اکوهیدرولوژی
دورهٔ ۱۰، شمارهٔ ۱، بهار ۱۴۰۲، ص ۱۵۸-۱۴۱

معرفی یک روش کاربردی در تدقیق سهم منابع آب سطحی و زیرزمینی در جدول‌های تأمین و مصرف فیزیکی حسابداری آب در مقیاس شبکهٔ آبیاری

فرهاد بهزادی[۱]، سید مهدی هاشمی شاهدانی[۲*]

۱. دانشجوی دکتری گروه مهندسی آب، دانشکدهٔ مهندسی فناوری کشاورزی (ابوریحان)، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۲. دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکدهٔ مهندسی فناوری کشاورزی (ابوریحان)، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۱۴۰۱/۱۰/۲۱؛ تاریخ بازنگری ۱۴۰۱/۱۱/۱۱ تاریخ تصویب ۱۴۰۱/۱۲/۱۲)

چکیده

چارچوب‌های حسابداری آب به عنوان یک سیستم پشتیبانی تصمیم مدیریت آب در سطح حوضه‌های آبریز، جایگاه ویژه‌ای بین پژوهشگران و مدیران صنعت آب پیدا کرده است .هدف اصلی این پژوهش، ارائهٔ یک روش کاربردی به منظور تدقیق سهم منابع آب سطحی و زیرزمینی در جدول‌های تأمین/مصرف فیزیکی چارچوب حسابداری آب زیست‌محیطی- اقتصادی (SEEWA-Water) در مقیاس شبکهٔ آبیاری، به عنوان یک سیستم کوچک‌مقیاس مدیریت آب است .ضرورت به‌کارگیری یک سیستم حسابداری آب برای مقیاس‌های مدیریتی کوچک، شفاف‌سازی میزان مصارف و منابع در بهره‌برداری معمول و تهیهٔ یک پایگاه دادهٔ مورد اعتماد برای ارائهٔ راهکارهای بهبود عملکرد بهره‌برداری است .روش انجام تحقیق عبارت است از :۱) تحلیل مکانی توزیع آب سطحی بر پایه نتایج شبیه‌سازی تحویل آب بین آبگیرهای درجهٔ ۲و ۳ در شبکهٔ آبیاری با استفاده از مدل انتگرالی- تأخیری؛ ۲) تحلیل داده‌های مشاهدانی چاه‌های بهره‌برداری دارای مجوز واقع در محدودهٔ شبکه و ارزیابی مکانی میزان برداشت آب زیرزمینی در هر محدودهٔ واحد زراعی درجهٔ ۳ در محیط GIS ؛ ۳) به‌روزرسانی میزان تقاضای آب کشاورزی بر پایهٔ محاسبهٔ نیاز آبی محصولات غالب آخرین الگوی کشت در شبکه توسط نت‌وات و مقایسهٔ آن با مقادیر حق‌آبهٔ سنتی است .روش معرفی‌شده در شبکهٔ آبیاری آبشار اصفهان، به عنوان مطالعهٔ موردی این تحقیق، استفاده شد .نتایج شبیه‌سازی توزیع آب سطحی، تحت سناریوهای مختلف بهره‌برداری کانال‌های اصلی و فرعی شبکهٔ آبشار نشان داد متوسط شاخص کفایت توزیع آب سطحی در محدوده‌های ۹۴-۶۹ درصد، ۸۶-۴۱ درصد و ۷۸-۲۱ درصد به ترتیب در منطقهٔ بالادست، میانی و پایین‌دست شبکه است .همچنین تحلیل مکانی توزیع آب سطحی و برداشت آب زیرزمینی بیانگر آن است که سهم آب زیرزمینی در تأمین تقاضای کشاورزی ۳/۹۶ درصد و ۵/۵۴ درصد به‌ترتیب در محدودهٔ شمالی و جنوبی شبکه به دست آمد. نتایج به‌دست‌آمده مبنای تکمیل جدول تأمین فیزیکی آب قرار گرفت و به‌تفکیک محصولات اصلی الگوی کشت ارائه شد .شایان یادآوری است که روش ارائه‌شده در تکمیل اطلاعات جدول فیزیکی تأمین آب روش حسابداری آب اقتصادی- زیست‌محیطی این پژوهش قابلیت استفاده برای تمام شبکه‌های آبیاری ایران را دارد.

کلیدواژگان :روش حسابداری آب زیست‌محیطی- اقتصادی، تحلیل مکانی توزیع آب سطحی، شبیه‌سازی هیدرولیکی، مدیریت اطلاعات، شبکهٔ آبیاری آبشار.

* نویسندهٔ مسئول

Email: mehdi.hashemy@ut.ac.ir

مقدمه

رویکرد سیستم‌های حسابداری آب، به عنوان یک روش جامع مدیریت داده و اطلاعات در بهبود به‌کارگیری سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری به منظور پیاده‌سازی مفهوم مدیریت یکپارچه منابع آب در کشورهای مورد استقبال محققان و تصمیم‌گیران قرار گرفته شده است. هدف کلی استفاده از چارچوبی است که درک روشنی از فرایندهای هیدرولوژیکی حوضه داشته باشد و جریان‌های قابل کنترل و کنترل‌نشدهٔ آب، تعامل با اکوسیستم و بخش‌های اقتصادی برای کاهش اثرات منفی و افزایش مزایای کمبود آب در جامعه را در بر گیرد [۱]. حسابداری آب به منظور فراهم کردن مدیریتی جامع و یکپارچه برای منابع آبی با سازماندهی داده‌های مختلف از بخش‌های گوناگون هیدرولوژیکی، زیست‌محیطی و اقتصادی امکان پردازش و تفسیر آن‌ها را در کنار یکدیگر فراهم می‌کند . چارچوب حسابداری آب، رویکردی برای استاندارد کردن نحوهٔ سازماندهی داده و اطلاعات است که به عنوان ابزاری مفید برای ارتقای کارایی و شفافیت در مدیریت یکپارچه منابع آب در نظر گرفته می‌شود [۲]. اطلاعات ارائه‌شده با استفاده از چارچوب حسابداری آب، این امکان را به مدیران و تصمیم‌گیرندگان سیاسی می‌دهد تا میزان عدم قطعیت در تصمیمات و بهره‌برداری را به حداقل برسانند [۳]. چارچوب حسابداری آب نمایانگر این موضوع است که چه مقدار آب (کمی)، برای چه منظور در برابر مقدار آب قابل دسترس در یک محدوده بهره‌برداری می‌شود [۴]. بنابراین، با توجه به اهمیت ساختار حسابداری آب ایجاد یک زیرساخت با سرمایه‌گذاری مناسب می‌تواند نقش مهمی در فرایند ارزیابی منابع آب یک منطقه داشته باشد. تغییرات میزان آب در دسترس، بر رفاه اجتماعی، اقتصادی و محیط زیست تأثیرگذار بوده و این موضوع یک رویکرد نوین برای مدیریت یکپارچه منابع آب به شمار می‌رود، بنابراین باید حسابداری آب به صورت جامع و با در نظر گرفتن ابعاد توسعهٔ پایدار نگریسته شود و ابعاد اقتصادی‌ـ اجتماعی در این سیستم حسابداری در نظر گرفته شود.

در این بین، سیستم حسابداری زیست‌محیطی‌ـ اقتصادی آب، SEEA-Water، یک روش استاندارد است که توسط بخش آمار سازمان ملل با همکاری گروه لندن در راستای تحقق پیاده‌سازی مدیریت یکپارچهٔ منابع آب پیشنهاد شده که دستورالعملی برای یکپارچه‌سازی اطلاعات هیدرولوژیکی و اقتصادی ارائه می‌دهد .این روش در راستای توسعهٔ سیستم‌های حسابداری آب قبلی- که عموماً مبتنی بر استفاده از داده‌های ماهواره‌ای است- بوده و شامل جدول‌های شناخته‌شده به جدول‌های-SEEA Water است که در عین حال، به طور کامل در چارچوب سیستم حساب ملی یکپارچه شده است .چارچوب-SEEA Waterدر کنفرانس بین‌المللی حسابداری آب برای مدیریت یکپارچهٔ منابع آب که در ووربورگ (هلند) در می ۲۰۰۶ برگزار شد، به عنوان استاندارد بین‌المللی برای آمار آب پیشنهاد شده است [۵]. هدف کلی چارچوب-SEEA Waterهماهنگ کردن داده‌های اقتصادی -هیدرولوژیکی تحت یک چارچوب مشترک و امکان مقایسهٔ آمار و نسبت‌های عملکرد در مناطق و طی زمان است .لازم به توضیح است که مطابق اظهارات توسعه‌دهندگان این روش، نمونه‌ای جامع از این چارچوب توسط UN توسعه داده شده و محققان به فراخور نیاز و ضروریات هر پروژه اقدام به بومی‌سازی این جدول‌ها خواهند کرد .مطابق دستورالعمل ارائه‌شده این روش توسط سازمان ملل [۶]. در کاربرد چشمگیر این روش در سال‌های اخیر می‌توان به مصوبات قانونی تعیین‌شده توسط اتحادیهٔ اروپا در سال‌های اخیر به تأکید بر کاربرد حسابداری اکوسیستم اشاره دارد، به عنوان مثال، استراتژی تنوع زیستی برای سال ۲۰۳۰ [۷] و استراتژی خاک اروپایی مربوط، قانون احیای طبیعت [۸] که توسط کمیسیون اتحادیهٔ اروپا در ژوئن ۲۰۲۲ تصویب شد .همچنین کمیسیون آمار سازمان ملل متحد، در پنجاه و دومین جلسهٔ خود در مارس ۲۰۲۱ ، ارزیابی سهم محیط زیست در اقتصاد و تأثیر اقتصاد بر محیط زیست را به سیستم ملی حسابداری و سیستم-SEEA Waterنسبت داد .این امر به منظور ارائهٔ داده‌ها، شاخص‌ها و آمار به ذی‌نفعان، نظارت بر این تعاملات و شناسایی استراتژی‌های توسعه پایدارتر است [۹].

بررسی منابع بیانگر آن است که کاربرد روش حسابداری SEEA-Water غالباً در مقیاس کشورها و گاه حوضه‌های آبریز و با هدف بهبود اطلاعات فیزیکی، اقتصادی و زیست‌محیطی تأمین/مصرف آب در مقایسه با روش‌های سنتی مدیریتی - غالباً مطالعات بیلان آب- صورت گرفته است. مطابق توصیهٔ مستقیم توسعه‌دهندگان

این روش، گام بعدی در گسترش به‌کارگیری این روش سیستماتیک توسعه/بومی‌سازی /اصلاح جدول‌های سیستم حسابداری آب SEEA-Water به نحوی است که بتوان آن را برای واحدهای مدیریتی کوچک‌مقیاس به کار برد .در توجیه ضرورت انجام هدف یادشده، می‌توان توجه مخاطبان را به توصیهٔ کاربردی و توجه ویژهٔ آژانس محیط زیست اروپا (EEA) [2] به تقلیل محدوده‌های مورد مطالعه بزرگ‌مقیاس به محدوده‌های کوچک مقیاس مدیریتی، با هدف تدقیق داده‌های مورد استفاده و کاهش عدم قطعیت در این ارتباط جلب کرد. بر اساس توصیهٔ یادشده، پیشنهاد شده است که (1) در تحلیل مکانی به جای تعیین حساب‌های آب در سطح یک کشور، توصیه شده که در سطح‌های مدیریتی کوچک‌تر مانند حوضه‌های آبریز و مناطق کشاورزی با مدیریت مستقل، صورت پذیرد. همچنین در تحلیل‌های زمانی به جای تعیین حساب‌های آب به صورت سالانه، EEA پیشنهاد می‌کند که به صورت ماهانه/روزانه به منظور بررسی دقیق‌تر و امکان افزایش دقت بررسی روند فشار فصلی اقتصاد بر منابع آب/محیط زیست استفاده شود.

بررسی سابقهٔ تحقیق تا زمان نگارش این مقاله، بیانگر آن است که به صورت موردی مدل/اپلیکیشن‌های تجاری حسابداری آب مزرعه در مواردی در آمریکا و استرالیا توسعه داده شده و با هدف ارتقای مدیریت آب در سطح مزرعه در اختیار کشاورزان قرار گرفته است. با توجه به ماهیت تجاری بودن این موارد یادشده، فقط تبلیغات و کارگاه‌های آموزشی با هدف جلب مشتری بیشتر در دسترس است و هیچ‌گونه گزارش پژوهشی قابل استناد یافت نشد .از طرفی تمایل کشاورزان برای خرید این مدل‌ها/اپلیکیشن‌ها - به عنوان مثال اپلیکیشن حسابداری آب مزرعه SWIIM که در ایالت‌های غربی آمریکا مورد توجه کشاورزان قرار کرفته است - در وهلهٔ اول گویای رضایت مشتریان و سپس عملکرد مناسب آن‌ها در صرفه‌جویی آب یا افزایش منافع اقتصادی کشاورزان است .بنابراین، یکی از خلأهای تحقیقاتی در مطالعات مرتبط با حسابداری آب عدم توسعه/اصلاح/بومی‌سازی روش‌های یادشده برای استفاده در مقیاس‌های کوچک مدیریتی است .در بخش کشاورزی کشور ایران، مقیاس‌های کوچک مدیریتی می‌تواند مزرعه، تعاونی آب‌بران یا شبکهٔ آبیاری به حساب آید که در دو مورد ابتدایی بیشترین دغدغهٔ مدیریت آب در مزرعه است . در حالی که دغدغهٔ اصلی در مقیاس مدیریتی یک شبکهٔ آبیاری تأمین، توزیع و تحویل آب سطحی و کنترل میزان برداشت آب زیرزمینی است .در کشور ایران، متولی مورد اول شرکت بهره‌برداری از شبکهٔ آبیاری و متولی مورد دوم شرکت‌های تابعهٔ آب منطقه‌ای در هر استان هستند. بنابراین توسعه/اصلاح/بومی‌سازی سیستم حسابداری آب SEEA-Water که قابلیت استفاده برای یک شبکهٔ آبیاری و زهکشی - به عنوان یک واحد اقتصادی کوچک‌مقیاس - مهم‌ترین نوآوری این تحقیق و نیز مطالعاتی آتی که در راستای تکمیل آن است، به حساب می‌آید .این پژوهش - به عنوان اولین گام در توسعه/اصلاح/بومی‌سازی سیستم حسابداری آب SEEA-Water قابل استفاده برای یک شبکهٔ آبیاری - اقدام به ارائهٔ یک روش سیستمیک و کاربردی برای اصلاح /پارامترهای جدول تأمین ـ مصرف فیزیکی روش (PSUTs) [3] حسابداری آب زیست‌محیطی‌ـ اقتصادی در محدودهٔ یک شبکهٔ آبیاری و زهکشی کرد . شبکهٔ آبیاری آبشار اصفهان به عنوان نمونهٔ مطالعاتی انتخاب و بررسی و تدقیق سهم منابع آب سطحی و زیرزمینی با تکیه بر شبیه‌سازی هیدرولیک جریان در کانال‌های توزیع آب سطحی، مطالعهٔ بیلان برداشت آب از چاه‌های بهره‌برداری واقع در محدودهٔ شبکه و نیز تحلیل مکانی کفایت توزیع آب سطحی در شبکه صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

شبکهٔ آبیاری و زهکشی آبشار

شبکهٔ آبیاری آبشار واقع در حوضهٔ آبریز زاینده‌رود و دشت کوهپایه و سگزی (شرق استان اصفهان) و مساحت در حال بهره‌برداری شبکه حدود ۲۱ هزار هکتار است .منبع اصلی تأمین‌کنندهٔ آب این شبکهٔ آبیاری، آب رهاشده از سد انحرافی آبشار است .در طرفین سد انحرافی آبشار، در منشأ تأمین آب این شبکهٔ آبیاری، دو رشته کانال اصلی چپ و راست به منظور برداشت آب جهت با هدف تحت پوشش قرار دادن اراضی به وسعت ۳۲ هزار هکتار (که بنا بر اطلاعات اخذشده از شرکت آب منطقه‌ای اصفهان در حال حاضر حدود ۲۱ هزار هکتار در حال بهره‌برداری است) احداث شده است .از جمله ویژگی‌های این شبکه مجهز بودن به سیستم دریچه‌های برداشت آب نیرپیک است .این

دریچه‌ها امکان برداشت کنترل‌شده و اندازه‌گیری حجمی آب را فراهم می‌آورند .شبکهٔ آبیاری آبشار دارای دو رشته کانال اصلی درجهٔ ۱ به طول حدود ۶۹ کیلومتر و با ظرفیت حدود ۱۶ متر مکعب در ثانیه و ۱۰ رشته کانال فرعی درجهٔ ۲ به طول حدود ۶۱ کیلومتر با ظرفیت حدود ۳۰۰ تا ۲۴۰۰ لیتر در ثانیه و نیز حدود ۱۸۰ کیلومتر جمع‌کننده و زهکش سطحی روباز است .تحویل و توزیع سطح آب در طول کانال‌های اصلی توسط ۶۰ آبگیر انجام می‌گیرد که به صورت دستی بهره‌برداری می‌شوند .بر اساس اطلاعات جمع‌آوری‌شده از دفتر بهره‌برداری شبکهٔ آبیاری آبشار، عملکرد ضعیف بهره‌برداری این شبکه منجر به هدررفت حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد جریان ورودی در سامانه‌های انتقال، توزیع و تحویل آب کشاورزی می‌شود . از این‌رو، برای رفع این مشکل، کشاورزی وابسته به منابع آب زیرزمینی گسترش پیدا کرده به نحوی که در حال حاضر با برداشت سالانه حدود ۱۰۲ میلیون مترمکعب از حدود ۹ هزار حلقه چاه حفرشده در داخل شبکهٔ آبیاری آبشار، حجم آب برداشتی در محدودهٔ این شبکه حدود ۸ درصد کل برداشت از منابع آب زیرزمینی در محدودهٔ شبکه‌های آبیاری حوضهٔ زاینده‌رود است. شکل ۲ شمایی از پراکندگی انبوهی از چاه‌های کم‌عمق، نیمه‌عمیق و عمیق درون محدودهٔ شبکهٔ آبیاری آبشار را نشان می‌دهد .تعداد و موقعیت چاه‌های حفرشده به تفکیک نوع چاه (عمیق و نیمه‌عمیق) در سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۹ روی آبخوان این منطقه شاهد افزایش چشمگیر ۲/۳۰۱ و ۴۳/۶۶ درصدی به‌ترتیب برای حفر چاه‌های نیمه‌عمیق و چاه‌های عمیق است. افزایش روزافزون حفر چاه‌ها و بهره‌برداری از آن برای مصارف کشاورزی این منطقه را به یکی از دشت‌های بحرانی کشور تبدیل کرده است.

اطلاعات کشاورزی مرتبط با الگوی کشت موجود در شبکهٔ آبیاری آبشار بر اساس آمار و اطلاعات پایه سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹ به شرح جدول ۱ ارائه شده است .توضیحات تکمیلی در مورد آمار و اطلاعات جدول یادشده عبارت‌اند از:

۱. اطلاعات مربوط به نام محصول، سطح زیر کشت و عملکرد آن در هر یک محدوده‌های مطالعاتی مورد نظر پژوهش حاضر مربوط به محصولاتی است که حداقل ۹۰ درصد سطح زیر کشت شبکه را پوشش می‌دهند.

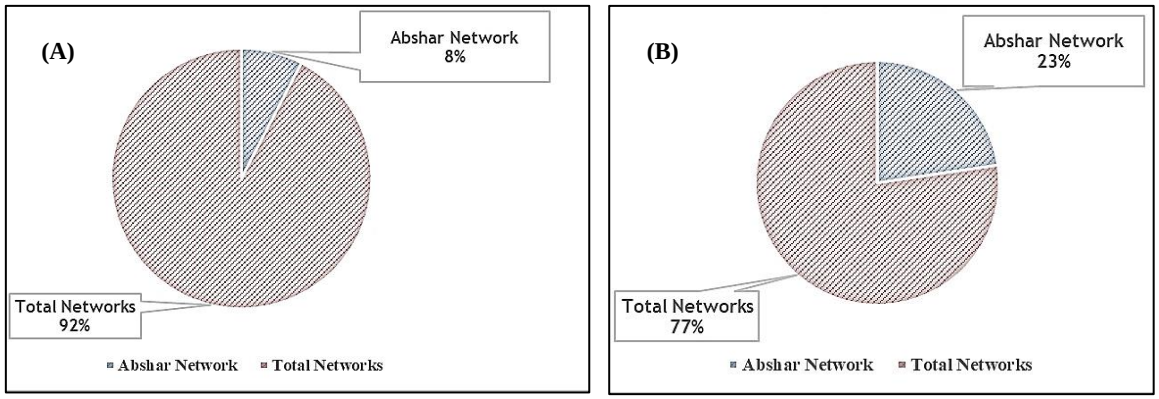
۲. در مورد اطلاعات مربوط به قیمت محصولات، لازم به یادآوری است که، محصولاتی که دارای قیمت تضمینی هستند از قیمت تضمینی آن‌ها در این گزارش استفاده شده است، در مورد سایر محصولات، قیمت درنظرگرفته‌شده، قیمت سر خرمن است.

۳. به منظور محاسبهٔ نیاز خالص آبیاری از روش FAO Penman-Monteithاستفاده شده است .

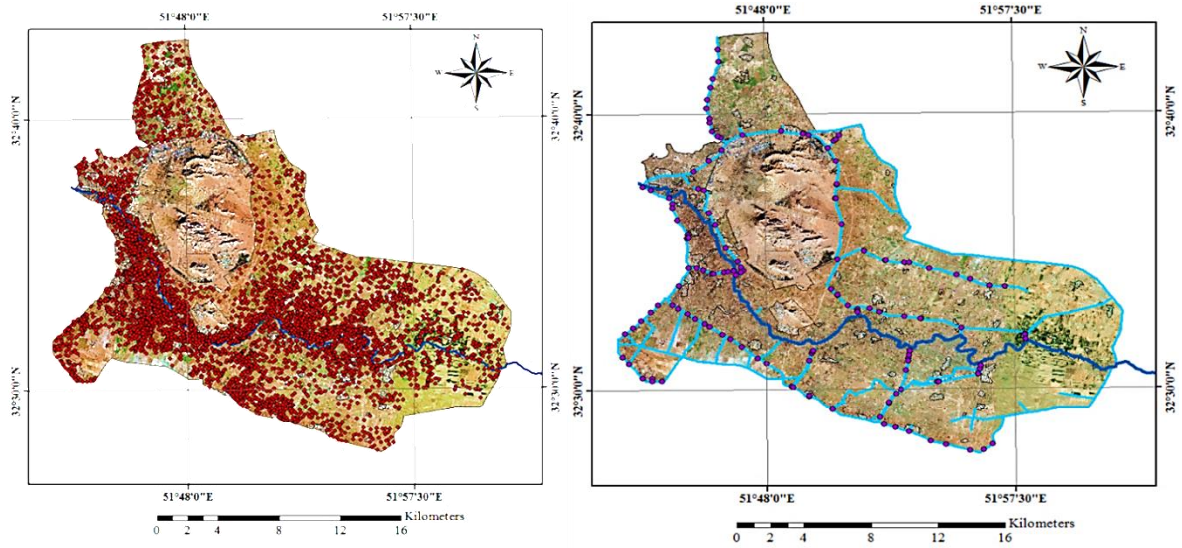
۴. راندمان آبیاری داخل مزرعه استفاده شده در این تحقیق، بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده از شرکت آب منطقه ای اصفهان و سازمان جهاد کشاورزی این استان در نظر گرفته شده است.

جدول ۱. اطلاعات کشاورزی مرتبط با سال پایهٔ آبی (۱۳۹۹-۱۴۰۰) شبکهٔ آبیاری آبشار

ردیف	نام محصول	سطح زیر کشت(هکتار)	عملکرد (تن در هکتار)	نیاز خالص آبی در هکتار (مترمکعب)	راندمان کاربرد (درصد)	میزان کل آب مصرفی در هکتار (مترمکعب)	قیمت محصول (کیلو – تومان)
۱	گندم	۹۲۴۰	۴/۵	۳۷۲۷	۰/۴۱	۹۰۹۱	۱۳۰۰
۲	خربزه	۲۷۷	۴۰	۶۲۸۳	۰/۴۱	۱۵۳۲۵	۵۰۰
۳	کدو	۴۶۲	۲۰	۵۵۳۵	۰/۴۱	۱۳۵۰۰	۱۱۰۰
۴	پیاز	۲۳۱۰	۶۵	۵۷۴۰	۰/۴۱	۱۴۰۰۰	۵۲۰
۵	باقلا	۱۹۲۵	۱۸	۲۷۱۹	۰/۴۱	۶۶۳۱	۱۲۵۰
۶	شبدر	۳۲۷	۶	۳۲۸۰	۰/۴۱	۸۰۰۰	۸۰۰
۷	باغات	۹۷۰	۷	۲۸۷۰	۰/۴۱	۷۰۰۰	۸۵۰۰



شکل ۱. میزان برداشت آب زیرزمینی در محدودهٔ دشت آبشار در مقایسه با کل میزان برداشت در حوضهٔ آبریز زاینده‌رود (A) و میزان کل برداشت آب زیرزمینی در محدودهٔ شبکهٔ آبیاری آبشار در مقایسه با کل برداشت در مجموع شش شبکهٔ آبیاری مدرن واقع در حوضهٔ زاینده‌رود(B)



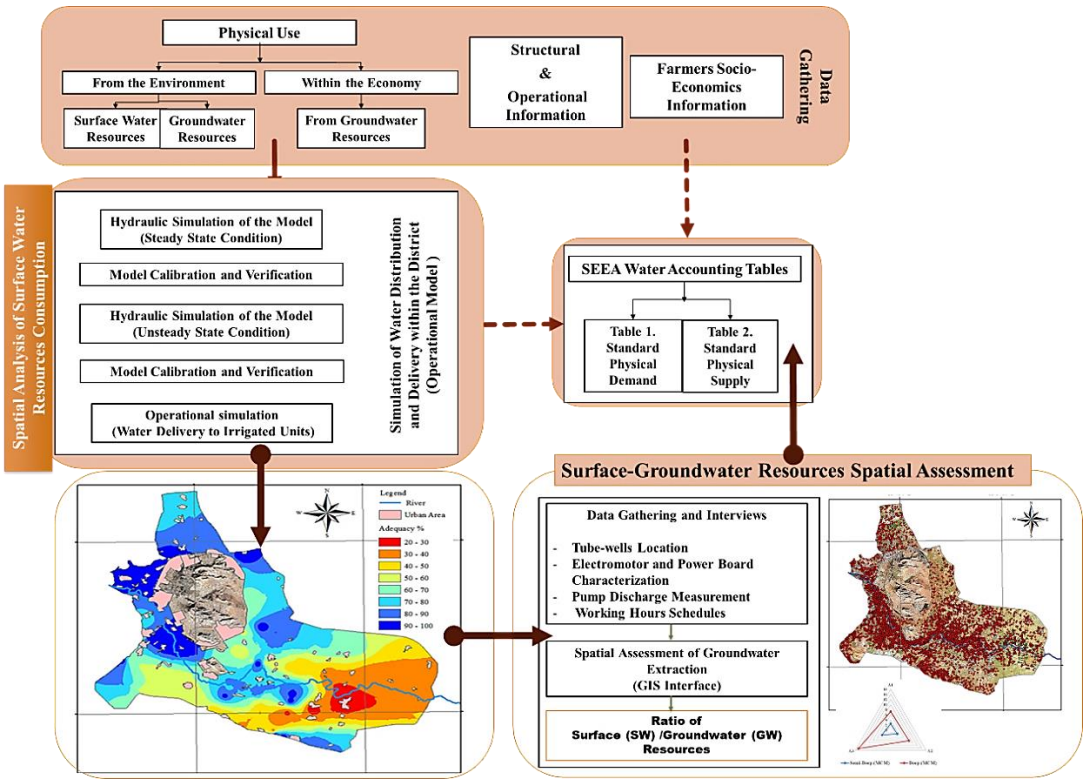
شکل ۲. شمایی از سیستم توزیع آب سطحی در محدودهٔ شبکهٔ آبیاری آبشار توسط کانال‌های اصلی و فرعی و نیز پراکندگی چاه‌های بهره‌برداری دارای مجوز در محدودهٔ شبکهٔ آبیاری

با توجه به اینکه هدف اصلی این تحقیق تعیین سهم آب سطحی و زیرزمینی در تأمین آب آبیاری محصولات کشت‌شده در شبکهٔ آبیاری آبشار است، بنابراین در اولین گام اقدام به تخمین نیاز آبی محصولات غالب الگوی کشت این شبکه با استفاده از نرم‌افزار نت‌وات شد. یکی از دلایلی که محققان این پژوهش را مجاب به این مهم کرد، نبود اطلاعات یکپارچه و قابل استناد جمع‌آوری‌شده در مطالعات میدانی بود تا بتوان مقدار نیاز آب آبیاری واقعی هر واحد مستقل کشاورزی را برآورد کرده و سپس سهم منابع آب را تأمین آن مشخص کرد. بیشتر اطلاعات موجود، اطلاعات مربوط به فروش آب، حقابه‌های از قبل مشخص و سهم آب مشخص‌شده برای هر دریچه بود. لازم به توضیح است که به منظور محاسبهٔ نیاز خالص آبیاری محصولات غالب در الگوی کشت شامل گندم، خربزه، کدو، پیاز، باقلا، شبدر و باغ‌ها از نرم‌افزار نت‌وات استفاده شد.

روش انجام تحقیق

روش انجام تحقیق و مراحل آن در شکل ۳ به صورت تصویری ارائه شده است. بر این اساس، گام اصلی در پیاده‌سازی یک چارچوب حسابداری آب در یک شبکهٔ آبیاری، بررسی مکانی چگونگی توزیع آب سطحی، برآورد میزان برداشت آب زیرزمینی در محدودهٔ شبکه و در نتیجه تعیین سهم هر یک از منابع آب سطحی و زیرزمینی در تأمین نیاز کشاورزی است. در این راستا، در گام اول اقدام

به ارزیابی وضعیت فعلی و عملکرد بهره‌برداری انتقال و توزیع آب شبکهٔ آبیاری آبشار در برخورد با شرایط بهره‌برداری محتمل صورت گرفت .ارزیابی عملکرد بهره برداری بستری را ایجاد می‌کند که جنبه‌های مختلف سازه‌ای، هیدرولیکی و مدیریتی و همچنین تعیین عوامل مؤثر در بهره‌برداری از شبکه، به منظور ارائهٔ اقدامات لازم برای بهبود وضعیت بهره‌برداری در صورت لزوم، انجام شود. در این راستا ارزیابی عملکرد به‌دست‌آمده در سامانهٔ انتقال و توزیع آب کشاورزی (شامل کانال‌های اصلی و فرعی) در شبکهٔ آبیاری آبشار از دیدگاه کفایت تحویل و توزیع آب آبیاری صورت گرفت و نتایج حاصل از شبیه‌سازی و ارزیابی عملکرد بهره‌برداری کانال اصلی شبکهٔ آبیاری آبشار شامل شبیه‌سازی و ارزیابی عملکرد وضعیت بهره‌برداری موجود در سامانه انتقال و توزیع، در شرایط مختلف بهره‌برداری - که در روزهای مختلف در یک فصل زراعی رخ می‌دهد - ارائه شد. در ادامه، به منظور ارائهٔ تحلیل مکانی و ارزیابی عملکرد بهره‌برداری شبکهٔ آبشار، مقدار متوسط شاخص محاسبه‌شده (کفایت تحویل و توزیع آب)، با استفاده از نرم‌افزار GIS صورت گرفت .نتایج تحلیل مکانی، امکان بررسی و مقایسهٔ مکانی پراکندگی مقادیر متوسط شاخص کفایت تحویل آب به آبگیرها تحت سناریوهای مختلف بهره‌برداری را فراهم کرده است.



شکل ۳ .متدولوژی این تحقیق شامل اجزای مختلف آن و ارتباط بین آن‌ها

معرفی اجمالی اجزای سیستم حسابداری آب-SEEA Water

SEEA-Water یک چارچوب یکپارچهٔ مبتنی بر تحلیل مکانی است که برای ایجاد یک ارزیابی منسجم و جامع از اکوسیستم‌ها طراحی شده است و امکان سازماندهی داده‌های بیوفیزیکی، اندازه‌گیری خدمات اکوسیستم، ردیابی تغییرات در دارایی‌های اکوسیستم، و مرتبط کردن این اطلاعات به اقتصاد و به‌عکس را فراهم می‌کند. جنبه‌ها و سایر فعالیت‌های انسانی هدف SEEA-Water تبدیل شدن به ابزاری یکنواخت برای حسابداری اکوسیستم در سطح جهان با استانداردسازی تولید داده، در نتیجه قابل دسترسی و مقایسه کردن آن است. در این ساختار مجموعه حساب‌های زیر تعریف شده است:

- حساب وسعت اکوسیستم[1]، که اطلاعات مربوط به گسترهٔ انواع مختلف اکوسیستم) به عنوان مثال، جنگل‌ها، تالاب‌ها، مناطق کشاورزی، مناطق

1. Ecosystem extent account

دریایی (را به عنوان نقطهٔ شروع برای حسابداری اکوسیستم سازماندهی می‌کند.

- حساب وضعیت اکوسیستم[1]، که یکپارچگی اکولوژیکی اکوسیستم‌ها را در نظر می‌گیرد و فاصله از یک شرایط مرجع را با توجه به ویژگی‌های بیوفیزیکی مختلف ارزیابی می‌کند.
- حساب جریان فیزیکی و پولی خدمات اکوسیستمی[2] که میزان عرضه و استفاده از خدمات اکوسیستمی توسط واحدهای اقتصادی را اندازه‌گیری می‌کند.

هدف کلی چارچوب SEEA-Water هماهنگ کردن داده‌های اقتصادی -هیدرولوژیکی تحت یک چارچوب مشترک و امکان مقایسهٔ آمار و نسبت‌های عملکرد در مناطق و طی زمان است .لازم به توضیح است که مطابق اظهارات توسعه‌دهندگان این روش، نمونه‌ای جامع از این چارچوب توسط سازمان ملل توسعه داده شده و محققان به فراخور نیاز و ضروریات هر پروژه اقدام به بومی‌سازی این جدول‌های خواهند کرد .این چارچوب باید دو مشخصهٔ ذیل را داشته باشد [۹ـ ۱۱].

(الف) شاخص‌ها و آمار توصیفی را برای نظارت بر تعامل بین محیط زیست و بخش‌های اقتصادی واقع در منطقه مورد مطالعه و به دنبال آن پیشرفت در دستیابی به اهداف زیست‌محیطی به سیاست‌گذاران ارائه دهد.

(ب) یک پایگاه دادهٔ سازمان‌یافته ایجاد کند تا در مرحلهٔ سیاست‌گذاری (مرحله بعد از ایجاد ساختار حسابداری آب) تصمیم‌گیر قادر باشد برنامه‌ریزی استراتژیک و تجزیه‌وتحلیل سیاست‌ها را با آگاهی کافی نسبت به وضعیت کنونی مدیریت آب در هر منطقه مورد مطالعه و در راستای تحقق اهداف توسعهٔ پایدارتر انجام دهد.

هستهٔ اصلی چارچوب SEEA-Water بر مجموعه‌ای از جدول‌های استاندارد متکی است که حداقل داده‌های -را که عموم سازمان‌های دولتی یا منطقه‌ای در هر کشور جمع‌آوری می‌کنند - را یک قالب واحد به تصویر بکشد. برای تعیین کمیت تعاملات بین اقتصاد و محیط زیست، چارچوب SEEA-Water یک حوزهٔ جغرافیایی مرجع را تعریف می‌کند که از آن سیستم‌های اقتصادی و زیست‌محیطی به طور جداگانه در نظر گرفته می‌شوند . سیستم اقتصادی توسط تمام این فعالیت‌های تولیدی و اجتماعی که به طور مستقیم یا غیرمستقیم با استفاده از هر نوع آب مرتبط است، یکپارچه می‌شود. در حالی که بخش زیست‌محیطی شامل زیربخش‌هایی می‌شود که آب در آن جاری است یا ذخیره شده است (به بیان دیگر رودخانه‌ها، دریاچه‌ها یا تالاب‌ها، خاک و سفره‌های زیرزمینی). به طور کلی، سه تیپ جدول حسابداری SEEA-Waterدر قالب سه جدول ذیل خلاصه می‌شود:

الف. جدول‌های تأمین و مصرف فیزیکی: (PSUTs) نشان می‌دهد چه مقدار آب برداشته می‌شود /از منابع آب سطحی منحرف می‌شود /توسط زیرسیستم‌های اقتصادی به محیط زیست تخلیه می‌شود و چگونه آب بین زیرسیستم‌های مختلف اقتصادی مبادله می‌شود.

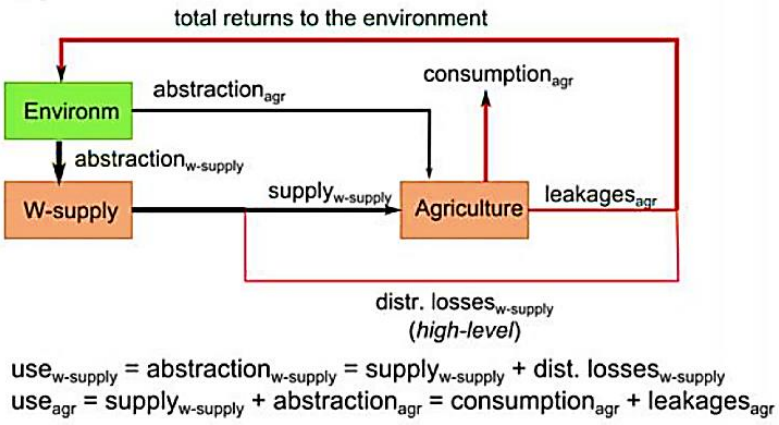
ب. جدول‌های انتشار آلودگی :که به جمع‌آوری داده‌های مربوط به مقدار آلاینده‌هایی را که صنایع و خانوارها به فاضلاب اضافه می‌کنند و در نهایت به محیط زیست تخلیه می‌شود، می‌پردازد.

ج. جدول‌های حساب اقتصادی و هیبرید: جدول‌های حساب‌های ترکیبی و اقتصادی که اطلاعات PSUTs و تراکنش‌های پولی و اقتصادی حساب‌شده در اقتصاد را یکپارچه می‌کند.

با توجه به اینکه قلمروی مطالعاتی این تحقیق، فقط محدود به ارائهٔ یک روش کاربردی جهت تعیین سهم منابع آب سطحی و زیرزمینی برای تدقیق پارامترهای جدول تأمین فیزیکی آب در بین جدول‌های PSUTs می‌شود، بنابراین در ادامه توضیحات مربوط به سایر جدول‌های PSUTsبه صورت کلی و برای آشنایی ارائه خواهد شد .بر اساس چارچوبSEEA-Water ، داده‌های جدول‌های تأمین و استفادهٔ فیزیکی (PSUT) در سه زیرجدول سازمان‌دهی شده‌اند: الف (جدول مصرف فیزیکی؛ ب (جدول عرضهٔ فیزیکی؛ ج (جدول ماتریس تبادل که جریان‌های آب را داخل سیستم اقتصادی محاسبه می‌کند .تمام جریان‌ها در جدول‌ها در واحدهای فیزیکی و بر اساس گروه‌های فعالیت -منظور سیستم‌های اقتصادی و زیست محیطی - ارائه

1. Ecosystem condition account
2. Ecosystem services physical and monetary flow account

شده‌اند .برای نشان دادن تعاریف مصرف و تأمین آب در SEEA-Waterیک مدل مفهومی در شکل ۴ ارائه شده است که بر اساس آن، زیربخش تأمین آب(W-supply)، آب را از محیط زیست (Environm) برداشت کرده و در اختیار زیربخش کشاورزی (Agriculture) قرار می‌دهد .از آنجا که زیربخش تأمین آب یک فعالیت غیرمصرفی است، کل آب مصرفی برابر است با مجموع نشت آب ($Leakages_{agr}$) محاسبه‌شده همراه با سیستم انتقال ($dist.\ Losses_{w\text{-}supply}$) به اضافهٔ آبی که به طور مؤثر به زیربخش تقاضای کشاورزی عرضه می‌شود .($Supply_{w\text{-}supply}$) در عین حال، زیربخش کشاورزی آب را نیز از محیط زیست برداشت می‌کند، که درنهایت مجموع آب مصرف‌شده توسط آند برابر خواهد بود با مجموع آب مصرفی به عنوان تبخیر و تعرق ($consumption_{agr}$) به اضافه نشت آب در سیستم آبیاری در مقیاس مزرعه ($Leakages_{agr}$) است .هر دو، تلفات توزیع از گره تأمین آب و نشت در مزرعه از زیربخش کشاورزی، کل جریان‌هایی را تشکیل می‌دهند که سیستم اقتصادی به محیط زیست باز می‌گرداند [۹].



شکل ۴. شمایی از پارامترهای مؤثر در محاسبهٔ جدول‌های تأمین و عرضهٔ فیزیکی آب در روش حسابداری SEEA-Water

جدول ۲ نمونه‌ای از جدول تأمین فیزیکی آب از جدول‌های PSUTs تأییدشده توسط سازمان ملل را به تصویر می‌کشد .مطابق این جدول، نکتهٔ مهم در چارچوب SEEA-Water، تمایزی است که بین گروهی از فعالیت‌هایی که با تأمین آب (بخشW-supply) انجام می‌شوند با فعالیت‌هایی که بیشتر بر جمع‌آوری، تصفیه و بازیابی فاضلاب متمرکز هستند (بخشW-sanitation) ایجاد می‌شود.

- مصرف آب (Water use) مجموع آبی است که یک فعالیت اقتصادی از محیط زیست یا سایر فعالیت‌های اقتصادی دریافت می‌کند.
- تأمین آب (Water supply) به مجموع خروجی‌هایی گفته می‌شود که یک فعالیت اقتصادی ایجاد می‌کند، که شامل آبی است که به یک فعالیت اقتصادی دیگر عرضه می‌شود و تا زمانی که آب به‌راستی توسط مصرف‌کنندهٔ نهایی دریافت نشود، تلف می‌شود.

توجه به این نکته مهم است که در ساختار SEEA-Waterتمام تلفات نشت‌های محاسبه‌شده در طول شبکه‌های توزیع به فعالیت اقتصادی که آب را تأمین می‌کند، نسبت داده می‌شود .بنابراین، مفهوم مصرف آب دربرگیرنده الف) آبی که طی یک فعالیت اقتصادی استفاده می‌شود تا محصول نهایی حاصل شود و ب) آبی که در این فرایند تلف می‌شود به عنوان مثال :تبخیر یا تعرق، تلفات نشت و تلفات بهره‌برداری در یک شبکهٔ آبیاری .

- برای جریان‌های مربوط به محیط زیست، جدول‌های PSUT مشخص‌کنندهٔ مصرف‌کنندهٔ نهایی آب (آبیاری، معدن، توزیع، و غیره) و نیز منشأ تأمین) آب‌های سطحی، زیرزمینی، رطوبت خاک و غیره) هستند.
- برای جریان‌های درون بخش اقتصادی، جدول‌های PSUTگزارش‌دهندهٔ نوع و منشأ آب تأمین‌شده (آب تصفیه‌شده/پساب فاضلاب، نمک‌زدایی و غیره) هستند.

در این میان، باید به مفهوم رطوبت خاک توجه ویژه‌ای شود .در واقع، این اصطلاح بـه آب ذخیـره‌شـده در ناحیـهٔ ریشهٔ خاک اشاره دارد که می‌تواند از طریق تبخیـر و تعـرق به اتمسفر رها شود .دقت شود که این مفهوم با آب آبیاری مطابقت نداشته و مبتنی بر محاسبهٔ باران مؤثر در منطقـهٔ مورد مطالعه است .در بسیاری از تحقیقات این ذخایر آب را «آب سبز «معرفی کرده‌اند. دقت شود که بـرای کشـاورزی آبیاری،» رطوبت خـاک «جـزء مهمـی از حسـاب‌هـای آب، البته در ردهٔ دوم و بعد از» آب آبیاری «به حساب می‌آید .

جدول ۲. جدول تأمین فیزیکی آب روش حسابداری آب SEEA-Water

B. Physical supply table (physical units)	Industries (by ISIC category)						Total	From other reference units	Households
	Agriculture 1-3	Industry 5-33/41-43	Energy 35	W-Supply 36	W-Sanitation 37	Total Services 38,39/45-99			
4. Supply of water to other economic units of which:									
Within the economy: 4.i. goes to Agriculture									
Within the economy: 4.ii. Goes to Manufacture Industry									
Within the economy: 4.iv. Goes to Services									
Within the economy: 4.v. goes to Households									
4.a. Reused water									
4.b. Wastewater to sewerage									
4.c. Desalinated water									
5. Total returnes (= 5.a + 5.b)									
Into the environment: *Hydroelectric power generation*									
Into the environment: *Irrigation water*									
Into the environment: *Mine water*									
Into the environment: *Urban runoff*									
Into the environment: *Cooling water*									
Into the environment: *Losses in distribution because of leakages*									
Into the environment: *Treated wastewater*									
Into the environment: *Other (Losses in distribution not because of leakages)*									
5.a. To inland water resources									
5.a.1. Surface water									
5.a.2. Groundwater									
5.a.3. Soil water									
5.b. To other sources (e.g. sea water)									
6. Total supply of water (= 4 + 5)									
7. Water consumption (= 3 - 6) of which									

شبیه‌سازی هیدرولیکی توزیع و تحویـل آب سـطحی در سیستم کانال‌های آبیاری

به منظور تعیین سهم آب سطحی در تأمین نیاز آب آبیاری واحدهای کشاورزی در شبکه آبیاری آبشار، لازم اسـت کـه شبیه‌سازی هیدرولیک جریان در کانال‌های اصلی و فرعـی شبکه انجام گیرد .در این تحقیق از مدل ریاضی انتگرالـی‌ـ تأخیری (ID) [4]برای شـبیه‌سـازی جریـان در کانـال اصـلی سیستم توزیع آب استفاده شد [۱۲ـ ۱۴]. در مدل یادشده، هر بازهٔ کانال اصلی سیستم توزیع آب به دو بخش، شـامل iبخش جریان یکنواخت و -ii بخش منحنی برگشـت آب است .هر بخش یک مشخصهٔ اصلی دارد که از مجموع ایـن دو، مدل انتگرالی‌ـ تـأخیری بـه دسـت مـی‌آیـد. ایـن دو مشخصهٔ اصلی در هر بازه کانال عبارت‌انـد از: زمـان تـأخیر (τ) و سطح ذخیره .(A_s) در بخش اول (جریان یکنواخت) فرض می‌شود که موج جریان ورودی جریان فقط به سمت پـایین‌دسـت منتقـل مـی‌شـود .هـر تغییـری در سـازه تنظیم‌کنندهٔ سطح آب بالادست منجر به تولیـد یـک مـوج می‌شود، این بخش از کانال فقط به عنوان گذار برای عبـور این موج عمل می‌کند .شایان یادآوری است که سرعت موج در یـک بـازه از کانـال بـا عمـق نرمـال، بـه سـرعت مـوج

سینماتیک نزدیک [۱۵]. زمان تأخیر ناشی از حرکت موج یادشده به بخش منحنی برگشت آب رسیده و موجب تغییر تراز سطح آب می‌شود. زمان تأخیر تنها پارامتری است که در بخش جریان یکنواخت، برای تشریح جریان، در نظر گرفته می‌شود .معادلهٔ حاکم بر این بخش به صورت رابطهٔ ۱ ارائه می‌شود:

$$q_{canal}(t) = q_{in}(t-\tau) \quad (۱)$$

که در آن q_{in}دبی ورودی به بخش یکنواخت جریان(m^3/s)، q_{canal}دبی ورودی به بخش ذخیره(m^3/s)، tزمان (sec)و τ زمان تأخیر (sec) است .بخش منحنی برگشت آب) بخش دوم (مانند یک مخزن عمل می‌کند و بخش انتگرالی مدل را شامل می‌شود .تغییرات مساحت سطح افقی آب در ترازهای مختلف مخزن (A_s) براساس دبی‌های ورودی و خروجی از بازه کانال به صورت رابطهٔ ۲، در حوزهٔ زمان و حوزهٔ فرکانس، قابل بیان است:

$$\begin{aligned} &A_s \cdot \frac{dh(t)}{dt} = q_{canal}(t) - q_{out}(t) \\ &A_s \cdot s \cdot h(s) = q_{canal}(s) - q_{out}(s) \\ &\Leftrightarrow h(s) = \frac{1}{A_s \cdot s} \cdot \left[q_{canal}(s) - q_{out}(s)\right] \end{aligned} \quad (۲)$$

که در آن A_sمساحت سطح ذخیره(m^2)، hعمق آب و (m)، q_{out} دبی خروجی از بخش منحنی برگشت آب (m^3/s)است .برای یک بازه از کانال که شامل بخش جریان یکنواخت و بخش منحنی برگشت آب است، مدل کاملی از تلفیق معادلات ارائه‌شده در بخش‌های قبلی به دست می‌آید .

ارزیابی توزیع آب سطحی توسط مدل‌های بهره‌برداری توسعه‌داده‌شده این پژوهش توسط شاخص ارزیابی عملکرد »کفایت توزیع آب سطحی «انجام شد. شاخص‌های کفایت و پایداری به صورت رابطهٔ ۳ تعریف می‌شود [۱۶]:

$$PA = \frac{1}{T}\sum_{T}\left[\frac{1}{R}\sum_{R}\left(\frac{Q_D}{Q_R}\right)\right], \quad (۳)$$

که در آن PA شاخص کفایت توزیع آب (درصد)، T مدت‌زمان بهره‌برداری (s)، Rتعداد کل آبگیری‌های واقع در کانال اصلی، QD دبی تحویلی به هر آبگیر (m^3/s) و QR دبی تقاضای آب کشاورزی (m^3/s) است.

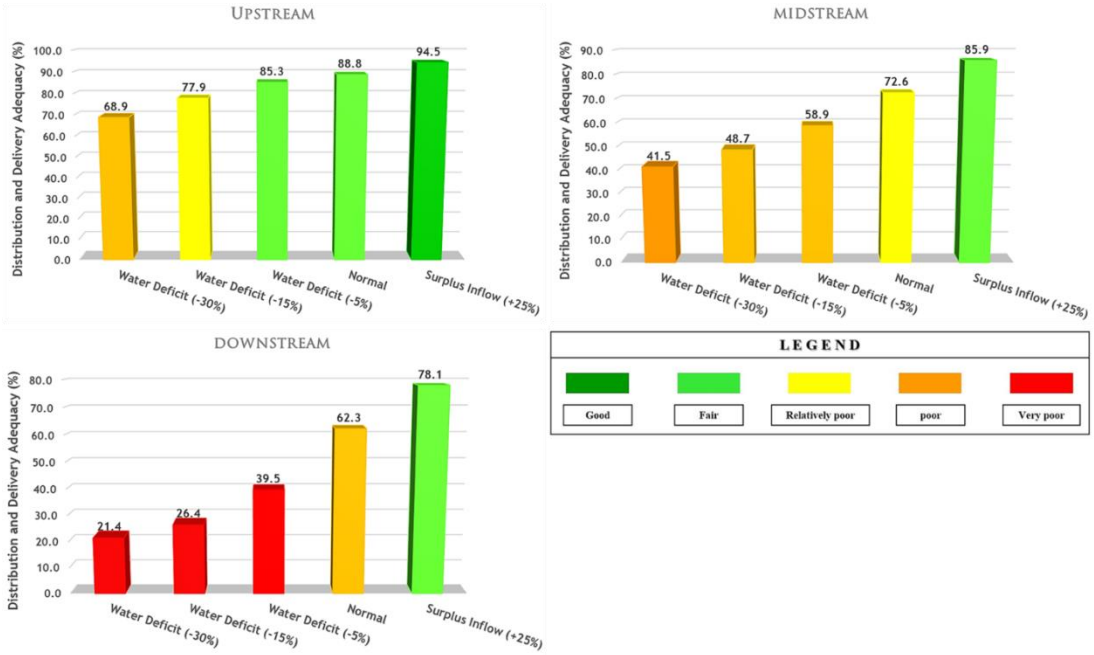
نتایج و بحث

شبیه‌سازی تحویل و توزیع آب سطحی در شبکهٔ آبیاری آبشار

به منظور واسنجی و صحت‌سنجی مدل ریاضی بهره‌برداری سامانهٔ انتقال و توزیع شبکهٔ آبشار با استفاده از شبیه‌ساز هیدرولیک جریان توسعه‌داده‌شده در این تحقیق، شاخص‌های آماریRMSE ، CRM و MAE محاسبه شد و مورد ارزیابی قرار گرفت .این ارزیابی بر اساس شبیه‌سازی دورهٔ بهره‌برداری ۱۵۰روزه‌ای صورت گرفت که داده‌های بهره‌برداری، شامل دبی ورودی به کانال اصلی و دبی تحویلی به آبگیرها در طول کانال اصلی، در سطح کانال مورد مطالعه اندازه‌گیری شده بود. بر این اساس، ۷۵ روز از این ۱۵۰ روز برای واسنجی و ۷۵ روز برای صحت‌سنجی استفاده شد. همان‌طور که پیش‌تر گفته شد، واسنجی مدل به صورت آزمون و خطای دبی تحویلی به هر سازهٔ آبگیر واقع در کانال اصلی آبشار انجام شد. نتایج واسنجی نشان داد MAE، برای دورهٔ واسنجی برابر ۸۷/۰ و برای دورهٔ صحت‌سنجی۲۳ 1/متر مکعب بر ثانیه است . مقدار بهینهٔ این شاخص برابر صفر است، با توجه به اینکه مقادیر یادشده به مقدار بهینه نزدیک هستند، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مدل دقت مناسبی ارائه می‌کند. شاخصCRM ، برای دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی، به‌ترتیب برابر -002/0 و -007/0 هستند، با توجه به اینکه بهترین میزان برای CRM صفر است، مقادیر کم این شاخص بیانگر دقت قابل قبول مدل در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی است. درنهایت، میزان شاخصRMSE ، برای دورهٔ واسنجی برابر 91/0و برای دورهٔ صحت‌سنجی 09/1 متر مکعب بر ثانیه به دست آمدند .

به منظور بررسی وضعیت توزیع آب سطحی در سامانهٔ انتقال و توزیع در شبکهٔ آبیاری آبشار، شبیه‌سازی بهره‌برداری وضع موجود به تفکیک هر کدام از کانال‌های اصلی (شاخهٔ شمالی (راست) و شاخهٔ جنوبی (چپ)) و فرعی توسط مدل کالیبره‌شده، انجام گرفت و نتایج استخراج شدند .شرح نتایج ارزیابی تحویل و توزیع آب سطحی به صورت نقطه‌ای (به تفکیک هر سازهٔ آبگیر(، منطقه‌ای (در سه ناحیهٔ بالادست، میان‌دست و پایین‌دست) وکلی (منظور کل آبگیرهای واقع در امتداد هرکانال) با بهره‌گیری از شاخص کفایت تحویل و توزیع آب و به ازای

سناریوهای مختلف بهره‌برداری در [۱۷] ارائه شده است. لازم به توضیح است که منظور از سناریوی بهره‌برداری در این تحقیق، الگوی تغییرات میزان دبی ورودی به کانال اصلی چپ و راست شبکهٔ آبیاری رودشت در محل بند انحرافی است. با توجه به مشخص بودن ۱) مقادیر حق‌آبهٔ آب کشاورزی در محل در آبگیر واقع در کانال‌های درجهٔ ۱ و درجهٔ ۲؛ ۲) تقاضای آب کشاورزی طی فصل کشت - با فرض نزدیک به واقعیت الگوی کشت تقریباً ثابت در تمام مزارع؛ ۳) میزان راندمان‌های توزیع و تحویل آب در کانال‌های آبیاری، بنابراین رابطهٔ مشخصی بین میزان دبی منحرف‌شده به هر کانال اصلی در محل بند انحرافی و نیز مجموع تقاضا وجود دارد .در روزهایی که میزان دبی انحرافی به کانال اصلی مطابقت با مقدار تقاضا داشته باشد سناریوی بهره‌برداری نرمال خواهد بود و درمقابل با کاهش میزان دبی منحرف شده به کانال اصلی سناریوهای کمبود آب در بهره‌برداری روزانهٔ شبکه در نظر گرفته می‌شود. لازم به توضیح است که رابطهٔ مشخصی بین کاهش/افزایش میزان ساعت‌های کارکرد ایستگاه‌های پمپاژ مزارع با میزان کمبود آب در سناریوی بهره‌برداری روزانه وجود ندارد و همین امر سبب سردرگمی در برآورد دقیق تأمین آب کشاورزی از منبع آب سطحی و زیرزمینی شده است. این مورد در بسیاری از کشاورزان واقع در پایین‌دست شبکه به‌وضوح دیده می‌شود که به دلیل عدم اطمینان به سامانهٔ توزیع آب سطحی، تغییری در ساعت‌های کارکرد روزانهٔ پمپ مزرعه نداده‌اند .بنابراین در چنین شرایطی، پیاده‌سازی هر استراتژی مدیریتی در جهت کاهش برداشت آب زیرزمینی - در قالب طرح‌های تعادل بخشی آبخوان - نیازمند یک نقشهٔ راه مشخص و دقیق از چگونگی تأمین تقاضای کشاورزی از منبع آب سطحی در تک‌تک مزارع واقع در شبکهٔ آبیاری است .خلاصهٔ نتایج این بخش در شکل ۵ ارائه شده است که بیانگر الگوی روند نزولی کفایت تحویل آب از آبگیرهای بالادست تا آبگیرهای پایین‌دست شبکه، از سناریوی نرمال تا شرایط کم‌آبی است.

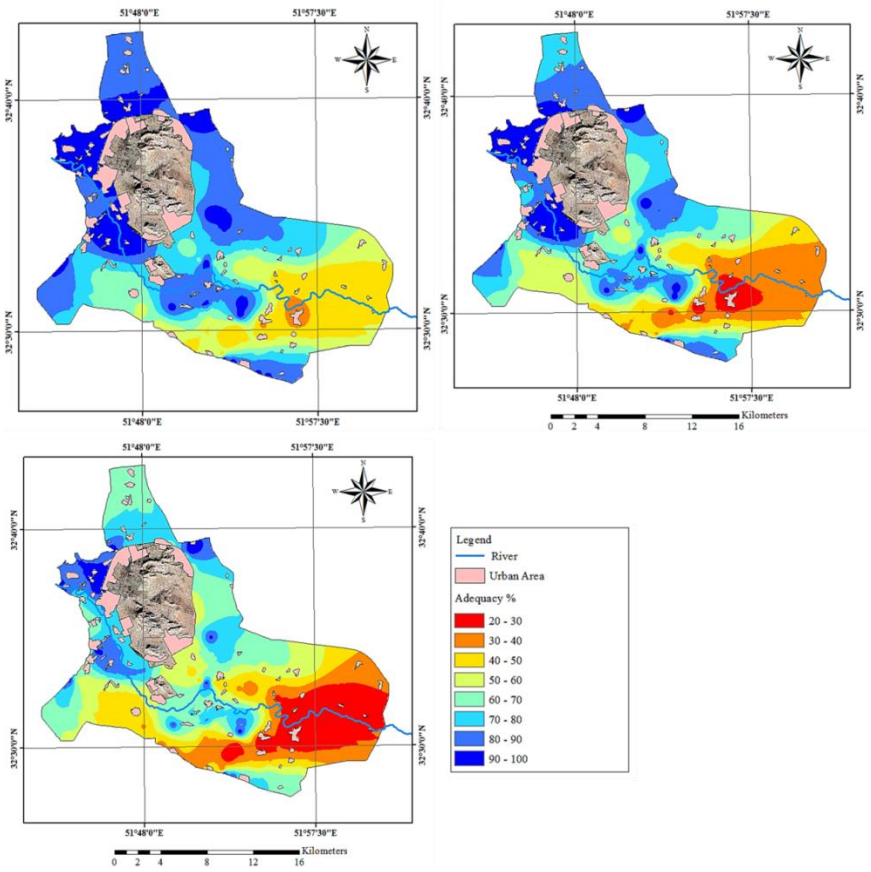


شکل ۵. خلاصه‌ای از نتایج شبیه‌سازی و ارزیابی عملکرد سیستم توزیع آب سطحی در شبکهٔ آبیاری آبشار به تفکیک بالادست، میان‌دست و پایین‌دست شبکه

نتایج تحلیل مکانی در محدودهٔ شبکهٔ آبیاری، به عنوان ورودی اصلی محاسبات جدول‌های PSUT در ساختار SEEA-Waterتوسعه‌داده‌شده در این پژوهش استفاده شده است. این نتایج پراکندگی مکانی/زمانی نحوهٔ تأمین آب سطحی به محدوده‌های اقتصادی (منظور محدوده‌های کشاورزی مختلف در سطح شبکهٔ آبیاری که از دیدگاه SEEA-Waterبه عنوان یک زیربخش اقتصادی تلقی می‌شود) را به صورت دقیق مشخص می‌کند .در ادامه برای

محاسبهٔ دقیق سهم آب زیرزمینی در تأمین آب زیربخش‌های اقتصادی یادشده، از اطلاعات چاه‌های بهره‌برداری - اطلاعات یادشده از شرکت آب منطقه‌ای اصفهان اخذ شد - واقع در محدودهٔ شبکهٔ آبیاری آبشار استفاده شد. روش کار برای محاسبهٔ میزان آب زیرزمینی برداشت‌شده در محدودهٔ شبکهٔ آبیاری به این صورت بود که با مقایسهٔ لایهٔ واحد زارعی درجهٔ ۲ و درجهٔ ۳ با لایهٔ چاه‌ها در نرم‌افزار GIS ، چاه‌های واقع در هر محدودهٔ آبیاری مشخص شد و میزان کلی برداشت آب زیرزمینی به تفکیک زیربخش‌های اقتصادی مشخص شد.

نتایج این تحلیل مکانی در شکل ۶ و برای سه سناریوی بهره‌برداری نرمال، کم‌آبی ۵ و ۱۵ درصد ارائه شده است . همان‌طور که در شکل ۶ قابل رؤیت است، روند توزیع آب سطحی در بخش‌های بالادست کانال‌های اصلی و نیز آبگیرهای واقع در بالادست هر کانال اصلی و فرعی که موقعیت نزدیک‌تری به بند انحرافی دارند، در شرایط سناریوی بهره‌برداری نرمال مناسب ولی در سایر مناطق غیر قابل اعتماد است .شبیه‌سازی بهره‌برداری روزانهٔ کانال‌های اصلی و فرعی شبکه با استفاده از مدل‌های شبیه‌ساز هیدرولیکی این امکان را برای مدیران بهره‌برداری فراهم می‌کند که میزان مطلوبیت توزیع و تحویل آب (تأمین‌شده از منبع آب سطحی و منحرف‌شده در محل بند انحرافی) در محل هر یک از آبگیرها را با بهره‌گیری از شاخص کفایت توزیع آب در اشل زمانی ساعتی/روزانه مشخص کنند .بنابراین مدل شبیه‌ساز هیدرولیک جریان می‌تواند به عنوان یک سیستم پشتیبان تصمیم برای ارتقای برنامهٔ روزانهٔ بهره‌برداری دستی کانال‌های اصلی/فرعی مورد استفاده قرار گیرد. اضافه کردن تحلیل مکانی توزیع کفایت اب سطحی در سطح شبکه (شکل ۶) این امکان را به شرکت آب منطقه‌ای می‌دهد تا فرایند تمدید جواز پمپ‌های کشاورزی موجود و نیز صدور جواز جدید چاه بهره‌برداری جدید را با آگاهی از میزان تأمین تقاضای کشاورزی از آب سطحی انجام دهند.



شکل ۶. نتایج پهنه‌بندی توزیع آب سطحی در محدودهٔ شبکه در سه سناریوی بهره‌برداری نرمال و کم‌آبی ۵ و ۱۵ درصد

جدول تأمین فیزیکی آب بومی‌شده از سری جداول PSUTروش حسابداری SEEA-Water

همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، در این پژوهش تلاش شد تا با بازتعریف المان‌های مختلف جدول‌های PSUT ، چیدمان جدول تغییر نکرده و فقط اجزای مختلف هر جدول بر اساس محدودهٔ مطالعاتی هدف این تحقیق - شبکهٔ آبیاری و زهکشی آبشار - بازتعریف شود .بر این اساس و همان طور که در جدول ۳ ارائه شده است تأمین فیزیکی به دو بخش تقسیم می‌شود :بخش اول جریان‌های آب در اقتصاد را توصیف می‌کند، مانند توزیع آب از یک صنعت به صنعت دیگر یا بین خانوارها. بخش دوم جریان‌هایی را که از اقتصاد به محیط زیست وارد می‌شود، مانند تخلیهٔ آب به محیط زیست توصیف می‌کند .بر این اساس اجزای بومی‌سازی‌شدهٔ جدول ۳ به شرح ذیل و با هدف پیاده‌سازی ساختار حسابداری آب در یک شبکهٔ آبیاری و زهکشی، تشریح می‌شود .مطابق آنچه در جدول ۳ ارائه شده است، بخش‌هایی از جدول تأمین فیزیکی آب در ساختار SEEA-Water که قابلیت اندازه‌گیری و تکمیل اطلاعات آن در مقیاس یک شبکهٔ آبیاری و زهکشی قابل حصول است به شرح ذیل است :

-در قسمت تأمین آب برای سایر واحدهای اقتصادی (4. Supply of water to other economic units of which) زیربخش اقتصادی (Within the economy):

- بخش کشاورزی :(goes to Agriculture) قابل استفاده و محاسبه در شبکه‌های آبیاری ایران
- بخش شهرک‌های صنعتی(Goes to Manufacture Industry):قابل اندازه‌گیری و استفاده در مقیاس شبکهٔ آبیاری نیست، ولی در ساختار SEEA-Water که در مقیاس حوضهٔ آبریز توسعه داده شده باشد، قابل استفاده است.
- بخش مصارف خانگی :(goes to Households) قابل اندازه‌گیری و استفاده در مقیاس شبکهٔ آبیاری نیست، ولی در ساختار SEEA-Water که در مقیاس حوضهٔ آبریز توسعه داده شده باشد، قابل استفاده است.
- بخش تصفیه‌شدهٔ خانگی :(Reused water) قابل اندازه‌گیری و استفاده در مقیاس شبکهٔ آبیاری نیست، ولی در ساختار SEEA-Water که در مقیاس حوضهٔ آبریز توسعه داده شده باشد، قابل استفاده است.
- پساب فاضلاب :(Wastewater to sewerage) در آن دسته از شبکه‌های آبیاری قابل استفاده است که یکی از سیستم‌های تأمین آب آن پساب تصفیه شده باشد.
- آب نمک‌زدایی‌شده :(Desalinated water) غیر قابل استفاده در شبکه‌های آبیاری ایران

-در قسمت آب رهاشده به بخش محیط زیست (Into the environment) در زیربخش مجموع آب برگشتی (5. Total returns):

- تولید برق‌آبی: (Hydroelectricity power generation)قابل محاسبه و اندازه‌گیری در شبکه‌های آبیاری که یا نیروگاه‌های کوچک‌مقیاس برق‌آبی در مسیر خود دارند یا دارای ژنراتورهای درون‌مسیری هستند .
- در زیربخش آب آبیاری: (irrigation water) در همهٔ شبکه‌های آبیاری قابل حصول است .
- در زیربخش آب مورد استفاده در معادن (Mine water):قابل اندازه‌گیری و استفاده در مقیاس شبکهٔ آبیاری نیست، ولی در ساختار SEEA-Water که در مقیاس حوضهٔ آبریز توسعه داده شده باشد، قابل استفاده است.
- در زیربخش رواناب شهری: (Urban runoff) قابل اندازه‌گیری و استفاده در مقیاس شبکهٔ آبیاری نیست، ولی در ساختار SEEA-Water که در مقیاس حوضهٔ آبریز توسعه داده شده باشد، قابل استفاده است.
- در زیربخش مصارف آب برای خنک‌سازی صنعتی: (Cooling water)قابل اندازه‌گیری و استفاده در مقیاس شبکهٔ آبیاری نیست، ولی در ساختار SEEA-Waterکه در مقیاس حوضهٔ آبریز توسعه داده شده باشد، قابل استفاده است.
- تلفات آب ناشی از نشت در مسیر سیستم انتقال آب: (Losses in distribution because of leakages) قابل محاسبه و اندازه‌گیری در همهٔ شبکه‌های آبیاری

- پساب فاضلاب تصفیه‌شده: (Treated wastewater) در آن دسته از شبکه‌های آبیاری قابل استفاده است که یکی از سیستم‌های تأمین آب آن پساب تصفیه شده باشد
- در زیربخش سایر مصارف: (Other) آن دسته از شبکه‌های آبیاری که کشاورزان علاوه بر زراعت اقدام به پرورش ماهی، دامداری و... می‌کنند.

زیربخش آب برگشتی به منابع آب داخل حوضه (To inland water resources):

- در زیربخش آب سطحی: (Surface water) در همهٔ شبکه‌های آبیاری و زهکشی به شرطی قابل حصول است که میزان آب زهکش‌ها قابل اندازه‌گیری باشد، یا مقادیر آن توسط مدل‌های شبیه‌ساز تخمین زده شده باشد.
- در زیربخش آب زیرزمینی: (Groundwater) در بیشتر شبکه‌های آبیاری قابل حصول است به شرط وجود مدل‌های شبیه‌ساز) مدل‌های شبیه‌ساز آب زیرزمینی) و آمار اطلاعات اندازه‌گیری‌شده نفوذ آب به آبخوان
- در زیربخش رطوبت خاک: (Soil Water) در بیشتر شبکه‌های آبیاری قابل حصول است به شرط وجود مدل‌های شبیه‌ساز (مدل‌های شبیه‌ساز آب زهکشی‌شده از سطح مزرعه) و آمار اطلاعات اندازه‌گیری‌شده نفوذ آب به لایه‌های میانی زیر مزرعه
- در زیربخش سایر منابع: (other sources) بیشتر در شبکه‌های آبیاری ایران مورد خاصی در این زمینه گزارش نشده است.

- **در بخش درون واحدهای اقتصادی (Within the economy) -ستون جدول (۳):**
  - ✓ **تأمین آب برای سایر بخش‌های اقتصادی (4. Supply of water to other economic units of which):** منظور از تأمین آب سایر واحدهای اقتصادی، میزان آبی است که توسط یک واحد اقتصادی به واحد دیگر تأمین می‌شود .عرضهٔ آب بدون تلفات در توزیع ثبت می‌شود .عرضه به سایر واحدهای اقتصادی عموماً از طریق شبکهٔ اصلی انجام می‌شود، اما می‌تواند از طریق کانال‌ها یا لوله) عموماً در یک شبکهٔ آبیاری(، کامیون‌ها و وسایل دیگر نیز انجام شود . بسته به تک‌هدفه بودن یا چندهدفه بودن بهره‌برداری کانال اصلی شبکهٔ آبیاری، می‌توان اطلاعات مورد نظر برخی آیتم‌ها را اندازه‌گیری و ثبت کرد .به عنوان مثال، اگر کانال اصلی علاوه بر انتقال و توزیع آب آبیاری، وظیفهٔ انتقال آب شرب روستا، شهرک صنعتی کوچک، مصرف خدمات شهری و فضای سبز و تأمین آب استخرهای پرورش ماهی یا صنایع غذایی واقع در محدودهٔ شبکهٔ آبیاری را داشته باشد، اندازه‌گیری میزان آب مبادله‌شده بین این اجزا با کانال اصلی قابل محاسبه است.

- **در بخش محیط زیست (into the Environment) - ستون جدول(۳):**
  - ✓ **تلفات ناشی از نشت آب در سیستم انتقال و توزیع آب آبیاری (Losses in distribution because of leakages):** اطلاعات مرتبط با این آیتم - در ساختار حسابداری آب در یک شبکهٔ آبیاری و زهکشی - به دو صورت قابل اندازه‌گیری یا استحصال است: ۱ (اندازه‌گیری‌های میدانی و محاسبهٔ نشت بر اساس فرمول‌های تجربی؛ (2شبیه‌سازی میزان نشت از کانال‌های توزیع و انتقال آب آبیاری با استفاده از روش‌ها/مدل‌های عددی تخمین نشت
  - ✓ **سایر :(Other)** در این قسمت می‌توان به تلفات آب در کانال‌های اصلی (درجهٔ ۱ و درجهٔ ۲) و کانال‌های فرعی (کانال‌های درجهٔ ۳ و درجهٔ ۴) اشاره کرد که منشأ آن می‌تواند ۱. روش‌های سنتی بهره‌برداری و به‌خصوص روش بهربرداری بالادست که در آن گاهی از سازه‌های تنظیم سطح آب خودکار هیدرولیکی - مانند سازه‌های تنظیم سطح آب آمیل که در اغلب

شبکه‌های آبیاری کشور ایران دیده می‌شود -استفاده می‌شود؛ ۲. بهره‌برداری نادرست، سنتی و مبتنی بر دانش کم (هیدرولیک و بهره‌برداری) آب‌بران و تیم‌های بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری، باشد. مانند آیتم پیشین، محاسبهٔ این حجم از تلفات به دو شیوه قابل محاسبه است: ۱. پیاده‌سازی ایستگاه‌های اندازه‌گیری مجهز به سنسورهای الکترونیکی پارامترهای هیدرولیکی جریان - سرعت و عمق جریان -که قار به اندازه‌گیری و مخابرهٔ اطلاعات به صورت لحظه‌ای هستند .این ایستگاه‌های اندازه‌گیری باید در نقاط کلان تحویل در یک شبکهٔ آبیاری (مانند ورودی اصلی به شبکهٔ اصلی و ابتدای کانال‌های درجهٔ ۲ و درجهٔ ۳) و نیز تمام خروجی‌های ممکن (انتهای کانال‌ها و قبل و بعد از سازه‌های تقاطعی با زهکش‌های اصلی و فرعی و سازه‌های هیدرولیکی حفاظتی در طول مسیر کانال) به‌خصوص سرریزهای جانبی در محل تقاطع کانال‌های آبیاری و زهکش‌ها) نصب شود؛۲. بهره‌گیری از مدل‌های شبیه‌ساز هیدرودینامیک جریان که قابلیت شبیه‌سازی پارامترهای هیدرولیک جریان در کانال‌های آبیاری را دارند .این مدل‌ها می‌توانند مدل‌های شبیه‌ساز عددی (مانند HEC-RAS; SOBEK, CANALMAN, SWMM)و یا مدل‌های ریاضی ساده‌شده (که بیشتر یا مبتنی بر روش‌های روندیابی جریان هستند یا با ساده‌سازی معادلات سنت ونانت حاصل شده‌اند) باشند .

لازم به توضیح است که علاوه بر ارائهٔ نسخهٔ بومی‌شده جدول تأمین فیزیکی آب مورد استفاده در شبکه‌های آبیاری و زهکشی در جدول ۳ مقادیر محاسبه‌شده برای منطقهٔ مورد مطالعه این تحقیق ارائه شده است .با توجه به اینکه هدف اصلی از به‌کارگیری روش‌های حسابداری آب، ارتقای نحوهٔ مدیریت اطلاعات و داده‌ها برای بهبود قدرت تصمیم‌گیری مدیران و تصمیم‌گیران است، ارائهٔ میزان آب تأمین‌شده به تفکیک محصولات و به تفکیک منابع آب سطحی، زیرزمینی و رطوبت خاک می‌تواند به عنوان یکی از المان‌های مؤثر در ارتقای مدیریت آب کشاورزی منجر شود.

نتیجه‌گیری

از آنجا که سیستم‌های حسابداری آب به عنوان یکی از ابزارهای مهم پیاده‌سازی مفهوم مدیریت یکپارچهٔ منابع آب به شمار می‌رود، بهره‌مندی از پتانسیل سیستم یادشده (جمع‌آوری، طبقه‌بندی، ثبت و گزارش‌دهی داده‌ها و اطلاعات کمی و کیفی) سازوکاری را فراهم می‌آورد که متولیان و مدیران منابع آب بتوانند با آگاهی کامل از وضعیت موجود، تصمیم‌ها و راهبردهای سیاستی خود را در بخش آب اتخاذ کنند و از شاخص‌های به‌دست‌آمده از آن، مسائل و مشکلات بین بخشی منابع آب (اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی) در مناطق مختلف را به صورت کارا و بهینه مدیریت کنند .به این منظور، پژوهش حاضر برای اولین‌بار در ایران، اقدام به ارائهٔ یک روش سیستمیک برای تدقیق سهم آب سطحی و زیرزمینی در پیاده‌سازی روش حسابداری آب اقتصادی- زیست‌محیطی در محدودهٔ یک شبکه آبیاری کرد .لازم به توضیح است که این مقاله گام اول در اصلاح/بومی‌سازی سیستم حسابداری آب SEEA-Waterقابل استفاده برای یک واحد مدیریت آب کشاورزی کوچک‌مقیاس است .دلیل انتخاب محدودهٔ مدیریتی در اشل شبکهٔ آبیاری و زهکشی، علاوه بر توصیهٔ توسعه‌دهندگان این روش حسابداری آب در انتخاب محدوده‌های مدیریتی کوچک‌تر به منظور کاهش عدم قطعیت مرتبط با داده‌ها و اطلاعات جمع‌آوری‌شده، محاسبه‌شده و یا شبیه‌سازی‌شده، به عملکرد ضعیف و دور از انتظار شبکه‌های آبیاری در کشور و ضرورت بهبود عملکرد بهره‌برداری آن‌ها در راستای افزایش بهره‌وری آب محسوب می‌شود .بنابراین برای تکمیل فرایند اصلاح/بومی‌سازی سیستم حسابداری آب SEEA-Water قابل استفاده در یک شبکهٔ آبیاری لازم است که در ادامه این تحقیق، با بهره‌گیری از مدل‌های اقتصاد کشاورزی اقدام به اصلاح/بومی‌سازی جدول‌های اقتصادی و هیبرید سیستم حسابداری آب SEEA-Water کرد .

جدول ۳. جدول بومی‌شدهٔ تأمین فیزیکی آب از سری جدول‌های PSUTs روش حسابداری SEEA-Water به تفکیک محصولات غالب الگوی کشت در شبکهٔ آبیاری آبشار

B. Physical supply table (physical units)		Agriculture 1-3							Total
		Wheat	Melon	Squash	Onion	Beans	Clover	Gardens	
Cropping Pattern Cultivated Area (ha)		9240	277	462	2310	1925	327	970	15511
Cropping Patern Cultivated Area Density (%)		59.5706	1.7858	2.9785	14.8927	12.4105	2.1082	6.2536	100
4. Supply of water to other economic units of which:		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Within the economy	4.i. goes to Agriculture 4.ii. Goes to Manufacture Industry 4.iv. Goes to Services 4.v. goes to Households								
	4.a. Reused water 4.b. Wastewater to sewerage *(Drainage Canals (MCM)) - Drained to Econ.* 4.c. Desalinated water	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5. Total returnes (= 5.a + 5.b)		20.9806	0.6290	1.0490	5.2451	4.3710	0.7425	2.2025	35.2197
Into the environment	*Hydroelectric power generation*								
	Irrigation water	20.9806	0.628963761	1.049029811	5.245149056	4.370957546	0.742495126	2.202508478	35.2197
	Mine water *Urban runoff* *Cooling water*								
	Losses in distribution because of leakages (MCM)	3.878047837	0.116257495	0.193902392	0.969511959	0.807926633	0.137242602	0.407111082	6.5100
	Treated wastewater								
	***Other** (Losses in distribution not because of leakages)* *Operational Losses (MCM) - Drained to ENV.*	10.5467	0.3162	0.5273	2.6367	2.1972	0.3732	1.1072	17.7045
	5.a. To inland water resources	20.9806	0.6290	1.0490	5.2451	4.3710	0.7425	2.2025	35.2197
	5.a.1. Surface water (*Total Losses (MCM)*)	14.4247	0.4324	0.7212	3.6062	3.0052	0.5105	1.5143	24.2145
	5.a.2. Groundwater	1.6390	0.0491	0.0819	0.4097	0.3415	0.0580	0.1721	2.7513
	5.a.3. Soil water	4.9169	0.1474	0.2458	1.2292	1.0244	0.1740	0.5162	8.2539
	5.b. To other sources (e.g. sea water)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
6. Total supply of water (= 4 + 5) (MCM)		20.98060	0.62896	1.04903	5.24515	4.37096	0.74250	2.20251	35.219
7. Water consumption (= 3 - 6) of which (MCM)		49.8510	1.4944	2.4925	12.4627	10.3856	1.7642	5.2333	83.683

این پژوهش برای اولین‌بار اقدام به معرفی یک روش کاربردی به منظور تکمیل اطلاعات جدول تأمین فیزیکی (Physical Supply Table) روش حسابداریSEEA-Water در مقیاس یک شبکه آبیاری کرده و این روش قابلیت استفاده برای شبکه‌های آبیاری دیگر را دارد. روش ارائه‌شده مبتنی بر توسعهٔ یک مدل شبیه‌ساز هیدرولیک جریان در کانال‌های توزیع آب است تا بتواند مقدار آب تحویل‌داده‌شده در محل هر آبگیر درجهٔ ۲(نتایج شبیه‌سازی بهره‌داری کانال‌های درجهٔ ۱) و نیز آبگیرهای درجهٔ ۳ (نتایج شبیه‌سازی توزیع آب در کانال‌های فرعی درجهٔ ۲) را به صورت دقیق و در هر بازه زمانی مورد نظر تصمیم‌گیران محاسبه کند .نتایج یادشده در گام بعدی به عنوان ورودی تحلیل مکانی توزیع آب سطحی در نظر گرفته می‌شود تا با تطابق سطح زیرکشت هر یک از محصولات غالب در الگوی کشت، امکان برآورد دقیق سهم منابع آب سطحی و زیرزمینی را در تأمین آب آبیاری هر واحد زراعی فراهم آورد. در این ارتباط لازم به توضیح است که منابع تأمین آب در همهٔ شبکه‌های آبیاری مدرن ایران آب سطحی (از منبع آب سطحی و منحرف‌شده از محل بندهای انحرافی)، آب زیرزمینی (چاه‌های بهره‌برداری دارای مجوز)، تلفیق آب سطحی و زیرزمینی و در موارد معدودی مانند شبکهٔ آبیاری ورامین به صورت تلفیق آب سطحی و پساب تصفیه شده است .همچنین سیستم توزیع آب سطحی در همهٔ این شبکه‌های آبیاری مدرن نیز که کانال‌های روباز اصلی و فرعی هستند که امکان توسعهٔ مدل‌های شبیه‌ساز هیدرولیک جریان کانال‌های اصلی و فرعی در همهٔ این شبکه‌ها مقدور است. اطلاعات کامل چاه‌های بهره‌برداری (منبع آب زیرزمینی) واقع در هر شبکهٔ آبیاری نیز طی دوره‌های آماربرداری مشخص می‌شود و از طریق شرکت مدیریت منابع آب ایران نیز قابل دسترسی است. از طرف دیگر محصولات غالب الگوی کشت هر شبکهٔ آبیاری نیز طی آماربرداری‌های مختلف شرکت‌های تابعهٔ وزارت کشاورزی مشخص می‌شود و در سالنامه‌های آماری نیز در دسترس قرار گرفته شده است. بنابراین، با توجه به توضیحات یادشده، ادعای کاربردی بودن روش تحقیق معرفی‌شده برای سایر شبکه‌های آبیاری در سطح کشور قابل اثبات است .

بررسی نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق در جلسات

مختلف بـا متخصصـان امـر بهـره‌بـرداری، دفتـر امـور آب، بهره‌برداران محلی و شرکت بهره‌بـردار ایـن شـبکه آبیـاری نشان داد روش سیستمیک ارائه‌شـده در ایـن پـژوهش در راسـتای دسـتیابی بـه هـدف اصـلی ایـن تحقیـق (تهیـهٔ جدول‌های حسابداری آب بر اساس سهم هر یـک از منـابع آبی)، قابل ارائه به تفکیک روستاها/محصولات زراعی الگوی کشت /واحدهای زراعی درجهٔ ۳ و درجهٔ ۲ اسـت .از طـرف دیگر، با توجه به ایـن موضـوع کـه مـدیریت مشـارکتی در مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی یا سایر امور مدیریتی در این زمینه از جمله تعادل‌بخشی آبخوان‌ها، دارای اولویت بـالا بـرای متولیـان آب کشـور اسـت، بـه‌کـارگیری روش ارائه‌شده در این تحقیق به منظور تعیین سهم منابع آب به تفکیک واحدهای مدیریتی که منطبق بر واحدهای سیاسی بوده و مراجع تصمیم‌گیـر محلـی یـا منطقـه‌ای مشخصـی داشته باشد، بر اهمیت اجرای سریع‌تر و مؤثرتر این نوع امور مشارکتی می‌افزاید .محدودیت اصلی در انجام این تحقیـق عبارت بودند از: ۱) عدم مشارکت برخی از کشاورزان هدف در تأیید الگوی کشت و سهم محصولات غالب کشت که به عنوان پارامتر اصلی در محاسبهٔ تقاضـای آب کشـاورزی بـه کـار رفـت؛۲) همچنـین اجتنـاب از همکـاری گروهـی از کشاورزان در انجام مطابقت داده‌های برداشت آب زیرزمینی از چاه‌های بهره‌برداری) جمع‌آوری‌شده از شرکت بهره‌بـردار و آب منطقه‌ای (با میزان ساعت‌های کارکرد پمپاژ چاه‌های گروه هـدف داده‌بـرداری بودنـد .پیشـنهادهای ادامـهٔ ایـن تحقیق نیز می‌توان به به‌کارگیری مدل‌های گیاهی، به جای مدل نت وات، در تخمین دقیق‌تر آب مصرفی اشاره کرد .با توجه به اینکه میزان فروش محصول غالب گندم کشاورزان در دفاتر خرید دولتی ثبت شده و دسترسی به آن‌ها نیز بـا وجود زمان‌بر بودن، امکـان‌پـذیر اسـت، بنـابراین ایـن داده تقریباً مطمئن به همراه به‌کارگیری یک مدل ریاضی گیاهی (مانند اکواکراپ) واسنجی شده، امکان برآورد تقاضـای آب کشاورزی و نیز انطباق برخی داده‌های با عدم قطعیـت بـالا (از جمله سـهم سـطح زیـر کشـت محصول/محصـولات در الگوی کشت غالب) را امکان‌پذیر می‌کند.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

منابع

[1]. Karimi P, Bastiaanssen WGM, Molden D. Water Accounting Plus (WA+) - A water accounting procedure for complex river basins based on satellite measurements. Hydrol Earth Syst Sci 2013;17.

[2]. Hassani Y, Hashemy Shahdany SM, Maestre JM, Zahraie B, Ghorbani M, Hennebery SR, et al. An economic-operational framework for optimum agricultural water distribution in irrigation districts without water marketing. Agric Water Manag 2019;221.

[3]. Peranginangin N, Sakthivadivel R, Scott NR, Kendy E, Steenhuis TS. Water accounting for conjunctive groundwater/surface water management: Case of the Singkarak-Ombilin River basin, Indonesia. J Hydrol (Amst) 2004;292.

[4]. Momblanch A, Pedro-Monzonís M, Solera A, Andreu J. Water Accounting for Integrated Water Resources Management: Experiences and Recommendations. Advances in Chemical Pollution, Environmental Management and Protection 2018;3.

[5]. Vardon M, Keith H, Lindenmayer D. Accounting and valuing the ecosystem services related to water supply in the Central Highlands of Victoria, Australia. Ecosyst Serv 2019;39.

[6]. Gan H, Wang Y, Lu Q, Vardon M, Changhai Q. Development and application of the system of environmental-economic accounting for water in China. In: Water Accounting: International Approaches to Policy and Decision-making. 2012.

[7]. European Commission. REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on nature restoration. In: European commission proposal. 2022.

[8]. European Commission. The EU Biodiversity Strategy for 2030. European Union: Burssels 2020;2021.

[9]. Mahdavi T. An indicator-based assessment of local water security by using the SEEA-Water accounting framework. Arabian Journal of Geosciences 2022;15.

[10]. Lof M, Schenau S, de Jong R, Remme R, Graveland C, Hein L. The SEEA EEA carbon account for the Netherlands. Wageningen University & Research 2017;

[11]. Edens B, Maes J, Hein L, Obst C, Siikamaki J, Schenau S, et al. Establishing the SEEA Ecosystem Accounting as a global standard. Ecosyst Serv 2022;54.

[12]. Hashemy SM, Van Overloop PJ. Applying decentralized water level difference control for operation of the dez main canal under water shortage. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 2013;139.

[13]. Hashemy SM, Monem MJ, Maestre JM, Overloop PJV. Application of an in-line storage strategy to improve the operational performance of main irrigation canals using model predictive control. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 2013;139.

[14]. Hashemy Shahdany SM, Maestre JM, van Overloop PJ. Equitable Water Distribution in Main Irrigation Canals with Constrained Water Supply. Water Resources Management 2015;29.

[15]. Schuurmans J, Schuurmans W, Berger H, Meulenberg M, Brouwer R. Control of Water Levels in the Meuse River. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 1997;123.

[16]. Molden DJ, Gates TK. Performance Measures for Evaluation of Irrigation-Water-Delivery Systems. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 1990;116.

[17]. Barkhordari S, Ebrahim Najari M, Hashemy Shahdany SM. Performance Appraisal of Irrigation Water Distribution within the Abshar Irrigation Districts' Main and Lateral Canals in Normal and Water Shortages Operational Scenarios. Water and Irrigation Management [Internet] 2022;12:389–404. Available from: https://jwim.ut.ac.ir/article_87931.html