

آنالیز عملکرد آبیاری و بیلان آب در سطح شبکه آبیاری (مطالعه موردی: شبکه حمودی خوزستان)

محمدجواد نحوی نیا^۱، عبدالمجید لیاقت^{۲*}، فریبرز عباسی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۰/۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۲/۹

چکیده

تشخیص مدیریت آب در سطح شبکه آبیاری برای مدرن سازی طرح های آبیاری و افزایش متعاقب در راندمان تخصیص و کاربرد آب ضروری است. هدف این تحقیق ارزیابی عملکرد کلی شبکه حمودی در سطح ۳۰۷۹ هکتار می باشد. ورودی های آب (آبیاری، بارش، آزادسازی های کانال) و خروجی ها (تبخیر، تعرق واقعی محصول، زهکشی سطحی خروجی و نشت از کانال انتقال) در طی سال های هیدرولوژیکی ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۸ اندازه گیری یا برآورد شدند. متوسط سالانه خروجی های آب در شبکه حمودی ۱۶٪ بیش تر از ورودی های آب بودند، که احتمالاً ناشی از نشت کانال و جریان های زیرزمینی جانبی از اراضی مجاور شبکه است. عملکرد آبیاری در سطح منطقه ضعیف بود (میانگین ضریب استفاده مصرفی ۸۸-۱۳۸۵ برابر ۴۴٪ بود)، که این مسئله بیش تر به خاطر راندمان های پایین توزیع (DE) (۶۸٪) و مزرعه (ICUC) (۵۳٪) برای فصل های آبیاری ۸۸-۱۳۸۵ است. بنابراین، علی رغم حجم زیاد آب آبیاری، ET واقعی منطقه ۱۹٪ کم تر از حداکثر مقدار قابل دسترس بود، نشان دهنده این است که گیاهان تحت تنش بوده و کم تر از حداکثر عملکرد، محصول می دهند. ارزیابی با روش نئوکلاسیک بیانگر آن بود که راندمان خالص (۷۷٪) و مؤثر (۶۵٪) بیش تر از راندمان کلاسیک (۵۳٪) در سامانه های سطحی بود. نتایج به دست آمده در این تحقیق نشان داد که راندمان مؤثر بیان بهتری در مورد مناسب بودن مدیریت آبیاری در مقیاس مزرعه و نحوه انجام آبیاری دارد، در حالی که راندمان خالص تنها مفهوم استفاده مجدد از تلفات مفید را در مقیاس مکانی بزرگ تر از مزرعه لحاظ می کند. کاهش های پتانسیل در تخصیص آب برای سه مقدار ICUC (۶۵، ۷۵ و ۸۵٪) و دو سناریوی مدرن سازی (I و II) آنالیز شد. در سناریوی I، که هدف رسیدن به ET و عملکرد محصول حداکثر بود، تخصیص آب می توانست از صفر تا ۲۳٪ تخصیص موجود کاهش یابد. در سناریوی II که هدف رسیدن به حفاظت حداکثر آب تحت ET حقیقی و عملکرد محصول بود، کاهش ها در تخصیص آب می توانست بیش تر باشد (از ۳۱ تا ۴۷٪ تخصیص موجود). بنابراین، حجم های معنی داری از آب می تواند در اصلاح این منطقه با افزایش راندمان توزیع و به ویژه راندمان آبیاری مزرعه نگهداری شود.

واژه های کلیدی: شبکه آبیاری، راندمان آبیاری، ضریب استفاده مصرفی آبیاری (ICUC) و حفاظت آب

مقدمه

شده و مجدداً مورد استفاده قرار می گیرند. در محاسبات راندمان آبیاری به صورت کلاسیک، سهم آب های برگشتی منظور نمی شود در صورتی که در مفاهیم نئوکلاسیک راندمان آبیاری این سهم لحاظ می گردد. بنابراین اختلاف نظر بین این دو وزارت به خاطر تعاریف و مفاهیم متفاوتی است که مورد استفاده قرار می گیرد.

بسیاری از محققان مفهوم کلاسیک راندمان را برای ارزیابی تاثیرات هیدرولوژیکی آبیاری در حوضه مناسب ندانسته اند (Seckler, 1996; Jensen, 2007; Molden et al, 2010; Pulido, Perry, 1999; Huffaker, 2008; Ward and 2008) نمونه هایی از تحلیل های متناقض در فعالیت های مدیریت آب و برنامه های حفاظت آب به علت ناقص بودن کاربرد مفهوم کلاسیک راندمان را گزارش کردند. تعدادی از محققین تمایز بین مفهوم راندمان کلاسیک آبیاری و راندمان نئوکلاسیک آبیاری را پیشنهاد کرده اند (-

یکی از چالش های اساسی در خصوص استفاده اصولی و صحیح از آب در کشاورزی که بین وزارت های نیرو و کشاورزی مطرح است، موضوع راندمان آبیاری است. وزارت نیرو مدعی است که راندمان پایین آبیاری در ایران (حدود ۳۵٪) باعث می شود 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 آب های برگشتی (رواناب یا نفوذ عمقی) به منابع آب سطحی در پایین دست و زیرزمینی اضافه

۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران

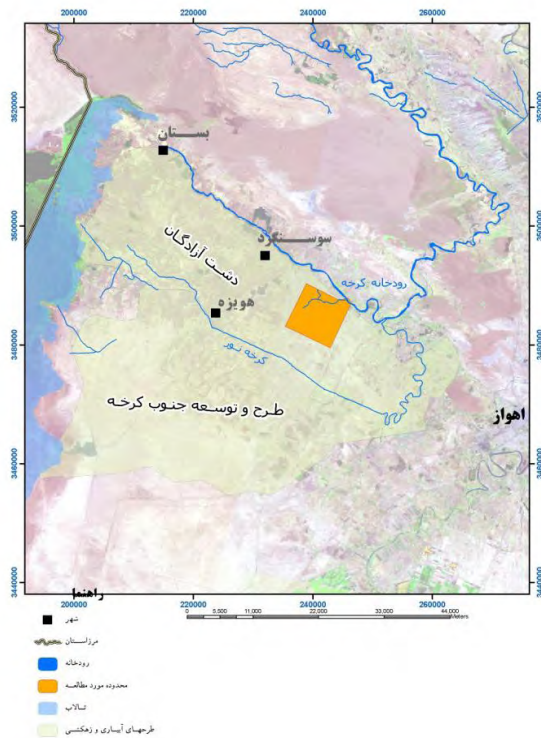
۲- استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران

۳- استاد موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

(Email: aliaghat@ut.ac.ir

*) نویسنده مسئول:

آزادگان دارای زمستان‌های ملایم و تابستان‌های گرم است. متوسط بارندگی در منطقه طرح ۱۰۹/۸ میلی‌متر است که بیش از نیمی از آن در آذر، دی و بهمن ماه واقع می‌شود و از اواسط اردیبهشت تا اواخر مهر ماه باران قابل توجهی در منطقه نمی‌بارد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

اراضی ناحیه شرقی دشت عمدتاً آبرفتی، در سطح دارای بافت سبک و در عمق دارای خاک بافت متوسط‌سیلتی 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 نداشته و مسئله زهکشی کم‌تری دارند به نحوی 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، کنبج 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 قرار گرفته است (صانعی دهکردی و کرمی، ۱۳۸۹).

با توجه به میزان آبیاری منطقه، حداکثر چهار بار و اگر بارندگی کافی نباشد، حداکثر ۶ بار آبیاری برای گندم زمستانه‌کافی‌است. با در نظر گرفتن نیاز آبیاری گندم زمستانه در کل دوره کشت، که حدود

برگیرنده مسائل هیدرولوژیکی مرتبط با آبیاری (ذکر شده در بالا) است در قالب بیان‌هایی جدید به نام راندمان خالص و راندمان مؤثر ارائه شده است.

عملکرد آبیاری ضعیف، نوعاً در 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 نیمه خشک 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 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 شبکه شده است. اهداف این تحقیق تعیین بیلان آب و 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 در شبکه‌های حوضه کرخه 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 (نقشه ۱) است که عملیات ساختمانی آن در سال ۱۳۸۱ به اتمام رسیده و آماده بهره‌برداری شده است. منبع تأمین کانال این شبکه کانال AMC می‌باشد که از سمت راست سد انحرافی کرخه منشعب می‌شود. شبکه حمودی با مساحت ناخالص ۳۳۷۶ و خالص 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 تنها منبع قابل استفاده برای منابع شرب، صنعت و کشاورزی رودخانه کرخه است. عمق آب زیر زمینی در سطح دشت حمودی از یک متر در مناطق پست میانی دشت تا ۳ متر در حواشی مرتفع‌تر آن متغیر است.

بر اساس اطلاعات ایستگاه هواشناسی حمیدیه اقلیم دشت

SCS (Cuenca, 1989) محاسبه شد. در برخی مواقع، آب از کانال اصلی شبکه مستقیماً به سمت زهکش‌ها آزاد می‌شود (C_R). این آزادسازی‌ها در زمستان برای مصارف شهری در بیرون منطقه مورد مطالعه فراوان است اما در تابستان حجم‌های اندکی (در حدود ۰/۵ متر مکعب در ثانیه) آزاد می‌شود تا پساب‌ها را رقیق کنند. تاریخ‌های این آزادسازی‌ها به طور مشخص در طی زمستان به صورت نقطه اوج در لیمنی‌گراف خروجی شبکه‌ها که به کاهش در EC آب زهکشی در نتیجه اختلاط آب کانال با EC پایین با آب جریان پایه با EC بالاتر منجر می‌شود، قابل مشاهده بود. در نتیجه، 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: ارزیابی دقیق مدیریت آبیاری مبتنی بر برآورد صحیح میزان واقعی آب مصرفی است که اندازه‌گیری دقیق آن مشکل است. لذا در تحقیق حاضر با پیش پردازش داده‌های ماهواره‌ای (NOAA-14/AVHRR) و (MODIS)، (۲۹ تصویر در سال ۱۳۸۵، ۳۰ تصویر ۱۳۸۶، ۲۸ تصویر ۱۳۸۷ و ۳۱ تصویر ۱۳۸۸ و به فواصل تقریبی ۱۰ روز، بدون بهبود لیتتاباداده‌های لایسی‌متریمورد استفاده قرار گرفتند). ضریب بازتاب و تابش پوشش سطح زمین و شاخص‌های گیاهی SAVI، NDVI و LAI برآورد گردید. در ادامه با بهره‌گیری از الگوریتم بیان انرژی، اجزای بیان انرژی در سطح زمین تعیین و تبخیر و تعرق واقعی در سطح زمین محاسبه شد. سپس با استفاده از اطلاعات یک لایسی‌متر زهکش‌دار موجود در منطقه مورد مطالعه (حمیدیه) (ابعاد $2/4 \times 1/2$ و به عمق ۱/۵ متر) مورد ارزیابی قرار گرفت. در این پژوهش ملاک‌های آماری شاخص جذر میانگین مجذور خطا^۱ (RMSE)، ضریب جرم باقی مانده^۲ (CRM) و میانگین خطای مطلق^۳ (MAE) برای ارزیابی الگوریتم بیان انرژی استفاده شده است. پس از ارزیابی، مقادیر تخمینی تبخیر و تعرق (ET) برای تعیین بیان آب آبیاری در شبکه آبیاری حمودی استفاده شد. به منظور برآورد سطح زیر کشت در شبکه مورد مطالعه از تصاویر سنجنده ETM+ مستقر بر ماهواره‌ی Landsat 7 در تاریخ‌های ۲/۱۰ و ۲/۲۵، ۱۳۸۵/۵/۲۵، ۲/۱۲ و ۲/۱۳۸۶، ۱۶/۴/۱۰ و ۲/۱۳۸۷/۴/۱۷ و ۲/۵ و ۱۳۸۸/۵/۱۳ استفاده شد. تصاویر مذکور پردازش و شاخص NDVI که نسبت اختلاف به مجموع انعکاس در مادون قرمز و باندهای قرمز است و به طور وسیعی برای تخمین سطوح زیر کشت (Toomanianet al., 2004) استفاده می‌شود، تعیین شد. NDVI یک تابعی از سطح برگ سبز و بایومس و انعکاس قدرت

۶۷۰۰-۷۰۰۰ متر مکعب در هکتار است، در این دوره با توجه به خشکسالی و کمبود باران، ۵ بار آبیاری انجام می‌شود. به طور کلی مراحل آبیاری غلات 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 (دان آب) که تقریباً به فواصل ۳۰-۳۵ روز انجام می‌شود.

مراحل انجام کار و نحوه جمع‌آوری اطلاعات

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.

بیان آب شبکه

بیان 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 بیان آب شبکه آبیاری عبارت است از:

$$\Delta S = (I + P + G_1 + C_R) - (ET + C_s + Q + G_0)$$

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_1 : جریان‌های ورودی آب زیرزمینی از بیرون منطقه مورد مطالعه و C_R : رهاسازی مستقیم آب از کانال به سیستم زهکشی است.

خروجی‌های شبکه عبارتند از: 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 از کانال انتقال؛ G_0 : نفوذ عمقی یا جریان‌های خروجی آب زیرزمینی از شبکه است (Isidoro, 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 بیان آب شبکه، با فرض ناچیز بودن تغییرات رطوبتی خاک قبل و بعد از دوره مطالعاتی در مقیاس سالانه ($\Delta S = 0$) بررسی می‌شود.

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 شده و با کسر میزان آب مصرف شده در واحدهای صنعتی، مجتمع‌های پرورش ماهی، ادارات و ارگان‌ها از حجم آب تأمین شده، میزان آب تأمین شده برای اراضی کشاورزی شبکه مورد مطالعه برآورد شدند. بارندگی روزانه (P) با استفاده از اطلاعات ثبت شده در ایستگاه هواشناسی حمیدیه به دست آمد. بارش مؤثر (P_e) از مقادیر ماهانه P و ET_a به روش

1- Root Mean Square Error

2- Coefficient of Residual Mass

3- Mean Absolute Error

آب خاک برآورد شدند. بدین منظور، در همه سامانه‌های آبیاری مورد بررسی، ابتدا کمبود رطوبتی خاک (SMD) طبق رابطه (۲) تعیین و عمق آب نفوذ یافته مازاد بر آن، به عنوان زهکشی زیر زمینی در نظر گرفته شد.

$$SMD = (\theta_{fc} - \theta_{ave}) \times \rho_b \times Z_r \quad (2)$$

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 ریشه گیاه 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 (مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۸۷). در این تحقیق اختلاف بین جریان‌های ورودی و خروجی، به صورت جریان ورودی خالص پایش نشده به شبکه محاسبه شد [$G_{In} = G_I - G_O$].

آنالیز عملکرد آبیاری

راندمان آبیاری، بر حسب ترم‌هایی از بیلان آب آبیاری به صورت نسبتی از آب آبیاری که به طور مفید به وسیله محصولات استفاده می‌شود به آب آبیاری کاربردی منهای افزایش در ذخیره رطوبتی خاک استفاده شد.

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

آنالیز عملکرد آبیاری بالا بر مبنای نیاز خالص آبیاری (NIR) محصولات بایستی به عنوان حد بالای راندمان استفاده مصرفی سیستم لحاظ شود، چون بیشینه بیش‌تر از ET واقعی محصولات لحاظ می‌شود. در این مطالعه، این رویکرد با لحاظ جزئی از آب آبیاری که به طور واقعی به وسیله محصولات مصرف می‌شود (یعنی تبخیر و تعرق واقعی، ET_a) به علاوه جزئی از آب آبیاری 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 استفاده مصرفی آبیاری (ICUC) ممکن است به

محصول است. لذا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و شاخص‌های مذکور سطح زیر کشت در شبکه حمودی تعیین شد.

تبخیر و تعرق مرجع (ET_0) با روش پنمن-مانتیفائو (Allen, et al., 1998). آنها استفاده از اطلاعات هواشناسی ایستگاه حمیدیه محاسبه شد. تبخیر و تعرق پتانسیل یا ماکزیمم (ET_m) محصولات با استفاده از (ET_0) و ضرایب گیاهی مربوطه (K_c) که توسط روش FAO (Doorenbos and Pruitt, 1977) و معادله (Cuenca, 1989) برای مرحله توسعه گیاه تعریف شدند، تعیین شد. شروع و مدت مراحل مختلف توسعه گیاه با استفاده از روش (Martínez-Cob et al., 1998) تعریف شده و با توجه به اطلاعات تاریخ کشت و برداشت سازگار شدند.

میزان نشت در کانال انتقال در بازه زمانی سال‌های هیدرولوژیکی ۸۸-۱۳۸۵ و در طول کانال انتقال حدفاصل محل آبیگری و محل تحویل به سیستم توزیع با اندازه‌گیری میزان آب ورودی و خروجی به کانال انتقال اندازه‌گیری شد.

لیمنی گراف‌ها، جداول طبقه‌بندی و میانگین جریان‌های 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 شده و برای تفکیک هیدروگراف که قبلاً ذکر شد استفاده شد.

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 0.26 dS/m (انحراف معیار 0.045 dS/m) بود. متوسط EC رواناب یا زهکشی سطحی اندازه‌گیری شده در زهکش‌ها در دو تاریخ هنگامی که جریان‌ها به اندازه کافی زیاد بودند تا فرض شود که آن‌ها به طور عمده رواناب هستند (Pinder and Jones, 1969) در شبکه حمودی برابر 0.32 dS/m (انحراف معیار 0.035 dS/m) بود. سرانجام EC‌های جریان پایه در طی فصل‌های غیر آبیاری از طریق اندازه‌گیری‌هایشان در تاریخ‌های بدون آزادسازی کانال و رواناب مشخص شدند. آب‌های رواناب ناشی از بارش در صعود لیمنی گراف 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

1- Irrigation consumptive use

2- Irrigation consumptive use coefficient

$$K_e = k_r (K_{cmax} - K_{cb}) \leq (f_{ew} \times K_{cmax}) \quad (۴)$$

$$f_{ew} = \min(1 - f_c, f_w) \quad (۵)$$

$$f_c = \left(\frac{K_{cb} - K_{cmin}}{K_{cmax} - K_{cmin}} \right)^{(1+0.5h)} \quad (۶)$$

$$k_{cmax} = \max \left[\left[1.2 + [0.04(u-2) - 0.004RH_{min} - 45] \left(\frac{h}{3} \right)^{0.3} \right], (k_{cb} + 0.05) \right] \quad (۷)$$

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 پنمناتیتفانو 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)، همانطور که در بخش مقدمه توضیح داده شد، از رابطه زیر تعیین می‌گردد (رابطه ۸ و ۹).

$$CE = \frac{NET}{I} \quad (۸)$$

$$NET = ET_a - P_e \quad (۹)$$

در روابط (۸) و (۹)، NET: تبخیر و تعرق خالص، I: مقدار آب ورودی بر اساس مقدار آب برداشت شده، ET_a : تبخیر و تعرق واقعی گیاه (برآورد شده با تصاویر ماهواره‌ای) و P_e : بارش مؤثر است.

مفهوم جدید راندمان اولین بار توسط (Jensen, 2007) و با پیشنهاد تجدید نظر در راندمان کلاسیک و استفاده از شاخص راندمان خالص (NE)، بیان گردید (رابطه ۱۰).

صورت "IWCUI" با فرض ناچیز بودن تغییرات رطوبت خاک در طی دوره مطالعه محاسبه شود. به علاوه نسبت "IWCUI/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 زیر زمینی که EC نسبتاً بالا دارند. از تخمین OL راندمان توزیع سیستم $DE = (I - OL)/I$ بدست می‌آید.

تفکیک تلفات مفید و غیر مفید در مقیاس مزرعه

پری و همکاران (Perry et al, 2009) 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 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 و 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 به‌دست آوردن اجزای بیابان آب در کارهای تحقیقی، پیچیدگی اجرای حسابرسی آب در نواحی تحت آبیاری را آشکار می‌کند.

بیش‌تر حجم رواناب/نفوذ عمقی در شبکه حمودی به رودخانه کرخه باز می‌گردد و به وسیله کاربران پایین‌دست استفاده می‌شود. کیفیت این آب برگشتی در بیش‌تر موارد برای استفاده مجدد برای آبیاری یا به صورت مستقیم یا به صورت مخلوط با آب شیرین ممکن است. 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 به‌دست می‌آید.

$$ET_e = k_e \times ET_0 \quad (۳)$$

سازی 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 ماکزیمم عملکرد به‌دست آید و (۲) تأمین آب برای رسیدن IWCUC موجود محصولات تا حدی که عملکرد به‌دست 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.

بحث و نتایج

ارزیابی الگوریتم بیلان انرژی

پیش از تحلیل داده‌های به‌دست آمده از الگوریتم بیلان انرژی لازم است تا مقادیر داده‌های به‌دست آمده با داده‌های قابل اعتمادی ارزیابی شود.

جدول ۱ نشان می‌دهد که تطبیق خوبی بین داده‌های لایسی متری و داده‌های واقعی حاصل از تصاویر MODIS 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 MODIS توصیه شده است.

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 MODIS مقدار ۰/۰۷۱ می‌باشد 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 باقی‌مانده) 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. همان‌طور که در جدول ۱ نیز مشخص شده است مقدار CRM در برآورد تبخیر-تعرق با استفاده از تصاویر MODIS همواره منفی است که نشان از تبخیر-تعرق کم-تر مدل نسبت به مقادیر لایسی متر است.

$$NE = CE + Er(1 - CE) \quad (10)$$

در رابطه (۱۰) CE: راندمان کلاسیک، $1-CE$: 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- هیدرولوژیکی در دسترس است. کلر و کلر (Keller and Keller, 1995) و همکاران (Keller et al, 1996) مفهوم راندمان مؤثر (EE) را توسعه داده‌اند (رابطه ۱۱).

$$EE = \frac{NET}{I - O(R)} \quad (11)$$

در رابطه ۱۱، 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 و NET: تبخیر و تعرق خالص است که از رابطه ۹ به‌دست می‌آید.

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. به‌منظور 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 استفاده از روش (Ayers and Westcot, 1985) با توجه به کیفیت زه-آب‌های خروجی از واحدهای زراعی برآورد گردید و عمق آب آبشویی و زهکشی خروجی، به‌عنوان سهم مفید از تلفات نفوذ عمقی در نظر گرفته شد.

آنالیز حفاظت آب

بعد از تعیین آب مصرفی و عملکرد آبیاری در منطقه مطالعه، امکان اجرای آنالیز آبی که می‌تواند تحت سناریوهای مختلف مدرن-

جدول ۱- نتایج مقایسه تبخیر-تعرق واقعی تصاویر MODIS، AVHRR و لایسی متر

پارامتر	MODIS	AVHRR
RMSE	۰/۰۷۱	۰/۱۹
CRM	-۰/۰۴۱	۰/۱۰۷
MAE	۰/۱۱۶	۰/۱۶۶

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: $(I=3/9MCM)$ ، $(P=3/0MCM)$ و $(C_R=0/3MCM)$ بودند. متوسط سالانه اندازه-گیری شده یا برآورد شده رهاسازی کانال (C_R) خیلی کوچک هستند. در حالی که متوسط خروجی‌ها شامل تبخیر و تفرق، زهکشی سطحی و تلفات نشت از کانال به ترتیب در شبکه حمودی برابر: $(2/0MCM)$ ، $(ET=3/3MCM)$ و $(C_S=3MCM)$ بودند. به جز بارش، این مقادیر ورودی و خروجی در فصل آبیاری بیش‌تر از فصل غیر آبیاری بودند (شکل ۲).

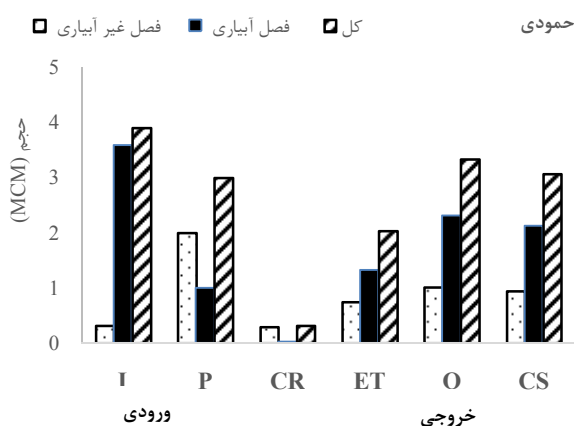
در جدول ۲ تغییرپذیری سالانه (CV) برای پارامترهای ورودی و خروجی شبکه حمودی نشان داده شده است. تغییرپذیری سالانه برای P و C_R (به ترتیب ۱۳٪ و ۷۸٪ CV) ناشی از ماهیت تصادفی طبیعی P و مقدار نسبتاً بالای C_R در فصل غیر آبیاری ۱۳۸۵ در شبکه است.

در مقابل، تغییرپذیری سالانه I ، ET ، C_S و Q پایین بود (به ترتیب ۱۴٪، ۹٪، ۱۳٪ و ۱۱٪ CV)، نشان‌دهنده اینکه مدیریت آب (I) ، محصولات (ET) ، نشت از کانال (C_S) و جریان‌های زهکشی (Q) در سال‌های مطالعه کاملاً مشابه بودند.

نتایج مشابه برای تغییرپذیری سالانه در فصل‌های آبیاری و غیر آبیاری به‌دست آمد (جدول ۲).

مقدار خروجی‌های آب شبکه حمودی بزرگ‌تر از ورودی‌های آب در همه سال‌ها و فصل‌های آبیاری و غیر آبیاری بودند (شکل ۳). میانگین خروجی سالانه ۸۸-۱۳۸۵، در شبکه حمودی ۱۶٪ بزرگ‌تر از ورودی‌های آب است. این مازاد در خروجی‌های آب می‌تواند نتیجه فرآیندهای مختلف نظیر بیش (کم) برآورد از آب‌های ورودی (خروجی) به شبکه، جریان‌های زیر زمینی ورودی بزرگ‌تر از خروجی که در این تحقیق بررسی نشده است، باشد.

یک دلیل این امر می‌تواند شرایط ایده‌آل لایسی متر جهت تبخیر-تفرق باشد که این امکان برای مناطق همجوار آن وجود ندارد، بنابراین با توجه به اینکه اندازه پیکسل‌ها بزرگ‌تر از لایسی متر است و زمان و مقدار آبیاری در مزارع مجاور با مقدار و زمان آبیاری در لایسی متر هماهنگ نیست برآورد کم‌تر توسط مدل می‌تواند قابل توجیه باشد. در ارتباط با تصاویر AVHRR مقادیر ضعیف‌تر از MODIS است به طوری که مقدار مثبت CRM باعث شده است تا مقدار تبخیر-تفرق روزانه در تصاویر AVHRR بالاتر از مقادیر به دست آمده از لایسی متر می‌باشد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، مقادیر تبخیر و تفرق به‌دست آمده از تصاویر MODIS جهت تعیین بیلان آب در شبکه حمودی مورد استفاده قرار گرفت.



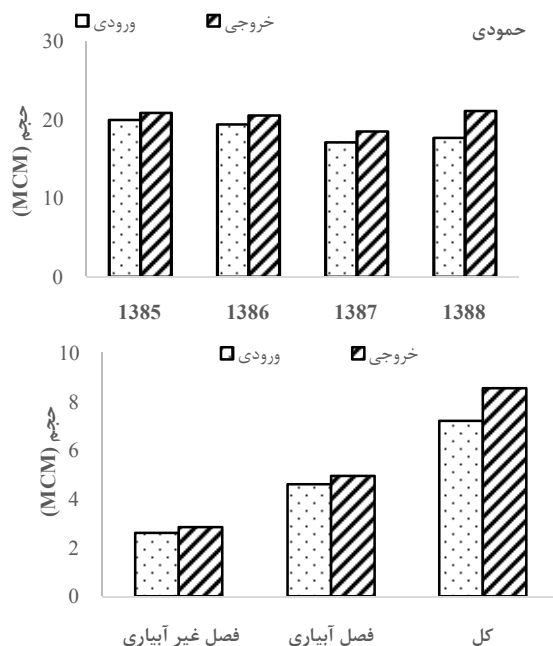
شکل ۲- میانگین حجم‌ها و مقادیر استاندارد آبیاری (I) ، بارش (P) ، رهاسازی مستقیم به سیستم زهکشی (C_R) ، نشت کانال (C_S) و رواناب یا زهکشی سطحی (Q) ، و تبخیر منطقه (ET) در فصل‌های آبیاری و غیر آبیاری ۸۸-۱۳۸۵ در شبکه حمودی

بیلان آب شبکه

پس از جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز در شبکه‌های مورد مطالعه، پارامترهای مورد نیاز جهت ارزیابی شبکه‌های آبیاری محاسبه شد (شکل ۲).

جدول ۲- تغییرپذیری سالانه (CV) برای اجزای بیلان شبکه حمودی

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



شکل ۳- آب‌های ورودی خروجی برای فصل آبیاری و غیر آبیاری آب‌های ورودی و خروجی در شبکه خمودی در سال‌های هیدرولوژیکی ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۸

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 خمودی $MCM/month$ ۰/۲۰۹ یا $0.11m^3/s$ 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:

$$Q = I + P + G_{in} - C_s - ET \quad (12)$$

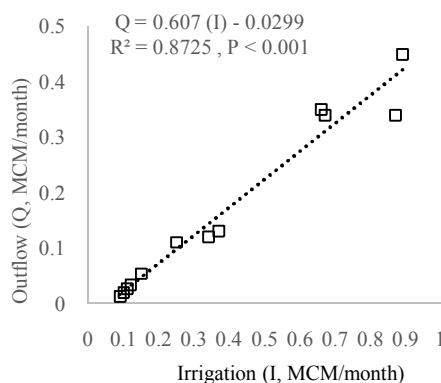
[۱۳] $Q = (G_{in} - C_s) + [1 - (ET - P)/I] \times I$ بنابراین، Q متوسط باقی‌مانده Q در فصل‌های آبیاری سال‌های مورد مطالعه برابر $3/3 MCM$ بود. در مقابل، متوسط تخمینی زهکشی ناشی از بیلان آب (D) در شبکه خمودی $2/8 MCM$ برای همین دوره بود. اختلاف $Q-D$ در شبکه خمودی برابر $0/5 MCM$ به دست آمد. مشابه حجم مازاد متوسط ورودی-خروجی در شبکه خمودی که برابر $0/6 MCM$ برای فصل‌های آبیاری ۸۸-۱۳۸۵ (شکل ۴) بود.

این نتیجه پیشنهاد 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 تایید می‌کند.

چون هیچ دلیلی برای کاهش سیستماتیک در ذخیره رطوبتی خاک وجود نداشت و مهم‌ترین ورودی‌ها (I و P) و خروجی‌ها (ET) مطمئناً اندازه‌گیری یا برآورد شدند، عدم توازن ورودی-خروجی مشاهده شده به صورت نتیجه جریان‌های زیرزمینی ورودی از حوضه آبریز (به طور عمده در طی ماه‌های زمستان، وقتی که P زیاد است)، برداشت از آب‌های زیرزمینی به وسیله چاه‌ها و از نشت کانال و رودخانه‌های مجاور (به طور عمده در طی فصل آبیاری، وقتی که کانال‌ها به طور پیوسته پر از آب هستند) تفسیر می‌شود. حجم زهکشی از زمین‌های آبیاری شبکه‌های مورد مطالعه از طریق بیلان آب خاک بسیار کم‌تر از جریان خروجی زهکشی سطحی اندازه‌گیری در ایستگاه خروجی شبکه‌ها بود. حتی بعد از کسر حجم تلفات کاربرد و رهاسازی کانال (C_R و OL) از زهکشی خروجی شبکه (Q)، متوسط باقی‌مانده Q در فصل‌های آبیاری سال‌های مورد مطالعه برابر $3/3 MCM$ بود. در مقابل، متوسط تخمینی زهکشی ناشی از بیلان آب (D) در شبکه خمودی $2/8 MCM$ برای همین دوره بود. اختلاف $Q-D$ در شبکه خمودی برابر $0/5 MCM$ به دست آمد. مشابه حجم مازاد متوسط ورودی-خروجی در شبکه خمودی که برابر $0/6 MCM$ برای فصل‌های آبیاری ۸۸-۱۳۸۵ (شکل ۴) بود.

نشان می‌دهد آب کاربردی قادر نیست نیاز تبخیری حداکثر محصولات را تأمین کند.

میانگین فصلی در شبکه حمودی ۴۴٪ (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 نسبتاً زیاد در فصل‌های آبیاری خشک‌تر ۱۳۸۶ و ۱۳۸۷ (جدول ۲) تغییر می‌کرد. بنابراین 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. نسبت IWCU/NIR، شاخصی از نیاز آبی محصول که به وسیله آبیاری تأمین می‌شود، در شبکه حمودی مقدار متوسط ۰/۶۷ را داشت و میانگین کم آبیاری ($ID = NIR - IWCU$) یعنی نیاز آبیاری محصولات که به وسیله آبیاری تأمین نمی‌شود) در شبکه حمودی ۳۸/۲mm بود. اگرچه اختلاف‌ها در نسبت IWCU/NIR این سال‌ها اندک بود، اما مقادیر ID در شبکه حمودی از ۱۴/۷mm تا ۴۰mm در سال ۱۳۸۵ و ۱۳۸۶ تغییر می‌کرد، در این سال به خاطر کم‌ترین مقادیر بارش حداقل بود (۱۳۸۵ و ۱۳۸۶). به طور خلاصه، این شاخص‌ها نشان می‌دهند که عملکرد آبیاری در مناطق مطالعه بیش‌تر ضعیف است، به طور عمده ناشی از اعماق زیاد آبیاری (به طور متوسط ۱۱۰ mm در هر آبیاری) ورودی به خاک‌هایی 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 روی تغییرات در مدیریت آبیاری (یعنی کاهش فواصل و عمق آبیاری، به ویژه در خاک‌های سبک، درشت بافت، ورقه‌ای و با نفوذ پذیری بالا) اعمال شود (Isidoro et al, 2004).

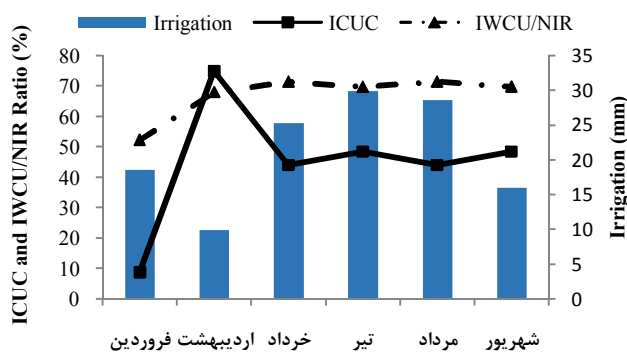


شکل ۴- رابطه و معادله رگرسیون خطی بین حجم‌های جریان خروجی ماهانه اندازه‌گیری شده در خروجی و حجم‌های آبیاری کاربردی ماهانه در شبکه طی فصول آبیاری ۸۸-۱۳۸۵

عملکرد آبیاری

راندمان آبیاری در سطح منطقه

عملکرد آبیاری از طریق شاخص‌های مختلف محاسبه شده برای فصل‌ها و ماه‌های آبیاری سال‌های هیدرولوژیکی 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 بارش به دست آمد. ET_a کم‌تر از ET_m در همه سال‌ها بود، نشان‌دهنده اینکه محصولات تحت تنش بودند، حتی با وجود اینکه حجم آبیاری در همه سال‌ها بیش‌تر از نیاز خالص آبیاری محصولات بود (جدول ۲). میانگین ET_a در شبکه تقریباً ۱۹٪ کم‌تر از میانگین ET_m بود که



شکل ۵- متوسط مقادیر آبیاری (I)، ضریب استفاده مصرفی آبیاری (ICUC) و ضریب IWCU/NIR (که IWCU آبی که به طور مصرفی استفاده می‌شود و NIR نیاز آبیاری خالص) در طی فصول آبیاری فروردین تا شهریور سال‌های هیدرولوژیکی ۸۸-۱۳۸۵

جدول ۲- آبیاری 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 ($IWCUC = ET_a - Pe$) و کم آبیاری ($ID = NIR - IWCUC$): 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 ($ICUC = IWCUC / I$) و ضریب $R = IWCUC / NIR$ نشان داده شده‌اند.

شبکه	سال	واحد	I	ET_a	ET_m	P	IWCUC	NIR	ID	ICUC (%)	R (%)
۱۳۸۵		mm	۱۴۷	۱۶۶/۵	۲۰۶/۶	۱۹۶	۷۷.۵	۱۱۷.۶	۴۰	۰/۴۳	۰/۶۵
		mcm	۴/۵	۵/۱	۶/۳	۶۰.۳	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	حمودی	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		

متوسط ضرایب DE و $ICUC_f$ در سال ۸۶-۱۳۸۵، ۶۶٪ و ۵۳٪ بود. حاصل مقدار سیستم در شبکه حمودی برابر ۴۳٪ بود. $ICUC$ پایین سیستم بنابراین 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 اختلاف‌ها در بارش باشد که تقریباً در سال ۱۳۸۵ دو برابر در مقایسه با سال ۱۳۸۶ بیش‌تر است (جدول ۳). بنابراین چون حجم‌ها و دوره‌های آبیاری در منطقه حمودی ثابت و مستقل از هوا است (یعنی I در هر دو سال مشابه بود)، کشاورزان می‌توانند در سال ۱۳۸۵ جزء بیش‌تری از آب آبیاری را به طور مستقیم به سیستم زهکشی منحرف کنند و باعث OL بیش‌تر و DE کم‌تر در سال ۱۳۸۵ شوند (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- آبیاری (I)، تلفات کاربردی (OL)، راندمان توزیع (DE) و ضرایب استفاده مصرفی آبیاری مزرعه ($ICUC_f$) و سیستم ($ICUC$) بدست آمده 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

ارزیابی فصلی راندمان آبیاری

$ICUC$ در شروع فصل‌های آبیاری کاملاً متغیر (فروردین تا اردیبهشت) و بعد از اردیبهشت نسبتاً ثابت بود (شکل ۵). آبیاری در فروردین بسیار بیش‌تر از نیاز خالص محصول بود، به طور عمده به خاطر حجم زیاد آبیاری گندم که به منظور ارتقای رشد آن بود. در نتیجه، مقادیر $ICUC$ بسیار پایین (۸/۸٪) و $IWCUC/NIR$ نسبتاً پایین (۵۲/۲٪) در فروردین به دست آمد (شکل ۷). در مقابل، گندم عموماً در اردیبهشت آبیاری نمی‌شود و آب ذخیره شده در خاک در طی فروردین را مصرف می‌کند، به طوری که مقادیر بسیار بالا $ICUC$ (۷۴/۸٪) و مقادیر نسبتاً بالای $IWCUC/NIR$ (۶۷/۸٪) در اردیبهشت به دست آمد (شکل ۵). در خرداد، تیر و مرداد آبیاری به همراه نیاز گیاه افزایشی افزایش می‌یابد و $IWCUC/NIR$ در مقادیر کاملاً ثابت بین ۳۳٪ تا ۶۰٪ و ۶۵٪ تا ۸۵٪ باقی می‌ماند. در شهریور، آبیاری کاهش می‌یابد

(ذرت معمولاً در هفته‌های آخر این ماه آبیاری نمی‌شود) و $ICUC$ افزایش می‌یابد در حالی که نسبت $IWCUC/NIR$ تغییر نمی‌کند (شکل ۵). به طور خلاصه، عملکرد آبیاری در طول فصل آبیاری بیش‌تر ضعیف بود.

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.

مفاهیم کلاسیک و جدید در مقیاس مزرعه

استوار است که آبی که دوباره مورد استفاده قرار گیرد تلفات محسوب نمی‌شود.

مقادیر راندمان سامانه‌های آبیاری محاسبه شده بر اساس مفهوم راندمان مؤثر نیز به مانند راندمان خالص بیش‌تر از مقادیر راندمان کلاسیک است (جدول ۵). مقادیر راندمان مؤثر سامانه‌های آبیاری مورد بررسی، ۰/۶۵ است.

نتایج به‌دست 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 تأیید می‌باشد.

با استفاده از رابطه ۱۴ و با بازنویسی روابط ۱۰ و ۱۱، روابط ۱۵ و ۱۶ به‌دست می‌آید.

$$Er = R = \frac{BLoss}{O} \quad (14)$$

$$NE = \frac{NET + BLoss}{I} \quad (15)$$

$$EE = \frac{NET}{I - BLoss} \quad (16)$$

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 می‌گردد و در حالت دوم مقدار راندمان خالص و مؤثر ۱۰۰ درصد می‌گردد. نتایج به‌دست 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. نتایج به‌دست آمده در سامانه سطحی مقدار آب آبیاری ورودی بسیار زیاده‌تر از نیاز آبی بوده است و مقدار تلفات کل و مفید در مقایسه با مقدار آب ورودی قابل ملاحظه است (جدول ۴).

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) 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.

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

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

ترم 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 حجم رواناب/نفوذ عمقی در سامانه‌های شبکه آبیاری حمودی تخمین زده شده است (جدول ۴). بر اساس نتایج به‌دست 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.

نتایج نشان می‌دهد که مقادیر راندمان خالص در سامانه‌های آبیاری سطحی بیش‌تر از مقادیر راندمان محاسبه شده با روش کلاسیک است (جدول ۵).

همانطور که قبلاً توضیح داده شد، مفهوم جدید راندمان همه تلفات موجود در مفهوم کلاسیک را تلفات نمی‌داند و بر این اصل

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

مقادیر		مفاهیم کلاسیک و جدید	
۰/۵۳	Ea	راندمان کاربرد	$\frac{O}{I}$
۰/۷۷	NE	راندمان خالص	$\frac{O - BLoss}{I}$
۰/۶۵	EE	راندمان مؤثر	$\frac{NET}{I - BLoss}$

ماکزیمم حفاظت آب تحت عملکرد محصول موجود برسد و نیاز محصول (یعنی IWCUC جدید=IWCUC موجود). این معنی می‌دهد که ICUC بدون افزایش آب مصرفی گیاهان افزایش خواهد یافت. برای رسیدن به این هدف، تلفات آب بایستی با حداقل کردن تلفات کاربردی (OL) (یعنی بهبود مدیریت توزیع و تحویل سیستم) و تلفات مزرعه (زهکشی) کاهش یابد (با استفاده از جریان‌های آبیاری بزرگ‌تر برای کاهش دفعات آبیاری و نفوذ عمقی، اگرچه فواصل بین آبیاری به صورت وضع موجود باقی خواهند ماند).

نتایج این شبیه‌سازی‌ها (جدول ۶) نشان می‌دهد که تحت سناریوی I سه افزایش پتانسیل در ICUC ذخیره آب را از صفر تا ۲۳/۵٪ حجم آبیاری موجود افزایش خواهد داد اگر هدف رسیدن به عملکرد ماکزیمم باشد. در سناریوی II ذخایر آب می‌توانند کماکان بیش‌تر باشند (از ۳۱/۶ تا ۴۷/۷٪ وابسته به ICUC هدف) اگر هدف رسیدن به عملکرد موجود باشد.

به طور خلاصه، اگرچه اشکال قبلی فرضی هستند، اما آن‌ها حجم‌های معنی‌داری از آب را که می‌تواند ذخیره شود اگر منطقه حمودی با هدف افزایش راندمان‌های آبیاری ضعیف موجود اصلاح شود، نشان می‌دهند.

سرانجام، مفهوم حفاظت آب بایستی به طور پیوسته آزمایش شود. ET_a در سناریوی I، $MCM \ 0/8$ بزرگتر از ET_a موجود خواهد بود و این حجم از آب به طور قطعی تلفات برای کاربران پایین دست خواهد بود (یعنی یک کاهش واقعی در منابع آب در سطح هیدرولوژیکی حوضه وجود خواهد داشت).

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

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

بنابراین، آب از منظر کیفیت بیش‌تر از منظر کمیت نگهداری می‌شود، چون آب برداشت نشده کیفیت بالای خود را حفظ می‌کند ($EC \approx 0/32 \text{ dS/m}$) در حالی که آب برداشت شده مازاد برگشتی به صورت زهکشی دارای شوری و نیترات زیاد است (Isidoro, 1999).

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 خواهد 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 لحاظ کرده است و ضعف انجام آبیاری در مزرعه را بیان نموده است.

بهبود عملکرد آبیاری و حفاظت آب

بر مبنای نتایج متوسط موجود در جدول ۶ محصولات تحت آبیاری در منطقه حمودی بایستی به طور واقعی $MCM \ 2/5$ (یعنی NIR) آب مصرف کنند تا به طور کامل نیاز حداکثر آبی خود را تأمین کنند و به عملکرد ماکزیمم برسند. اگرچه، علی‌رغم حجم بالای آب کاربردی ($MCM \ 3/9$) تنها $MCM \ 1/7$ (یعنی IWCUC) به طور واقعی به وسیله محصولات مصرف می‌شود. بنابراین حجم اضافی آبیاری $MCM \ 0/8$ (ID) مورد نیاز است تا ET_m محصول تحت مدیریت ناکافی آبیاری موجود تأمین شود.

با وجود این، افزایش در آب تحویلی به منطقه آبیاری حمودی 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 مدرن‌سازی (معطوف به عنوان I و II) و سه افزایش ICUC پتانسیل ($65 \ 75 \ 85\%$) بیش از مقدار متوسط ICUC 44% موجود تخمین زده می‌شود.

در سناریوی I، فرض شد که منطقه حمودی تجهیز می‌شود تا به حداکثر عملکرد برسد، تا حدی که آبیاری به طور کامل نیاز محصول را تأمین کند (یعنی IWCUC جدید= NIR خالص). این سناریو بیان می‌کند که افزایش در آب مصرفی محصولات همراه با افزایش در مقادیر ICUC بود. برای نیل به این هدف، آب آبیاری بایستی فراوان‌تر به کار گرفته شوند (یعنی دوره‌های آبیاری کوتاه‌تر) با تغییر سامانه‌های آبیاری جویچه‌ای و نواری موجود (انتها باز) به سامانه‌های آبیاری بارانی و/یا ایجاد مخازن داخلی و افزایش ظرفیت انبار آبیاری موجود (یعنی جریان‌های آبیاری بزرگ‌تر و دوره‌های آبیاری کوتاه‌تر) این هدف محقق می‌شود.

در سناریوی II، فرض می‌شود که منطقه تجهیز می‌شود تا به

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 حالی که مفهوم راندمان خالص تنها مفهوم استفاده مجدد از تلفات مفید در مقیاس مکانی بزرگ‌تر از مزرعه لحاظ کرده است و ضعف انجام آبیاری در مزرعه را بیان نمی‌کند.

اگر شبکه آبیاری مجهز شود تا به طور کامل نیاز پتانسیل محصول را تأمین کند و به عملکرد ماکزیمم برسد (یعنی سناریوی I، که $IWCU=NIR$ موجود)، تخصیص آب موجود به منطقه می‌تواند تا صفر برای ICUC برابر ۶۵٪ و تا ۲۳٪ 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) در آب موجود برای کاربران پایین دست خواهد بود. اگر سیستم برای رسیدن به حفاظت حداکثر از آب برای نیاز محصول موجود و عملکرد تحت تنش آبی (یعنی سناریوی II، که $IWCU=IWCUC$ جدید = $IWCUC$ موجود) مجهز شود، تخصیص آب موجود می‌تواند بیش‌تر تا ۳۱٪ برای ICUC برابر ۶۵٪ و تا ۴۷٪ 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 به‌دست آمده در سناریوی I، در مقابل عملکرد محصول تولیدی زیر حداکثر خواهد بود.

منابع

- صانعی دهکردی، خ و کرمی، ح. ۱۳۸۹. بررسی و مقایسه EC اراضی تحت کشت و بایر و ارائه راهکار اصلاح این فاکتور در راستای کشاورزی پایدار (مطالعه موردی: شبکه حمودی خوزستان). سومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- مدیریت منابع آب ایران. ۱۳۸۷. مطالعات بهنگام سازی طرح جامع آب کشور در حوزه‌های آبریز: مرزی غرب، کرخه، کارون بزرگ، جراحی و زهره. شرکت بهان سد. ۱۱۷ صفحه.
- 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: 300.
- 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.
- Akbari, M., Toomanian, N., Droogers, P., Bastiaanssen, Wand 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

مزایای سناریوی I، عملکرد افزایشی و کیفیت افزایشی آب رودخانه در مقابل کاهش آب موجود برای کاربران پایین دست خواهد بود. در سناریوی II، حفاظت کیفیت آب بیش‌تر خواهد بود چون کیفیت جریان‌های برگشتی آبیاری از لحاظ کیفی تنزل یافته تغذیه کننده رودخانه کم‌تر خواهد بود. مزایای سناریوی II حفاظت آب بر طبق کمیت و کیفیت، در مقابل کاهش عملکرد زیر عملکرد حداکثر خواهد بود. سرانجام، احتمالاً مهم‌ترین مسئله در هر دو سناریوی مدرن‌سازی مزایای اجتماعی معنی‌دار خواهد بود چون استاندارد زندگی کشاورزان به طور شدیدی افزایش خواهد یافت، اگر برنامه‌ریزی ۲۴ ساعته موجود آبیاری کاهش یابد.

نتیجه‌گیری

بیان 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. این حجم خروجی مازاد به جریان‌های زیرزمینی ناشی از نشت کانال و رودخانه از اراضی مجاور شبکه (به طور عمده در طی فصل‌های آبیاری) نسبت داده شد. تبخیر - تعرق واقعی محصولات (میانگین فصل آبیاری ۸۸-۱۳۸۵، $ET_a = 2/0 MCM$ = در حمودی)، که از طریق الگوریتم بیان انرژی و تصاویر ماهواره‌ای تخمین زده شد، ۱۹٪ کم‌تر از ET_m ماکزیمم یا پتانسیل ($ET_m = 4/8 MCM$ در حمودی) بود، که دلالت دارد بر اینکه محصولات تحت تنش آبی بودند و عملکرد زیر مقادیر پتانسیل و حداکثرشان بود.

بنابراین علی‌رغم حجم‌های زیاد آبیاری کاربردی، آب آبیاری به طور مصرفی توسط محصولات استفاده می‌شود ($IWCUC$) کم‌تر از نیاز آبیاری خالص آن‌ها (NIR) است، نشان می‌دهد که مدیریت آبیاری در منطقه حمودی قادر نیست نیاز خالص محصولات را تأمین کند.

میانگین ICUC (ضریب استفاده مصرفی آبیاری) در شبکه حمودی ۴۴٪ بود و کم‌ترین عملکرد آبیاری در فروردین مشاهده شد (۸/۸- $ICUC = \%$ هنگامی که گندم به طور سنگین آبیاری می‌شود تا رشد آن ارتقاء یابد. در فصل‌های آبیاری ۱۳۸۵ و ۱۳۸۶، ICUC (۴۳٪) به راندمان توزیع (۵۳٪) و ضریب استفاده مصرفی آبیاری مزرعه (۵۳٪) تجزیه شد. این مقادیر نشان می‌دهد که 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 در همه شبکه‌های آبیاری مورد بررسی، مقادیر راندمان مؤثر نسبت به راندمان خالص کم‌تر به دست آمد و این تفاوت در شرایطی که تلفات آب در شبکه آبیاری

- Science. 27: 25–34.
- Matsubayashi, V., Velasquez, G.T and Takagi, F. 1993. Hydrograph separation and flow analysis by specific electrical conductivity. *Journal of Hydrology*. 152: 179-199.
- Martínez-Cob, A., Faci, J.M. and Bercero, A. 1998. Evapotranspiración y necesidades de riego de los principales cultivos en las comarcas de Aragón. *Institución Fernando el Católico (CSIC), Zaragoza*, p. 223.
- Molden, D., Oweis, T., Steduto, P., Bindraban, P., Hanjra, M.A and Kijne, J. 2010. Improving agricultural water productivity: between optimism and caution. *Agriculture Water Management*. 97: 528–534.
- Pinder, G.F and Jones, J.F. 1969. Determination of the ground-water component of peak discharge from the chemistry of total runoff, *Water Resource. Research*. 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. *Agriculture Water Management*. 40: 45–50.
- 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*.
- Toomanian, A., Gieske, A and Akbari, M. 2004. Irrigated area determination by NDVI-Landsat upscaling techniques, *Zayandeh River Basin, Esfahan, International Journal Remote Sensing*. 15.22: 4945–4960.
- Ward, F.A and Pulido-Velázquez, M. 2008. Water conservation in irrigation can increase water use. *Proceedings of the National Academy of Science*. 105: 18215–18220.
- Agriculture. *FAO Irrigation and Drainage Paper No. 29*.
- 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: 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, A.A. 2011. Macro, Meso and Micro Efficiencies in Water Resources Management: a New Framework Using Water Balance. *American Water Resources Association*. 44: 961–968.
- Huffaker, R. 2008. Conservation potential of agricultural water conservation subsidies. *Water Resources Research*. 44.
- Isidoro, D. 1999. Impacto del regadío sobre la calidad de las aguas superficiales del Barran code 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 Agriculture. Water Management*. 64. 2: 123-142.
- Jensen, M.E. 2007. Beyond irrigation efficiency, *Irrigation Science*, 25: 233–245.
- Keller, A.A and Kelle, 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*.
- Mateos, L. 2008. Identifying a new paradigm for assessing irrigation system performance. *Irrigation*

Water Balance and Irrigation Performance Analysis at the Irrigation District level (Case study: Hamody irrigation system of khozestan)

M.J. Nahvinia¹, A.M. Liaghat^{*2}, F. Abbasi³
 Received: Dec.27, 2014 Accepted: Apr.29, 2015

Abstract

Diagnosis of water management at the irrigation district level is required for theralational modernization of the irrigation schemes and the subsequent increase in the efficiency of water allocation and application. The objective of this study is to evaluate globally in 3079 ha of land under modern irrigation system Hamody. 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 1385 to 1388 hydrological years. The annual average water outputs were 16% higher than the corresponding water inputs, presumably due to canal seepage and lateral groundwater inflows from neighbor dry-land watershed. The district-level irrigation performance was poor (mean 1385-88 seasonal irrigation consumptive use coefficient-ICUC were equal 44%), due to the low distribution (68%) 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. The evaluation by using neoclassical approach indicated that the values of net (0.77) and effective efficiency (0.65) 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 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 0 to 23% 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 (from 31 to 47% of current allocation). 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.

Key Words: Systemirrigation, Irrigation efficiency, Irrigation consumptive use coefficient, Water conservation

1- P.hD. Student, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, University of Tehran

2- Professor of Department of Irrigation and Reclamation Engineering, University of Tehran

3- Professor of Department of Agricultural Engineering and technical Researches

(*-Corresponding Author Email: aliaghat@ut.ac.ir)