DOI: 10.22059/ijswr.2018.125311.667237 تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۰، شماره ۳، مرداد ۱۳۹۸ (ص ۵۷۹-۵۶۷)

Evaluation of Irrigation Network Using New Classic Irrigation Efficiency Concepts (Case study: Hamody Irrigation System of Khozestan)

MOHAMMAD JAVAD NAHVINIA[1], ABDOLMAJID LIAGHAT[*2], FARIBORZ ABBASI[3]

1. Ph.D. Student of Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran and assistant Professor, Water Sciences and Engineering Department, Arak University, Arak, Iran
2. Professor of Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran , Karaj, Iran
3. Professor, Agricultural Engineering Research Institue (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

(Received: June. 7, 2015- Revised: June. 22, 2018- Accepted: Nov. 11, 2018)

ABSTRACT

This study was carried out to evaluate Hamody irrigation network (in an area of 3079 ha) using classic and new classic irrigation efficiency concepts. For this purpose, firstly the main district's water inputs (irrigation, rainfall and canal releases) and outputs (actual crop evapotranspiration, drainage outflow and canal seepage) were measured or estimated during the hydrological years (2006-2009). Then, the application efficiency (classic concept) and the net and effective efficiencies (neoclassic concept) were estimated at the network level. Finally, different scenarios of water allocation were evaluated by considering new concepts of irrigation efficiency. The assessment scenarios include 65, 75 and 85% of water supply needs, 100% Crop Water Requirement (CWR) and a fraction of CWR without significant reduction in yield. The annual average outflows were 16% higher than the inflows, presumably due to canal seepage and lateral groundwater inflows from neighboring lands. Distribution, application and total efficiencies were estimated 68, 53 and 44%, respectively, indicating low irrigation performance in the irrigation network. Despite the high volume of applied irrigation water, the actual ET was 19% less than the potential ET, indicating water-stress and crop yield reduction. The assessment of surface irrigation systems using new classical approach showed that the net (0.77) and effective (0.65) efficiencies were more than the classical efficiency (0.53). The results of this study showed 19-47% water saving in allocation scenarios using the new concepts of efficiency.

Keywords: Application Efficiency, Distribution Efficiency, Effective Efficiency, ET, Net Efficiency, Water Stress.

*Corresponding Author's Email: aliaghat@ut.ac.ir

ارزیابی شبکه آبیاری با مفاهیم کلاسیک و جدید راندمان آبیاری (مطالعه موردی: شبکه حمودی خوزستان)

محمد جواد نحوی نیا [۱]، عبدالمجید لیاقت [۲*]، فریبرز عباسی [۳]

۱. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران و استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اراک، اراک، ایران

۲. استاد، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۳. استاد پژوهش، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۳/۱۷- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۴/۱- تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۸/۲۰)

چکیده

این تحقیق به منظور ارزیابی شبکه حمودی در سطح ۳۰۷۹ هکتار از دیدگاه مفاهیم کلاسیک و جدید راندمان آبیاری انجام شد. بدین منظور ابتدا ورودی‌ها (آبیاری، بارش، آزادسازی‌های کانال) و خروجی‌های اصلی آب (تبخیر تعرق واقعی محصول، زهاب خروجی و نشت از کانال انتقال) طی سال‌های هیدرولوژیکی ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۸ اندازه‌گیری یا برآورد شدند. سپس اقدام به برآورد راندمان آبیاری شبکه با استفاده از مفاهیم کلاسیک (راندمان کاربرد) و نئوکلاسیک (راندمان خالص و مؤثر) گردید. در نهایت سناریوهای مختلف تخصیص آب با لحاظ مفاهیم جدید راندمان مورد ارزیابی قرار گرفت. سناریوهای مورد ارزیابی شامل سه سناریوی ۶۵، ۷۵ و ۸۵ درصد تأمین نیاز آب مصرفی و دو سناریو بر اساس مفاهیم جدید شامل تأمین کامل نیاز آبی گیاه و تأمین درصدی از نیاز آبی که عملکرد محصول کاهش معنی‌داری پیدا نکند، می‌باشد. نتایج نشان داد که در شبکه آبیاری حمودی به دلیل جریان‌های زیرزمینی جانبی از اراضی مجاور و نشت از کانال‌ها، آب‌های خروجی به طور متوسط سالانه ۱۶ درصد بیشتر از آب‌های ورودی می‌باشد. راندمان توزیع، کاربرد و کل شبکه به ترتیب ۶۸، ۵۳ و ۴۴ درصد برآورد شد که بیانگر عملکرد آبیاری پایین در شبکه آبیاری حمودی می‌باشد. علیرغم حجم آب مصرفی زیاد شبکه، تبخیر و تعرق واقعی ۱۹درصد کمتر از پتانسیل تبخیر و تعرق اندازه‌گیری شد، که نشان‌دهنده وجود تنش آبی و کاهش عملکرد محصول می‌باشد. ارزیابی سامانه‌های آبیاری سطحی با روش نئوکلاسیک نشان داد که راندمان خالص (۷۷٪) و مؤثر (۶۵٪) بیشتر از راندمان کلاسیک (۵۳٪) می‌باشند. نتایج این تحقیق نشان داد که با اعمال سناریوهای مفاهیم جدید راندمان می‌توان بین ۱۹ تا ۴۷ درصد در تخصیص آب صرفه‌جویی نمود.

واژه‌های کلیدی: تبخیر و تعرق، تنش آبی، راندمان توزیع، راندمان خالص، راندمان کاربرد، راندمان مؤثر

مقدمه

یکی از چالش‌های اساسی در خصوص استفاده اصولی و صحیح از آب در کشاورزی که بین وزارتین نیرو و کشاورزی مطرح است، موضوع راندمان آبیاری است. وزارت نیرو مدعی است که راندمان پایین آبیاری در ایران (حدود ۳۵٪) باعث می‌شود که حجم زیادی از آب تلف شده و از دسترس خارج گردد. در صورتی که وزارت کشاورزی مدعی است بخشی از این تلفات به صورت آب‌های برگشتی (رواناب یا نفوذ عمقی) به منابع آب سطحی در پایین‌دست و زیرزمینی اضافه شده و مجدداً مورد استفاده قرار می‌گیرند. در محاسبات راندمان آبیاری به صورت کلاسیک، سهم آب‌های برگشتی منظور نمی‌شود در صورتی‌که در مفاهیم نئوکلاسیک راندمان آبیاری این سهم لحاظ می‌گردد. بنابراین اختلاف نظر بین وزارتین به خاطر تعاریف و مفاهیم متفاوتی است که مورد استفاده قرار می‌گیرد (Nahvinia *et al.*, 2015).

راندمان آبیاری ممکن است در روش‌های مختلف وابسته به مفهوم " آبی که به طور مفید استفاده می‌شود" (ET محصول واقعی (ET_a)، ET بیشینه محصول یا پتانسیل (ET_p)، آب مصرفی در آبشویی نمک‌ها یا آماده‌سازی زمین برای کشت، یا غیره) به کار برده شود. بنابراین، اگر آب آبیاری که مصرف شده - $IWCU = ET_a - P_e$ [۱] که Pe بارش مؤثر است) استفاده شود، ضریب مصرف آب آبیاری (ICUC [۲]) به دست می‌آید.

1. Irrigation consumptive use
2. Irrigation consumptive use coefficient

* نویسنده مسئول: aliaghat@ut.ac.ir

بسیاری از محققان مفهوم کلاسیک راندمان را برای ارزیابی تأثیرات هیدرولوژیکی آبیاری در حوضه مناسب ندانسته‌اند (Seckler, 1996; Perry, 1999; Jensen, 2007; Molden *et al*., 2010) Huffaker (2008) و Ward and Pulido (2008) نمونه‌هایی از تحلیل‌های متناقض در فعالیت‌های مدیریت آب و برنامه‌های حفاظت آب را به علت ناقص بودن کاربرد مفهوم کلاسیک راندمان گزارش کردند. تعدادی از محققین تمایز بین مفهوم راندمان کلاسیک آبیاری و راندمان نئوکلاسیک آبیاری را پیشنهاد کرده‌اند (Mateos , 2008; Haie and Keller, 2011) و روشی که در برگیرنده مسائل هیدرولوژیکی مرتبط با آبیاری (ذکر شده در بالا) است در قالب بیان‌هایی جدید به نام راندمان خالص و راندمان مؤثر ارائه کرده‌اند (Isidoro, 1999 ; Akbari *et al*., 2007 and Toomanian *et al*., 2007).

مفهوم جدید راندمان اولین بار توسط Jensen (2007) و با پیشنهاد تجدیدنظر در راندمان کلاسیک و استفاده از شاخص راندمان خالص (NE)، بیان گردید (رابطه ۱).

$$NE = CE + Er(1 - CE) \quad \text{(رابطه ۱)}$$

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

کلر و کلر (Keller and Keller ,1995) و کلر و همکاران (Keller *et al* ,1996) مفهوم راندمان مؤثر (EE) را توسعه داده‌اند (رابطه ۲).

$$EE = \frac{NET}{I - O(R)} \quad \text{(رابطه ۲)}$$

که در آن I: جریان آب در نقطه برداشت که قبلاً ذکر شد، O: جریان آب خروجی از کاربری مورد نظر که برابر رواناب و نفوذ عمقی می‌باشد، R: درصد خروجی قابل استفاده مجدد وNET: تبخیر و تعرق خالص است.

Liaghat *et al*., (2015) به ارزیابی عملکرد و آنالیز هیدرولوژیکی و تولیدی سامانه‌های مختلف آبیاری در شبکه آبیاری قزوین پرداختند. نتایج نشان داد که راندمان آبیاری کلاسیک برای سامانه سطحی-شیاری ٪۵/۹ و ٪۲۷/۸ مربوط به مراحل اولیه و میانی رشد بود. کمترین راندمان کلاسیک سامانه‌های بارانی مربوط به سامانه خطی (٪۱۱/۸ و ٪۴۵/۶ مربوط به مراحل اولیه و میانی رشد) بود. مقادیر راندمان مؤثر در همه سامانه‌های آبیاری کمتر از راندمان خالص بود. کسر مفید کل در همه سامانه‌های بارانی بیشتر از سامانه‌های سطحی-شیاری بود.

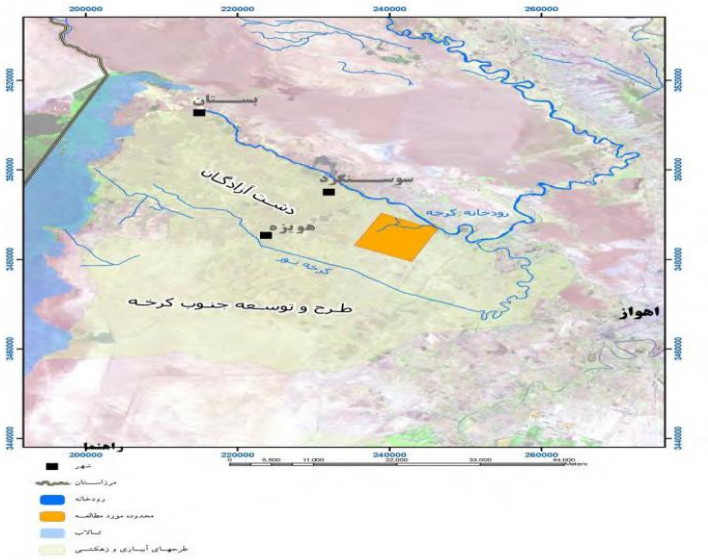
پری (Perry, 2007) مصارف آب آبیاری را به صورت تفصیلی و در راستای اهداف آبیاری شناسایی کردند و چهار نوع مصرف از آب آبیاری مشخص کردند: (۱) تبخیر-تعرق مفید (۲) تبخیر تعرق غیر مفید (۳) رواناب یا نفوذ عمقی غیر قابل بازیافت (۴) رواناب یا نفوذ عمقی قابل بازیافت. دو جزء نخست جزء مصرفی آب را تشکیل می‌دهند. تبخیر و تعرق کل و رواناب/نفوذ عمقی غیر قابل بازیافت و معرف جزئی از کل آب مصرفی است که در یک حوضه تخلیه می‌شود. مفهوم تخلیه این است که آب برای مصرف بیشتر موجود نیست چون سرنوشت آن تبخیر به اتمسفر است (مصرف آب) یا تخلیه دیگر (رواناب/ نفوذ عمقی غیر قابل بازیافت) که: (۱) از لحاظ اقتصادی قابل بازیافت نیست، نظیر سطوح آب شور یا سفره‌های عمیق؛ (۲) کیفیت آن مانع استفاده مجدد است. روش‌های مختلف به کار گرفته شده برای به دست آوردن اجزای بیلان آب در کارهای تحقیقی، پیچیدگی اجرای حسابرسی آب در نواحی تحت آبیاری را آشکار می‌کند.

عملکرد آبیاری ضعیف، در برخی از مناطق تحت آبیاری در سرتاسر دنیا، منجر به مسائل اجتماعی، اقتصادی و محیطی مهم شده است. به طوری که مدرن‌سازی این مناطق برای اطمینان از قابلیت سوددهی و پایداری آن‌ها مورد نیاز است. ایران کشوری است با اقلیم خشک و نیمه‌خشک که اکثر نقاط آن دارای وضعیت بحرانی کمبود آب بوده و حفاظت از منابع و نهاده‌های موجود، باید به طور کارا و بهینه صورت گیرد. با توجه به این که سهم عمده‌ای از منابع آبی موجود برای مصارف کشاورزی استفاده می‌شود، شبکه‌های آبیاری و زهکشی نقش بسزایی در استفاده بهینه از این منابع دارند. در خوزستان وجود شبکه‌های آبیاری قدیمی زیاد و پیشرفت‌های آبیاری جدید باعث لزوم تعیین مصرف آب موجود و اهمیت حفاظت آب ناشی از مدرن‌سازی شبکه شده است. اهداف این تحقیق تعیین بیلان آب و ارزیابی عملکرد آبیاری با استفاده از مفاهیم کلاسیک و جدید در شبکه آبیاری حمودی (حوضه رودخانه کرخه، خوزستان) و آنالیز آبی که به طور پتانسیل تحت دو سناریوی مدرن‌سازی می‌تواند نگهداری شود، می‌باشد. این تحقیق سعی دارد تا با محاسبه راندمان آبیاری به دو صورت کلاسیک و نئوکلاسیک گامی در جهت رفع اختلافات این دو رویکرد و روشن کردن اذهان بردارد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شبکه آبیاری و زهکشی حمودی یک از واحدهای هفتگانه شبکه آبیاری و زهکشی دشت آزادگان واقع در شرق استان خوزستان (شکل ۱) می‌باشد که عملیات ساختمانی آن در سال ۱۳۸۱ به اتمام رسیده و آماده بهره‌برداری شده است (Sanei Dehkordi and Karami, 2011). منبع تأمین آب این شبکه کانال AMC می‌باشد که از سمت راست سد انحرافی کرخه منشعب می‌شود.



شکل۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

شبکه حمودی با مساحت ناخالص و خالص به ترتیب ۳۳۷۶ و ۳۰۷۹ هکتار در جنوب جاده حمیدیه سوسنگرد قرار گرفته، از جنوب به زهکش CMD، از شرق به واحد عمرانی کوت و از غرب به شبکه آبیاری جلالیه محدود می‌شود. به دلیل شوری و قلیائیت بسیار زیاد آب زیرزمینی ($dS.m^{-1}$ ۶۰-۴۱) تنها منبع قابل استفاده برای منابع شرب، صنعت و کشاورزی رودخانه کرخه است. عمق آب زیرزمینی در سطح دشت حمودی از یک متر در مناطق پست میانی دشت تا سه متر در حواشی مرتفع‌تر آن متغیر است.

بر اساس اطلاعات ایستگاه هواشناسی حمیدیه متوسط بارندگی در منطقه طرح ۱۰۹/۸ میلی‌متر است که بیش از نیمی از آن در آذر، دی و بهمن‌ماه واقع می‌شود و از اواسط اردیبهشت تا اواخر مهرماه بارش قابل‌توجهی اتفاق نمی‌افتد.

اراضی ناحیه شرقی دشت عمدتاً آبرفتی، در سطح دارای بافت سبک و در عمق دارای خاک بافت متوسط سیلتی بوده و خاک‌های نواحی پست غربی دشت، بافت متوسط دارند.

در حال حاضر تمامی اراضی قابل کشت دشت که به آب دسترسی داشته و مشکلی از نظر سیل‌گیری ندارند و مسئله زهکشی کمتری دارند تحت کشت قرار گرفته‌اند. ترکیب کشت در وضع موجود عمدتاً شامل محصولات زمستانه از جمله غلات (گندم ۴۶۳ هکتار و جو ۱۷۷ هکتار)، محصولات جالیزی، سبزیجات، باقالا، کنجد، و محصولات تابستانه که علاوه بر ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای و جالیزار، در سطح محدودی شامل برنج نیز می‌باشد.

در مجموع، روش‌های آبیاری سطحی با کرت، شیار و نوار در دشت آزادگان مورد استفاده قرارگرفته است (Sanei Dehkordi and Karami, 2011). با توجه به میزان آبیاری منطقه، حداکثر چهار مرتبه و اگر بارندگی کافی نباشد، حداکثر شش مرتبه آبیاری برای گندم زمستانه (محصول عمده شبکه) 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، پنج مرتبه آبیاری انجام می‌شود. به طور کلی مراحل آبیاری غلات که بیشترین سطح زیر کشت را در شبکه دارند بدین صورت است:

۱- جوانه زدن تا اتمام پنجه زدن، ۲- مرحله ساقه رفتن (ساقاب)، ۳- مرحله سنبله رفتن (خوشاب)، ۴- مرحله گل رفتن (گل آب)، ۵- مرحله دانه بستن (دان‌آب) که تقریباً به فواصل ۳۰-۳۵ روز انجام می‌شود.

ارزیابی عملکرد آبیاری در شبکه مدرن حمودی در طول فصول آبیاری (فروردین تا شهریور) سال‌های هیدرولوژیکی ۸۸-۱۳۸۵ (مهر سال قبل تا شهریور سال بعد) انجام گردید.

بیلان آب شبکه

بیلان آب برای دوره مطالعه ۸۸-۱۳۸۵ اجرا شد که اختلاف بین ورودی‌ها و خروجی‌های آب شبکه برابر با تغییر در ذخیره آب منطقه (ΔS) مورد مطالعه است. اجزای بیلان آب شبکه آبیاری عبارت است از:

$$\Delta S=(I+P+G_I+C_R)-(ET+C_s+Q+G_O) \quad \text{(رابطه ۳)}$$

که ورودی‌های شبکه عبارتند از: I: حجم آب ناخالص برداشت شده از رودخانه و تحویلی به شبکه یا منطقه مورد مطالعه که شامل تلفات کاربردی انهار آبیاری (OL) می‌شود؛ P: بارندگی، G_I: جریان‌های ورودی آب زیرزمینی از بیرون منطقه مورد مطالعه و C_R: رهاسازی مستقیم آب از کانال به سیستم زهکشی بر حسب MCM است.

خروجی‌های شبکه عبارتند از: ET: تبخیر و تعرق گیاهان در کل منطقه مورد مطالعه؛ Q: زهکشی سطحی در ایستگاه خروجی شبکه، C_S: نشت از کانال انتقال و G_O: نفوذ عمقی یا جریان‌های خروجی آب زیرزمینی از شبکه بر حسب MCM است (Isidoro *et al*، 2004). در تعیین راندمان آبیاری بر مبنای سالانه، تغییر در ظرفیت رطوبتی ناحیه ریشه اغلب بسیار اندک است و نسبت به آب ورودی بسیار ناچیز می‌باشد (Jensen, 2007). در این تحقیق بیلان آب شبکه، با فرض ناچیز بودن تغییرات رطوبتی خاک قبل و بعد از دوره مطالعاتی در مقیاس سالانه ($\Delta s=0$) بررسی شد.

ورودی‌ها: میزان آب تحویلی به شبکه مدرن آبیاری و زهکشی حمودی (I) در طی سال‌های ۸۸-۱۳۸۵ برگرفته از پایگاه اطلاعات دریافتی از شرکت آب و برق خوزستان تعیین شد. بارندگی روزانه (P) با استفاده از اطلاعات ثبت شده در ایستگاه هواشناسی حمیدیه و بارش مؤثر (P_e) از مقادیر ماهانه P و ET_a به روش SCS (Cuenca,1989) محاسبه شد. 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.

خروجی‌ها: یک بیلان روزانه آب-خاک در طی سال‌های هیدرولوژیکی ۸۸-۱۳۸۵ برای تخمین ET_a در کل منطقه مورد مطالعه اجرا شد. بر مبنای ۸۰ واحدهای خاک موجود در منطقه، خاک‌ها به پنج کلاس بر طبق کل آب موجود (TAW = (FC – WP) که FC ظرفیت زراعی و WP نقطه پژمردگی دائم است، تقسیم شدند. بیلان برای هر کلاس از این کلاس‌های خاک تعیین شد. ET خاک که به وسیله محصولات مختلف تحت آبیاری اشغال می‌شود به ET گیاه (ET_a) برای روزهایی که گیاه در مزرعه موجود است و ET خاک خشک برای روزهای باقیمانده تقسیم می‌شود. همه شاخص‌های عملکرد با استفاده از ET_a برای محاسبه آبی که به طور تحلیلی مصرف می‌شود محاسبه می‌شوند.

به منظور برآورد سطح زیر کشت در شبکه مورد مطالعه از تصاویر سنجنده ETM+ مستقر بر ماهواره‌ی Landsat7 در تاریخ‌های ۲/۱۰ و ۱۳۸۵/۵/۲۵، ۲/۱۲ و ۱۳۸۶/۴/۱۰، ۲/۱۶ و ۱۳۸۷/۴/۱۷ و ۲/۵ و ۱۳۸۸/۵/۱۳ استفاده شد. با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و شاخص‌های مذکور سطح زیر کشت در شبکه حمودی تعیین شد.

تبخیر و تعرق مرجع (ET_O) با روش پنمن-مانتیث فائو (Allen *et al*., 1998) با استفاده از اطلاعات هواشناسی ایستگاه حمیدیه محاسبه شد. تبخیر و تعرق پتانسیل یا ماکزیمم (ET_m) محصولات با استفاده از (ET_O) و ضرایب گیاهی مربوطه (K_c) که توسط روش (Doorenbos and Pruitt, 1977) FAO و معادله Cuenca (1989) برای مرحله توسعه گیاه تعریف شدند، تعیین شد. میزان نشت در کانال انتقال در بازه زمانی سال‌های هیدرولوژیکی ۸۸-۱۳۸۵ و در طول کانال انتقال حدفاصل محل آبگیری و محل تحویل به سیستم توزیع با اندازه‌گیری میزان آب ورودی و خروجی به کانال انتقال اندازه-گیری شد.

لیمنی‌گراف‌ها، جدول‌های طبقه‌بندی و میانگین جریان-های روزانه در ایستگاه پایش خروجی شبکه از آمار موجود در بخش مدیریت شبکه (شرکت آب و برق خوزستان) برای دوره مطالعه ۸۸-۱۳۸۵ به دست آمد. نمونه‌های روزانه از آب زهکشی با استفاده از نمونه‌گیرهای آب اتوماتیک در ایستگاه پایش شبکه تهیه شده و EC اندازه‌گیری و برای تفکیک هیدروگراف که قبلاً ذکر شد استفاده گردید.

برای تخمین رواناب یا زهکشی سطحی در شبکه‌های آبیاری از روش جداسازی هیدروگراف (Matsubayashi *et al*., 1993) استفاده شد. برای تفکیک هیدروگراف، پارامتر EC به خاطر مقادیر کاملاً ثابت و پایین EC آب کانال و مقادیر کاملاً ثابت و نسبتاً بالای EC آب‌های جریان پایه (نزدیک به گچ اشباع) انتخاب شد. متوسط EC آب‌های کانال‌های انتقال و رودخانه اندازه‌گیری شده در ۹۸ نمونه در فصل ۸۸- ۱۳۸۵، در شبکه حمودی ۰/۲۶ dS/m (انحراف معیار ۰/۰۴۵ dS/m) بود. متوسط EC رواناب یا زهکشی سطحی اندازه‌گیری شده در زهکش‌ها در دو تاریخ هنگامی‌که جریان‌ها به اندازه کافی زیاد بودند تا فرض شود که آن‌ها به طور عمده رواناب هستند (Pinder and Jones, 1969) در شبکه حمودی برابر ۰/۳۲ dS/m (انحراف معیار ۰/۰۳۵ dS/m) بود. سرانجام EC های جریان پایه

در طی فصل‌های غیر آبیاری از طریق اندازه‌گیری‌هایشان در تاریخ‌های بدون آزادسازی کانال و رواناب مشخص شدند. آب-های رواناب ناشی از بارش در صعود لیمنی‌گراف ایستگاه پایش در روز بارش یا روزهای اندکی قبل از بارش تعیین شدند. کشاورزان آبیاری را پس از بارش سنگین در فصل آبیاری قطع می‌کنند یا کاهش می‌دهند. بنابراین تلفات آب که مستقیماً به درون زهکش‌ها می‌ریزد افزایش می‌یابد.

آب‌های زهکشی زیرزمینی در پلات‌های آبیاری از طریق بیلان آب خاک برآورد شدند. بدین منظور، در همه سامانه‌های آبیاری مورد بررسی، ابتدا کمبود رطوبتی خاک (SMD) طبق رابطه (۴) تعیین و عمق آب نفوذ یافته مازاد بر آن، به عنوان زهکشی زیرزمینی در نظر گرفته شد.

$$SMD = (\theta_{fc} - \theta_{ave}) \times \rho_b \times z_r \quad \text{(رابطه ۴)}$$

در رابطه فوق θ_{fc}: رطوبت جرمی در ظرفیت زراعی، θ_{ave}: میانگین رطوبت جرمی قبل از آبیاری، ρ_b: چگالی ظاهری خاک و z_r: عمق توسعه ریشه است.

سرانجام، جریان‌های زیرزمینی ورودی(G_I) و خروجی (G_O) در شبکه مورد مطالعه در محاسبات وارد نشدند. وجود لایه‌های تحتانی نفوذناپذیر رسی و خروجی باریک در ایستگاه پایش شبکه باعث می‌شود جریان‌های خروجی زیرزمینی از منطقه کوچک شود Water resources management of Iran, (2008). در این تحقیق اختلاف بین جریان‌های ورودی و خروجی، به صورت جریان ورودی خالص پایش نشده به شبکه محاسبه شد[GIn = GI- GO].

آنالیز عملکرد آبیاری

راندمان آبیاری، به صورت نسبت بین آب آبیاری که به طور مفید به وسیله محصولات استفاده می‌شود به آب آبیاری کاربردی منهای افزایش در ذخیره رطوبتی خاک تعیین شد.

آنالیز عملکرد آبیاری بالا بر مبنای نیاز خالص آبیاری (-NIR) محصولات بایستی به عنوان حد بالای راندمان استفاده مصرفی سیستم لحاظ شود، چون نیاز خالص آبیاری بر اساس ET بیشینه (ET_p) که بیشتر از ET واقعی محصولات (ET_a) است محاسبه می‌شود. در این مطالعه، این رویکرد با لحاظ جزئی از آب آبیاری که به طور واقعی به وسیله محصولات مصرف می‌شود (یعنی تبخیر تعرق واقعی، ET_a) به علاوه جزئی از آب آبیاری که به وسیله انهار آبیاری منتقل می‌شود اما به پلات‌های آبیاری تحویل داده نمی‌شود بلکه به طور مستقیم به سیستم زهکشی تخلیه می‌شود (یعنی تلفات کاربردی، OL) توسعه داده می‌شود.

ضریب مصرف آب آبیاری (ICUC) ممکن است به صورت"IWCU/I" با فرض ناچیز بودن تغییرات رطوبت خاک در طی دوره مطالعه محاسبه شود. به علاوه نسبت "IWCU/NIR" قابلیت سیستم برای تأمین نیاز محصول (یعنی جزئی از نیاز محصول که به وسیله آبیاری فراهم می‌شود) را نشان می‌دهد. تلفات کاربردی (OL) خروجی در طی فصل آبیاری ممکن است از طریق جداسازی هیدروگراف آب‌های زهکشی در خروجی منطقه مطالعه تخمین زده شود. این جداسازی بر مبنای هدایت الکتریکی (EC) مختلف مقادیر OL و جریانات سطحی که EC پایین دارند و آب‌های زهکشی زیرزمینی که EC نسبتاً بالا دارند، صورت می‌گیرد از تخمین OL راندمان توزیع سیستم (DE = (I - OL)/ I) به دست می‌آید.

تفکیک تلفات مفید و غیرمفید در مقیاس مزرعه

بیشتر حجم رواناب/نفوذ عمقی در شبکه حمودی به رودخانه کرخه باز می‌گردد و به وسیله کاربران پایین دست استفاده می-شود. کیفیت این آب برگشتی در بیشتر موارد امکان استفاده مجدد برای آبیاری به صورت مستقیم یا به صورت مخلوط با آب شیرین را می‌دهد. تنها بخش کوچکی از جریان برگشتی آبیاری (IRF) غیر قابل بازیافت است.

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 به دست می‌آید.

$$ET_e = k_e \times ET_0 \quad \text{(رابطه ۵)}$$

$$K_e = k_r (K_{c\max} - K_{cb}) \le (f_{ew} \times K_{c\max}) \quad \text{(رابطه ۶)}$$

$$f_{ew} = \min(1 - f_c, f_w) \quad \text{(رابطه ۷)}$$

$$f_c = \left(\frac{K_{cb} - K_{c\min}}{K_{c\max} - K_{c\min}} \right)^{(1+0.5h)} \quad \text{(رابطه ۸)}$$

(رابطه ۹)

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

در روابط بالا:

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 مؤثر، 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. در این روش ابتدا تبخیر-تعرق گیاه مرجع با استفاده از روش پنمن مانتیث فائو و اطلاعات اقلیمی تعیین شد. سپس ضریب تبخیر از خاک برای هر یک از محصولات محاسبه گردید. در ادامه با توجه به سطح زیر کشت هر محصول مقدار تبخیر از سطح خاک در سطح مزرعه برآورد گردید.

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.

مفاهیم کلاسیک و جدید راندمان

راندمان کلاسیک (Keller and Keller, 1995)، از رابطه زیر تعیین می‌گردد (رابطه ۱۰ و ۱۱).

$$CE = \frac{NET}{I} \quad \text{(رابطه ۱۰)}$$

$$NET = ET_a - P_e \quad \text{(رابطه ۱۱)}$$

در روابط (۱۰) و (۱۱)، NET: تبخیر و تعرق خالص، I: مقدار آب ورودی بر اساس مقدار آب برداشت شده، ET_a: تبخیر و تعرق واقعی گیاه (برآورد شده از بیلان آب و خاک) و P_e: بارش مؤثر است.

برای تعمیم و بسط راندمان از سطح مزرعه به سطح شبکه از دو شاخص راندمان خالص (NE) و راندمان مؤثر (EE) استفاده شد (رابطه ۱ و ۲).

تلفات کل به سه دسته عمده از نظر مفید و غیرمفید بودن تقسیم می‌گردند. دسته اول، تلفات تبخیر از سطح خاک است. این‌گونه تلفات، تلفات غیرمفیدی هستند که دیگر قابل استفاده نمی‌باشند. دسته دوم تلفات، رواناب است که بیشتر در سامانه‌های آبیاری سطحی وجود دارند. به منظور تعیین درصد مفید بودن آن‌ها، رواناب حاصل در سیستم روندیابی می‌گردد تا سرنوشت آب خارج شده تعیین شود. دسته سوم تلفات، نفوذ عمقی است. در مفهوم جدید راندمان، همه این تلفات غیرمفید نمی‌باشد. زیرا مقداری از این آب مخصوصاً در سامانه‌های سطحی صرف کنترل شوری و آبشویی در ناحیه توسعه ریشه شده و بخشی نیز ممکن است زهکشی شده و دوباره به چرخه آبی بازگردد. در ارزیابی حاضر، جزء آبشویی و نیاز آبشویی با استفاده از روش Ayers and Westcot (1985) و با توجه به کیفیت زه‌آب‌های خروجی از واحدهای زراعی برآورد گردید و عمق آب آبشویی و زهکشی خروجی، به عنوان سهم مفید از تلفات نفوذ عمقی در نظر گرفته شد.

آنالیز حفاظت آب

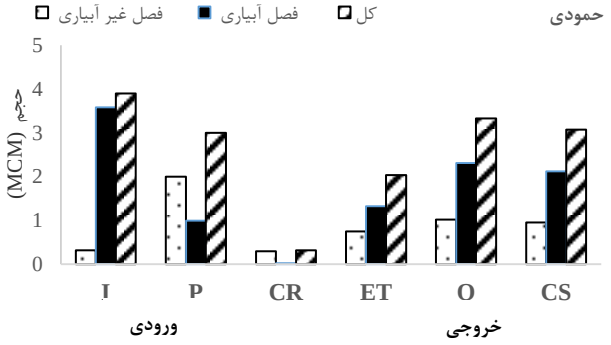
بعد از تعیین آب مصرفی و عملکرد آبیاری در منطقه مورد مطالعه، امکان اجرای آنالیز آبی که می‌تواند تحت سناریوهای مختلف مدرن‌سازی نگهداری شود وجود دارد. این رویکرد با آنالیز حجم آبی که می‌تواند تحت مقادیر مختلف ICUC (یعنی با استفاده از ET_a واقعی کمتر از ET_m) استفاده شود و دو سناریوی مدرن‌سازی شامل: (۱) تأمین آب به طور کامل برای تأمین نیاز خالص محصولات (NIR) به طوری که بیشینه عملکرد به دست آید و (۲) تأمین آب برای گیاهان تا حدی که عملکرد به دست آمده مشابه عملکرد موجود باشد، انجام شد. در سناریوی نخست، اولویت بهره‌وری محصول با حفاظت آب است، در حالی که در سناریوی دوم، اولویت حفاظت آب است.

با توجه به آنچه گفته شد، این تحقیق به منظور ارزیابی شبکه حمودی از دیدگاه مفاهیم کلاسیک و جدید راندمان آبیاری در طی فصول زراعی ۸۸-۱۳۸۵ انجام شد. بدین منظور ابتدا بیلان آب با برآورد ورودی‌ها و خروجی‌های آب در سطح شبکه تعیین شد. سپس اقدام به برآورد راندمان کاربرد (مفهوم کلاسیک) و خالص و مؤثر (مفهوم نئوکلاسیک) در سطح شبکه گردید و در ادامه به شبیه‌سازی سناریوهای مدرن‌سازی عملکرد آبیاری در سطح شبکه حمودی پرداخته شد.

بحث و نتایج

بیلان آب شبکه

پس از جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز در شبکه‌های مورد مطالعه، پارامترهای مورد نیاز جهت ارزیابی شبکه‌های آبیاری محاسبه شد که نتایج آن در شکل (۲) آورده شده است.

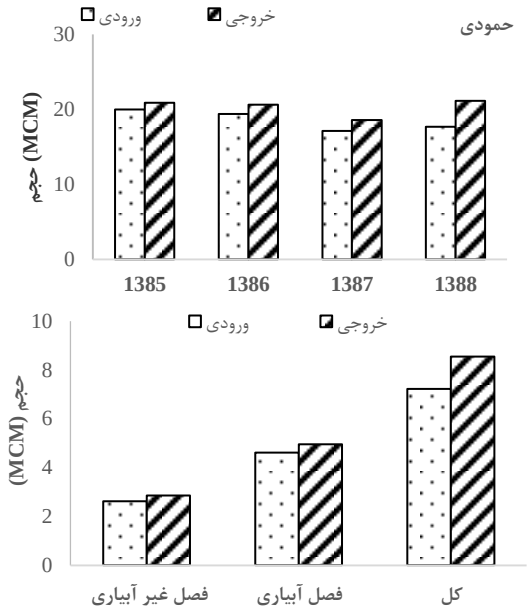


شکل ۲. میانگین حجم‌ها و مقادیر استاندارد آبیاری (I)، بارش (P)، رهاسازی مستقیم به سیستم زهکشی(C_R)، نشت کانال (C_s) و رواناب یا زهکشی سطحی (Q)، و تبخیر منطقه (ET) در فصل‌های آبیاری و غیر آبیاری ۸۸-۱۳۸۵ در شبکه حمودی

در شکل (۲) پارامترهای ورودی در سمت چپ و پارامترهای خروجی در سمت راست نمایش داده شده‌اند. متوسط ورودی‌های سالانه شامل آب تحویلی به شبکه، بارندگی و رهاسازی کانال در فاصله زمانی ۸۸-۱۳۸۵ در حمودی برابر: (I= ۳/۹ MCM)، (P=۳/۰ MCM) و (C_R=۰/۳ MCM) بودند. متوسط سالانه اندازه‌گیری‌شده یا برآوردشده رهاسازی کانال (C_R) خیلی کوچک هستند. در حالی‌که متوسط خروجی-ها شامل تبخیر و تعرق، زهکشی سطحی و تلفات نشت از کانال به ترتیب در شبکه حمودی برابر: (ET = ۲/۰ MCM)، (Q = ۳/۳ MCM) و (C_S = ۳ MCM) بودند. به‌جز بارش، مقادیر ورودی و خروجی در فصل آبیاری بیشتر از فصل غیر آبیاری بودند (شکل ۲).

در جدول (۱) تغییرپذیری سالانه (CV) برای پارامترهای ورودی و خروجی شبکه حمودی نشان داده شده است. تغییرپذیری سالانه برای P و C_R (به ترتیب ۳۴٪ و ۷۸٪=CV) ناشی از ماهیت تصادفی طبیعی P و مقدار نسبتاً بالای C_R در فصل غیر آبیاری است.

در مقابل، تغییرپذیری سالانه I، ET، Cs و Q پایین بود (به ترتیب ۱۴٪، ۹٪، ۱۳٪ و ۱۱٪ =CV)، که نشان‌دهنده شرایط نسبتاً مشابه مدیریت آب (I)، محصولات (ET)، نشت از کانال (C_s) و جریان‌های زهکشی (Q) در سال‌های مطالعه بود. نتایج مشابه برای تغییرپذیری سالانه در فصل‌های آبیاری و غیرآبیاری به دست آمد (جدول ۱). مقدار خروجی‌های آب شبکه حمودی بزرگ‌تر از ورودی‌های آب در همه سال‌ها و فصل‌های آبیاری و غیر آبیاری بودند (شکل ۳).



شکل ۳. آب‌های ورودی خروجی برای فصل‌های آبیاری و غیر آبیاری آب‌های ورودی و خروجی در سال‌های هیدرولوژیکی ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۸

جدول ۱. تغییرپذیری سالانه (CV) برای اجزای بیلان شبکه حمودی

پارامتر	ورودی			خروجی		
	I	P	C_R	ET	Q	Cs
فصل آبیاری	۵	۳۰	۷۸	۳	۱۰	۱۱
فصل غیر آبیاری	۷	۲۷	۸۱	۵	۹	۱۰
کل	۱۴	۳۴	۸۶	۹	۱۱	۱۳

میانگین خروجی سالانه ۸۸-۱۳۸۵، در شبکه حمودی ۱۶٪ بزرگ‌تر از ورودی‌های آب است. این مازاد در خروجی‌های آب می‌تواند به خاطر نشت و جریان‌های زیرزمینی اراضی بالادست به اراضی مورد مطالعه که در این تحقیق بررسی نشده است، باشد.حجم زهکشی از زمین‌های آبیاری شبکه‌های مورد مطالعه از طریق بیلان آب خاک بسیار کمتر از جریان خروجی زهکشی سطحی اندازه‌گیری شده در ایستگاه خروجی شبکه‌ها بود. حتی بعد از کسر حجم تلفات کاربردی و رهاسازی کانال (OL و C_R) از زهکشی خروجی شبکه (Q)، متوسط باقیمانده Q در فصل‌های آبیاری سال‌های مورد مطالعه برابر ۳/۳ MCM بود. در مقابل، متوسط تخمین زهکشی ناشی از بیلان آب (D) در شبکه حمودی ۲/۸ MCM برای همین دوره بود. اختلاف Q-D در شبکه حمودی برابر ۰/۵ MCM به دست آمد که تقریباً متناسب با حجم مازاد متوسط ورودی-خروجی در شبکه حمودی (۰/۶ MCM) برای فصل‌های آبیاری ۸۸-۱۳۸۵ (شکل ۴) بود. این نتیجه فرض قبلی در اینکه خروجی‌های آب مازاد به طور عمده ناشی از جریان‌های زیرزمینی ورودی از زمین‌های مجاور شبکه و نشت از کانال‌های مجاور بودند را تأیید می‌کند. 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 ۴). 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 حمودی ۰/۲۰۹ MCM/month یا m^3/s ۰/۰۱۱ به صورت حد بالای نشت کانال تطابق دارد.

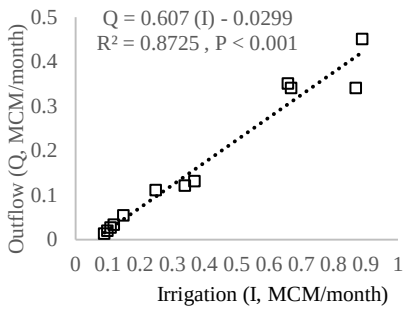
ضریب رگرسیون ممکن است به صورت ترم معکوس راندمان کلی آبیاری در سطح شبکه نمایش داده شود. بنابراین، با نادیده گرفتن ترم‌های جزئی دیگر و با فرض ناچیز بودن تغییرات رطوبتی خاک و فرض یک بیلان آب ساده داریم:

$$Q = I + P + G_{in} - C_s - ET \quad \text{(رابطه ۱۲)}$$

$$Q = (Gin - Cs) + [1 - (ET - P)/I] \times I \quad \text{(رابطه ۱۳)}$$

بنابراین، [1 - (ET - P) / I] ضریب رگرسیون (۰/۶) معادله نشان داده‌شده در شکل (۴) است و ترم (ET - P) / I تقریباً مشابه ضریب استفاده مصرفی آبیاری (با فرض $P \approx P_e$ و $ET \approx ET_a$) است. مقدار پایین ۰/۴ برای این ضریب نشان می‌دهد که عملکرد کلی آبیاری در شبکه حمودی در طی

فصل‌های آبیاری ۸۸-۱۳۸۵ ضعیف بوده است.



شکل ۴. رابطه و معادله رگرسیون خطی بین جریان خروجی ماهانه اندازه‌گیری شده در خروجی و آبیاری کاربردی ماهانه در شبکه طی فصول آبیاری ۸۸-۱۳۸۵

عملکرد آبیاری

راندمان آبیاری در سطح منطقه

شاخص‌های مختلف ارزیابی عملکرد شبکه برای سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۸ محاسبه گردید (جدول ۲). این شاخص‌ها با استفاده از آبیاری (I)، بارش مؤثر (P_e)، مقادیر تبخیر تعرق واقعی (ET_a) و پتانسیل (ET_p) به دست آمد. با وجود اینکه حجم آبیاری در همه سال‌ها بیشتر از نیاز خالص آبیاری محصولات بود، میانگین ETa حدود ۱۹ درصد کمتر از ETm برآورد شد (جدول ۲) که این نقصان می‌تواند به دلیل راندمان پایین آبیاری و یا تنش‌های دیگر (به‌جز تنش کم‌آبی) باشد.

جدول ۲. شاخص‌های عملکردی سالانه شبکه به تفکیک سال‌های هیدرولوژیکی

شبکه	سال	واحد	I	ETa	ETm	P	IWCU	NIR	ID	ICUC (%)	R(%)
حمودی	۱۳۸۵	mm	۱۴۷	۱۶۶/۵	۲۰۶/۶	۱۹۶	۷۷/۵	۱۱۷/۶	۴۰	۰/۴۳	۰/۶۵
		mcm	۴/۵	۵/۱	۶/۳	۶/۰۳	۲/۳	۳/۶	۱/۲		
	۱۳۸۶	mm	۱۳۴	۹۵/۶	۱۱۰/۳	۱۱۳/۳	۱۵۱/۴	۶۲/۳	۱۴/۷	۰/۴۴	۰/۷۶
		mcm	۶/۸	۲/۹	۳/۳	۳/۴	۱/۴	۱/۹	۰/۴		
	۱۳۸۷	mm	۵۷	۱۰۱/۹	۱۲۰/۶	۷۶/۴	۲۴/۹	۴۳/۶	۱۸	۰/۵۲	۰/۵۷
		mcm	۱/۷	۳/۱	۳/۷	۲/۳	۰/۷۶	۱/۳	۰/۵		
	۱۳۸۸	mm	۱۷۰	۱۶۱/۵	۱۹۲/۴	۱۲۶/۱	۷۵/۵	۱۰۶/۴	۳۰/۸	۰/۳۵	۰/۷۱
		mcm	۵/۲	۴/۹	۵/۹	۳/۸	۲/۳	۳/۲	۰/۹		
	میانگین	mm	۱۲۷	۱۳۱/۴	۱۵۷/۴	۱۲۸	۵۶/۴	۸۲/۴	۳۸/۲	۰/۴۴	۰/۶۷
		mcm	۳/۹	۴	۴/۸	۳/۹	۱/۷	۲/۵	۰/۸		

میانگین ICUC فصلی در شبکه حمودی ۴۴٪ (تا حدی بیشتر از ICUC که سابقاً از رابطه Q-I استخراج شد) برآورد شد و از یک مقدار اندک در فصل آبیاری مرطوب ۱۳۸۸ تا مقدار نسبتاً زیاد در فصل‌های آبیاری خشک‌تر ۱۳۸۶ و ۱۳۸۷ (جدول ۳) تغییر می‌کرد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که به طور متوسط در شبکه حمودی ۵۶٪ از آب برداشتی برای آبیاری به صورت زهکشی ناشی از تلفات آبیاری مزرعه و همچنین تلفات کاربردی از انهار آبیاری ثانویه تلف می‌شود. متوسط نسبت IWCU/NIR، شاخصی از نیاز آبی محصول که به وسیله آبیاری تأمین می‌شود، برابر۰/۶۷ و میانگین کم آبیاری (ID = NIR – IWCU یعنی نیاز آبیاری محصولات که به وسیله آبیاری تأمین نمی‌شود) برابر ۳۸/۲mm به دست آمد. اگرچه مقادیر IWCU/NIR بین سال‌ها اندک بود، اما مقادیر ID در شبکه حمودی از ۱۴/۷mm (در سال ۱۳۸۶) تا ۴۰mm (در سال ۱۳۸۵) تغییر می‌کرد که مقدار کم آن در سال ۱۳۸۶ به خاطر خشک‌سالی و آبیاری بیشتر در آن سال می‌باشد. به طور خلاصه، این شاخص‌ها نشان می‌دهند که عملکرد آبیاری در منطقه مورد مطالعه ضعیف است که به طور عمده ناشی از عمق زیاد آبیاری (به طور متوسط ۱۱۰ mm در هر آبیاری) در خاک‌های با ظرفیت نگهداری کم منطقه مورد مطالعه است. در نتیجه، یک بخش قابل توجه از آب کاربردی به زیر ناحیه ریشه منتقل و از دسترس گیاه خارج می‌شود و نمی‌تواند به وسیله محصولات استفاده شود (یعنی $ET_a<ET_m$). بنابراین اصلاح این مسئله بایستی از طریق تغییرات در مدیریت آبیاری (یعنی کاهش فواصل و عمق آبیاری، به ویژه در خاک‌های سبک، درشت بافت، ورقه‌ای و با نفوذپذیری بالا) انجام شود (Isidoro *et al*، 2004).

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 ۳) حاصل شد.

متوسط ضرایب DE، $ICUC_f$ و ICUC در سال ۸۶-۱۳۸۵به ترتیب برابر ۶۶٪، ۵۳٪ و ۴۳٪ بود. بنابراین، ICUC پایین سیستم حاصل هم راندمان‌های پایین مزرعه و هم تلفات کاربردی نسبتاً بالا بود (یعنی به طور متوسط در شبکه حمودی ۳۴٪ حجم آبیاری به طور مستقیم به سیستم زهکشی می‌ریزد).

DE کمتر در سال ۱۳۸۵ در مقایسه با ۱۳۸۶ (جدول ۳) می‌تواند مربوط به بارش باشد که در سال ۱۳۸۵ بیشتر بوده است. بنابراین چون حجم‌ها و دورهای آبیاری در منطقه حمودی ثابت و مستقل از هوا است (یعنی I در هر دو سال مشابه بود)، کشاورزان در سال ۱۳۸۵ جزء بیشتری از آب آبیاری را به طور مستقیم به سیستم زهکشی منحرف کرده‌اند که باعث OL بیشتر و DE کمتر در سال ۱۳۸۵ شده است (جدول ۳). این نتایج نشان از عدم قابلیت سامانه‌های توزیع و تحویل شبکه حمودی برای تأمین حجم‌های آبیاری و شرایط اقلیمی واقعی دارد.

جدول ۳. شاخص‌های کاربردی توزیع آب در شبکه حمودی برای فصول آبیاری ۱۳۸۵ و ۱۳۸۶

پارامتر	۱۳۸۵	۱۳۸۶	میانگین
I (mcm)	۳/۸	۵/۷	۴/۸
OL (mcm)	۱/۴	۱/۱	۱/۳
DE (%)	۶۲	۷۰	۶۶
$ICUC_f$ (%)	۵۶	۴۹	۵۳
ICUC (%)	۴۳	۴۴	۴۳

مقایسه مفاهیم کلاسیک و جدید در مقیاس مزرعه

در جدول (۴) 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 ۱۳۱/۴mm بوده است. 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 (۶۱/۷mm) به طور قابل ملاحظه‌ای بالا است.

پارامتر R بیان شده در راندمان مؤثر همان مفهوم ترم Er در راندمان خالص را دارا می‌باشد که می‌توان هر دو را برابر یکدیگر خواند. استفاده مجدد از آب برگشتی (حجم رواناب/نفوذ عمقی) در سامانه‌های شبکه آبیاری حمودی تخمین زده شده است (جدول ۴). بر اساس نتایج به دست آمده مقدار Er یا R در سامانه‌های آبیاری شبکه، ۵۱/۵ درصد است. در سامانه‌های سطحی مقدار آب برگشتی (رواناب و نفوذ عمقی) بالا بوده و در پایین دست مورد استفاده قرار می‌گیرد.

جدول ۴. میزان مصارف آب و سهم مفید تلفات (Er) برای شبکه آبیاری حمودی

پارامتر	مقدار
حجم آب ورودی (mm)	۱۳۱/۴
حجم آب مصرفی (mm)	۶۹/۶
تبخیر تعرق مفید (mm)	۶۶/۹
تبخیر تعرق غیر مفید (mm)	۲/۷
حجم آب غیر مصرفی (mm)	۶۱/۷
رواناب و نفوذ عمقی قابل بازیافت (mm)	۵۵/۷
رواناب و نفوذ عمقی غیر قابل بازیافت (mm)	۵/۱
درصد تلفات مفید Er=R (%)	۵۱/۵

جدول (۵) مقادیر راندمان‌های کاربرد (مربوط به روش کلاسیک)، خالص و مؤثر (مربوط به روش نئوکلاسیک) را نشان می‌دهد. مقادیر راندمان خالص و مؤثر در سامانه‌های آبیاری سطحی بیشتر از مقادیر راندمان محاسبه شده با روش کلاسیک است. همان‌طور که قبلاً توضیح داده شد مفهوم جدید راندمان همه تلفات موجود در مفهوم کلاسیک را تلفات نمی‌داند و بر این اصل استوار است که آبی که دوباره مورد استفاده قرار می‌گیرد تلفات محسوب نمی‌شود.

جدول ۵. ارزیابی شبکه‌های مدرن آبیاری حوضه کرخه با مفاهیم کلاسیک و جدید به طور متوسط در سال زراعی ۸۸-۱۳۸۵

مفاهیم کلاسیک و جدید			مقادیر
کلاسیک	راندمان کاربرد	Ea	۰/۵۳
جدید	راندمان خالص	NE	۰/۷۷
	راندمان مؤثر	EE	۰/۶۵

نتایج به دست آمده در جدول (۵) نشان می‌دهد که در سامانه‌های آبیاری مورد بررسی، مقادیر راندمان مؤثر نسبت به راندمان خالص کمتر است که این تفاوت از نظر ریاضی قابل اثبات و تائید می‌باشد. با استفاده از رابطه (۱۴) و بازنویسی روابط (۱۰) و (۱۱)، روابط (۱۵) و (۱۶) به دست می‌آید.

$$Er = R = \frac{BLoss}{O} \quad \text{(رابطه ۱۴)}$$

$$NE = \frac{NET + BLoss}{I} \quad \text{(رابطه ۱۵)}$$

$$EE = \frac{NET}{I - BLoss} \quad \text{(رابطه ۱۶)}$$

در روابط فوق، BLoss تلفات مفید است. از نظر ریاضی در شرایطی که مقدار تلفات مفید صفر یا برابر با تلفات کل است (مقدار Er یا R ۱۰۰ درصد است)، مقدار عددی راندمان خالص و راندمان مؤثر برابر می‌گردند که البته امکان برقراری این شرایط در سامانه‌های آبیاری در عمل بسیار کم است. در حالت اول مقدار راندمان خالص و مؤثر برابر با راندمان کلاسیک می-

گردد و در حالت دوم مقدار راندمان خالص و مؤثر ۱۰۰ درصد می‌گردد. نتایج به دست آمده در جدول (۵) نشان می‌دهد که تفاوت راندمان خالص و راندمان مؤثر در سامانه آبیاری سطحی اندکی قابل توجه است (۱۲ درصد). در این سامانه‌ها تفاوت مقادیر راندمان کلاسیک و راندمان خالص ۲۴ درصد بوده است و این در حالی است که تفاوت مقادیر راندمان کلاسیک و راندمان مؤثر ۱۲ درصد بوده است. با توجه به بیان ریاضی روابط (۱۵) و (۱۶)، چنانچه مقدار تلفات مفید در مقایسه با آب آبیاری ورودی قابل ملاحظه باشد راندمان خالص و مؤثر تفاوت زیادی با یکدیگر خواهند داشت. در چنین شرایطی راندمان مؤثر هم‌زمان با لحاظ کردن مفهوم استفاده مجدد از تلفات مفید، بیان صریحی در مورد مناسب بودن یا نبودن مدیریت آبیاری در مزرعه دارد که به خوبی نامناسب بودن نحوه انجام آبیاری در سامانه آبیاری سطحی را نشان داده است. این در حالی است که راندمان خالص تنها مفهوم استفاده مجدد از تلفات مفید در مقیاس مکانی بزرگ‌تر از مزرعه را لحاظ می‌کند و ضعف انجام آبیاری در مزرعه را بیان نمی‌نماید.

بهبود عملکرد آبیاری و حفاظت آب

برآوردها نشان می‌دهد که حداکثر نیاز آبی گیاهان تحت کشت شبکه حمودی برای حصول عملکرد ماکزیمم MCM ۲/۵ (یعنی NIR) است. این در حالی است که در شرایط فعلی MCM ۳/۹ آب تحویل شبکه شده و MCM ۱/۷ آن (یعنی IWCU) توسط گیاهان به مصرف واقعی می‌رسد. اگر بنا باشد آب به همین منوال مصرف شود و هدف تولید عملکرد ماکزیمم در شبکه حمودی باشد، بایستی MCM ۱/۹ آب اضافی به شبکه تحویل شود. چنین راهکاری به خاطر محدودیت‌ها در منابع آب بالادست و ملاحظات اقتصادی و اجتماعی ممکن نیست و تنها راه ممکن مدرن‌سازی شبکه از طریق بهبود مدیریت آبیاری و افزایش راندمان آبیاری به منظور حفاظت از آب و افزایش عملکرد محصول است. بنابراین، حجم آبی که می‌تواند حفظ شود (یعنی آبی که برای آبیاری برداشت نمی‌شود) تحت دو سناریوهای پتانسیل مدرن‌سازی (معطوف به عنوان I و II) و سه سطح افزایش در ICUC (۶۵، ۷۵ و ۸۵٪) مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

در سناریوی I، فرض می‌شود که مدرن سازی با هدف تولید حداکثر عملکرد و تأمین کامل نیاز آبی گیاه صورت می‌گیرد (یعنی IWCU جدید= NIR خالص). در این سناریو، ICUC همراه با افزایش در آب مصرفی گیاهان افزایش می‌یابد.

در سناریوی II، فرض می‌شود که مدرن‌سازی با هدف حفاظت آب و تولید محصولات به میزان وضع فعلی شبکه صورت می‌گیرد (یعنی IWCU جدید=IWCU موجود). در این سناریو، ICUC بدون افزایش آب مصرفی گیاهان افزایش خواهد یافت.

نتایج این سناریوها در جدول (۶) نشان داده شده است. طبق این جدول، میزان آب حفاظت شده در سناریوی I و سطوح مختلف ICUC، بین صفر تا ۲۳/۵درصد حجم آبیاری موجود خواهد بود. در سناریوی II و سطوح مختلف ICUC، میزان آب حفاظت شده بیشتر از سناریوی I و بین ۳۱/۶ تا ۴۷/۷ درصد حجم آبیاری موجود خواهد بود.

به طور خلاصه می‌توان گفت که اگر راندمان‌های ضعیف آبیاری موجود در شبکه حمودی اصلاح و افزایش یابد، می‌توان حجم قابل توجهی از آب را ذخیره و به عبارتی حفظ کرد.سناریوها یا اهداف مدرن‌سازی شبکه از مناظر دیگر نیز بایستی ارزیابی شود. برای مثال در سناریوی I که حداکثر تولید مدنظر است، آب مصرفی توسط گیاهان ($ET_a = ET_p$) به میزان MCM ۰/۸بیشتر از ET_a موجود خواهد بود و این حجم از آب مصرفی به طور قطع از نظر کمی و کیفی بر آب پایین دست تأثیر خواهد گذاشت به طوری که کیفیت آب به دلیل کاهش جریانات برگشتی در پایین دست بهبود خواهد یافت ولی از نظر کمی برای کاربران پایین دست کمبود خواهد بود و ممکن است منازعات اجتماعی را در پی داشته باشد. برای جلوگیری از این مسئله بایستی سطح ICUC یا مدرن سازی را تا ۸۵ درصد ارتقاء داد که قطعاً هزینه قابل توجهی را نیاز خواهد داشت. در سناریوی دوم که هدف حفظ تولید موجود در شبکه خواهد بود، اوضاع به مراتب بهتر است. چرا که آب حفاظت شده در سطوح مختلف ICUC نسبت به سناریوی اول بیشتر خواهد بود (۳۱/۶ تا ۴۷/۷ درصد آبیاری موجود) و چنانچه این آب در پایین دست رها شود هم از نظر کمی و هم از نظر کیفی اثرات مثبت قابل توجهی را بر منابع آب پایین دست خواهد داشت که به دنبال آن رضایت‌مندی کاربران پایین دست را خواهیم داشت.

بنابراین، مزایای سناریوی I، افزایش عملکرد و کیفیت آب رودخانه در مقابل کاهش آب موجود برای کاربران پایین دست خواهد بود. مزایای سناریوی II حفاظت آب از دو منظر کمیت و کیفیت، در مقابل کاهش عملکرد نسبت به عملکرد حداکثر خواهد بود. سرانجام، احتمالاً مهم‌ترین مسئله در هر دو سناریوی مدرن‌سازی مزایای اجتماعی خواهد بود چون استاندارد زندگی کشاورزان به طور شدیدی افزایش خواهد یافت، اگر برنامه‌ریزی ۲۴ ساعته موجود آبیاری کاهش یابد.

جدول ۶. آب آبیاری کاربردی (I)،آب حفاظت شده (یعنی، آب آبیاری برداشت نشده) تحت دو سناریوی مدرن‌سازی

Scenario I (IWCU = NIR)	ICUC (٪)		
	۶۵	۷۵	۸۵
آبیاری (MCM)	۳/۹	۳/۳۸	۲/۹۸
آب حفاظت شده (MCM)	۰	۰/۵۲	۰/۹۲
آب حفاظت شده (% آبیاری موجود)	۰	۱۳/۳	۲۳/۵
Scenario II (IWCU =current IWCU)	**ICUC (٪)**		
	۶۵	۷۵	۸۵
آبیاری (MCM)	۲/۶۷	۲/۳۱	۲/۰۴
آب حفاظت شده (MCM)	۱/۲۳	۱/۵۹	۱/۸۶
آب حفاظت شده(% آبیاری موجود)	۳۱/۶	۴۰/۷	۴۷/۷

نتیجه‌گیری

بیلان آب اجرا شده در سال‌های هیدرولوژیکی ۸۸-۱۳۸۵ امکان محاسبه حجم آب‌های ورودی و خروجی و شاخص‌های مختلف عملکرد آبیاری را داد. متوسط سالانه خروجی آب در شبکه حمودی ۱۶٪ بیشتر از ورودی آب بود که دلیل آن جریان‌های زیرزمینی ناشی از نشت کانال و رودخانه از اراضی مجاور شبکه بود.علیرغم تحویل حجم زیادی از آب به شبکه حمودی، مدیریت ضعیف آبیاری در منطقه حمودی قادر نیست نیاز خالص محصولات را تأمین کند.

میانگین ICUC (ضریب مصرف آب آبیاری) در شبکه حمودی ۴۴٪ و تغییرات آن بین ۸/۸ تا ۵۳ درصد بود که نشان می‌دهد اولویت مدرن‌سازی منطقه بایستی کاهش تلفات کاربردی نسبتاً زیاد کانال و به ویژه افزایش عملکرد ضعیف آبیاری موجود در سطح مزرعه باشد. نتایج ارزیابی با هر دو روش کلاسیک و جدید نشان داد که مقادیر راندمان مؤثر نسبت به راندمان خالص کمتر است و این تفاوت در شرایطی که تلفات آب در شبکه آبیاری قابل ملاحظه می‌گردد افزایش می‌یابد. مفهوم راندمان مؤثر با لحاظ کردن مفهوم استفاده مجدد از تلفات مفید، بیان صریحی در مورد مناسب بودن یا نبودن مدیریت آبیاری در مزرعه دارد در حالی‌که مفهوم راندمان خالص تنها مفهوم استفاده مجدد از تلفات مفید در مقیاس مکانی بزرگ‌تر از مزرعه را لحاظ کرده و ضعف انجام آبیاری در مزرعه را بیان نمی‌کند.

مزایای سناریوی I، شامل افزایش عملکرد محصول و حفاظت از کیفیت آب در مقابل کاهش ۱۹٪ (۰/۸ MCM) در آب موجود برای کاربران پایین دست خواهد بود. مزایای سناریوی II، حفاظت از کیفیت آب در سطح حوضه بیش از مقدار به دست آمده در سناریوی I، در مقابل کاهش عملکرد محصول نسبت به حداکثر تولید خواهد بود.

REFERENCES

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. and Smith, M. (1998), Crop evapotranspiration- Guideline for computing crop water requirements, FAO Irrigation and Drainage paper 56. FAO, Rome, p. 300.

Allen,RG.,Clemmens, AJ., and Willardson, LS. (2005), Agro-Hydrology and Irrigation Efficiency, ICID Working Group on Sustainable Crops and Water Use.

Akbari, M., Toomanian, N., Droogers, P., Bastiaanssen, W., and Gieske, A. (2007). Monitoring irrigation performance in Esfahan, Iran using NOAA satellite imagery. *Agricultural water Management*. 88(1-3):99-109.

Ayers. R.S., and Westcot, D.W. (1985), Water Quality for Agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 29.

Caissie, D., Pollock, T.L. andCunjack, R.A. (1996), Variation in stream water chemistry andhydrograph separation in a small drainage basin, *J. Hydrol*. 178: 137-157.

Cuenca, R. H. (1989), Irrigation system design. An engineering approach. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, p. 552.

Doorenbos, J. and Pruitt, W.O. (1977), Guidelines for predicting crop water requirements. FAO. Irrigation and Drainage paper 24. FAO, Rome, p.144.

Haie, N. and Keller, AA. (2011), Macro, Meso and Micro Efficiencies in Water Resources Management: a New Framework Using Water Balance. *American Water Res. Assoc.* 44: 961–968.

Huffaker, R. (2008), Conservation potential of agricultural water conservation subsidies. Water Res. Res. 44.

Isidoro, D. (1999),Impacto del regadíosobre la calidad de lasaguassuperficialesdelBarrancode La Violada (Huesca): salinidad y nitratos. PhD Thesis Lleida University. Lleida,Spain, p. 267.

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.

Jensen, ME. (2007), Beyond irrigation efficiency, Irrigation Sci, 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.

Liaghat, A. M., Mokari Ghahroodi, E., Noory, H., and Sotoudenia, A. (2015), Evaluation of Qazvin Plain Irrigation Systems Through an Assessment of Classical vs Neoclassical Irrigation Efficiencies, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 46(2), 343-351.

Mateos, L. (2008), Identifying a new paradigm for assessing irrigation system performance. *Irrigation Sci*. 27: 25–34.

Matsubayashi, V., Velasquez, G. T. and Takagi, F. (1993), Hydrograph separation and flowanalysis by specific electrical conductivity. *J. Hydrol.* 152: 179-199.

Molden, D., Oweis, T., Steduto, P., Bindraban, P., Hanjra, MA. and Kijne, J. (2010), Improving agricultural water productivity: between optimism and caution. *Agric. Water Manage.* 97, 528–534.

Nahvinia,M.J.; A.M. Liaghat and F. Abbasi. 2015. Water balance and irrigation performance analysis at the irrigation district level (Case study: Hamody irrigation system of Khozestan). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 1 (9), 180-194.

Pinder, G.F.and Jones, J.F. (1969), Determination of the ground-water component of peakdischarge from the chemistry of total runoff, *Water Resour. Res.* 5 (2), 438-445.

Perry, C. (2007), Efficient irrigation; inefficient communication; flawed recommendations, *Irrigation and Drainage*, 56(4), 367–378.

Perry, J. (1999), The IWMI water resources paradigm: definitions and implications. *Agric. Water Manage.*, 40, 45–50.

Sanei Dehkordi, K. and Karami, H. (2011), Study and comparison of planted and followed Lands EC and presentation of revision this factor aimed permanent agriculture. The third of irrigation and drainage network management conference. University of ShahidChamran.Ahvaz, Iran.

Seckler, D. (1996), The new era of water resources management: from "dry" to "wet" water savings. Research Report 1, International Water Management Institute. Colombo. Sri Lanka.

Ward, FA. and Pulido-Velázquez, M. (2008), Water conservation in irrigation can increase water use. *Proceedings of the National Academy of Science*. 105, 18215–18220.

Water resources managementof Iran, (2008), The studies of Iran water comprehensive draw in watershed: West Boundary, Kharkheh, Karun and JarahiZohreh, Behan Sad, 117p.

Toomanian, A., Gieske, A. and Akbari, M. (2004), Irrigated area determination by NDVI-Landsat upscaling techniques, Zayandeh River Basin, Esfahan, Iran. *Int. J. Remote Sens*. 15 (22), 4945–4960.