



مدیریت آب و آبیاری

دوره ۱۰ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۹

صفحه‌های ۱۵۶-۱۴۳

برآورد میزان تلفات ناشی از انتقال، توزیع و تحویل آب کشاورزی (مطالعه موردی: شبکه آبیاری رودشت اصفهان)

- حبیب کریمی‌اورگانی^۱، سید مهدی هاشمی‌شاهدانی^{۲*}، سید ابراهیم هاشمی‌گرمدره^۳، عبدالمجید لیاقت^۴
۱. دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آبیاری، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، ایران.
 ۲. دانشیار، گروه مهندسی آبیاری، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، ایران.
 ۳. استادیار، گروه مهندسی آبیاری، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، ایران.
 ۴. استاد، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران.
- تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۱۱/۲۹ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۳/۰۵

چکیده

در شبکه‌های آبیاری کشور به سبب بهره‌برداری و نگهداری نامناسب، تلفات قابل توجهی در سامانه انتقال و توزیع آب کشاورزی رخ می‌دهد. مدیریت برنامه‌ریزی مناسب مدیریت آب کشاورزی در شبکه‌های آبیاری نیازمند تعیین این مقدار تلفات می‌باشد که مستلزم اندازه‌گیری‌های مستمر، زمان‌بر و پرهزینه می‌باشد. این پژوهش با استفاده از یک روش کاربردی میزان تقریبی تلفات ناشی از انتقال، توزیع و آب را برای شبکه آبیاری رودشت اصفهان برآورد نمود. در گام نخست با استفاده از مدل آکواکراپ میزان آب موردنیاز گیاهان الگوی کشت در طول فصل زراعی ۹۴-۱۳۹۳ محاسبه و با در نظر گرفتن بازده کاربرد آب در مزرعه مقدار تقاضای آب در کل شبکه به دست آمد. میزان تلفات ناشی از تبخیر و نیز حجم ناخالص آبیاری از میزان آب ورودی شبکه کسر شد که مقدار حاصل شده نمایانگر میزان کل تلفات واقع در سامانه‌های انتقال، توزیع و تحویل آب در شبکه بود. نتایج حاکی از آن بود که میزان تلفات روزانه متغیر و در بازه ۳۰ الی ۶۰ درصد می‌باشد که این مقادیر به مراتب بیش‌تر از میزان ارائه‌شده در مرجع استاندارد طراحی و بهره‌برداری شبکه آبیاری در کشور (مقدار کل تلفات بین ۱۰ تا ۲۰ درصد) می‌باشد. دلیل این میزان تلفات را می‌توان به عدم شناخت کافی نسبت به مفاهیم بهره‌برداری، هیدرولیک جریان در شبکه‌های روباز انتقال و توزیع آب نسبت داد.

کلیدواژه‌ها: آکواکراپ، تلفات بهره‌برداری، سامانه توزیع آب، شبکه آبیاری.

Determination of Water Losses through the Agricultural Water Conveyance, Distribution and Delivery System (Case Study: Roodasht Irrigation District, Isfahan)

- Habib Karimi Avargani¹, S. Mehdy Hashemy Shahdany^{2*}, Seyed Ebrahim Hashemi Garmdareh³, Abdolmajid Liaghat⁴
1. Ph.D. Candidate in Irrigation and Drainage, Department of Irrigation Engineering, College of Aburaihan, University of Tehran, Iran.
 2. Associate Professor, Department of Irrigation Engineering, College of Aburaihan, University of Tehran, Iran.
 3. Assistant Professor, Department of Irrigation Engineering, College of Aburaihan, University of Tehran, Iran.
 4. Professor, Department of Irrigation and Reclamation, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Iran.
- Received: February 18, 2020 Accepted: May 25, 2020

Abstract

Significant water losses occurred within the Agricultural Water Conveyance, Distribution, and Delivery System in Iranian irrigation districts due to inappropriate operation and maintenance activities. Appropriate agricultural water programming and management need to determine these water losses require costly, time-consuming, and sequential measurement activities. This study proposed a practical approach to find out the approximated values of the losses that occurred in the systems mentioned above. In this respect, the irrigation water requirement of the crops during the cultivated season of 2015-2016 was calculated using the AquaCrop model upon considering applied efficiency in the farm scales. Then, the daily operational water losses were calculated by subtracting the daily gross irrigation water requirement and evaporation losses from the measure daily canal inflow. The obtained results revealed that daily operational water losses vary in a range of 30-60%, which were more significant than the values reported in the Iranian national standard for designing and operation of the irrigation districts (total losses are 10-20%). The reason to justify these water losses is mattered with a lack of operational knowledge, hydraulic basis of the open conveyance and distribution canal networks.

Keywords: AquaCrop, Irrigation District, Operational Losses, Water Distribution System.

مقدمه

امروزه آب به عنوان یک منبع کمیاب و گران قدر در سطح دنیا تلقی می شود. با رشد جمعیت و نیاز به غذای بیش تر و توسعه فزاینده نواحی اقتصادی در اطراف شهرها، مدیریت مصرف آب در بخش کشاورزی، به عنوان بزرگترین مصرف کننده آب، اهمیت بسیار زیادی نسبت به گذشته به خود گرفته است. با توجه به وضعیت حال حاضر تأمین آب در مناطق کشاورزی که شرایط کم آبی- های متوالی تحقق این امر را با مشکلات متعدد مواجه ساخته است، ضرورت مدیریت بهینه آب در این بخش ضروری است (۲ و ۱۲). بررسی مطالعات صورت گرفته در سطح دنیا حاکی از آن است که بخش کشاورزی با مصرف حدود ۷۰ درصد از منابع آب تجدیدپذیر، به عنوان بزرگترین مصرف کننده آب، عملکرد ضعیفی در استفاده بهینه از منابع آب داشته است (۳۹). کشاورزی فاریاب تقریباً ۴۰ درصد تولید محصولات غذایی را تأمین می کند که در این بخش، شبکه های آبیاری و زهکشی وظیفه اصلی انتقال، توزیع و تحویل منابع تأمین شده آب سطحی را بر عهده دارند. مطالعات و بررسی های مختلف در مورد نحوه عملکرد شبکه های آبیاری حاکی از عملکرد ضعیف مدیریت بهره برداری این شبکه ها است (۱۴ و ۶). عواملی نظیر نقص در طراحی و اجرا، عدم اجرای منظم برنامه های دوره بازرسی و نگهداری (۱۳) و بهره برداری با رویکرد بالا به پایین که منجر به ناعدالتی فاحش در توزیع آب سطحی بین کشاورزان واقع در بالادست و پایین دست شبکه آبیاری شده (۷ و ۲۳)، از جمله این عوامل می باشند. در برنامه ریزی سالانه تخصیص آب و نیز در فرآیند طراحی شبکه های آبیاری، انتخاب راندمان انتقال و توزیع آب معمولاً به صورت حدسی و با استفاده از توصیه های ارائه شده در مراجع صورت می گیرد، لذا طراح با فرض غیر مطمئنی در انجام محاسبات خود روبه رو بوده

است (۱۰). هم چنین، عدم مطلوبیت عملکرد توزیع و تحویل کافی و مناسب منابع آب سطحی، برداشت بی رویه از منابع آب زیرزمینی را به دنبال داشته است (۲۳). با وجود سرمایه گذاری های چشم گیر دولت ها در احداث سدهای ذخیره ای و شبکه های توزیع آب کشاورزی در پایین دست آن ها، به علت بهره برداری ناپایدار و غیر مطمئن این شبکه ها، همزمان با استفاده از منابع آب سطحی از منابع آب زیرزمینی به عنوان یک منبع مطمئن تأمین آب در مناطق کشاورزی استفاده می شود (۲۸). بنابراین در این شرایط مسأله اصلی متولیان بخش آب کشور، بهره برداری هدف مند از منابع محدود آب سطحی تأمین شده با توسعه راهبرد مدیریت تقاضا محور، به منظور کاهش تلفات در سیستم های انتقال، توزیع، تحویل و کاربرد آب کشاورزی می باشد. با توجه به تأثیر تلفات آب بر نحوه برنامه ریزی تأمین و توزیع آب کشاورزی، ارزیابی عملکرد بهره برداری و کاربرد آب در شبکه های آبیاری و به دنبال آن برآورد دقیق بازده های انتقال، توزیع و کاربرد آب کشاورزی ضروری است. شایان ذکر است که عملکرد مناسب یک شبکه آبیاری، شامل سامانه های انتقال و توزیع (محدوده خارج از مزرعه) و کاربرد آب (داخل مزرعه)، به عملکرد اجزای مختلف آن بستگی دارد.

محمدی و همکاران (۳۳) به ارزیابی عملکرد انتقال آب در تمام سطوح کانال ها و انجام یک تحلیل عمیق از مشکل تلفات آب در طرح های آبیاری در شبکه آبیاری ورامین پرداختند. نتایج نشان داد که بازده انتقال برای کانال های اصلی، درجه ۲ و ۳ در مسافت ۱۰۰۰ متر به ترتیب ۹۵ درصد، ۹۱/۵ درصد و ۸۹/۳ درصد است. مروا و عمران (۳۱) به بررسی راندمان انتقال و تلفات نشت در شبکه Hilla-Kifil در کشور عراق پرداختند که راندمان انتقال و توزیع را در بازه های اندازه گیری شده، به ترتیب ۹۵/۲۱، ۸۳/۶۸، ۸۱/۲ و ۹۰/۳۳ درصد گزارش

مدیریت آب و آبیاری

به ترتیب برابر ۲۶، ۱۰۰ و ۱۰۰ درصد از میزان آب تحویلی به آبگیرها می‌باشد که عملیات ضعیف بهره‌برداری، سازه‌های آبگیر آسیب‌دیده و توسعه زیرساخت‌های آبیاری بدون برنامه‌های مدیریتی مناسب، عوامل ایجاد تلفات بالا و به دنبال آن ایجاد بی‌عدالتی در توزیع آب کشاورزی می‌باشد. در مطالعاتی که توسط کنیزلی و همکاران (۳۰) انجام شد، نشان داد که بازده انتقال در کانال‌های خاکی در آمریکا حدود ۷۰ درصد می‌باشد. تانجی و کیلن (۴۱) تخمین زدند که بازده انتقال در کانال‌های خاکی غیرپوششی در مناطق نیمه خشک در محدوده ۵۰-۸۰ درصد می‌باشد.

شاهرخ‌نیا و علیان‌غیائی (۸) در پژوهشی به محاسبه میزان بازده توزیع در کانال‌های آبیاری در شبکه درودزن پرداختند که نتایج نشان داد بازده توزیع آب در کانال‌های درجه سه و چهار این شبکه را حدود ۸۱ درصد می‌باشد. بهراملو و همکاران (۱) پژوهشی را به منظور ارزیابی بازده انتقال و تلفات آب در کانال‌های انتقال پوشش‌دار شبکه‌های آبیاری زاینده‌رود، مغان و کرمان انجام دادند. مقادیر بازده انتقال آب در این کانال‌ها بین ۹۶ تا ۹۹/۷ درصد گزارش نمودند. عباسی و همکاران (۱۱) با جمع‌آوری و بررسی نتایج حاصل از بررسی‌های میدانی در شبکه‌های مختلف آبیاری کشور، بازده انتقال و توزیع در سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۰ و سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۴ را به ترتیب ۶۸/۵ و ۷۴/۲ گزارش کردند. میزان تلفات آب در شبکه آبیاری دز با استفاده از جریان ورودی و خروجی توسط شینی و همکاران (۹) مورد مطالعه قرار گرفت. با اندازه‌گیری‌های جریان ورودی و خروجی، بازده‌های انتقال و توزیع آب در دو کانال E_4 و سیبلی بررسی شد. نتایج نشان داد که متوسط بازده انتقال در کانال‌های اصلی و فرعی سیبلی ۶۵/۲ و E_4 برابر با ۵۶/۸ درصد بود. ریاحی و همکاران (۴) به ارزیابی عملکرد فنی و وضعیت

نمودند. کدیر و اینجنیر (۲۹) به منظور تخمین تلفات انتقال در کانال‌های شبکه آبیاری Wonji-Shoa، پژوهشی در سال ۲۰۱۱-۲۰۱۰ انجام داد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که میانگین تلفات انتقال ۱۱ تا ۱۲ درصد به دست آمد. پژوهش ابوخشابا (۱۸) حاکی از آن بود که کانال‌های آبیاری بین ۳۰ تا ۵۰ درصد از کل حجم آب، به دلیل تفاوت بین شرایط ساختاری و بهره‌برداری را هدر می‌دهند. در مطالعه‌ای تلفات انتقال آب در شبکه Panchnadi در هند مورد محاسبه قرار گرفت. نتایج نشان داد که راندمان انتقال برای کانال‌های پوشش‌دار و غیرپوشش‌دار به ترتیب ۷۵/۱ درصد و ۵۲/۳ درصد می‌باشد (۲۷). در مطالعه‌ای آکوزو و همکاران (۲۰) مقدار بازده انتقال کانال‌های اصلی آبیاری با پوشش بتنی در ترکیه ۹۷ درصد در هر ۱۰۰۰ متر، و در کانال‌های درجه دو بازده انتقال ۹۸ درصد در ۱۰۰ متر گزارش نمودند. همچنین برای کانال‌های دوزنقه‌ای درجه سه مقدار بازده انتقال ۹۴/۹ درصد در ۱۰۰ متر تعیین نمودند.

سن و همکاران (۳۶) در پژوهشی با استفاده از روش ورودی-خروجی بازده انتقال را در کانال‌های خاکی و پوشش‌دار به ترتیب برابر ۶۰ و ۹۶ درصد محاسبه و گزارش نمودند. طی پژوهشی که توسط سرا و همکاران (۳۸) در یک شبکه آبیاری واقع در اسپانیا انجام شد، مشخص شد که بازده انتقال حدود ۴۵ درصد می‌باشد، که دلیل مقدار زیاد تلفات را مدیریت ضعیف بهره‌برداری و نگهداری شبکه انتقال و نیز از کار افتادگی زیرساخت‌های مربوط به آن عنوان کردند.

طی مطالعه‌ای که توسط آگید و همکاران (۱۹) بر روی چهار منطقه از اتیوپی با طرح‌های آبیاری متفاوت در قالب سه شیوه مدرن، نیمه‌مدرن و سنتی انجام گردید، مشخص شد میانگین نسبت تلفات آب در سیستم‌های انتقال و توزیع، در روش آبیاری مدرن، نیمه‌مدرن و سنتی

با در نظر گرفتن بازده کاربرد آب در مزرعه مقدار تقاضای آب در کل شبکه به دست می‌آید. تفاوت مقادیر آب ورودی به شبکه و نیاز آبیاری گیاهان برابر با میزان تلفات رخ داده شده در سامانه انتقال، تحویل و توزیع آب می‌باشد که به صورت روزانه و میانگین محاسبه شده است.

مواد و روش‌ها روش تحقیق

هدف از انجام پژوهش، ارائه یک روش سیستماتیک در تعیین مقدار کلی تلفات انتقال، توزیع و تحویل آب در یک شبکه آبیاری، با برآورد دقیق میزان تقاضای کشاورزی در محدوده شبکه، مطابق شکل (۱) می‌باشد. شبکه آبیاری و زهکشی رودشت، واقع در منطقه خشک مرکزی ایران، به دلیل مشکلات شدید مدیریت این شبکه و نارضایتی‌های اجتماعی ناشی از عملکرد ضعیف بهره‌برداری این شبکه به عنوان مورد مطالعه این پژوهش انتخاب شد. برای پیاده‌سازی روش پیشنهادی، اطلاعات دبی ورودی به شبکه برای یک فصل زراعی (۹۴-۱۳۹۳) جمع‌آوری گردید. سپس براساس اطلاعات اقلیمی، گیاهی، مدیریت و خاک، نیاز آبی روزانه گیاهان واقع در الگوی کشت غالب شبکه به وسیله مدل آکواکراپ محاسبه شد. نیاز ناخالص آبی روزانه با در نظر گرفتن بازده کاربرد آب در مزرعه، برای هر یک از سیستم‌های آبیاری موجود در شبکه (سطحی، بارانی و موضعی) به دست آمد. بنابراین، مابه‌التفاوت حجم ورودی به شبکه با حجم ناخالص آبی روزانه مورد نیاز شبکه با کسر مقدار تلفات تبخیر برابر با میزان تلفات رخ داده در سامانه‌های انتقال و توزیع و تحویل (شامل تلفات بهره‌برداری، تراوش از کانال بتنی) در کل شبکه می‌باشد. شکل (۱) روند کلی انجام پژوهش حاضر را نشان می‌دهد.

بهره‌برداری از کانال‌های انتقال آب استان کرمان پرداختند. کانال‌های بتنی در مناطق مختلف استان کرمان شناسایی و سپس مقادیر بازده در بازه‌های انتخاب شده این کانال‌ها به روش جریان ورودی- خروجی تعیین کردند و گزارش کردند که میزان بازده انتقال آب در کانال‌های بتنی استان کرمان بین ۵۷ تا ۸۱ درصد به دست آمد. معروفی و سلطانی (۱۲) بازده‌های انتقال آب در شبکه آبیاری شاوور خوزستان را بین ۳۴ تا ۸۳ درصد و بازده شبکه توزیع را بین ۴۵ تا ۸۶/۵ درصد برآورد گردید.

بررسی نتایج حاصل از تحقیقات مذکور حاکی از آن است که مقادیر مختلفی برای تلفات سامانه‌های انتقال، بین ۰/۳ درصد تا حدود ۶۴ درصد، و همچنین، تلفات در سامانه‌های توزیع، بین ۱۹ درصد تا ۵۵ درصد ارائه شده است. این در حالی است که براساس نشریه ضوابط عمومی طراحی شبکه‌های آبیاری و زهکشی (نشریه ۲۸۱) که مبنای طراحی و بهره‌برداری در شرکت‌های مهندسی مشاور و آب منطقه‌ای‌های سراسر کشور می‌باشد، میزان تلفات بهره‌برداری برابر ۵ تا ۱۰ درصد برای شبکه‌های مدرن با کانال‌های پوشش‌دار بتنی در نظر گرفته شده است (۵). مقایسه نتایج گزارش شده در سابقه تحقیق با استاندارد وزارت نیرو، حاکی از اشتباه بودن در نظر گرفتن یک میزان ثابت تلفات در سامانه‌های انتقال و توزیع شبکه‌های آبیاری است. این پژوهش با هدف ارائه یک روش کاربردی و بدون نیاز به اندازه‌گیری‌های میدانی پرهزینه و زمان‌بر که تقریباً توسط هیچ‌کدام از دفاتر بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری کشور به صورت مرتب و دوره‌ای صورت نمی‌گیرد، اقدام به برآورد میزان تلفات بهره‌برداری، شامل تلفات انتقال، توزیع و تحویل آب در سامانه‌های انتقال و توزیع آب کشاورزی، نماید. در این راستا، با استفاده از مدل آکواکراپ میزان آب مورد نیاز گیاهان الگوی کشت در طول یک فصل زراعی محاسبه، و

منطقه مورد مطالعه

شبکه آبیاری رودشت در فاصله ۳۰ الی ۱۰۰ کیلومتری شرق و جنوب شرقی اصفهان واقع شده است. این شبکه گسترده در دو سوی زاینده‌رود به دو بخش رودشت شمالی و رودشت جنوبی (یکی در شمال و دیگری در جنوب زاینده‌رود) تقسیم شده است. شبکه آبیاری رودشت حدود ۴۵۰۰۰ هکتار از اراضی منطقه را تحت پوشش قرار می‌دهد. این شبکه آخرین شبکه آبیاری است که از زاینده‌رود آبرگیری می‌کند. نمایی از این شبکه در شکل (۲) ارائه شده است. حجم آب ورودی به شبکه آبیاری مورد مطالعه برای یک فصل زراعی (۹۴-۱۳۹۳) از آب منطقه‌ای اصفهان

جمع‌آوری گردید. ورودی‌های مدل گیاهی عبارتند از: داده‌های اقلیمی، گیاهی، خاک و مدیریت (آب و مزرعه)، به این منظور داده‌های هواشناسی از جمله دمای حداکثر و حداقل، رطوبت نسبی، سرعت باد، ساعت‌های آفتابی و ... از ایستگاه سینوپتیک ورزنه (به طول جغرافیایی ۵۲/۶۲ و عرض جغرافیایی ۳۲/۴ و ارتفاع ۱۴۵۰) که نزدیک‌ترین ایستگاه به شبکه مورد مطالعه می‌باشد، تهیه گردید. جدول (۱) میانگین روزانه برخی پارامترهای هواشناسی منطقه مورد مطالعه را برای فصل زراعی ۹۴-۱۳۹۳ نشان می‌دهد برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل از نرم‌افزار ETo-Calculator استفاده گردید.

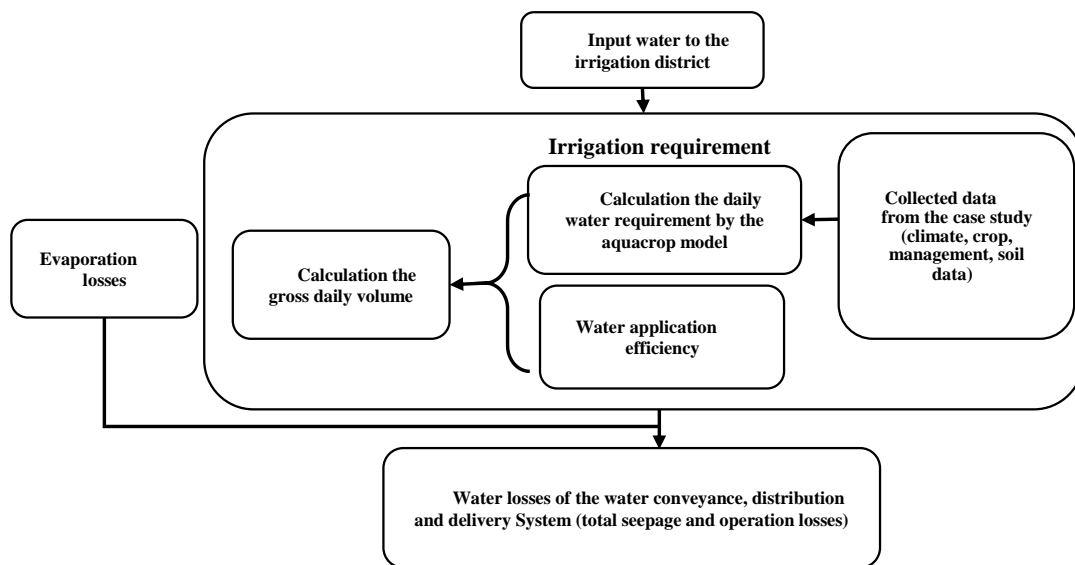


Figure 1. Flowchart of research

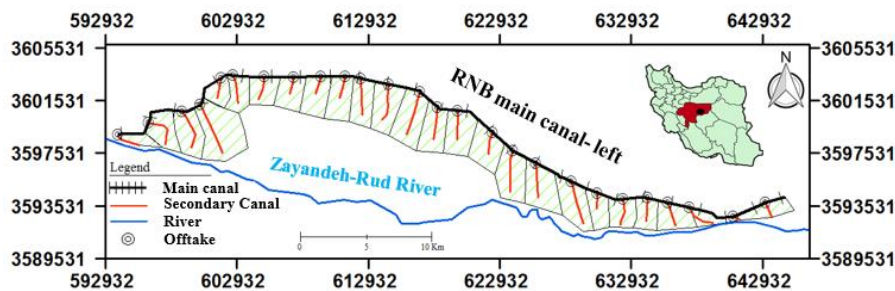


Figure 2. Map of the Roodasht irrigation district (Yaltaghian Khiabani *et al.* (15))

(۴۰). اساس کار این مدل از معادله (۱) دورنباس و کاسام (۲۴) می‌باشد. تبخیر و تعرق حقیقی (ET_a) به دو بخش تبخیر از سطح خاک (E_s) و تعرق از سطح گیاه زراعی (T_a) تفکیک می‌شود. یکی از مزایای مدل آکواکراپ، نسبت این معادله زمان و دوره محاسبات می‌باشد، به طوری که معادله (۱) برای دوره زمانی طولانی به کار گرفته می‌شود در صورتی که مدل آکواکراپ توانایی اجرای محاسبات را به صورت روزانه دارا می‌باشد (۴۰).

$$\left(\frac{Y_x - Y_a}{Y_x}\right) = K_y \left(\frac{ET_x - ET_a}{ET_x}\right) \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن: Y_x حداکثر عملکرد گیاه زراعی، Y_a عملکرد واقعی گیاه زراعی، ET_x حداکثر تبخیر و تعرق، ET_a تبخیر و تعرق واقعی و K_y فاکتور تناسب بین افت عملکرد نسبی و کاهش نسبی در میزان تبخیر و تعرق است.

همان‌طور که پیش‌تر توضیح داده شد، برآورد نیاز آبی محصولات واقع در الگوی کشت برای یک فصل زراعی در سال آبی ۹۴-۱۳۹۳ صورت گرفت. واسنجی و صحت‌سنجی مدل گیاهی این تحقیق نیز براساس آمار اندازه‌گیری‌شده در سال‌های ۹۳-۱۳۹۲ و ۹۶-۱۳۹۵ صورت پذیرفت. برای این منظور از شاخص‌های آماری ضریب تبیین (R^2)، ریشه میانگین مربعات خطا ($RMSE$) و شاخص توافق (d) استفاده گردید (روابط ۲، ۳ و ۴).

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O})]^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2 \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad \text{رابطه ۲}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{n}} \quad \text{رابطه ۳}$$

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \right] \quad \text{رابطه ۴}$$

که P_i مقادیر برآورد شده مدل، \bar{P} متوسط مقادیر برآورد شده مدل، O_i مقادیر اندازه‌گیری‌شده، \bar{O} متوسط مقادیر اندازه‌گیری‌شده و n تعداد مشاهدات می‌باشند. برخی اطلاعات و خصوصیات خاک منطقه که به مدل آکواکراپ وارد شدند، در جدول (۳) ارائه شده است.

این نرم‌افزار اطلاعات هواشناسی را از کاربر دریافت و تبخیر و تعرق مرجع را براساس روش پنمن-مونتیث-فائو محاسبه می‌کند و خروجی را به صورت فایل که قابلیت ورودی برای مدل آکواکراپ دارد در اختیار کاربر قرار می‌دهد (۴۰). دیگر اطلاعات موردنیاز مدل آکواکراپ از جمله اطلاعات و خصوصیات خاک و همچنین داده‌ها و ضرایب گیاهی از جمله تاریخ کاشت و دوره‌های فیزیولوژیکی گیاهان با استفاده از کارشناسان کشاورزی منطقه، گزارش جامع حوضه زاینده‌رود و مطالعات صورت گرفته در منطقه استخراج گردید (۳، ۲۵، ۳۴ و ۳۵).

در جدول (۲) الگوی کشت و سطح زیرکشت گیاهان شبکه مورد مطالعه را نشان داده شده است.

Table 1. Mean daily meteorological data

Month	T _x (°C)	T _{min} (°C)	RH _{mean} (%)	Precipitation (mm)	Wind speed (m/sec)
Nov	14.9	0.5	48.6	18.2	1
Dec	12.8	-1.5	55.1	1.6	0.6
Jan	13.1	-2.7	44	8.1	2.1
Feb	15.1	0.2	42.5	3.8	2.8
Mar	17.3	2.3	43	21.3	2.3
Apr	25.2	7.9	28.6	7	3.4
May	29.8	12.8	28.7	2.4	2.3
Jun	37.2	17.9	16.3	0	2.1
Jul	37	18.1	21.6	0	1.4
Aug	36.2	15.9	18.9	0	1.5
Sep	31.1	12.6	28.1	0	1.4
Oct	26.9	9.8	35	6.3	1.5

Table 2. Crop cultivated area in Roodasht irrigation district

Crop	Cultivated area (ha)	Percentage of cultivated
Wheat	10343	75.4
Barley	1941	14.2
Alfalfa	862	6.3
Safflower	541	3.9
Sugar beet	22	0.2
Sum	13709	100

محاسبه نیاز ناخالص آبیاری

در این پژوهش برای محاسبه نیاز آبی گیاهان واقع در الگوی کشت از مدل آکواکراپ ورژن ۶/۱ مورد استفاده قرار گرفت. مدل آکواکراپ در سال ۲۰۰۷ توسط کارشناسان سازمان خواروبار جهانی (FAO) ارائه گردید. این مدل ترکیبی از سادگی، دقت و توانمندی می‌باشد

برآورد میزان تلفات ناشی از انتقال، توزیع و تحویل آب کشاورزی، مورد مطالعه: شبکه آبیاری رودشت اصفهان

لذا، برای برآورد میزان کل تلفات واقع در سامانه‌های انتقال، توزیع و تحویل آب شبکه مورد مطالعه، مقدار حجم ناخالص روزانه محاسبه شده به روش ذکر شده به علاوه مقدار تلفات تبخیر از مقدار حجم آب ورودی به شبکه کسر گردیده که مقدار به دست آمده نمایانگر مقدار این تلفات در شبکه می‌باشد. به این ترتیب برای یک فصل زراعی مقادیر روزانه این تلفات محاسبه گردید.

نتایج و بحث

برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل با استفاده از نرم‌افزار EToCalculator

تبخیر و تعرق پتانسیل برای سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ با استفاده از داده‌های هواشناسی و به کمک نرم‌افزار EToCalculator محاسبه گردید. شکل (۳) میزان تغییرات تبخیر و تعرق پتانسیل را در طول فصل زراعی نشان می‌دهد. بیش‌ترین میزان تبخیر و تعرق پتانسیل مربوط به ماه‌های خردادماه و تیرماه به ترتیب با میانگین ۷/۸ و ۷/۳ میلی‌متر در روز بود (شکل ۳).

برآورد نیاز آبی روزانه محصولات واقع در الگوی کشت

مدل گیاهی در این پژوهش، توسط اطلاعات اندازه‌گیری شده (شامل عملکرد دانه و زیست‌توده) و اسنجی و صحت‌سنجی شد. نتایج حاصل از اسنجی و صحت‌سنجی این مدل برای دو محصول گندم و جو (به‌عنوان پرتراکم‌ترین محصولات واقع در الگوی کشت این شبکه)، در شکل (۴) ارائه شده است.

Table 3. Soil properties

Soil texture	Bulk density (g/cm ³)	θ_{sat} (m ³ m ⁻³)	θ_{WP} (m ³ m ⁻³)	θ_{FC} (m ³ m ⁻³)	Depth (cm)
Clay loam	1.35	0.46	0.15	0.30	0-30
Silty loam	1.5	0.44	0.13	0.29	30-60
Silty loam	1.6	0.44	0.14	0.28	60-100

θ_{FC} is volumetric water content at field capacity; θ_{WP} is volumetric water content at wilting point; θ_{sat} is volumetric water content at saturation.

برخی پارامترهای گیاهی مدل آکواکراپ مربوط به گیاهان الگوی کشت در جدول (۴) نمایش داده شده است. پس از محاسبه نیاز آبی روزانه هر یک از گیاهان الگوی کشت به وسیله مدل آکواکراپ، برای محاسبه نیاز ناخالص نیازمند تعیین بازده کاربرد سیستم‌های آبیاری می‌باشد. طی پژوهشی عباسی و همکاران (۱۱) به تهیه بانک اطلاعاتی برای بازده‌های سامانه‌های آبیاری کشور پرداختند. مطالعات و پژوهش‌های صورت گرفته از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۴ توسط آنها بررسی و تجزیه و تحلیل گردید که بازده کاربرد را برای سامانه‌های آبیاری سطحی، بارانی و موضعی به ترتیب برابر با ۵۳/۶، ۶۲/۱ و ۷۱/۱ درصد گزارش نمودند. همچنین، براساس گزارش جامع حوضه زاینده‌رود نسبت اراضی مجهز به سیستم آبیاری تحت فشار به اراضی که از طریق سیستم‌های سطحی آبیاری می‌شوند ۱۵ درصد (۹۱ درصد مربوط به سیستم‌های بارانی و ۹ درصد سیستم‌های موضعی می‌باشد) در مقابل ۸۵ درصد می‌باشد (۲۵). با توجه به مقادیر بازده کاربرد آب در مزرعه برای هر یک از سیستم‌های آبیاری و همچنین نسبت و درصد اراضی تحت هر کدام از این سیستم‌های آبیاری، عمق ناخالص آبیاری و حجم ناخالص روزانه محاسبه شد. از طرف دیگر، میزان تلفات تبخیر توسط روابط تجربی انجام شده در منطقه کسر گردید (۳۷).

Table 4. Crop parameters of aquacrop model

Parameter	Initial canopy (%)	Maximum canopy (%)	CGC (%/day)	CDC (%/day)	Day to maximum canopy	Maturity (day)
Crop						
Wheat	6.7	96	3.7	7.2	155	211
Barley	6	95	4.6	7.7	130	182
Alfalfa	9	85	36.5	8	20	46
Safflower	1.5	95	9	8.3	82	111
Sugar beet	0.5	88	8.1	5.5	100	170

CGC: canopy growth coefficient; CDC: canopy decline coefficient

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۱۰ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۹

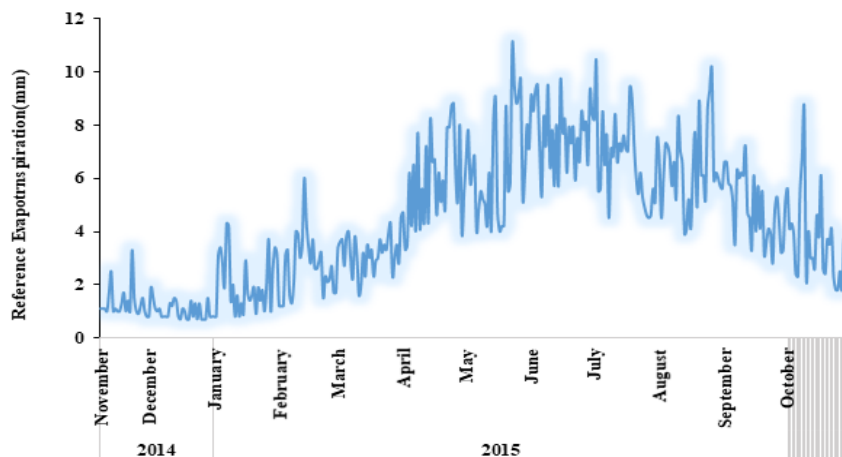


Figure 3. Daily reference evapotranspiration for 2014-2015

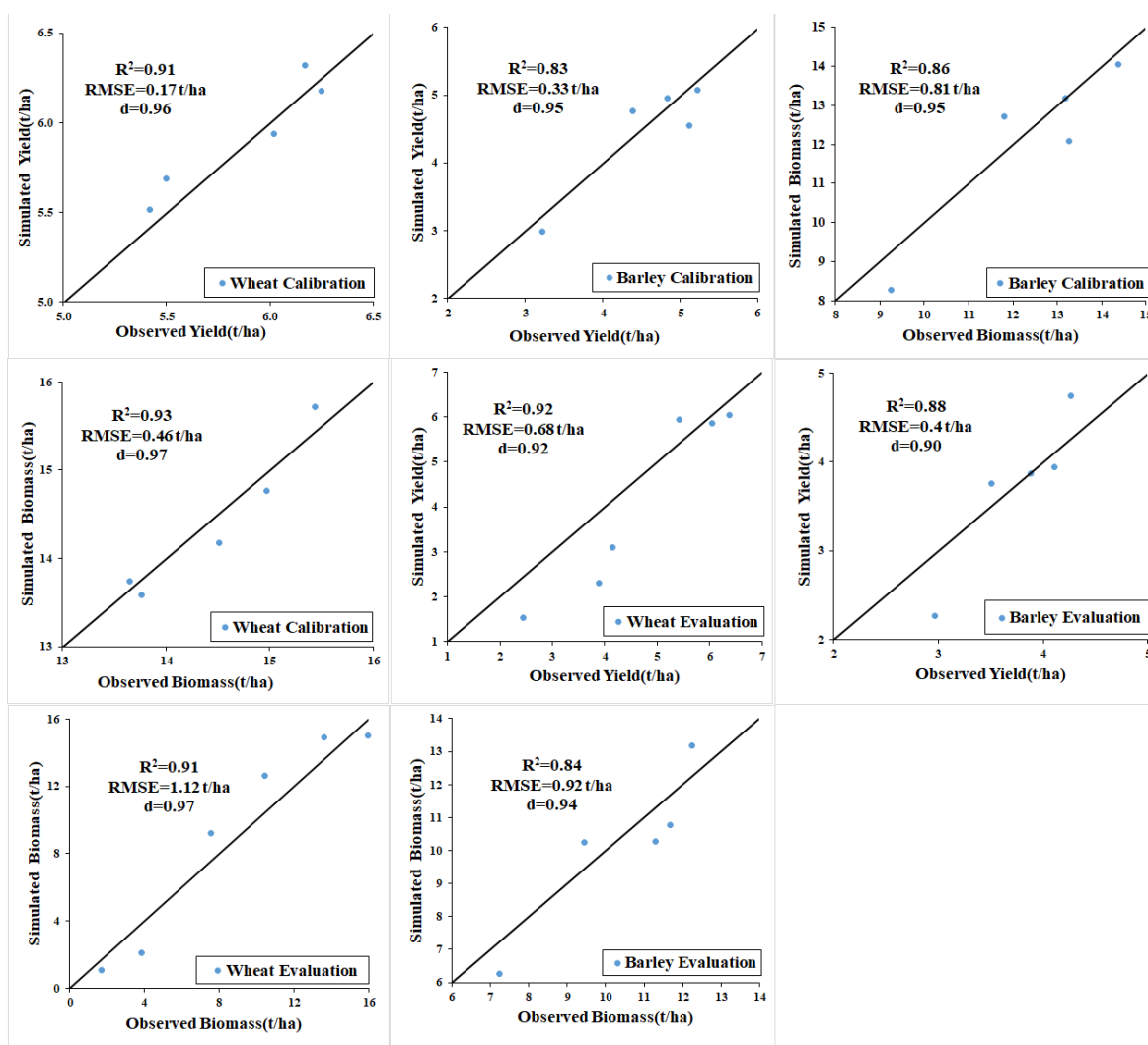


Figure 4. Distribution of measured and estimated of biomass and grain yield of wheat and barley

حجم آب ورودی به شبکه برای روزهای مختلف فصل کشت از اطلاعات جمع‌آوری شده از شرکت آب منطقه‌ای اصفهان استخراج و مطابق شکل (۵)، میزان آب رهاسازی شده در طی فصل زراعی ترسیم شد. حجم آب ورودی روزانه به شبکه در بازه بین ۱۲۹ تا ۱۰۳۶ هزار مترمکعب متغیر بود. همان‌طور که در شکل (۵)، مشخص شده است، رهاسازی آب در شبکه در سه مقطع از فصل زراعی صورت گرفت. بنابراین، می‌توان مشاهده نمود که به دلیل کمبود آب در حوضه زاینده‌رود، میزان آب تأمین شده از منبع آب سطحی (سد زاینده‌رود) به صورت مستمر امکان‌پذیر نبوده و به همین دلیل است که کشاورزان این منطقه از آب زیرزمینی به‌عنوان یک سامانه تأمین پشتیبان استفاده می‌نمایند. در ادامه بازه‌های زمانی ۱۲، ۱۴ و ۱۲ روز به ترتیب در ماه‌های آبان، آذر و اسفند سال ۱۳۹۳ مبنای محاسبه تلفات واقع در سامانه انتقال، توزیع و تحویل آب کشاورزی در شبکه آبیاری رودشت انتخاب شد. با توجه به پژوهش سپاسخواه و سالمی (۳۷) میزان تلفات تبخیر برابر با ۱/۴ درصد از حجم آب ورودی به شبکه می‌باشد. با کم کردن مقادیر حجم ناخالص آبیاری از میزان حجم آب ورودی به شبکه با کسر تلفات تبخیر، مقدار تلفات ناشی از انتقال، توزیع و تحویل آب در کل شبکه به صورت روزانه محاسبه و در نمودار شکل (۶) ارائه گردید.

شکل (۶) درصد تلفات روزانه به وقوع پیوسته در سامانه انتقال، توزیع و تحویل آب در کل شبکه آبیاری رودشت را نشان می‌دهد.

مطابق نتایج ارائه شده در این شکل مدل گیاهی به خوبی واسنجی شده و قادر است نیاز آبی روزانه محصولات الگوی کشت را با دقت مناسبی برآورد نماید، که با نتایج پژوهش‌های دیگر از جمله تومی و همکاران (۴۲)، اقبال و همکاران (۲۶)، امخابلا و همکاران (۳۲)، اندرزیان و همکاران (۲۱)، ژینگ و همکاران (۴۳) که محدوده RMSE را برای زیست‌توده و دانه گندم به ترتیب ۰/۶-۱/۶۵ و ۰/۷۴-۰/۰۳ تن در هکتار و آرایا و همکاران (۲۲)، آبرها و همکاران (۱۷)، ابی‌ساب و همکاران (۱۶) محدوده RMSE را برای زیست‌توده و دانه جو به ترتیب ۰/۳۶-۱/۵ و ۰/۰۷-۰/۷۷ تن در هکتار گزارش دادند، مطابقت دارد.

پس از بررسی نتایج واسنجی، صحت‌سنجی و اطمینان از عملکرد مناسب مدل گیاهی، نوبت به محاسبه نیاز آبی خالص روزانه گیاهان الگوی کشت منطقه با استفاده از مدل آکوآراپ رسید. نتایج به دست آمده در قالب جدول (۵) و به تفکیک محصولات واقع در الگوی کشت در طول فصل زراعی نمایش داده شده است. با استفاده از بازده کاربرد آب در مزرعه و هم‌چنین، نسبت تحت پوشش سیستم‌های مختلف آبیاری مقدار نیاز آبی ناخالص محاسبه و با در نظر گرفتن مساحت زیر کشت هر یک از گیاهان الگوی کشت، حجم آب به کار گرفته شده به تفکیک نواحی زراعی درجه دو شبکه آبیاری به دست آمد. در ادامه و به منظور تعیین تلفات آب در سامانه‌های انتقال، توزیع و تحویل آب در شبکه آبیاری رودشت،

Table 5. The calculated water requirement of plants in the network cultivation pattern using the aquacrop model (mm)

Plant	Month											
	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct
Wheat	40.8	24.3	28.3	40.2	75.1	164.5	115.8	-	-	-	-	-
Barley	37.5	31.3	30.9	46.9	79.2	159.7	48.6	-	-	-	-	-
Alfalfa	-	-	-	15.1	59.4	123.7	171.7	207.7	190.9	176.4	121.4	81.7
Sugar beet	-	-	-	-	-	82.8	141	175.8	187.1	176	101.4	-
Safflower	-	-	-	-	-	72.4	172.4	212.9	172.8	14.5	-	-

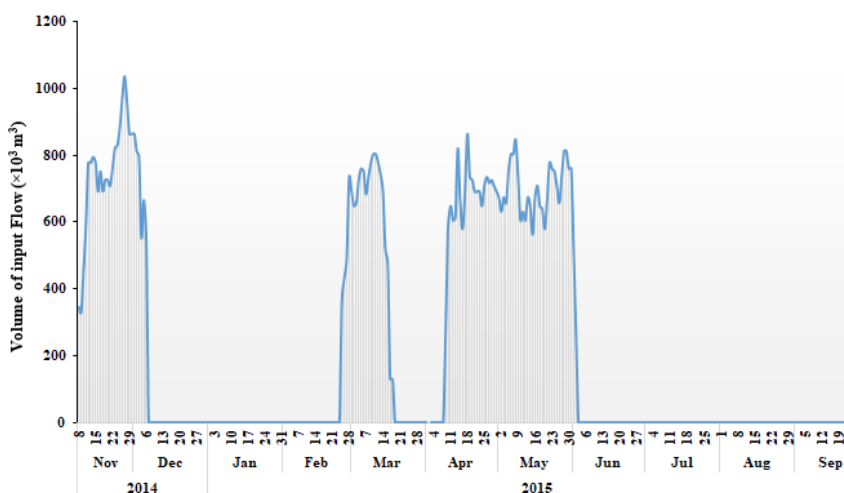


Figure 5. Daily inlet water to the Roodasht district during 2014-2015

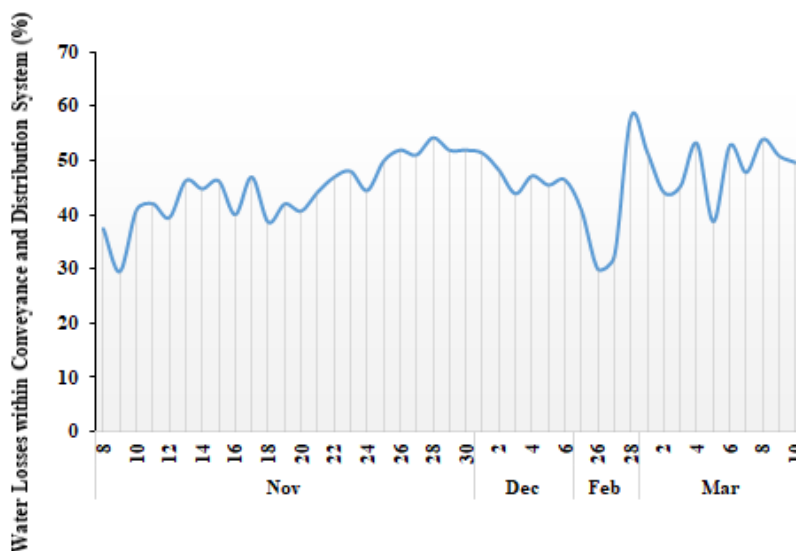


Figure 6. Water losses through the water conveyance, distribution and delivery system

سامانه اصلی توزیع و تحویل آب کشاورزی» را به‌ازای «میزان آب ورودی به شبکه» نشان می‌دهد. این شکل نمایانگر این موضوع می‌باشد که در بازه‌های مختلف از «حجم آب ورودی به شبکه» میزان تلفات رخ داده‌شده در سامانه مذکور در چه محدوده و بازه‌ای می‌باشد. به‌عبارت دیگر، روند کلی افزایش تلفات سامانه مذکور را به‌ازای افزایش یا کاهش حجم آب ورودی نشان می‌دهد. همان‌طورکه در شکل (۷) مشخص است روند کلی

بر این اساس، میزان تلفات روزانه متغیر و در بازه ۳۰ الی ۶۰ درصد می‌باشد که نشان از این واقعیت است که مقدار واقعی تلفات انتقال و توزیع آب آبیاری مقدار قابل‌توجهی می‌باشد. به‌منظور بررسی دقیق‌تر نتایج به‌دست‌آمده نمودار شکل (۷) ارائه شده است. شکل (۷) به نوعی نتیجه کاربردی این پژوهش است که برای تصمیم‌گیران برنامه‌ریزی تحویل و توزیع آب شبکه آبیاری مورد مطالعه تنظیم شده است. در این شکل «تلفات

ماهیت کنترل سطح آب (کنترل بالادست و پایین دست)، انجام منظم فرآیند نگهداری سالانه (شامل تعمیرات و انجام واسنجی سالانه سازه‌های آبیگر و آب‌بند متحرک)، نحوه عملکرد اکیپ اپراتورهای مستقر در شبکه در تنظیم به موقع (زمان‌بندی مناسب باز و بسته کردن دریچه‌ها) و صحیح سازه‌های آبیگر (به منظور جلوگیری از ایجاد شرایط هیدرولیکی ناپایدار در کانال‌های اصلی و فرعی) می‌باشد. با توجه به این که دو دلیل اول ذکر شده در طول یک فصل آبیاری ثابت می‌باشد، لذا تنها عامل ایجاد اختلاف چشم‌گیر مذکور را می‌توان با نحوه برنامه‌ریزی و عملکرد تیم بهره‌برداری شبکه آبیاری توجیه نمود. بنابراین، نتایج این پژوهش به وضوح نشان می‌دهد که با سرمایه‌گذاری لازم در آموزش اپراتورها و تیم‌های مدیریتی و بهره‌برداری در یک شبکه آبیاری، حتی بدون نیاز به مدرن‌سازی سامانه بهره‌برداری می‌توان حجم قابل توجهی از تلفات ناشی از بهره‌برداری را کاهش داد. با توجه به نتایج ارائه شده در شکل (۷) و با در نظر گرفتن محدوده تغییرات تلفات در یک بازه ثابت حجم آب ورودی روزانه، متوسط میزان کاهش تلفات بهره‌برداری در شبکه آبیاری رودشت برای محدوده حجم آب ورودی روزانه ۳۰۰-۵۰۰، ۵۰۰-۷۰۰، ۷۰۰-۹۰۰ و بیش‌تر از ۹۰۰ به ترتیب برابر ۵ درصد، ۷ درصد، ۸ درصد و ۵ درصد می‌باشد.

افزایش تلفات با افزایش حجم آب ورودی روزانه (اندازه‌گیری شده در محل سراب شبکه) مشخص است. به طوری که متوسط تلفات در سامانه توزیع آب کشاورزی (شامل تلفات ناشی از بهره‌برداری نادقیق و تلفات نشت) برای محدوده حجم آب ورودی روزانه ۳۰۰-۵۰۰، ۵۰۰-۷۰۰، ۷۰۰-۹۰۰ و بیش‌تر از ۹۰۰ به ترتیب برابر ۳۵ درصد، ۴۳ درصد، ۴۶ درصد و ۵۰ درصد به دست آمده است. با این حال، این واقعیت نیز از نتایج به دست آمده قابل مشاهده است که برای یک محدوده خاص دبی تغییرات تلفات محدود نمی‌باشد. به عنوان مثال، در محدوده حجم آب ورودی روزانه ۳۰۰ تا ۵۰۰ هزار مترمکعب در سراب شبکه، میزان تلفات مذکور در محدوده ۳۰ درصد تا ۴۰ درصد به دست آمده است. با توجه به این که تلفات نشت تابع رقوم سطح آب در کانال، جنس خاک و ضریب هدایت هیدرولیکی در طول مسیر کانال آبیاری می‌باشد، لذا به جهت عدم تغییر پارامترهای مذکور در روزهای مختلف بهره‌برداری، دلیل اصلی اختلاف مذکور متأثر از بهره‌برداری شبکه اصلی و فرعی می‌باشد. بنابراین، ارائه دلایل مستدل برای توجیه این اختلاف چشم‌گیر، نیازمند بررسی همه‌جانبه عوامل مؤثر بر بهره‌برداری سامانه اصلی و فرعی شبکه است. عوامل تأثیرگذار در بهره‌برداری شبکه اصلی و فرعی عبارت از

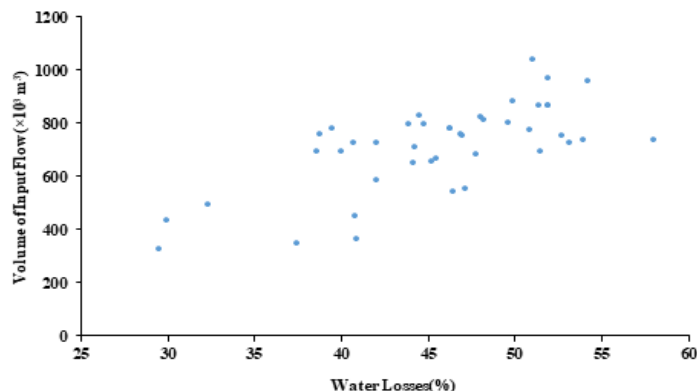


Figure 7. Changes in water losses conveyance, distribution and delivery

نتیجه گیری

این پژوهش، روش و راه کاری برای برآورد میزان تلفات حاصل شده در سامانه های انتقال، توزیع و تحویل آب در یک شبکه آبیاری که دربرگیرنده مجموع تلفات نشت و بهره برداری می باشد را ارائه کرده است. روش ارائه شده که شامل به کارگیری مدل برآورد تبخیر و تعرق مرجع، به کارگیری مدل گیاهی آکوکرپ برای محاسبه نیاز آبی خالص روزانه و در نظر گرفتن بازده کاربرد آب در مزرعه می باشد در شبکه آبیاری رودشت اصفهان مورد استفاده قرار گرفت. بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش، میزان تلفات روزانه متغیر و در بازه ۳۰ الی ۶۰ درصد می باشد که نشان از این واقعیت است که مقدار واقعی تلفات انتقال و توزیع آب آبیاری به مراتب بیشتر از میزان ارائه شده در مرجع استاندارد طراحی و بهره برداری شبکه آبیاری در کشور می باشد. مطابق با نشریه ۲۸۱ مقدار کل تلفات در سامانه های انتقال، توزیع و تحویل آب کشاورزی در شبکه های آبیاری بین ۱۰ تا ۲۰ درصد (به ترتیب برای شبکه های کوچک تا بزرگ) معرفی شده است. مقایسه این مقدار با نتایج این پژوهش برای یک شبکه آبیاری کوچک و مدرن کشور گویای این واقعیت است که به علت عدم شناخت کافی نسبت به مفاهیم بهره برداری، هیدرولیک جریان در شبکه های روباز انتقال و توزیع آب، حساسیت عملکرد هیدرولیکی سازه های انتقال، تنظیم و توزیع آب نسبت به فرآیندهای مرتب و اسنچی و نگهداری های سالانه و بازرسی های دوره ای، میزان پتانسیل وقوع تلفات در سامانه های بهره برداری در نظر گرفته نمی شود.

پی نوشت ها

1. Actual Evapotranspiration
2. Soil Evaporation
3. Crop Transpiration
4. Root Mean Square Error

منابع

۱. بهراملو، ر.، عباسی، ن.، مامن پوش، ع.، اخوان، ک. و ریاحی، ح. (۱۳۹۶). ارزیابی راندمان انتقال و تلفات آب در کانال های انتقال آب با پوشش ژئوممبران HDPE در شبکه های آبیاری زاینده رود، مغان و کرمان. تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۸(۴): ۷۳۵-۷۲۵.
۲. حمدی احمدآباد، ی.، لیاقت، ع.، سهرابی، ت.، رسولزاده، ع. و نظری، ب. (۱۳۹۵). بررسی عملکرد آبیاری جویچه ای در مزارع ذرت تحت مدیریت زارعان و ارائه راه کارهای کاربردی در بهبود آن (مطالعه موردی: کشت و صنعت و دامپروری مغان). مدیریت آب و آبیاری، ۶(۱): ۲۸-۱۵.
۳. رضائی، ف.، کاویانی، ع. و رضائی اعتدالی، ه. (۱۳۹۶). ارزیابی مدل AquaCrop در برداشت های مختلف یونجه در اردستان. آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۳۱(۳): ۷۵۳-۷۳۸.
۴. ریاحی، ح.، عباسی، ن. و ملائی، ع. (۱۳۹۲). ارزیابی عملکرد فنی و وضعیت بهره برداری از کانال های انتقال آب استان کرمان. آبیاری و زهکشی ایران، ۷(۲): ۱۷۷-۱۶۷.
۵. سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، معاونت امور فنی دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی. (۱۳۸۳). ضوابط عمومی طراحی شبکه های آبیاری و زهکشی - نشریه شماره ۲۸۱.
۶. سیدجواد، م. س. و مشعل، م. (۱۳۹۳). ارزیابی شاخص های حساسیت هیدرولیکی سازه های نیرپیک (مورد مطالعاتی: شبکه آبیاری و زهکشی دشت ورامین). مدیریت آب و آبیاری، ۴(۲): ۲۴۲-۲۲۹.
۷. سیدجواد، م. س. و مشعل، م. (۱۳۹۳). مقایسه عملکرد حال حاضر شبکه آبیاری و زهکشی ورامین با سناریوی شب خاموشی. مدیریت آب و آبیاری، ۴(۱): ۱۴۷-۱۳۷.

۸. شاهرخ‌نیا، م.ع. و علیان‌غیائی، ع. (۱۳۹۶). روش‌های برآورد نشت در کانال‌ها و بررسی نشت و راندمان توزیع در شبکه آبیاری درودزن. مدیریت آب در کشاورزی، ۴(۲): ۲۷-۳۶.
۹. شینی، ع.، نوری، م. و مینایی، س. (۱۳۹۲). بررسی راندمان‌های انتقال و توزیع و ارائه راه‌کارهایی جهت کاهش تلفات آب در شبکه آبیاری دز (مطالعه موردی: کانال‌های سیبلی و E4). چهارمین همایش ملی مدیریت شبکه شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.
۱۰. صادقی‌عطار، م.، بهنیا، ع. و کاوه، ف. (۱۳۷۹). بازده کل آبیاری شبکه در در سال زراعی ۱۳۷۲-۷۳. دهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، تهران، ایران. ۵۰-۳۶.
۱۱. عباسی، ف.، سهراب، ف. و عباسی، ن. (۱۳۹۵). ارزیابی وضعیت راندمان آب آبیاری در ایران. تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی، ۱۷(۶۷): ۱۲۸-۱۱۳.
۱۲. معروفی، ص. و سلطانی، ح. (۱۳۸۵). برآورد راندمان‌های انتقال و توزیع آب در شبکه آبیاری و زهکشی شاوور با استفاده از یک رابطه نمایی. پژوهش کشاورزی آب، خاک و گیاه در کشاورزی، ۶(۱): ۳۶-۴۷.
۱۳. منعم، م.ج.، هاشمی‌شاهدانی، س.م. و اسلامبولچی‌زاده، ه. (۱۳۹۶). نقش مدیریت بهره‌برداری مخازن درون‌مسیری در بهبود بهره‌برداری شبکه آبیاری مغان. پژوهش آب در کشاورزی، ۳۱(۴): ۵۴۵-۵۳۵.
۱۴. نیک‌مهر، س.، پرورش‌ریزی، ع. و منعم، م.ج. (۱۳۹۶). ارزیابی عملکرد توزیع آب در کانال اصلی شبکه آبیاری کوثر با کنترل خودکار در جهت بالادست و پایین‌دست. پژوهش آب ایران، ۱۱(۲۴): ۱۱۱۸-۱۰۹.
۱۵. یلتقیان خیابانی، م.، هاشمی‌شاهدانی، س.م.، بنی‌حبیب، م. ا. و حسینی، ی. (۱۳۹۸). امکان‌سنجی به‌کارگیری روش‌های غیرسازه‌ای و خودکارسازی در ارتقای بهره‌برداری از سامانه‌های توزیع آب (مطالعه موردی: شبکه آبیاری رودشت). مدیریت آب و آبیاری، ۹(۱): ۱۲۷-۱۰۹.
16. Abi-Saab, M. T., Todorovic, M. & Albrizio, R. (2015). Comparing AquaCrop and CropSyst models in simulating barley growth and yield under different water and nitrogen regimes. Does calibration year influence the performance of crop growth models?. *Agricultural water management*, 147, 21-33.
17. Abrha, B., Delbecque, N., Raes, D., Tsegay, A., Todorovic, M., Heng, L. E. E. & Deckers, S. (2012). Sowing strategies for barley (*Hordeum vulgare* L.) based on modelled yield response to water with AquaCrop. *Experimental Agriculture*, 48(2), 252-271.
18. Abu-Khashaba, M.I. (2013). Innovating impermeable Concrete appropriate for Canal lining using a specific mixing ratio and applying it to a Pilot Reach. *Journal of Engineering Sciences*, 41(3), 900-918.
19. Agide, Z., Hailelassie, A., Sally, H., Erkossa, T., Schmitter, P.S., Langan, S.J. & Hoekstra, D. (2016). Analysis of water delivery performance of smallholder irrigation schemes in Ethiopia: Diversity and lessons across schemes, typologies and reaches.
20. Akkuzu, E., Ünal, H. B. & Karataş, B. S. (2007). Determination of water conveyance loss in the Menemen open canal irrigation network. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 31(1), 11-22.
21. Andarzian, B.M., Steduto, P., Mazraeh, H., Barati, M. E., Barati, M. A. & Rahnama, A. (2011). Validation and testing of the AquaCrop model under full and deficit irrigated wheat production in Iran. *Agricultural Water Management*, 100(1), 1-8.
22. Araya, A., Habtu, S., Hadgu, K.M., Kebede, A. & Dejene, T. (2010). Test of AquaCrop model in simulating biomass and yield of water deficient and irrigated barley (*Hordeum vulgare*). *Agricultural Water Management*, 97(11), 1838-1846.
23. Burt, C. M. (2013). The irrigation sector shift from construction to modernization: What is required for success?. *Irrigation and drainage*, 62(3), 247-254.

24. Doorenbos, J. & Kassam, A. H. (1979). Yield response to water. Irrigation and drainage paper, (33), 257.
25. Felmeden, J., Schramm, E., Sattary, E. & Davoudi, A. (2013). Agriculture in the Zayandeh Rud Catchment. ISOE GmbH - Institute for Social-Ecological Research.
26. Iqbal, M. A., Shen, Y., Stricevic, R., Pei, H., Sun, H., Amiri, E. & del Rio, S. (2014). Evaluation of the FAO AquaCrop model for winter wheat on the North China Plain under deficit irrigation from field experiment to regional yield simulation. *Agricultural Water Management*, 135, 61-72.
27. Jadhav, P. B., Thokal, R. T., Mane, M. S., Bhange, H. N. & Kale, S. R. (2014). Improving Conveyance Efficiency through Canal Lining in Command Area: A Case Study. *Int. J. Enf. Innov.*, 3(6), 820-826.
28. Kardan Moghaddam, H., Jafari, F. & Javadi, S. (2017). Vulnerability evaluation of a coastal aquifer via GALDIT model and comparison with DRASTIC index using quality parameters. *Hydrological Sciences Journal*, 62(1), 137-146.
29. Kedir, Y. & Engineer, S. I. (2015). Estimation of conveyance losses of Wonji-Shoa sugar cane irrigation scheme in Ethiopia. *Journal of Environment and Earth Science*, 5(17), 2224-3216.
30. Kinzli K-D, Martinez M, Oad R, Prior A, Gensler D. (2010). Using an ADCP to determine canal seepage loss in an irrigation district. *Agricultural Water Management*, 97(6), 801-810.
31. Marwaa, H. M. & Omran, I. M. (2016). Compared between the Measured Seepage Losses and Estimation and Evaluated the Conveyance Efficiency for Part of the Hilla Main Canal and Three Distributary Canals (HC 4R, HC 5R and HC 6R) of Hilla-Kifil Irrigation Project. *Civil and Environmental Research*, 8(2), 1-10.
32. Mkhabela, M. S. & Bullock, P. R. (2012). Performance of the FAO AquaCrop model for wheat grain yield and soil moisture simulation in Western Canada. *Agricultural Water Management*, 110, 16-24.
33. Mohammadi, A., Rizi, A. P. & Abbasi, N. (2019). Field measurement and analysis of water losses at the main and tertiary levels of irrigation canals: Varamin Irrigation Scheme, Iran. *Global Ecology and Conservation*, 18, e00646.
34. Mousavi Zadeh Mojarad, R., Feizi, M. & Ghobadinia, M. (2018). Prediction of safflower yield under different saline irrigation strategies using AquaCrop model in semi-arid regions. *Australian Journal of Crop Science*, 12(8), 1241-1249.
35. Raber, W., Mohajeri, Sh. & Pringgosiswojo, M. (2015). Integrated Water Resources Management (IWRM) in Isfahan. inter 3 GmbH - Institute for Resource Management.
36. Sen, R., Fahmida, M., Akter, I. & Rity, M. (2018). Determination of Conveyance Loss through Earthen Channel by Cutthroat Flume. *Int. J. Hydraul. Eng.*, 7(1), 11-14.
37. Sepaskhah, A. R. & Salemi, H. R. (2004). An empirical model for prediction of conveyance Efficiency for small earth canals. *Iranian Journal of science and Technology*, 28, 623-628.
38. Serra, P., Salvati, L., Queralt, E., Pin, C., Gonzalez, O. & Pons, X. (2016). Estimating Water Consumption and Irrigation Requirements in a Long-Established Mediterranean Rural Community by Remote Sensing and Field Data. *Irrigation and Drainage*, 65(5), 578-88.
39. Siebert, S., Burke, J., Faures, J.-M., Frenken, K., Hoogeveen, J., Döll, P. & Portmann, F. T. (2010). Groundwater use for irrigation—a global inventory. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14(10), 1863-1880.
40. Steduto, P., Hsiao, T.C., Raes, D. & Fereres, E. (2009) AquaCrop-The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: I. Concepts and Underlying Principles. *Agricultural Journal*, 101(3), 426-437.
41. Tanji, K. K. & Kielen, N. C. (2002). Agricultural drainage water management in arid and semi-arid areas. FAO.
42. Toumi, J., Er-Raki, S., Ezzahar, J., Khabba, S., Jarlan, L. & Chehbouni, A. (2016). Performance assessment of AquaCrop model for estimating evapotranspiration, soil water content and grain yield of winter wheat in Tensift Al Haouz (Morocco): Application to irrigation management. *Agricultural Water Management*, 163, 219-235.
43. Xing, H. M., Xu, X. G., Li, Z. H., Chen, Y. J., Feng, H. K., Yang, G. J. & Chen, Z. X. (2017). Global sensitivity analysis of the AquaCrop model for winter wheat under different water treatments based on the extended Fourier amplitude sensitivity test. *Journal of Integrative Agriculture*, 16(11), 2444-2458.