌ها برای دو دوره زمانی مورد بررسی در جدول (۹) آمده که مورد بحث قرار خواهند گرفت.

جدول۴– شاخص‌های مستخرج از گزارش برداشت حوضه برای دوره‌های زمانی مختلف

عنوان شاخص	شرح	روش محاسبه	دوره تحلیل	مقدار
نسبت برداشت آب زیرزمینی	چه بخشی از کل برداشت آب آبیاری از آب زیرزمینی حوضه بوده است؟	برداشت از آب زیرزمینی / مجموع برداشت آب کشاورزی	۱۹۸۵–۲۰۰۰	۰/۶۳
			۲۰۰۱–۲۰۱۵	۰/۷۱
راندمان مزرعه	چه بخشی از آب برداشت شده برای آبیاری صرف تبخیر–تعرق گیاهان زراعی شده است؟	تبخیر و تعرق تکمیلی اراضی آبی / مجموع برداشت آب کشاورزی	۱۹۸۵–۲۰۰۰	۰/۵۳
			۲۰۰۱–۲۰۱۵	۰/۶۲
راندمان حوضه‌ای	چه بخشی از آب مصرف شده آبیاری صرف تبخیر–تعرق گیاهان زراعی شده است؟	تبخیر و تعرق تکمیلی اراضی آبی / آب برگشتی–مجموع برداشت آب کشاورزی	۱۹۸۵–۲۰۰۰	۰/۷۸
			۲۰۰۱–۲۰۱۵	۰/۷۸
نسبت آب برگشتی	چه بخشی از آب برداشت شده برای آبیاری مجددا به منابع آب قابل استحصال حوضه بازگشته است؟	آب برگشتی / مجموع برداشت آب کشاورزی	۱۹۸۵–۲۰۰۰	۰/۳۰
			۲۰۰۱–۲۰۱۵	۰/۲۰



شرح برخی از مولفه‌های گزارش:
تبخیر–تعرق تکمیلی: بخشی از آب برداشت شده که به واسطه تبخیر–تعرق کشت آبی و تلفات واقعی آبیاری از سیستم خارج شده
تلفات آبیاری: بخشی از آب آبیاری که در فاز انتقال و یا کاربرد، پیش از ورود به خاک و شرکت در فرآیند تبخیر–تعرق گیاهان، به صورت تفلات واقعی از سیستم حوضه خارج می‌شود
جریان برگشتی: بخشی از آب آبیاری که مصرف نشده و به منابع سطحی یا زیرزمینی حوضه باز می‌گردد.

شکل ۴- گزارش برداشت سیستم حسابداری آب برای شرایط متوسط دوره زمانی الف) ۲۰۱۵–۱۹۸۵، ب) ۲۰۰۰–۱۹۸۵ و ج) ۲۰۱۵–۲۰۰۱ (میلیارد مترمکعب)

نتیجه‌گیری

بحران‌های آبی فعلی و پیش رو در کشور و از طرفی ضعف‌های اطلاعاتی و مسائل موجود در زمینه برآورد، یکپارچه‌سازی و سازماندهی اطلاعات مدیریتی بین بخشی در زمینه آب، لزوم وجود ابزارها و زیرساخت‌هایی که امکان بهبود تصمیم‌گیری‌ها و جهت‌گیری‌های مدیریتی را فراهم آورد را آشکار می‌سازد. تحلیل منطقی و نزدیک به واقع سیستم‌های منابع آب به منظور تدوین راهبردها و حل مسائل و موضوعات آبی به درکی مناسب و عمیق از فرایندهای هیدرولوژیکی حوضه، جریان‌های آب قابل مدیریت و غیرقابل مدیریت، ارتباط با کاربری اراضی و فرصت‌هایی برای کاهش اثرات منفی و افزایش منافع مصرف آب نیاز دارد. با این نگاه است که می‌توان بطور مؤثر و واقع گرایانه راهبردهای مدیریتی را در جهت حل مسائل آبی در کشور، کاهش مصرف آب و افزایش بهره‌وری ارائه نمود. سیستم حسابداری آب WA^+ از جمله روش‌های مطرح در زمینه حسابداری آب و به عنوان نسخه اصلاح شده سیستم حسابداری آب موسسه بین المللی مدیریت آب شناخته می‌شود که به دلیل قابلیت‌های ویژه و کاربردی آن به ویژه در خصوص صرفه جویی واقعی آب مورد توجه قرار گرفته است. مطالعه حاضر تلاشی در جهت استقرار این سیستم حسابداری در حوضه‌آبریز سد کرخه با استفاده از یک رویکرد مدلسازی مفهومی با بکارگیری مدل ویژه سازی شده SWAT-KARKHEH می‌باشد. این رویکرد امکان مناسبی را برای تحلیل توأم شرایط آبی حوضه و سیستم‌های کشاورزی و بررسی راهبردهای مختلف مدیریتی را در سطح حوضه فراهم می‌آورد. مدل SWAT-KARKHEH با اعمال تغییراتی در کد مدل پایه آن را برای لینک با چارچوب حسابداری آب WA^+ آماده نمود. تحلیل نتایج استقرار چارچوب WA^+ نشان دهنده کاهش حدود ۱۰ درصدی بارش ورودی به حوضه در دو دوره مورد بررسی می‌باشد. از طرفی در مقابل ورودی‌ها، حوضه با دو خروجی عمده مواجه است که اولین و در عین حال موثرترین آن به تبخیر و تعرق طبیعی اراضی مربوط می‌باشد. طی دو دوره زمانی مورد بررسی، این مولفه حدود ۴ درصد کاهش یافته است. البته بعضا در اجزاء آن افزایش هم دیده می‌شود که ناشی از تغییرات سطح برخی کاربری‌ها نظیر اراضی کشاورزی دیم و آبی بوده است. اما اثر تغییر در شرایط اقلیمی حوضه (کاهش ۱۰ درصدی بارش ورودی در دوره دوم)، در تغییر مولفه آب قابل مدیریت خودنمایی می‌کند. مشاهده می‌گردد که این مولفه کاهش ۲۶ درصدی را تجربه نموده و در عین حال انتظار است تا در این شرایط، مصارف مدیریت شده آب کشاورزی در سطح حوضه (در قالب تبخیر–تعرق تکمیلی) و حقابه پایین دست سد را تامین نماید. در همین راستا، نکته قابل توجه این است که علی‌رغم کاهش قابل توجه آب قابل مدیریت، مولفه تبخیر–تعرق تکمیلی افزایش ۲۴ درصدی را نشان می‌دهد و در مقابل جریان خروجی حوضه تا ۴۵ درصد کاهش یافته است. بدین ترتیب می‌توان گفت، در شرایطی که به واسطه تغییر شرایط اقلیمی، منابع آب قابل مدیریت حوضه کاهش یافته، نه تنها مصارف مدیریت شده آب در حوضه کاهش نداشته، بلکه به میزان قابل توجهی نیز به آن افزوده شده و در این بین، جریان خروجی از حوضه، مولفه‌ای بوده که تحت فشار هر دو عامل قرار گرفته است. به عبارت دیگر، ورودی

سیستم منابع آب حوضه کاهش یافته و مصارف مدیریت شده آن افزایش یافته و بار فشار هر دو را ورودی‌های سد کرخه متحمل شده است. با توجه به گزارش تبخیر و تعرق و علی‌رغم کاهش آب قابل مدیریت حوضه که در گزارش قبلی مورد اشاره قرار گرفت، مصارف سودمند حوضه در دوره دوم افزایش ۱۰ درصدی را تجربه نموده که دلیل آن، به طور عمده متوجه افزایش ۳۰ درصدی تعرق گیاهان در سطح اراضی کشاورزی به واسطه گسترش سطح اراضی، افزایش گیاهان پرمصرف‌تر بوده است. بر اساس گزارش برداشت مقدار برداشت از منابع زیرزمینی و کل برداشت برای آبیاری اراضی کشاورزی در دوره دوم به ترتیب حدود ۱۷ و ۴ درصد افزایش یافته است. این افزایش برداشت به منظور تامین آب مورد نیاز برای اراضی زیر کشت آبی که در طول زمان توسعه یافته، صورت گرفته است. این در حالی است که با توجه به کمبود منابع آب سطحی در دوره دوم به ویژه در مناطق پایین دست حوضه میزان برداشت از آب سطحی به میزان ۱۸ درصد کاهش یافته است. بر این اساس، مقدار مصارف آب (تبخیر–تعرق تکمیلی) و تلفات حدودا در دوره دوم ۲۰ درصد افزایش یافته است.

منابع

[1] YousofZadeh Chabok, M., Bagheri, A., Davari, K, (2013). Evaluation of water resources systems using efficiency indicators with an interconnected approach based on water accounting framework in Mashhad plain, Master Thesis, Tarbiat Modares University (In Persian).

[2] Delavar,M., Morid, S., Farokhnia,A,(2017). Preparation of a comprehensive model of hydrological simulation of Karkheh basin to evaluate the effects of environmental changes on discharge upstream of Karkheh dam and development of long-term flow forecasting system in it, Research project, Khuzetan Water &Power Authority(KWPA) (In Persian).

[3] Karimi, P., D. Molden, W. Bastiaanssen and X. Cai, 2012b: Water accounting to assess use and productivity of water: evolution of a concept and new frontiers. Water accounting: International approaches to policy and decision-making, edited by: Godfrey, J. M. and Chalmers, K, 76-88.

[4] Karimi, P., Molden, D., Notenbaert, A., Peden, D. (2012). Nile basin farming systems and productivity. In The Nile river basin; water, agriculture, governance and livelihoods. Edited by Awulachew, et al. Routledge, U.K., 133–153.

[5] Karimi, P., W. Bastiaanssen, D. Molden and M. Cheema, 2013: Basin-wide water accounting based on remote sensing data: an application for the Indus Basin. Hydrology and Earth System Sciences, 17 (7), 2013.

[6] Keller, A. A. and J. Keller, 1995: Effective Efficiency: A Water Use Efficiency Concept for Allocating Freshwater Resources.

[7] Lankford, B., 2012: Fictions, fractions, factorials and fractures; on the framing of irrigation efficiency. Agricultural water management, 108, 27-38.

[8] Moriasi, D., J. Arnold, M. Van Liew, R. Bingner, R. Harmel and T. Veith, 2007: Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. Trans. Asabe, 50, 885-900.

Implementation of water accounting system (WA +) at the catchment area (Case study: Karkheh dam catchment)

Farhad Nourmohammadi[1], Ali Shahbazi[2], Ali Motamedi[3]

[1] Hydro-climate model expert, Khuzestan Water and power Authority(KWPA), Ahvaz, Iran
[2] Deputy Director of Comprehensive Studies of Water Resources, Khuzestan Water and power Authority(KWPA), Ahvaz, Iran
[3] Head of Meteorological Forecasting Group, Khuzestan Water and power Authority(KWPA), Ahvaz, Iran

Abstract

Analysis of water resources systems in order to formulate appropriate management strategies and solve water problems requires different information in order to create a proper and deep understanding of hydrological processes in the basin, manageable and unmanageable water flows, relationship with land use and provide a comprehensive picture. In this regard, the water accounting

framework as a useful tool by integrating different information, provides a building for comprehensive and integrated management of water resources and the implementation of targeted policies in a conscious manner. The purpose of this paper is to present the methodology of water accounting in the country based on the results of the specialized conceptual model SWAT-KARKHEH and the water accounting framework(WA+). In this study, Karkheh catchment in Khuzestan province was considered as a pilot study area and an analysis of the catchment conditions in two time periods based on its water accounting results was presented. Analysis of the results of the establishment of the WA + framework shows a reduction of about 10% of incoming rainfall to the basin in the two periods under review. On the other hand, in front of the entrances, the basin faces two main exits, the first and at the same time the most effective of which is related to the natural evapotranspiration of lands. During the two periods under review, this component has decreased by about 4%. Of course, sometimes there is an increase in its components, which has been due to changes in the level of some land uses, such as rainfed and irrigated agricultural lands. However, the effect of change in the climatic conditions of the basin (10% reduction of incoming rainfall in the second period) is evident in the change of manageable water component.