تحلیل مفاهیم راندمان آبیاری در سطح شبکه آبیاری (مطالعه موردی: شبکه آوان خوزستان)

مهدی محمدی قلعه‌نی[۱] و محمدجواد نحوی‌نیا[۲]

تاریخ ارسال:۱۳۹۹/۰۶/۳۱
تاریخ پذیرش:۱۳۹۹/۱۱/۰۴

مقاله پژوهشی

چکیده

هدف این تحقیق ارزیابی عملکرد کلی شبکه آبیاری آوان خوز ستان در سطح ۱۰۹۸۵ هکتار می‌با شد. ورودی‌های آب منطقه ا صلی (آبیاری، بارش و آزاد سازی‌های کانال) و خروجی‌ها (تبخیر تعرق واقعی مح صول، زهک شی سطحی خروجی و ن شت از کانال انتقال) در طی ســـال‌های هیدرولوژیکی ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۸ اندازه‌گیری یا برآورد شـــدند. نتایج این تحقیق نشـــان داد که میانگین ضریب م صرف آب آبیاری، راندمان توزیع و راندمان مزرعه در شبکه آوان طی سال‌های ۸۸-۱۳۸۵ پایین و به ترتیب برابر با ۳۷، ۶۶ و ۵۳ درصـد می‌باشـند. ارزیابی با روش نئوکلاسـیک در سـامانه‌های آبیاری سـطحی بیانگر آن بود که مقادیر راندمان خالص و موثر به ترتیب برابر ۸۳ و ۶۸ در صد و هر دو بی شتر از راندمان کلا سیک (۵۳ در صد) می‌با شند. کاهش‌های پتانسیل در تخصیص آب برای سه مقدار ضریب مصرف آب آبیاری برابر ۶۵، ۷۵ و ۸۵ در صد و دو سناریوی مدرن سازی (I و II) بررسی شد. در سناریوی I، که هدف رسیدن به ET و عملکرد محصول حداکثر بود، تخصیص آب می‌توانست از ۳۴/۸ تا ۵۰/۲ درصد نسبت به تخصیص موجود کاهش یابد. همچنین در سناریوی II با هدف رسیدن به حفاظت حداکثر آب تحت ET حقیقی و عملکرد محصول، تخصیص آب نسبت به تخصیص موجود قابل کاهش از ۴۷/۴ تا ۵۹/۸ درصد می‌باشند. به طور کلی نتایج این تحقیق نشـان داد که راندمان موثر بیان بهتری در مورد مناسـب بودن مدیریت آبیاری در مقیاس مزرعه و نحوه انجام آبیاری دارد، در حالی که راندمان خالص تنها مفهوم اســـتفاده مجدد از تلفات مفید را در مقیاس مکانی بزرگتر از مزرعه لحاظ می‌کند.

واژه‌های کلیدی: حفاظت آب، راندمان آبیاری، سناریوی مدرن‌سازی شبکه آبیاری، ضریب مصرف آب آبیاری.

[۱]استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و محیط زیست، دانشگاه اراک، اراک، ایران، پست الکترونیکی: m-mohammadighaleni@araku.ac.ir

[۲]استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و محیط زیست، دانشگاه اراک، اراک، ایران، پست الکترونیکی: m-nahvinia@araku.ac.ir (نویسنده مسئول)

مقدمه

با توجه به این که سهم عمده‌ای از منابع آبی موجود برای مصارف کشاورزی استفاده می‌شود، شبکه‌های آبیاری و زهکشی نقش به‌سزایی در استفاده بهینه از این منابع دارند. در خوزستان اهمیت اقتصادی و اجتماعی آبیاری، وجود شبکه‌های آبیاری قدیمی زیاد و پیشرفت‌های آبیاری جدید باعث لزوم تعیین مصرف آب موجود در سطح شبکه آبیاری و اهمیت حفاظت آب ناشی از مدرن‌سازی شبکه‌ها شده است (نحوی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۸).

ویلاردسون و همکاران[1] (۱۹۹۴)، انتقاد خود را از غیر کاربردی بودن راندمان کلاسیک اعلام کردند، تا جایی که آنها خواستار حذف کلی کلمه و مفهوم شدند. در مقابل آنها پیشنهاد کردند در آنالیز منابع آب از نسبت‌های مختلفی به‌ویژه کسر مصرف شده (نسبت تبخیر به آب برداشتی در هرفرآیند، مانند آبیاری) استفاده شود هر چند که روش نسبت‌ها طبق تعریف یک مفهوم راندمان را دارا نیست. از آنجایی‌که سامانه‌های منابع آب پیچیده‌تر می‌شوند و رقابت میان کاربران آب افزایش می‌یابد، شاخص‌های ساده راندمان ناکافی بودن خود را در ارتقا دادن به ارزیابی و طراحی سامانه‌های منابع آب اثبات کرده‌اند.

مکاری قهرودی و همکاران (۲۰۱۵) به ارزیابی عملکرد و آنالیز هیدرولوژیکی و تولیدی سامانه‌های مختلف آبیاری در شبکه آبیاری قزوین پرداختند. نتایج آنها نشان داد که راندمان آبیاری کلاسیک برای سامانه سطحی-شیاری ٪۵/۹ و ٪۲۷/۸ مربوط به مراحل اولیه و میانی رشد بود. همچنین کمترین راندمان کلاسیک سامانه‌های بارانی مربوط به سامانه خطی (٪۱۱/۸ و ٪۴۵/۶ مربوط به مراحل اولیه و میانی رشد) بوده است.

لیاقت و همکاران (۱۳۹۴) با ارزیابی سیستم‌های آبیاری دشت قزوین با تعیین راندمان های آبیاری کلاسیک و نئوکلاسیک به این نتیجه رسیدند که راندمان مؤثر بیان بهتری در زمینهٔ مناسب بودن مدیریت آبیاری در مقیاس مزرعه و نحوهٔ انجام دادن آبیاری دارد، در حالی که راندمان خالص فقط مفهوم استفادهٔ مجدد از تلفات مفید را در مقیاس مکانیِ بزرگ‌تر از مزرعه را لحاظ می‌کند.

عباسی و همکاران (۱۳۹۵) به ارزیابی وضعیت راندمان آبیاری در ایران پرداختند. بررسی روند تغییرات راندمان آب آبیاری طی دو دهه ۸۰-۱۳۷۱، ۹۰-۱۳۸۱ و سالهای ۹۴-۱۳۹۱ نشان داد که راندمان کل در این دوره‌ها به ترتیب برابر ۳۴/۸، ۴۰/۰ و ۴۳/۶ درصد بوده است. حیدری (۱۳۹۶) اصول و مبانی کاربرد شاخص راندمان آبیاری در مدیریت آب برای کشاورزی را بررسی کرد. ایشان نتیجه‌گیری کرد که با توجه به تعریف‌های جدید از راندمان آبیاری و مطرح شدن مباحث جدیدی مانند مصرف مؤثر و غیرمؤثر و جریان آب قابل برگشت و غیرقابل برگشت، باید نگاه نئوکلاسیک به راندمان آبیاری در سطح حوضه آبریز داشت.

نحوی‌نیا و همکاران (۱۳۹۸) با مطالعه‌ای در شبکه حمودی خوزستان به ارزیابی این شبکه آبیاری با مفاهیم کلاسیک و جدید راندمان آبیاری پرداختند. نتایج ایشان نشان داد که در ارزیابی سامانه‌های آبیاری سطحی با روش نئوکلاسیک راندمان خالص، مؤثر و کلاسیک به ترتیب برابر ۷۷، ۶۵ و ۵۳ درصد می باشند و با اعمال سناریوهای مفاهیم جدید راندمان آبیاری می‌توان بین ۱۹ تا ۴۷ درصد در تخصیص آب صرفه جویی نمود.

زارع ابیانه و همکاران (۱۳۹۸) با ارزیابی عملکرد مدیریت آب در شبکه آبیاری دشت قزوین نتیجه گرفتند که مدیریت مصرف منابع محدود آب به دلیل مشارکت کم بهره‌برداران در مدیریت و سیاست‌گذاری‌های شبکه ضعیف بوده و لازم است تا ضمن مشارکت بهره‌برداران، با به‌کارگیری روشهای نوین آبیاری و روش‌های به‌زراعی، وضعیت مصرف آب و راندمان آبیاری در شبکه آبیاری قزوین بهبود یابد. خسرونژاد و همکاران (۱۳۹۸) با مقایسه روش آبیاری سنتی و استفاده از سیفون عنوان کردند که علی‌رغم

[1] Willardson et al. (1994)

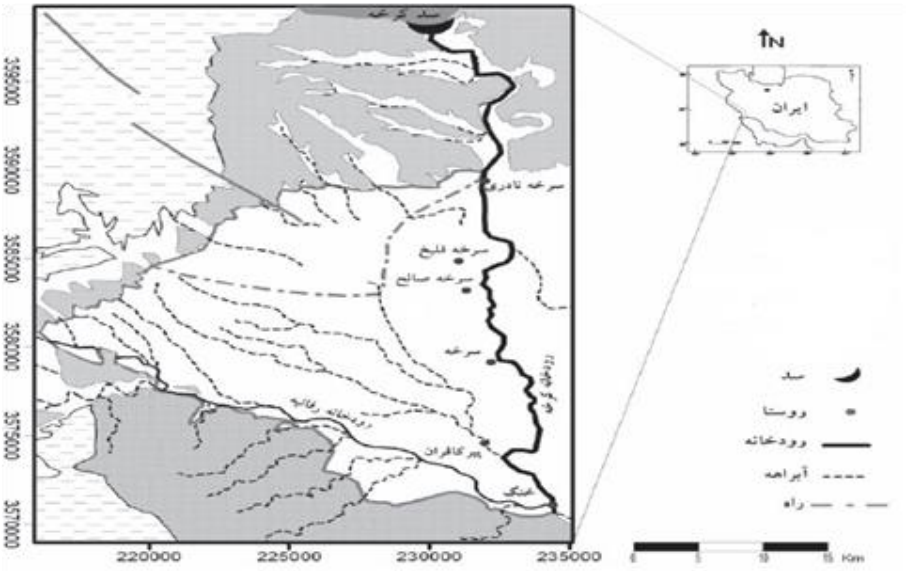
برابری عملکرد محصول، روش آبیاری سازه‌ای به دلیل صرفه‌جویی در مصرف آب و افزایش راندمان آبیاری نسبت به روش سنتی برتری دارد.

در شبکه‌های آبیاری و زهکشی به خصوص از نوع مدرن، به دلیل وفور آب و آب قابل دسترس، آب همیشه در کانال‌ها جریان داشته که معمولا بیش از مقدار نیاز بوده و مابقی آن به زهکش‌ها تخلیه شده و در محل‌هایی که توسط طراحان شبکه معین و مشخص شده است به رودخانه باز می‌گردد و در پایین دست مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین، تاثیر آب برگشتی در راندمان آبیاری در شبکه‌های آبیاری و زهکشی نیاز به بررسی دارد. بیشتر ارزیابی‌های راندمان در مقیاس محلی و مزرعه انجام شده است. با تعمیم و بسط راندمان با استفاده از مفاهیم جدید می‌توان درک بهتری از وضعیت آبیاری در مقیاس حوضه و شبکه بدست آورد. هدف از این تحقیق، تعیین بیلان آب و عملکرد آبیاری با استفاده از مفاهیم کلاسیک و نئوکلاسیک در شبکه آبیاری آوان (حوضه رودخانه کرخه، خوزستان) و آنالیز آبی که به طور پتانسیل تحت دو سناریوی مدرن‌سازی می‌تواند صرفه‌جویی شود، می‌باشد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

شبکه آبیاری و زهکشی آوان یکی از شبکه‌های آبیاری و زهکشی سد کرخه است. این شبکه در شمال استان خوزستان و در سمت راست رودخانه کرخه در ۳۰ کیلومتری شهر اندیمشک واقع شده است. موقعیت شبکه آبیاری آوان در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل(۱): محدوده شبکه آبیاری آوان خوزستان

محصولات کشاورزی در شبکه آوان به ترتیب اهمیت از لحاظ سطح زیر کشت شامل، گروه غلات شامل گندم و جو و ذرت دانه‌ای با ۶۵/۱ درصد، جالیز، سبزی و پیاز ۸/۸ درصد و گروه باغات ۸/۵ درصد می‌باشند. در مجموع، روش-های آبیاری سطحی به صورت کرت، شیار و نوار در دشت آوان مورد استفاده قرارگرفته است.

با توجه به میزان آبیاری منطقه، حداکثر چهار بار و اگر بارندگی کافی نباشد، حداکثر ۶ نوبت آبیاری کافی است. با در نظر گرفتن نیاز آبیاری گندم زمستانه در کل دوره کشت، که حدود ۷۰۰۰-۶۷۰۰ مترمکعب در هکتار است، در این دوره با توجه به خشکسالی و کمبود باران، ۵ نوبت آبیاری انجام می‌شود.

مراحل انجام کار و نحوه جمع‌آوری اطلاعات

ارزیابی عملکرد آبیاری در شبکه مدرن آوان در طول فصول آبیاری (فروردین تا شهریورماه) طی سال‌های هیدرولوژیکی ۸۸-۱۳۸۵ انجام شده است.

الف) بیلان آب شبکه

به منظور ارزیابی عملکرد آبیاری، اجزای بیلان آب برای دوره مورد مطالعه (۱۳۸۵-۸۸) بر اساس اختلاف بین ورودی‌ها و خروجی‌های آب شبکه که برابر با تغییر در ذخیره آب منطقه (ΔS) می‌باشد مطابق با معادله (۱) محاسبه گردید.

$$\Delta S=(I+P+G_I+C_R)-(ET+C_s+Q+G_O) \quad (۱)$$

در معادله (۱)، ورودی‌های شبکه شامل I: حجم آب ناخالص برداشت شده از رودخانه و تحویلی به شبکه یا منطقه مورد مطالعه، P: بارندگی، G_I: جریان‌های ورودی آب زیرزمینی و C_R: رهاسازی مستقیم آب از کانال به سیستم زهکشی و خروجی‌های شبکه شامل ET: تبخیر از سطح خاک و تعرق از سطح گیاهان در کل منطقه مورد مطالعه، Q: زهکشی سطحی در ایستگاه خروجی شبکه، C_S: نشت کانال انتقال و G_O: نفوذ عمقی یا جریان‌های خروجی آب زیرزمینی از شبکه است (Isidoro et al ،2004). در این تحقیق بیلان آب شبکه، با فرض ناچیز بودن تغییرات رطوبتی خاک قبل و بعد از دوره مطالعاتی در مقیاس سالانه برابر با صفر درنظر گرفته شده است. (Jensen, 2007).

میزان آب تحویلی به شبکه مدرن آبیاری و زهکشی آوان (I) در طی سال‌های ۸۸-۱۳۸۵ برگرفته از پایگاه اطلاعات دریافتی از شرکت آب و برق خوزستان تعیین شده و با کسر میزان آب مصرف شده در واحدهای صنعتی، مجتمع‌های پرورش ماهی، ادارات و ارگان‌ها از حجم آب تامین شده، میزان آب تامین شده برای اراضی کشاورزی شبکه مورد مطالعه برآورد شدند. بارندگی روزانه (P) با استفاده از اطلاعات ثبت شده در ایستگاه هواشناسی منطقه به دست آمد. حجم‌های رهاسازی کانال‌ها در طی فصل‌های غیر آبیاری از طریق روش جداسازی هیدروگراف (Caissie et al., 1996) با فرض اختلاط کامل آب‌های جریان پایه و جریان کانال تخمین زده شد. با تعیین اجزای بیلان شبکه، اختلاف بین جریان‌های ورودی و خروجی، به صورت جریان ورودی خالص پایش نشده به شبکه و پارامترهای مجهول در معادله بیلان محاسبه شد.

در تحقیق حاضر با پیش پردازش داده‌های ماهواره‌ای (NOAA-14/AVHRR) (۳۲ تصویر در سال ۱۳۸۵، ۲۸ تصویر ۱۳۸۶، ۳۰ تصویر ۱۳۸۷ و ۳۳ تصویر ۱۳۸۸ و به فواصل تقریبی ۱۰ روز، بدون ابر و به دلیل تطابق با داده-های لایسی‌متری) ضریب بازتاب و تابش پوشش سطح زمین و شاخص‌های گیاهی NDVI[1] و SAVI[2] و LAI[3] برآورد گردید. سپس با بهره‌گیری از الگوریتم بیلان انرژی، اجزای بیلان انرژی در سطح زمین تعیین و تبخیر و تعرق واقعی در سطح زمین محاسبه شد و به عنوان تبخیر و تعرق برای تعیین بیلان آب آبیاری در شبکه آبیاری آوان مورد استفاده قرار گرفت.

ب) آنالیز عملکرد آبیاری

راندمان آبیاری ممکن است در روش‌های مختلف وابسته به مفهوم "آبی که به طور مفید استفاده می‌شود" به کار برده شود. بنابراین، اگر آب آبیاری که مصرف شده (IWCU[4]) استفاده شود، ضریب آب آبیاری مصرفی (ICUC[5]) به دست می‌آید.

ج) تفکیک تلفات مفید و غیر مفید در مقیاس مزرعه

تبخیر تعرق غیر مفید از تبخیر و تعرق از گیاهان غیر زراعی (مانند علف‌های هرز) و تبخیر مستقیم از سطح آب تشکیل می‌شود. به منظور برآورد تبخیر از سطح خاک از روش Allen et al., (2005) استفاده شد. در این روش تبخیر از سطح خاک با پیروی از روابط زیر بدست می‌آید.

$$ET_e = k_e \times ET_0 \quad (۲)$$

$$K_e = k_r\left(K_{c\max} - K_{cb}\right) \le \left(f_{ew} \times K_{c\max}\right) \quad (۳)$$

$$f_{ew} = \min\left(1 - f_c, f_w\right) \quad (۴)$$

$$f_c = \left(\frac{K_{cb} - K_{c\min}}{K_{c\max} - K_{c\min}}\right)^{(1+0.5h)} \quad (۵)$$

$$k_{c\max} = \max\left\{\left[1.2 + \left[0.04(u-2) - 0.004(RH_{\min} - 45)\right]\left(\frac{h}{3}\right)^{0.3}\right], (k_{cb} + 0.05)\right\} \quad (۶)$$

[1] Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)
[2] Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)
[3] Leaf area index (LAI)
[4] Irrigation Water Consumptive Use (IWCU)
[5] Irrigation consumptive use coefficient (ICUC)

که در روابط (۲) تا (۶)، K_{cmax}: حداکثر مقدار ضریب گیاهی پس از بارندگی یا آبیاری، U: سرعت باد در ارتفاع ۲ متری (متر بر ثانیه)، RH_{min}: حداقل رطوبت نسبی (درصد)، h: ارتفاع گیاه (متر)، K_{cb}: ضریب گیاهی پایه، f_c: کسر پوشش گیاهی موثر، K_{cmin}:حداقل ضریب گیاهی برای خاک خشک بدون پوشش (حدود ۰/۱۵ تا ۰/۲۰)، f_{ew}: کسر خاک خیس شده و در معرض هوا، f_w: میانگین کسر خاک خیس شده با آبیاری یا بارندگی، K_r: ضریب کاهش تبخیر وابسته به تبخیر تجمعی از لایه خاک سطحی، K_e: ضریب تبخیر از خاک و ET_0: تبخیر- تعرق گیاه مرجع می‌باشد.

تبخیر و تعرق غیر مفید (ET_{NB}) برای سامانه آبیاری سطحی معادل با تبخیر از سطح خاک (ET_e) و اختلاف ET_a با تبخیر از سطح خاک، به عنوان تبخیر و تعرق مفید (ET_B) در نظر گرفته شد.

د) مفاهیم کلاسیک و نئوکلاسیک راندمان

راندمان کلاسیک با استفاده از روابط (۷) و (۸) قابل محاسبه می‌باشد(Keller and Keller, 1995).

$$CE = \frac{NET}{I} \qquad (۷)$$

$$\mathbf{NET} = \mathbf{ET_a} - \mathbf{P_e} \qquad (۸)$$

در روابط (۷) و (۸)، NET: تبخیر و تعرق خالص، I: مقدار آب ورودی بر اساس مقدار آب برداشت شده، ET_a: تبخیر و تعرق واقعی گیاه و P_e: بارش موثر است.

مفهوم جدید راندمان اولین بار توسط Jensen (2007) و با پیشنهاد تجدید نظر در راندمان کلاسیک و استفاده از شاخص راندمان خالص (NE) به صورت رابطه (۹) ارائه شد.

$$NE = CE + Er\,(1 - CE) \qquad (۹)$$

در رابطه (۹) CE: راندمان کلاسیک، CE-۱: میزان تلفات و به معنای درصدی از آب برداشتی که برای تامین نیاز تبخیر و تعرق واقعی گیاهان مصرف نشده است و E_r: درصدی از تلفات (CE -۱) می‌باشد که به طور بالقوه برای استفاده مجدد در هر جایی از سیستم هیدرولوژیکی در دسترس است.

کلر و کلر (۱۹۹۵) و کلر و همکاران (۱۹۹۶)، مفهوم راندمان موثر (EE) را توسعه داده‌اند (رابطه ۱۰).

$$EE = \frac{NET}{I - O(R)} \qquad (۱۰)$$

در رابطه (۱۰) I: جریان آب در نقطه برداشت که قبلا ذکر شد، O: جریان آب خروجی از کاربری مورد نظر است که برابر رواناب و نفوذ عمقی می‌باشد، R: درصد خروجی قابل استفاده مجدد وNET: تبخیر و تعرق خالص است که از رابطه (۵۹-۳) بدست می‌آید.

ه) آنالیز حفاظت آب

بعد از تعیین آب مصرفی و عملکرد آبیاری در منطقه مورد مطالعه، امکان اجرای آنالیز آبی که می‌تواند تحت سناریوهای مختلف مدرن‌سازی نگهداری شود، وجود دارد.

این رویکرد با آنالیز حجم آبی که می‌تواند تحت مقادیر مختلف ضریب آب آبیاری مصرفی استفاده شود و دو سناریوی مدرن‌سازی شامل: (I) تامین آب به طور کامل برای تامین نیاز خالص محصولات به طوری که ماکزیمم عملکرد بدست آید و (II) تامین آب برای رسیدن IWCU موجود محصولات تا حدی که عملکرد بدست آمده مشابه عملکرد موجود باشد. در سناریوی نخست اولویت بهره‌وری محصول با حفاظت آب است، در حالی که در سناریوی دوم اولویت حفاظت آب است.

نتایج و بحث

ارزیابی الگوریتم بیلان انرژی

پیش از تحلیل داده‌های به دست آمده از الگوریتم بیلان انرژی لازم است تا مقادیر داده‌های به دست آمده با داده-های قابل اعتمادی ارزیابی شود.

جدول (۱) نشان می‌دهد که تطبیق خوبی بین داده‌های لایسی‌متری و داده‌های واقعی حاصل از تصاویر AVHRR وجود دارد که البته لازم به ذکر است در پژوهش‌های متعددی این امر به اثبات رسیده است و استفاده از الگوریتم بیلان انرژی در تصاویر AVHRR توصیه شده است.

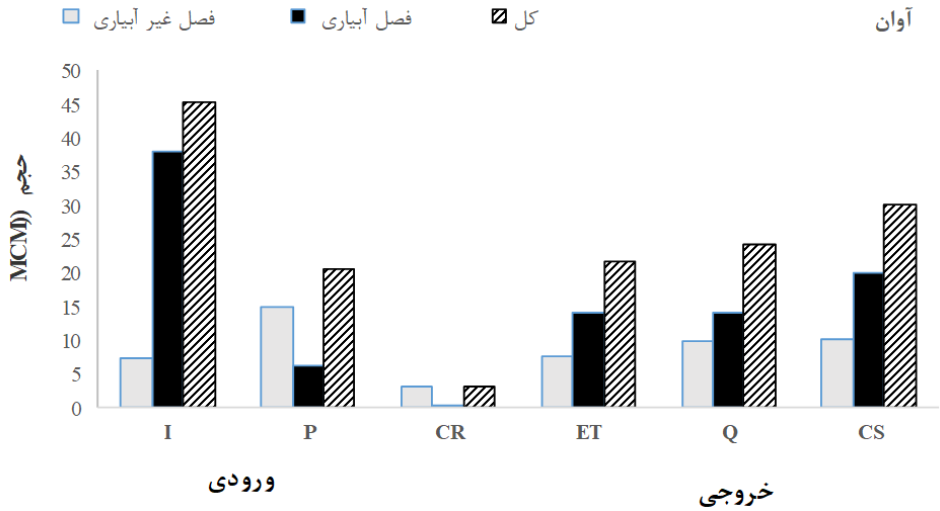
جدول (۱): نتایج مقایسه تبخیر -تعرق واقعی تصاویر AVHRR و لایسی متر

پارامتر	AVHRR
RMSE	۰/۰۹
CRM	-۰/۰۳۲
MAE	۰/۰۳۶

میزان RMSE در واقع میزان خطای مطلق را نشان می‌دهد. با توجه به جدول (۱) مقدار RMSE در مورد مقادیر روزانه تبخیر و تعرق، برای تصاویر AVHRR مقدار ۰/۰۹ می باشد که نشان از دقت بالای روش در برآورد تبخیر و تعرق دارد. با این وجود مقادیر RMSE اندازه نسبی خطا و طبیعت آن پدیده را در اختیار قرار نمی‌دهد، لذا از پارامتر CRM (ضریب جرم باقی مانده) برای برآورد طبیعت خطا و اندازه نسبی آن استفاده می‌شود. مقادیر منفی CRM نشان از تمایل مدل به تخمین کم و مقادیر مثبت نشان از تمایل به تخمین بیشتر دارد. همان طور که در جدول (۱) نیز مشخص شده است مقدار CRM در برآورد تبخیر-تعرق با استفاده از تصاویر AVHRR همواره منفی است که نشان از تبخیر -تعرق کمتر مدل نسبت به مقادیر لایسی‌متر است. یک دلیل این امر می‌تواند شرایط ایده‌آل لایسی متر جهت تبخیر-تعرق باشد که این امکان برای مناطق همجوار آن وجود ندارد، بنابراین با توجه به این که اندازه پیکسل‌ها بزرگتر از لایسی متر است و زمان و مقدار آبیاری در مزارع مجاور با مقدار و زمان آبیاری در لایسی‌متر هماهنگ نیست برآورد کمتر توسط مدل می تواند قابل توجیه باشد. با توجه به نتایج به دست آمده، مقادیر تبخیر و تعرق به دست آمده از تصاویر AVHRR جهت تعیین بیلان آب در شبکه حمودی مورد استفاده قرار گرفت.

بیلان آب شبکه

پس از جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز در شبکه‌های مورد مطالعه، پارامترهای مورد نیاز جهت ارزیابی شبکه‌های آبیاری محاسبه شد. این پارامترها در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل(۲): میانگین حجم¬های ورودی و خروجی در فصل¬های آبیاری و غیر آبیاری ۸۸-۱۳۸۵ در شبکه آوان

متوسط ورودی‌های سالانه شامل آب تحویلی به شبکه، بارندگی و رهاسازی کانال در فاصله زمانی ۸۸-۱۳۸۵ در آوان به ترتیب برابر، ۴۵/۴، ۲۰/۶ و ۳/۱ میلیون مترمکعب بودند. متوسط سالانه اندازه‌گیری شده یا برآورد شده رهاسازی کانال (CR) خیلی کوچک هستند. در حالی‌که متوسط خروجی‌ها شامل تبخیر و تعرق، زهکشی سطحی و

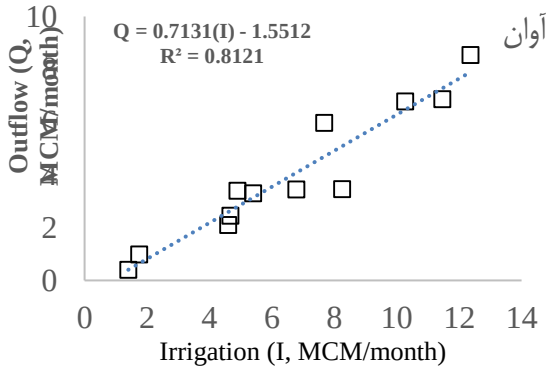
تلفات نشت از کانال در شبکه آوان به ترتیب برابر، ۲۱/۶، ۲۴/۲ و ۲۹/۹ میلیون مترمکعب بودند. به جز بارش، این مقادیر ورودی و خروجی در فصل آبیاری بیشتر از فصل غیر آبیاری بودند. در جدول (۲) ضریب تغییرات سالانه (CV) برای پارامترهای ورودی و خروجی شبکه آوان نشان داده شده است. ضریب تغییرات سالانه برای P و CR به ترتیب برابر ٪۳۵ و ٪۸۹ ناشی از ماهیت تصادفی طبیعی P و مقدار نسبتا بالای C_R در فصل غیر آبیاری ۱۳۸۵ در شبکه است.

جدول (۲): ضریب تغییرات (CV) مولفه‌های بیلان در شبکه آوان

پارامتر	ورودی			خروجی		
	I (٪)	P (٪)	C_R (٪)	ET (٪)	Q (٪)	C_S (٪)
فصل آبیاری	۵	۲۹	۶۷	۱	۶	۹
فصل غیر آبیاری	۸	۲۵	۷۸	۴	۵	۱۱
کل	۹	۳۵	۸۹	۷	۸	۱۵

در مقابل، ضریب تغییرات سالانه I، ET، Cs و Q پایین بود (به ترتیب ٪۹، ٪۷، ٪۱۵ و ٪CV=۸)، نشان‌دهنده اینکه مدیریت آب (I)، محصولات (ET)، نشت از کانال (Cs) و جریان‌های زهکشی (Q) در سال‌های مطالعه کاملا مشابه بودند. نتایج مشابه برای ضریب تغییرات سالانه در فصل‌های آبیاری و غیر آبیاری بدست آمد.

بر اساس شکل (۳) حجم زهکشی ماهانه در خروجی شبکه و حجم آب تحویلی به شبکه در طی فصل‌های آبیاری ۸۸-۱۳۸۵ به طور خطی دارای همبستگی بالا بودند ($P < 0.001$).



شکل(۳): رابطه بین حجم جریان خروجی و آبیاری کاربردی ماهانه اندازه¬گیری شده طی فصول ۸۸-۱۳۸۵

عرض برخورد معادله رگرسیون ممکن است با حجم آب خروجی که ناشی از نشت کانال و جریانات زیرسطحی و سطحی جانبی است مطابق باشد. این حجم در آوان ۱/۵MCM/month یا ۰/۵۷ m^3/s به صورت حد بالای نشت کانال تطابق دارد.

راندمان آبیاری در سطح منطقه

میانگین ICUC فصلی در شبکه آوان ٪۳۷ (تا حدی بیشتر از ICUC که سابقاً از رابطه Q-I استخراج شد) بود و از یک مقدار اندک در فصل آبیاری مرطوب ۱۳۸۸ تا مقدار نسبتا زیاد در فصل‌های آبیاری خشک‌تر ۱۳۸۶ و ۱۳۸۷ (جدول ۳) تغییر می‌کرد.

جدول(۳): مشخصات عملکرد آبیاری در شبکه آوان

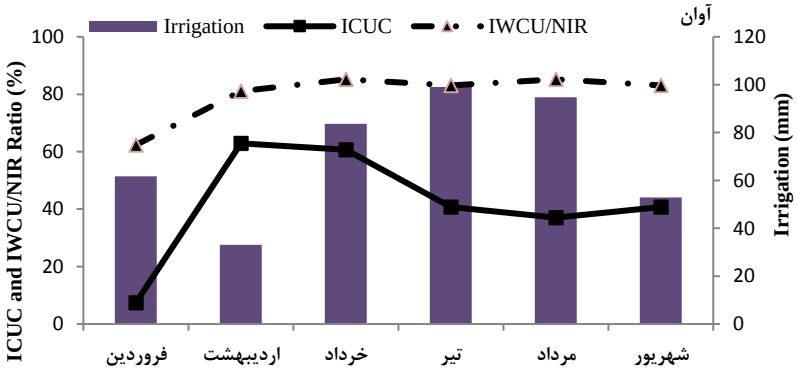
شبکه	سال	واحد	I	ET_a	ET_m	P	IWCU	NIR	ID	ICUC (%)	R (%)
آوان	۱۳۸۵	mm	۴۴۱	۲۱۹/۶	۲۷۲/۴	۲۰۹	۱۹۲/۶	۲۴۵/۴	۵۲/۸	۰/۳۵	۰/۷۸
		mcm	۴۸/۴	۲۴/۱	۲۹/۹	۲۲/۹	۳۱/۱	۲۶/۹	۵/۸		
	۱۳۸۶	mm	۴۲۶	۱۸۷/۴	۲۱۶/۲	۱۲۰/۹	۱۷۵/۴	۱۸۰/۲	۲۸/۸	۰/۳۷	۰/۸۴
		mcm	۶۷/۲	۲۰/۵	۲۳/۷	۱۳/۲	۱۶/۶	۱۹/۷	۳/۱		
	۱۳۸۷	mm	۳۵۱	۱۶۴	۱۹۴	۱۵۶/۵	۱۱۹	۱۴۹	۳۰	۰/۴۳	۰/۷۹
		mcm	۳۸/۵	۱۸	۲۱/۳	۱۷/۱	۱۳	۱۶/۳	۳/۲		
	۱۳۸۸	mm	۴۶۶	۲۱۶/۴	۲۵۷/۷	۱۶۱/۵	۱۷۵/۱	۲۱۶/۴	۴۱/۲	۰/۳۳	۰/۸
		mcm	۵۱/۱	۲۳/۷	۲۸/۳	۸/۹	۱۹/۲	۲۳/۷	۴/۳۵		
	میانگین	mm	۴۲۱	۱۹۶/۸	۲۳۵/۱	۱۴۲	۱۵۹/۵	۱۹۷/۸	۳۸/۲	۰/۳۷	۰/۸
		mcm	۴۶/۲	۲۱/۶	۲۵/۸	۱۵/۵	۱۷/۵	۲۱/۷	۴/۲		

در جدول (۳) ET واقعی (ET_a) و ET ماکزیمم (ET_m) محصولات تحت آبیاری، بارش روی زمین‌های آبیاری (P)، آب آبیاری که به طور مصرفی استفاده می‌شود ($IWCU = ET_a - P_e$) و کم آبیاری ($ID = NIR - IWCU$): مقادیر در واحد زمین آبیاری (mm) و حجم آب آبیاری (mcm) برای هر فصل آبیاری از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۸ و میانگین چهار سال در شبکه آبیاری مورد نظر می‌باشد. ضریب استفاده مصرفی آبیاری ($ICUC=IWCU/I$) و ضریب $R=IWCU/NIR$ نشان داده شده‌اند.

ارزیابی فصلی راندمان آبیاری

تغییرات فصلی مقادیر ماهانه عملکرد آبیاری در شبکه آوان در شکل (۴) نشان داده شده است.

بر اساس شکل (۴) ICUC در شروع فصل‌های آبیاری کاملا متغیر (فروردین تا اردیبهشت) و بعد از اردیبهشت نسبتا ثابت بود. آبیاری در فروردین بسیار بیشتر از نیاز خالص محصول بود، به طور عمده به خاطر حجم زیاد آبیاری گندم به منظور ارتقای رشد آن بود. در نتیجه، مقادیر ICUC بسیار پایین (۷٪/۴) و IWCU/NIR نسبتا پایین (۶۲٪/۳) در فروردین بدست آمد. در مقابل، گندم عموما در اردیبهشت آبیاری نمی‌شود و آب ذخیره شده در خاک در طی فروردین را مصرف می‌کند، به طوری‌که مقادیر بسیار بالا ICUC (۶۲٪/۹) و مقادیر نسبتا بالای IWCU/NIR(۸۱٪) در اردیبهشت بدست آمد.



شکل (۴): متوسط مقادیر ماهانه عملکرد آبیاری در شبکه آوان (۱۳۸۵-۸۸)

در خرداد، تیر و مرداد آبیاری به همراه نیاز گیاه افزایشی افزایش می‌یابد و ICUC و IWCU/NIR در مقادیر کاملا ثابت بین ۳۷٪ تا ۶۰٪ و ۸۳٪ تا ۸۵٪ باقی می‌ماند. در شهریور، آبیاری کاهش می‌یابد (ذرت معمولا در هفته‌های آخر این ماه آبیاری نمی‌شود) و ICUC افزایش می‌یابد در حالیکه نسبت IWCU/NIR تغییر نمی‌کند.

راندمان توزیع

با تفکیک هیدروگراف اجرا شده در سال ۱۳۸۵ و ۱۳۸۶ امکان تخمین تلفات کاربردی (OL: آبی که به طور مستقیم از انهار آبیاری به سیستم زهکشی جریان می‌یابد) و بنابراین راندمان توزیع سیستم [DE = (I - OL) / I] و ضریب استفاده مصرفی ICUC (جدول ۴) حاصل شد.

جدول (۴): شاخصهای کاربردی توزیع آب در شبکه آوان

پارامتر	۱۳۸۵	۱۳۸۶	میانگین
I (mcm)	۴۱/۱	۵۷/۱	۴۹/۱
OL (mcm)	۱۴/۸	۱۳/۱	۱۴
DE (%)	۶۴	۶۸	۶۶
$ICUC_f$ (%)	۵۵	۵۱	۵۳
ICUC (%)	۳۲	۳۵	۳۳

متوسط ضرایب DE و $ICUC_f$ در سال ۸۶-۱۳۸۵، ٪۶۶ و ٪۵۳ بدست آمده است.

مفاهیم کلاسیک و نئوکلاسیک در مقیاس مزرعه

در جدول (۵) اجزای بیلان آب و سهم مفید تلفات (مقادیر Er یا R) در مقیاس مزرعه برای شبکه آبیاری مورد مطالعه ارائه شده است. میزان آب مصرفی (تبخیر تعرق کل) در شبکه (۱۹۶ mm) است.

جدول (۵): میزان مصارف آب و سهم مفید تلفات (E_r) برای شبکه آبیاری آوان

پارامتر	مقدار
حجم آب ورودی (mm)	۳۶۹/۹
حجم آب مصرفی (mm)	۱۹۶
تبخیر تعرق مفید (mm)	۱۸۸/۴
تبخیر تعرق غیر مفید (mm)	۷/۶
حجم آب غیر مصرفی (mm)	۱۷۳/۸
رواناب و نفوذ عمقی قابل بازیافت (mm)	۱۵۶/۸
رواناب و نفوذ عمقی غیر قابل بازیافت (mm)	۱۴/۶
درصد تلفات مفید Er=R (%)	۶۴/۳۶

بیشتر این بخش را تبخیر تعرق مفید (٪۹۶) توصیف می‌کند. باقیمانده (٪۴) به طور عمده ناشی از تبخیر از سطح خاک در آبیاری سطحی است. کل رواناب/نفوذ عمقی (یعنی، حجم آب غیر مصرفی) در سامانه‌های سطحی منطقه (۱۷۳/۸ mm) به طور قابل ملاحظه‌ای بالا است.

بر اساس نتایج بدست آمده مقدار Er یا R در سامانه-های آبیاری شبکه، ۶۴/۴ درصد است. در سامانه‌های سطحی مقدار آب برگشتی (رواناب و نفوذ عمقی) بالا بوده و در پایین دست مورد استفاده قرار می‌گیرد. نتایج نشان می‌دهد که مقادیر راندمان خالص در سامانه‌های آبیاری

سطحی بیشتر از مقادیر راندمان محاسبه شده با روش کلاسیک است (جدول ۶).

جدول (۶): ارزیابی شبکه آوان با مفاهیم کلاسیک و نئوکلاسیک(۱۳۸۵-۸۸)

مفاهیم کلاسیک و نئوکلاسیک			مقادیر
کلاسیک	راندمان کاربرد	Ea	۰/۵۳
نئوکلاسیک	راندمان خالص	NE	۰/۸۳
	راندمان موثر	EE	۰/۶۸

نتایج بدست آمده در جدول (۶) نشان می‌دهد که تفاوت راندمان خالص و راندمان موثر در سامانه آبیاری سطحی قابل توجه است (۱۵ درصد). در این سامانه‌ها تفاوت مقادیر راندمان کلاسیک و راندمان خالص ۳۰ درصد بوده است و این در حالی است که تفاوت مقادیر راندمان کلاسیک و راندمان موثر ۱۵ درصد بوده است.

بهبود عملکرد آبیاری و حفاظت آب

افزایش در آب تحویلی به منطقه آبیاری آوان به خاطر محدودیت‌ها در منابع آب بالادست و ملاحظات اقتصادی و اجتماعی ممکن نیست. بلکه هدف مدرن‌سازی منطقه به منظور بهبود مدیریت آبیاری و راندمان آبیاری به منظور حفاظت از آب و افزایش عملکرد محصول است. بنابراین، حجم آبی که می‌تواند حفظ شود (یعنی برای آبیاری برداشت نمی‌شود) تحت دو سناریوهای پتانسیل مدرن-سازی (معطوف به عنوان I و II) و سه افزایش ICUC پتانسیل (۶۵، ۷۵ و ۸۵٪) بیش از مقدار متوسط ICUC ۴۴٪ موجود تخمین زده می‌شود.

در سناریوی I، فرض شد که منطقه آوان تجهیز می‌شود تا به ماکزیمم عملکرد برسد، تا حدی که آبیاری به طور کامل نیاز محصول را تامین کند (یعنی IWCU جدید= NIR خالص). در سناریوی II، فرض می‌شود که منطقه تجهیز می‌شود تا به ماکزیمم حفاظت آب تحت عملکرد محصول موجود برسد و نیاز محصول (یعنی IWCU جدید=IWCU موجود). نتایج این شبیه‌سازی‌ها در جدول (۷) نشان داده شده است.

جدول (۷): آب آبیاری کاربردی و حفاظت شده تحت دو سناریوی مدرن‌سازی

Scenario I (IWCU = NIR)	ICUC (٪)		
	۶۵	۷۵	۸۵
آبیاری(MCM)	۳۳/۴	۲۸/۹	۲۵/۵
آب حفاظت شده (MCM)	۱۷/۹	۲۲/۳	۲۵/۷
آب حفاظت شده (% آبیاری موجود)	۳۴/۸	۴۳/۵	۵۰/۲
Scenario II (IWCU =current IWCU)	ICUC (٪)		
	۶۵	۷۵	۸۵
آبیاری(MCM)	۲۶/۹	۲۳/۳۷	۲۰/۶
آب حفاظت شده (MCM)	۲۴/۳	۲۷/۹	۳۰/۷
آب حفاظت شده(% آبیاری موجود)	۴۷/۴	۵۴/۴	۵۹/۸

با توجه به جدول (۷) نشان می‌دهد که تحت سناریوی I سه افزایش پتانسیل در ICUC ذخیره آب را از ۳۴/۸ تا ۵۳٪/۲ حجم آبیاری موجود افزایش خواهد داد اگر هدف رسیدن به عملکرد ماکزیمم باشد. در سناریوی II ذخایر آب می‌توانند کماکان بیشتر باشند (از ۴۷/۴ تا ۵۹/۸٪ وابسته به ICUC هدف) اگر هدف رسیدن به عملکرد موجود باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج ارزیابی با هر دو روش کلاسیک و نئوکلاسیک نشان داد که در شبکه آبیاری آوان، مقادیر راندمان موثر نسبت به راندمان خالص کمتر بدست آمد و این تفاوت در شرایطی که تلفات آب در شبکه آبیاری قابل ملاحظه می‌گردد افزایش می‌یابد.

اگر شبکه آبیاری مجهز شود تا به طور کامل نیاز پتانسیل محصول را تامین کند و به عملکرد ماکزیمم برسد (یعنی سناریوی I، که IWCU=NIR موجود)، تخصیص آب موجود به منطقه می‌تواند تا ۳۴/۸ برای ICUC برابر ٪۶۵ و تا ۵۰/۲٪ برای ICUC تا ۸۵٪ کاهش یابد. مزایای سناریوی I، شامل افزایش عملکرد محصول و حفاظت از کیفیت آب برداشت نشده در مقابل کاهش ۱۹٪ (MCM ۴/۲) در آب موجود برای کاربران پایین دست خواهد بود. اگر سیستم برای رسیدن به حفاظت ماکزیمم از آب برای نیاز محصول موجود و عملکرد تحت تنش آبی (یعنی سناریوی II، که IWCU جدید= IWCU موجود) مجهز شود، تخصیص آب موجود می‌تواند بیشتر تا ۴۷/۴٪ برای ICUC برابر ۶۵٪ و تا ۵۹/۸٪ برای ICUC برابر ۸۵٪ کاهش یابد. مزایای سناریوی II، حفاظت از کیفیت آب در سطح حوضه و افزایش حفاظت از کیفیت آب بیش از مقدار بدست آمده در سناریوی I، در مقابل عملکرد محصول تولیدی زیر ماکزیمم خواهد بود.

تقدیر و تشکر

بدین‌وسیله از دانشگاه تهران و سازمان آب و برق خوزستان بابت تأمین هزینه‌ها، اطلاعات و امکانات جهت انجام این تحقیق سپاسگزاری می‌شود.

منابع

حیدری، ن. ۱۳۹۶. اصول و مبانی کاربرد شاخص راندمان آبیاری در مدیریت آب برای کشاورزی. نشریه مدیریت آب در کشاورزی، جلد ۴، شماره ۱، صفحات ۶۶-۴۹.

خسرونژاد، ص.، قدوسی، ح و اخوان ک. ۱۳۹۸. استفاده از سیفون در آبیاری و مقایسه آن با روش آبیاری سنتی. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، سال نهم، شماره ۳۶، ص ۲۰۵-۱۹۱.

زارع ابیانه، ح، حیدری، آ و دانشکار آراسته، پ. ۱۳۹۸. ارزیابی عملکرد مدیریت آب در شبکه آبیاری دشت قزوین. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، سال دهم، شماره ۳۸، ص ۸۸-۷۶.

عباسی، ف.، سهراب، ف و عباسی، ن. ۱۳۹۵. ارزیابی وضعیت راندمان آب آبیاری در ایران. نشریه تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی، جلد ۱۷، شماره ۶۷، ص ۱۲۸-۱۱۳.

لیاقت، ع.، مکاری قهرودی، ا.، نوری، ح و ستوده‌نیا، ع. ۱۳۹۴. ارزیابی سیستم های آبیاری دشت قزوین با تعیین راندمان های آبیاری کلاسیک و نئوکلاسیک. نشریه تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۴۶، شماره ۲، ص ۳۵۱-۳۴۳.

نحوی‌نیا، م.ج.، لیاقت، ع و عباسی، ف. ۱۳۹۸. ارزیابی شبکه آبیاری با مفاهیم کلاسیک و جدید راندمان آبیاری (مطالعه موردی: شبکه حمودی خوزستان). نشریه تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۰، شماره ۳، ص ۵۷۹-۵۶۷.

Allen, R. G. Clemmens, A. J. and Willardson, L. S. 2005. Agro-Hydrology and Irrigation Efficiency, ICID Working Group on Sustainable Crops and Water Use.

Caissie, D. Pollock, T. L. and Cunjack, R. A. 1996. Variation in stream water chemistry and hydrograph separation in a small drainage basin. Journal of Hydrology, 178(1-4): 137-157.

Isidoro, D. Quílez, D. and Aragüés, R. 2004. Water balance and irrigation performance analysis at the irrigation district level. Agricultural Water Management, 64 (2): 123-142.

Jensen, ME. 2007. Beyond irrigation efficiency. Irrigation Science, 25, 233–245.

Keller, A.A. and Keller, J. 1995. Effective Efficiency: a water use efficiency concept for allocating freshwater resources. Discussion Paper 22, Center for Economic Policy Studies, Winrock International, January .

Keller, A., Keller, J. and Seckler, D. 1996. Integrated water resource systems: theory and policy implications. Research Report 3, International Water Management Institute. Colombo. Sri Lanka.

Mokari, Ghahroodi, E., Noory, H. Liaghat, A. M. 2015. Performance evaluation study and hydrologic and productive analysis of irrigation systems at the Qazvin irrigation network (Iran). Agricultural Water Management, 148: 189–195.

Willardson, L. S., Allen, R. G. and Frederiksen, H. D. 1994. Elimination of irrigation efficiencies. In: Proceedings of the 13th Technical Conference USCID. USCID (Ed.). Denver (CO). USA.

The Analysis of Irrigation Efficiency Concepts at the level of Irrigation Network (Case study: Avan Irrigation Network, khozestan)

Mehdi Mohammadi Ghaleni[1], Mohammad Javad Nahvinia[2]

Abstract

The objective of this study is to evaluate Avan modern irrigation network with an area of 10985 ha. The main district's water inputs (irrigation, precipitation and canal releases) and outputs (actual evapotranspiration of crops, outflow surface drainage and canal seepage) were measured or estimated during the hydrological years of 2006 to 2009. The district-level irrigation performance was poor (mean value of seasonal irrigation consumptive use coefficient-ICUC in the studied years were equal 37%), due to the low distribution (66%) and on-farm (53%) efficiencies for the 1385-88 irrigation seasons. Thus, despite the high volume of applied irrigation water, the actual district ET was 19% lower than the maximum achievable ET, indicating that the water-stressed crops yielded below their maximums. By using neoclassical approach, it was shown that the values of net (0.83) and effective efficiencies (0.68) were more than classical efficiency (0.53) in surface irrigation systems. The results obtained in this study showed that effective efficiency has suitable expression about irrigation management and method at farm scale, whereas net efficiency only considers the concept of reuse of beneficial losses on spatial scale larger than the field. Potential reductions in water allocation were analyzed for three ICUC values (65, 75, and 85%) and two scenarios of modernization (I and II). In scenario I, where the aim was to achieve maximum ET and crop yields, water allocation could be reduced from 34.8 to 50.2% of the current allocation. In scenario II, where the aim was to achieve the maximum conservation of water under the actual ET and crop yields, reductions in water allocation would be much higher than current allocation (47.4 - 59.8%). Thus, significant volumes of water could be conserved in the rehabilitation of this district by increasing the distribution efficiency and, in particular, the on-farm irrigation efficiency.

Keywords: Irrigation efficiency, Irrigation consumptive use coefficient, Modernization of Irrigation Networks, System irrigation, Water conservation

[1] Assistant Professor, Department of Water sciences and Engineering, Faculty of Agriculture and Environment, Arak University, Arak, Iran; m-mohammadighaleni@araku.ac.ir

[2] Assistant Professor, Department of Water sciences and Engineering, Faculty of Agriculture and Environment, Arak University, Arak, Iran; m-nahvinia@araku.ac.ir (Corresponding Author)

Research Paper

The Analysis of Irrigation Efficiency Concepts at the level of Irrigation Network (Case study: Avan Irrigation Network, khozestan)

Mehdi Mohammadi Ghaleni[1], **Mohammad Javad Nahvinia**[2*]

[1] Assistant Professor, Department of Water sciences and Engineering, Faculty of Agriculture and Environment, Arak University, Iran
[2] Assistant Professor, Department of Water sciences and Engineering, Faculty of Agriculture and Environment, Arak University, Iran

10.22125/IWE.2021.249431.1419

Received: **September.21.2020**
Accepted: **September.23.2021**
Available online: **June.01.2022**

Keywords:
Irrigation efficiency, irrigation consumptive use coefficient, modernization of irrigation networks, system irrigation, water conservation

Abstract

The objective of this study is to evaluate Avan modern irrigation network with an area of 10985 ha. The main district's water inputs (irrigation, precipitation and canal releases) and outputs (actual evapotranspiration of crops, outflow surface drainage and canal seepage) were measured or estimated during the hydrological years of 2006 to 2009. The district-level irrigation performance was poor (mean value of seasonal irrigation consumptive use coefficient-ICUC in the studied years were equal 37%), due to the low distribution (66%) and on-farm (53%) efficiencies for the 1385-88 irrigation seasons. Thus, despite the high volume of applied irrigation water, the actual district ET was 19% lower than the maximum achievable ET, indicating that the water-stressed crops yielded below their maximums. By using neoclassical approach, it was shown that the values of net (0.83) and effective efficiencies (0.68) were more than classical efficiency (0.53) in surface irrigation systems. The results obtained in this study showed that effective efficiency has suitable expression about irrigation management and method at farm scale, whereas net efficiency only considers the concept of reuse of beneficial losses on spatial scale larger than the field. Potential reductions in water allocation were analyzed for three ICUC values (65, 75, and 85%) and two scenarios of modernization (I and II). In scenario I, where the aim was to achieve maximum ET and crop yields, water allocation could be reduced from 34.8 to 50.2% of the current allocation. In scenario II, where the aim was to achieve the maximum conservation of water under the actual ET and crop yields, reductions in water allocation would be much higher than current allocation (47.4 - 59.8%). Thus, significant volumes of water could be conserved in the rehabilitation of this district by increasing the distribution efficiency and, in particular, the on-farm irrigation efficiency.

[*] **Corresponding Author:** Mohammad Javad Nahvinia
Address: Department of Water sciences and Engineering, Arak University, Iran
Email: m-nahvinia@araku.ac.ir
Tel: 086-32623524

1. Introduction

Most assessments of efficiency have been performed based on farm scale. By upscaling of efficiency to scale of basin and network irrigation using new concepts, a better understanding of irrigation status can be obtained. The objective of this study is to evaluate Avan modern irrigation network with an area of 10985 ha.

2. Materials and Methods

The main district's water inputs (irrigation, precipitation and canal releases) and outputs (actual evapotranspiration of crops, outflow surface drainage and canal seepage) were measured or estimated during the hydrological years of 2006 to 2009. the components of the energy balance were determined by using the energy balance algorithm and the actual evapotranspiration was calculated and used as evapotranspiration to determine the water balance in the Avan irrigation network.

Two modernization scenarios including: (I) water supply to attain the net requirement of crops so that maximum yield is achieved and (II) water supply to reach available IWCU crops so that the crops yields is similar to the available yield, were analysised.

3. Results

The district-level irrigation performance was poor (mean value of seasonal irrigation consumptive use coefficient-ICUC in the studied years were equal 37%), due to the low distribution (66%) and on-farm (53%) efficiencies for the 2006-09 irrigation seasons. By using neoclassical approach, it was shown that the values of net (0.83) and effective efficiencies (0.68) were more than classical efficiency (0.53) in surface irrigation systems. Potential reductions in water allocation were analyzed for three ICUC values (65, 75, and 85%) and two scenarios of modernization (I and II). In scenario I, where the aim was to achieve maximum ET and crop yields, water allocation could be reduced from 34.8 to 50.2% of the current allocation. In scenario II, where the aim was to achieve the maximum conservation of water under the actual ET and crop yields, reductions in water allocation would be much higher than current allocation (47.4 - 59.8%).

4. Discussion and Conclusion

Despite the high volume of applied irrigation water, the actual district ET was 19% lower than the maximum achievable ET, indicating that the water-stressed crops yielded below their maximums.The results obtained in this study showed that effective efficiency has suitable expression about irrigation management and method at farm scale, whereas net efficiency only considers the concept of reuse of beneficial losses on spatial scale larger than the field. The significant volumes of water could be conserved in the rehabilitation of this district by increasing the distribution efficiency and, in particular, the on-farm irrigation efficiency.

5. Six important references

1. Allen, R. G. Clemmens, A. J. and Willardson, L. S. 2005. Agro-Hydrology and Irrigation Efficiency, ICID Working Group on Sustainable Crops and Water Use.
2. Isidoro, D. Quílez, D. and Aragüés, R. 2004. Water balance and irrigation performance analysis at the irrigation district level, Journal of Agric. Water Manage, 64 (2): 123-142.
3. Jensen, ME. 2007. Beyond irrigation efficiency, Irrigation Sci, 25, 233–245.
4. Keller, A.A. and Keller, J. 1995. Effective Efficiency: a water use efficiency concept for allocating freshwater resources. Discussion Paper 22, Center for Economic Policy Studies, Winrock International, January
5. Keller, A., Keller, J. and Seckler, D. 1996. Integrated water resource systems: theory and policy implications. Research Report 3, International Water Management Institute. Colombo. Sri Lanka.
6. Mokari, Ghahroodi, E., Noory, H. Liaghat, A. M. 2015. Performance evaluation study and hydrologic and productive analysis of irrigation systems at the Qazvin irrigation network (Iran). Agricultural Water Management 148: 189–195.

Conflict of Interest
Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments
We are grateful to University of Tehran and Institute of Water and Electricity of Khuzestan.