Determining the Most Effective Agricultural Technologies in Actual Water Saving in Three Watersheds

H. Dehghanisanij[1*], A. Mokhtaran[2], R. Nikanfar[3], A. Nourjou[4], M.A. Shahrokhnia[5], P.Varjavand[6], N. Salamat[7], B.Yargholi[8], M.A. Behaeen[9], and J. Habibi Asl[10]

Associate Prof., Agricultural Engineering Research Institute (AERI), (AREEO), Karaj, Iran. **dehghanisanij@yahoo.com**

Assistant Prof., Agricultural Engineering Research Department, Khuzestan Province Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ahwaz, Iran. **alimokhtaran@gmail.com**

Instructor, Agricultural Engineering Research Department, East Azarbaijan Province, AREEO, Tabriz, Iran. **ranik41@yahoo.com**

Assistant Prof., Agricultural Engineering Research Department, West Azarbaijan Province, AREEO, Orumieh, Iran. **nourjou@yahoo.com**

Associate Prof., Agricultural Engineering Research Department, Fars Province, AREEO, Shiraz, Iran. **mashahrokh@yahoo.com**

[6&7]Assistant Prof., Agricultural Engineering Research Department, Khuzestan Province, AREEO, Ahwaz, Iran. **pvarjavand@yahoo.com , nadersalamati@gmail.com**

Assistant Prof., Agricultural Engineering Research Institute (AERI), AREEO, Karaj, Iran. **yar_bahman@yahoo.com**

Assistant Prof., Agricultural Engineering Research Department, Fars Province, AREEO, Shiraz, Iran. **ali_behaeen@yahoo.com**

Assistant Prof., Agricultural Engineering Research Department, Khuzestan Province , Agricultural and Natural Resources Research and Education Centre, AREEO, Ahwaz, Iran. **jhabibi139@yahoo.com**

Received: March 2024 and Accepted: June 2024

Abstract

In the current research, with the aim of identifying the most effective techniques to reduce actual water use (Eta) to help restore the lakes of Urmia, Tashk-Bakhtegan, Fars, and Shadgan Wetland in Khuzestan, monitoring was carried out in the crop year 2021-2022 by applying planting techniques at the level of farmers' fields and orchards. In this research, 55, 17, and 18 farms and orchards were considered from Urmia Lake, Tashk-Bakhtegan and Maron-Jarhari basins, respectively. The results showed that the application of all techniques reduced irrigation water by an average of 24.6%, increased yield by an average of 18.3% and water productivity by an average of 60.4% for all the three catchments. However, not all these techniques were effective in reducing the amount of ETa. Farm monitoring showed that the techniques based on "accurate scheduling based on soil and plant indexes along with the modification and optimal management of the existing irrigation system" were able to reduce ETa by an average of 15.5% and improving the efficiency of water productivity (WP_{ET}) by an average of 40% in all the three basins. Therefore, the most effective techniques in Urmia Lake basin were use of two-way furrows of rows of trees in surface irrigation and planning drip irrigation based on soil and plant indexes in row crops and trees, which reduced ETa by 18%. Also, there was 21%, reduction in ETa by making irrigation plots under tree shades for pomegranate and pistachio in the Tashk-Bakhtgan Basin, and 13% reduction by making basins around the shading surface of palm trees along with palm leaf mulch, and 14 % reduction by the water flow cutback management method in the strip surface irrigation in the Maron-Jarahi Basin. These were considered as the most important techniques. Finally, it can be stated that paying attention to monitoring techniques at the level of a basin with local participation and promoting them can be effective in protecting the region's ecosystem while establishing sustainable agriculture.

Keywords: New technologies, Actual water consumption, Improvement of water productivity, Environmental protection

* - Corresponding author's email: **dehghanisanij@yahoo.com**

https://doi.org/10.22092/jwra.2024.365223.1034

مقاله پژوهشی نشریه پژوهش آب در کشاورزی / ب / جلد ۳۸ / شماره ۲/ ۱۴۰۳.ص۱۱۷-۱۳۸
https://doi.org/10.22092/jwra.2024.365223.1034

تعیین اثربخش‌ترین فناوری‌های به‌زراعی در صرفه‌جویی واقعی آب در سه حوضه آبریز

حسین دهقانی‌سانیج*[۱]، علی‌مختاران[۲]، رامین نیکانفر[۳]، امیرنورجو[۴]، محمدعلی شاهرخ‌نیا[۵]، پیمان‌ورجاوند[۶]، نادرسلامتی[۷]، بهمن یارقلی[۸]، محمدعلی به‌آیین[۹] و جعفر حبیبی‌اصل[۱۰]

دانشیار پژوهشی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.**dehghanisanij@yahoo.com**
استادیار پژوهشی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران. **alimokhtaran@gmail.com**
مربی پژوهشی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران.**ranik41@yahoo.com**
استادیار پژوهشی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران.**nourjou@yahoo.com**
دانشیار پژوهشی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران.**mashahrokh@yahoo.com**
[۶و۷]استادیاران پژوهشی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران.**pvarjavand@yahoo.com** و **nadersalamati@gmail.com**
استادیار پژوهشی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.**yar_bahman@yahoo.com**
استادیار پژوهشی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران.**ali_behaeen@yahoo.com**
استادیار پژوهشی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران.**jhabibi139@yahoo.com**

دریافت: اسفند ۱۴۰۲ و پذیرش: خرداد ۱۴۰۳

چکیده

استفاده از فناوری‌هایی که منجر به کاهش آب مصرفی واقعی (ETa) در مزرعه شوند بر ارتقای بهره‌وری آب در سطح حوضه اثربخش خواهد بود. پژوهش حاضر با هدف شناسایی اثربخش‌ترین فناوری ها برای کاهش ETa و کمک به احیای دریاچه‌های چند حوضه، پایشی در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ با اعمال فناوری‌های به‌زراعی در سطح مزارع و باغ‌های کشاورزان انجام شد و در آن تعداد ۵۵، ۱۷ و ۱۸ مزرعه و باغ به‌ترتیب از حوضه‌های دریاچه ارومیه، طشک-بختگان و مارون-جراحی در نظر گرفته شد. نتایج پایش نشان داد که هرچند اعمال تمامی فناوری‌ها توانسته بر کاهش آب آبیاری به‌میزان متوسط ۲۴/۶٪، افزایش عملکرد با متوسط ۱۸/۳٪ و افزایش بهره‌وری آب با متوسط ۶۰/۴٪ برای هر سه حوضه آبریز مؤثر باشد، اما همه این فناوری‌ها در کاهش میزان ETa محصول، اثربخش نبود. پایش مزارع نشان داد که فناوری‌هایی که بر پایه "برنامه‌ریزی دقیق مبتنی بر نمایه‌های خاک و گیاه در کنار اصلاح و مدیریت بهینه سامانه آبیاری موجود" بود، توانست علاوه بر اثربخشی در نمایه‌های کاربردی آب در مزرعه و یا باغ، باعث کاهش ETa به‌میزان متوسط ۱۵/۵٪ و ارتقای بهره‌وری آب مصرفی(WP_{ET}) با متوسط ۴۰٪ در هر سه حوضه آبریز شود. براین اساس، اثربخش‌ترین فناوری‌ها در حوضه دریاچه ارومیه، ایجاد شیارهای دوطرفه ردیف درختان در آبیاری سطحی و برنامه‌ریزی آبیاری قطره‌ای براساس نمایه خاک و گیاه در محصولات ردیفی و درختان بود که ETa را ۱۸٪ کاهش داد. همچنین کوچک‌کردن کرت‌های آبیاری تا سطح سایه‌انداز برای درختان انار و پسته درحوضه طشک-بختگان، ایجاد طشت در اطراف سطح سایه‌انداز درختان نخل به‌همراه مالچ برگ نخل و بالاخره روش مدیریتی کاهش دبی پس از رسیدن جریان آب به انتهای نوار و یا شیار در سامانه آبیاری سطحی برای زراعت در حوضه مارون-جراحی، توانست با کاهش دادن ETa به‌ترتیب به‌میزان ۲۱٪، ۱۳٪ و ۱۴٪ از مهمترین فناوری‌ها به شمار آید. بنابراین، توجه به فناوری‌های پایش شده در سطح یک حوضه با مشارکت کشاورزان محلی و ترویج آنها می‌تواند ضمن استقرار کشاورزی پایدار، در حفاظت زیست‌بوم منطقه مؤثر باشد.

واژه‌های کلیدی: فناوری‌های نوین، آب مصرفی واقعی، ارتقای بهره‌وری آب و حفاظت زیست‌بوم

*- آدرس ایمیل نویسنده مسئول: **dehghanisanij@yahoo.com**

مقدمه

با تشدید کمبود آب در کشور، علاقه فزآینده‌ای به یافتن راه‌هایی برای کاهش مصرف آب و تخصیص مجدد به سایر مصارف از جمله احیای محیط‌زیست وجود دارد. ازآنجایی‌که کشاورزی آبی مسئول بیش از ۹۰ درصد کل مصرف آب در مناطق کم آب است، لذا توجه بر فرصت‌های صرفه‌جویی در مصرف آب، در زمین‌های کشاورزی فاریاب متمرکز شده است (دهقانی‌سانیج و همکاران، ۱۴۰۲). در ایران وسعت تحت پوشش تالاب‌ها به‌عنوان زیست‌بوم ارزشمند، حدود سه میلیون هکتار است که به‌طور ملموسی بیشتر این نواحی همجوار با جامعه روستایی و اراضی کشاورزی است. بر این اساس پیوندی بسیار پیچیده و ظریف بین بخش کشاورزی و زیست‌بوم تالاب‌ها وجود دارد و هرگونه تغییر در بخش کشاورزی بر منابع تالابی و حیات آن اثرگذار است (سازمان حفاظت از محیط‌زیست، ۱۳۹۸). پایش سال‌های اخیر وضعیت تالاب شادگان که در منتهی‌الیه حوضه آبریز مارون–جراحی قرار دارد، نشان داد که کشت بی‌رویه برنج به روش‌های سنتی و عدم مدیریت آب در مزرعه در بالادست حوضه مارون، تالاب شادگان را از نظر زیست در وضعیت خطرناکی قرار داده است. بر این اساس برای احیا و حفاظت از تالاب‌ها، اثربخش‌ترین فعالیت، کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی است. البته کاهش مصرف بایستی به‌نحوی انجام شود که مسائل اقتصادی، اجتماعی و پایداری در تولید را تحت‌الشعاع قرار ندهد (دهقانی‌سانیج و همکاران، ۱۴۰۲). در خصوص مصرف آب کشاورزی، معمولاً تصور می‌شود که مصرف‌کنندگان مقادیر زیادی آب را در طی فرآیند آبیاری هدر می‌دهند و نتیجه می‌گیرند که صرفه‌جویی در مصرف آب طی فرآیند آبیاری می‌تواند نیاز به ایجاد سایر امکانات برای استحصال آب بیشتر را کاهش دهد (مولدن و همکاران، ۲۰۰۱). این تصور از آنجا ناشی می‌شود که بر اساس دانش رایج، راندمان کاربرد آب در مزارع حدود ۲۰ تا ۵۰ درصد است؛ بنابراین تصور می‌شود که حدود ۵۰ تا ۸۰ درصد باقی‌مانده به‌نوعی از دست رفته است. نمونه‌هایی از این تفکرات در انتشارات مختلف فائو از ۳۰ سال گذشته تا به حال به چشم می‌خورد. ریشه اصلی این باور غلط مربوط به برداشت نادرست از مفهوم کلاسیک راندمان آبیاری است که در مهندسی آبیاری ایجاد شده است (کلر و کلر، ۱۹۹۵). آنچه تاکنون در این زمینه انجام شده، صرفه‌جویی ظاهری آب بوده است. صرفه‌جویی ظاهری به معنای کاهش برداشت آب بوده لیکن منجر به تغییر در مصرف آب نمی‌شود و یا به‌بیان‌دیگر، تغییرات مصرف را مد نظر قرار نمی‌دهد؛ اما در مقابل این مسئله، صرفه‌جویی واقعی آب قرار دارد. اصطلاح صرفه‌جویی واقعی آب شامل فعالیت‌هایی است که باعث می‌شود مقدار مشخصی آب را برای سایر مصارف (زیست رودخانه، تغذیه آبخوان‌ها و احیا تالاب‌ها) آزاد کند (ون‌اپستال و همکاران، ۲۰۲۱). صرفه‌جویی واقعی آب زمانی اتفاق می‌افتد که تمرکز آن روی کاهش مصرف آب باشد و این مسئله ناشی از کاهش جریان‌های برگشتی غیرقابل بازیافت، خواهد بود. به‌منظور صرفه‌جویی واقعی آب، باید شاخص بهره‌وری آب مبتنی بر تبخیر–تعرق واقعی محصول (ETa) و نه مقدار آب به‌کار برده شده در مزرعه به‌عنوان معیار انتخاب سامانه‌های آبیاری و بررسی اثربخشی راهکارهای فنی و اقتصادی قرار گیرد (حیدری، ۱۳۹۷). بر این اساس استفاده از فناوری‌هایی که منجر به کاهش تبخیر–تعرق واقعی یا همان آب مصرفی واقعی محصول (ETa) در مزرعه شوند، می‌تواند اثربخش در سطح حوضه تلقی گردند. ETa، میزان آب خالصی است که در مزرعه سهم گیاه خواهد شد و الزاماً نیاز آبی گیاه (ETc) ، نیست و در اکثر مواقع به دلایل مدیریت آب در مزرعه میزان ETa کمتر از ETc است. تعداد مطالعات موردی در خصوص فناوری‌های حفاظت از منابع آب در مقیاسی فراتر از مزرعه در سال‌های اخیر به شکل چشم‌گیری گسترش یافته است، به‌طوری‌که در طول ۴۲ سال (بین سال‌های ۱۹۷۶ تا ۲۰۱۷)، ۲۲۴ مطالعه موردی ثبت شده است که حدود ۹۱ مورد آن (۴۰/۶ درصد) در طول دوره ۲۰۱۷–۲۰۰۸ انجام شده است (ون‌اپستال و همکاران، ۲۰۲۱). هم‌افزایی دو تخصص آب و زراعت می

تواند منجر به صرفه‌جویی واقعی در مصرف آب و افزایش بهره‌وری شود. با تنوع گسترده شیوه‌های آبیاری، محصولات زراعی و مدیریت محصولات، گزینه‌های زیادی برای صرفه‌جویی واقعی آب وجود دارد. پری و استدوتو (۲۰۱۷)، گزارش کردند هنگامی که داده‌های مزرعه‌ای از تعداد زیادی کشاورز جمع‌آوری گردید، مشاهده شد که بعضی از کشاورزان برای میزان یکسان تعرق محصول، نسبت به سایر کشاورزان عملکرد بیشتری داشتند. معمولاً تفسیر رایج این موضوع چنین است که مدیریت بهتر آب و به‌کارگیری تمهیدات زراعی می‌تواند سبب افزایش عملکرد شده و با مصرف آب یکسان، تولید افزایش پیدا کند و یا ممکن است با حفظ عملکرد محصول، صرفه‌جویی در مصرف آب رخ دهد. همچنین این پژوهشگران عنوان کردند که با در نظر گرفتن یک بسته مدیریتی مناسب (اعم از تاریخ کاشت، رقم، تراکم کاشت، وضعیت حاصلخیزی خاک و غیره) و تنها با تغییر میزان آب می‌توان به رابطه نسبتاً خطی بین عملکرد و تعرق محصول برای محصولات زراعی دست یافت. به‌عبارت‌دیگر، اگر با کمبود آب مواجه باشیم، صرفاً با تأمین آب، تولید (کیلوگرم) افزایش خواهد یافت. لیکن افزایش بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب) محقق نخواهد شد. افزایش بهره‌وری آب (که زمینه را برای صرفه جویی واقعی آب فراهم می‌کند)، معمولاً به تغییر در سایر جنبه‌های مدیریت کشاورزی با رویکرد آب-زراعت متمرکز است که در آن با همان مقدار مشخص تبخیر و تعرق، صرفه‌جویی واقعی آب یا تولید بیشتر امکان‌پذیر باشد. حیدری (۱۳۹۷)، در یادداشت فنی بررسی مسائل و چالش‌های صرفه‌جویی واقعی آب بیان می‌کند که راهکارهای بهبود بهره‌وری آب کشاورزی، جداسازی تعرق (T) از تبخیر (E) و مشخص نمودن سهم هریک از این مؤلفه‌ها به‌خصوص در شرایط کم‌آبی یکی از مسائل مهم و قابل‌توجه است. جدا کردن مؤلفه تبخیر از تعرق از این جهت حائز اهمیت است که با افزایش عملکرد محصول (افزایش صورت کسر بهره‌وری آب)، میزان تعرق (از مؤلفه‌های مخرج کسر بهره‌وری) به همان نسبت افزایش خواهد یافت؛ بنابراین معمولاً با کاربرد بعضی از سامانه‌های آبیاری و با هدف افزایش عملکرد محصول، با وجود کاهش ظاهری مصرف آب و افزایش بهره‌وری آب، اما به صرفه‌جویی بیشتر آب منجر نخواهد شد نمونه آن را می‌توان در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای برای بعضی از محصولات مشاهده کرد (حیدری، ۱۳۹۷). دهقانی‌سانیج و همکاران (۱۳۹۵)، نشان دادند که به‌کارگیری فناوری‌های مختلف از جمله، اصلاح روش‌های آبیاری، روش‌های نوین آبیاری، انواع روش‌های خاک‌ورزی، استفاده از بذور اصلاح شده، کودهای ماکرو و میکرو، خاک‌پوش‌ها، توانسته‌اند تا ۵۰ درصد آب تحویلی به مزارع (برداشت از منابع) را در حوضه دریاچه ارومیه کاهش دهند. این پژوهشگران بیان می‌کنند که عدم اجرای توأمان تمامی فناوری‌های پیشنهادی در یک مزرعه می‌تواند باعث شود، اثربخشی سایر فناوری ها ظاهر نگردد. به‌عنوان نمونه در شهرستان ارومیه، اثر فناوری بهینه‌سازی عرض نوارهای آبیاری با کاهش حدود ۶۰ درصدی در کنار تسطیح زمین و تغذیه مناسب کودی، توانست میزان بهره‌وری آب را در محصولات پاییزه (گندم، جو و کلزا)، حدود ۴۰ درصد ارتقا دهد. همچنین در مزارع محصولات بهاره، استفاده توأمان فناوری‌های مذکور موجب افزایش بهره‌وری آب به‌میزان حدود ۳۷ تا ۶۰ درصد شد. دهقانی‌سانیج و همکاران (۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ الف و ۱۳۹۹ ب)، در یک جمع‌بندی اثر کاربرد فن‌های مختلف در سطح مزرعه بر روی برداشت از منابع آب حوضه آبریز دریاچه ارومیه را در استان‌های آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی طی سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۷ را بررسی کردند. در قالب این مطالعه، فناوری‌های به‌زراعی و مدیریتی مختلف از جمله سامانه‌های کشاورزی حفاظتی، اصلاح سامانه‌های آبیاری، آبیاری بر اساس نیاز واقعی گیاه، انتخاب الگوی کشت مناسب، ارقام و پایه‌های زراعی و باغی، تاریخ کاشت، کم آبیاری، مدیریت آبیاری، آبیاری یک‌درمیان، کاهش تبخیر، بهینه‌سازی ابعاد نوارها و کرت‌های آبیاری، استفاده از بذرهای بوجاری شده و استفاده از بذور با دوره رشد کوتاه‌تر، اصلاح رژیم کودی و عملیات تسطیح دقیق در

مقیاس مزرعه به کار گرفته شد. بررسی اثربخشی فناوری‌ها نشان داد در مزارع کشاورزان در پایلوت‌های استان آذربایجان غربی به‌ترتیب به‌میزان ۲۴/۱، ۷/۸، ۳۸/۷، ۲۵/۵ و ۷/۱ درصد در کاهش برداشت آب آبیاری، افزایش عملکرد، بهره‌وری آب آبیاری، راندمان کاربرد آب و کارایی مصرف آب اثربخش بوده است. همچنین در پایلوت‌های استان آذربایجان‌شرقی این اثربخشی به‌ترتیب به میزان ۲۵، ۲۰/۲، ۶۰/۳، ۳۴/۵ و ۲۰/۴ درصد ارزیابی شد. از نظر محصولی، بیشترین اثربخشی بر روی کاهش کاربرد آب آبیاری در محصول گوجه‌فرنگی استان آذربایجان‌غربی با میزان ۴۴/۲ درصد و در محصول گوجه‌سبز استان آذربایجان‌شرقی با میزان ۵۰/۳ درصد حاصل شد.

در پژوهش حاضر به‌طور مشخص بر پایداری منابع از طریق کاهش برداشت و مصرف، امنیت غذایی از طریق ارتقاء بهره‌وری آب و افزایش تولید برای جامعه کشاورزان در حوضه‌های آبریز منتهی به دریاچه‌ها و تالاب های منتخب با هدف ذخیره و مدیریت منابع آبی برای احیا دریاچه‌ها و تالاب‌ها و حفظ زیست‌بوم تمرکز دارد. لذا برای رسیدن به این هدف نیاز است اثربخشی فناوری‌های مختلف به‌زراعی با شاخص‌های عملکرد محصول، عمق آب آبیاری، بهره‌وری آب کاربردی (آب آبیاری با لحاظ بارش مؤثر)، تبخیر و تعرق واقعی یا آب مصرفی واقعی (ETa) و بهره‌وری آب مصرفی واقعی (WP_{ET}) در مقیاس مزرعه پایش و ارزیابی شود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، با اهمیت به موضوع صرفه‌جویی واقعی آب برای کمک به احیای دریاچه ارومیه، دریاچه طشک- بختگان فارس و تالاب شادگان خوزستان، استقرار کشاورزی پایدار در سطح مزارع کشاورزان برای چهار استان آذربایجان‌شرقی، آذربایجان‌غربی، فارس و خوزستان، با اجرای فناوری‌های به‌زراعی در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ مورد پایش قرار گرفتند. در این پژوهش، برای استان آذربایجان شرقی، ۱۲ مزرعه کشت پاییزه و ۱۲ مزرعه کشت بهاره و باغ (شهرستان‌های آذرشهر، اسکو، عجب‌شیر، بناب و ملکان)، در استان آذربایجان غربی، ۳۱ مزرعه کشت بهاره و باغ (شهرستان‌های میاندوآب، مهاباد، نقده و ارومیه)، در استان فارس، ۱۷ مزرعه کشت بهاره و باغ (شهرستان‌های استهبان، ارسنجان و بختگان) و در استان خوزستان، ۱۸ مزرعه کشت تابستانه و باغ (شهرستان‌های بهبهان، امیدیه، رامشیر و شادگان) انتخاب شدند. امکان‌پذیری پایش از نظر وجود مزرعه تیمار و شاهد در یک منطقه، نوع محصول، داشتن حداقل امکانات فنی برای اندازه‌گیری جریان آب، همکاری کشاورز و موقعیت اراضی جهت بازدید سایر بهره برداران با هدف ترویج یافته‌ها در مزرعه، از معیارهای انتخاب مزارع بودند. بخشی از مزارع در کانون‌های هدف به‌عنوان شاهد (مدیریت سنتی کشاورز) و بخشی دیگر به‌عنوان مزرعه تیمار (با اعمال فناوری به‌زراعی) در نظر گرفته شدند. فناوری‌های به‌زراعی شامل مدیریت‌های آبیاری در کنار خاک‌ورزی حفاظتی، تسطیح، برنامه و اجرای تغذیه کودی، چالکود، هرس و مبارزه با آفات و بیماری‌ها بودند. از جمله مدیریت‌های آبیاری می‌توان به تغییر روش آبیاری در سامانه سطحی از کرت‌های نواری به جویچه‌ای با کشت روی پشته‌های بلند و عریض[1] برای محصول گندم اشاره کرد. همچنین فناوری دیگری که برای گندم استفاده شد، به‌کارگیری دستگاه کف‌کار خطی‌کار در عملیات کشت با ایجاد کردن جویچه‌هایی به عرض ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متری بود. همچنین در مزارع بهاره، تابستانه و باغات می‌توان به تغییر روش آبیاری از سطحی به قطره‌ای، اعمال برنامه‌ریزی آبیاری هوشمند بر اساس نمایه خاک و گیاه در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای و بارانی، تغییر آرایش کاشت برای چغندرقند و گوجه‌فرنگی، کشت نشایی همراه با برنامه‌ریزی هوشمند آبیاری در سامانه قطره‌ای نواری (تیپ) برای گوجه‌فرنگی، ایجاد نوارهای کم‌عرض و یا شیارهای دوطرفه و یا یک‌طرفه ردیف درختان به‌جای غرقاب دائم در باغات گردو، سیب، بادام، استفاده از سامانه

1 -Raise Bed

آبیاری کم‌فشار برای شیارهای عمیق درختان انگور، روش مدیریتی قطع جریان آب در فاصله ۱۵ درصدی طول مزرعه نسبت به انتها و راهکار مدیریتی کاهش دبی پس از رسیدن جریان آب به انتهای نوار و یا شیار[۲] برای کرت‌های نواری و جویچه‌ای در سامانه آبیاری سطحی، ایجاد طشت آبیاری اطراف سطح سایه‌انداز درختان نخل در خوزستان همراه با برنامه‌ریزی آبیاری دقیق بر اساس تغییرات رطوبت خاک به‌جای آبیاری کرت‌های نواری غرقاب‌شده و در نهایت کوچک کردن کرت‌ها تا سطح سایه‌انداز درختان انار و پسته در فارس اشاره کرد. محصولات پایش شده، شامل گندم، بادام، سیب‌زمینی، سیب، کدو، انگور، گوجه‌فرنگی و گوجه سبز در آذربایجان‌شرقی، گوجه‌فرنگی، کدوآجیلی، چغندرقند، یونجه، ذرت، پیاز و باغات سیب و گردو در آذربایجان‌غربی، انار، پسته، سیب، ذرت و پنبه در استان فارس و ذرت، کنجد، یونجه و خرما در خوزستان بودند. در مزارع شاهد و تیمار قبل از پیشنهاد و ارائه فناوری به‌زراعی مناسب، نیاز به برداشت اطلاعات مختلف بود. بر این اساس ابتدا اسکن محیطی شامل مختصات، تهیه نقشه مزرعه در محیط گوگل‌ارث، اندازه‌گیری و تعیین ویژگی‌های شیمیایی آب‌وخاک، بافت خاک، میزان نفوذپذیری خاک، جرم مخصوص ظاهری، رطوبت ظرفیت زراعی و رطوبت نقطه پژمردگی و همچنین نظرات بهره‌بردار انجام شد. در طول فصل رشد محصول، نمونه‌های خاک و آب به‌منظور ارزیابی کیفیت از لحاظ شوری و اسیدیته نیز برداشت شد. نمونه‌گیری خاک از پایلوت‌ها به‌صورت مرکب و متناسب با نوع کشت (باغی و زراعی) انجام شد، به‌نحوی‌که برای کشت‌های زراعی عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری و برای کشت‌های باغی ۶۰-۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. جدول (۱)، متوسط سطوح آزمایشی قطعات شاهد و تیمار در کنار اطلاعات میانگین بافت خاک و میزان متوسط کیفیت آب‌وخاک در مزارع مختلف برای تمامی محصولات مورد پایش از استان‌ها، حاصل از اندازه‌گیری‌های میدانی را نشان می‌دهد. تنوع بافت خاک، شوری آب‌وخاک در کنار نوع محصول بر انتخاب فناوری به‌زراعی برای حفظ عملکرد محصول با هدف کاهش حجم آب آبیاری بسیار مهم بود. بر این اساس فناوری‌های به‌زراعی مناسب در جدول (۲) برای هر قطعه تیمار در محصولات مختلف مناطق تحت پایش، آورده شده است.

2 -Cut Back

جدول ۱- مساحت قطعات تیمار و شاهد، بافت خاک و اطلاعات کیفی آب‌وخاک در مناطق پایش برای محصولات مختلف

استان	متوسط مساحت قطعه شاهد (هکتار)	متوسط مساحت قطعه تیمار (هکتار)	بافت خاک	متوسط کیفیت آب از نظر شوری (دسی‌زیمنس بر متر)	متوسط کیفیت خاک از نظر شوری (دسی‌زیمنس بر متر)	نوع محصول
آذربایجان شرقی	0.38	0.45	متوسط تا سنگین	لب‌شور تا شور (2 تا 13)	لب‌شور تا شور (2.1، 4.3، 6، 8، 9 و حتی 13)	گندم
آذربایجان شرقی	0.3	0.35	سبک تا متوسط	1.5	1.86	بادام، سیب‌زمینی، انگور، گوجه‌سبز، سیب و کدو
آذربایجان غربی	0.3	0.7	متوسط تا سنگین	0.5	0.8	سیب، پیاز، گوجه‌فرنگی، چغندرقند، گردو، ذرت، یونجه و کدو
فارس	1	0.5	سبک تا متوسط	شور (6)	شور (6)	انار و پسته (ارسنجان)
فارس	1	0.5	سبک تا متوسط	1.5	3	پسته (بختگان)، پنبه، ذرت و سیب (استهبان)
خوزستان	3	0.3	متوسط	1.8 تا 3	2 تا 3	ذرت، کنجد و یونجه (بالادست حوضه مارون)
خوزستان	3	0.3	سنگین	8 تا 12	10 تا 16	خرما (پایین‌دست حوضه مارون)

جدول ۲- فناوری‌های اعمال‌شده مدیریت آبیاری در کنار سایر فناوری‌های به‌زراعی برای قطعات تیمار در مناطق پایش در محصولات مختلف

کد مزرعه	استان	فناوری اعمال‌شده	روش آبیاری	نوع محصول
East W1-8,W12	**آذربایجان شرقی**	کاشت با بذرکار کف‌کار، برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس تغییرات رطوبتی خاک و نمایه گیاهی، تسطیح با لولر، مدیریت تغذیه	سطحی	گندم
East W9-11	آذربایجان شرقی	کاشت روی پشته‌های بلند و عریض، برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس تغییرات رطوبتی خاک و نمایه گیاهی، تسطیح با لولر، مدیریت تغذیه	سطحی	گندم
East S1	آذربایجان شرقی	شیارهای یک‌طرفه، برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس تغییرات رطوبتی خاک و نمایه گیاهی، تغذیه کودی	سطحی	بادام
East S2	آذربایجان شرقی	سامانه جوی و پشته در مقایسه با کرتی، کاشت با دستگاه غده‌کار	سطحی	سیب‌زمینی
East S3	آذربایجان شرقی	قطره‌ای زیرسطحی در مقایسه با غرقابی، برنامه‌ریزی آبیاری	قطره‌ای	سیب
East S4	آذربایجان شرقی	روش جوی و پشته در مقایسه با کرتی، تسطیح مزرعه، کاشت با دستگاه پنوماتیک در مقایسه با کاشت دستی	سطحی	کدو

ادامه جدول ۲

کد مزرعه	استان	فناوری اعمال‌شده	روش آبیاری	نوع محصول
East S5	آذربایجان شرقی	مدیریت آبیاری در شیارها، چالکود، هرس خشک	سطحی	انگور
East S6,10,12	آذربایجان شرقی	کشت نشایی، کاشت به‌صورت دو ردیفه زیگزاکی، تغییرات رطوبتی خاک و نمایه گیاهی، تغذیه کودی	قطره‌ای نواری	گوجه‌فرنگی
East S7	آذربایجان شرقی	شیارهای دوطرفه درختان در مقایسه با غرقابی، چالکود، هرس	سطحی	گوجه‌سبز
East S8,11	آذربایجان شرقی	قطره‌ای زیرسطحی، برنامه‌ریزی آبیاری	قطره‌ای	انگور
East S9	آذربایجان شرقی	سامانه کم‌فشار در مقایسه با غرقابی، مدیریت باز و بستن شیرفلکه‌ها، چالکود، هرس	سطحی	انگور
West S1,13,15,20,28,30	**آذربایجان غربی**	شیارهای دوطرفه ردیف درختان در مقایسه با غرقابی، برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس تغییرات رطوبتی خاک و نمایه گیاهی	سطحی	سیب
West S2	آذربایجان غربی	قطره‌ای نواری در مقایسه با غرقابی، برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس تغییرات رطوبتی خاک و نمایه گیاهی	قطره‌ای نواری	پیاز
West S3,11	آذربایجان غربی	آرایش کاشت ۶۰×۴۰	سطحی	چغندرقند
West S4	آذربایجان غربی	قطره‌ای زیرسطحی، برنامه‌ریزی آبیاری	قطره‌ای	سیب
West S5,10	آذربایجان غربی	ایجاد نوارهای کم‌عرض در مقایسه با غرقاب باغ، آبیاری شبانه	سطحی	سیب
West S6,31	آذربایجان غربی	برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس تغییرات رطوبتی خاک و نمایه گیاهی	قطره‌ای نواری	گوجه‌فرنگی
West S7	آذربایجان غربی	سامانه آبیاری قطره‌ای در مقایسه با سطحی	قطره‌ای	سیب
West S8,16,18,22	آذربایجان غربی	برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس تغییرات رطوبتی خاک و نمایه گیاهی، آبیاری شبانه	بارانی	چغندرقند
West S9	آذربایجان غربی	قطره‌ای نواری در مقایسه با غرقابی، برنامه‌ریزی آبیاری	قطره‌ای نواری	ذرت
West S12	آذربایجان غربی	کشت نشایی، کاشت به‌صورت دو ردیفه زیگزاکی، برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس تغییرات رطوبتی خاک و نمایه گیاهی	قطره‌ای نواری	گوجه‌فرنگی
West S17	آذربایجان غربی	برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس تغییرات رطوبتی خاک و نمایه گیاهی، آبیاری شبانه	بارانی	یونجه
West S14,19	آذربایجان غربی	تغییر سامانه از آبیاری بارانی به قطره‌ای نواری (تیپ)	قطره‌ای نواری	چغندرقند

ادامه جدول ۲

کد مزرعه	استان	فناوری اعمال‌شده	روش آبیاری	نوع محصول
West S21,27	آذربایجان غربی	برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس تغییرات رطوبتی خاک و نمایه گیاهی	قطره‌ای	سیب
West S23,24,25	آذربایجان غربی	فناوری *PRD	سطحی	سیب
West S26	آذربایجان غربی	کاهش طول نوار آبیاری سطحی	سطحی	کدو
West S29	آذربایجان غربی	شیارهای دوطرفه ردیف درختان در مقایسه با غرقابی، برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس تغییرات رطوبتی خاک و نمایه گیاهی	سطحی	گردو
Far S1,5,6	**فارس**	کوچک کردن کرت‌ها در حد سایه‌انداز درخت، آبیاری میکرو در مقایسه با غرقابی، برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس تغییرات رطوبتی خاک و نمایه گیاهی	میکرو (حباب‌ساز یا بابلر)	انار
Far S2,3,12-17	فارس	کوچک کردن کرت‌ها در حد سایه‌انداز درخت، استفاده از لوله ۱۶ میلی‌متری برای پر کردن کرت‌ها بجای غرقاب کامل باغ، برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس تغییرات رطوبتی خاک و نمایه گیاهی	سطحی	انار و پسته
Far S4	فارس	کوچک کردن کرت‌ها در حد سایه‌انداز درخت، آبیاری میکرو در مقایسه با غرقابی، برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس تغییرات رطوبتی خاک و نمایه گیاهی	میکرو (حباب‌ساز یا بابلر)	پسته
Far S7	فارس	آبیاری قطره‌ای نواری در مقایسه با سطحی، برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس تغییرات رطوبتی خاک و نمایه گیاهی	قطره‌ای نواری	پنبه
Far S8	فارس	مدیریت زمان آبیاری بر اساس نمایه خاک و گیاه	قطره‌ای نواری	ذرت
Far S9	فارس	کم کردن عرض نوارها در حد سطح سایه‌انداز درخت، برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس تغییرات رطوبتی خاک و نمایه گیاهی	سطحی	سیب
Far S10,11	فارس	آبیاری قطره‌ای نواری در مقایسه با سطحی، برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس تغییرات رطوبتی خاک و نمایه گیاهی	قطره‌ای نواری	ذرت
KH 1,2,3 KH 4,5,6	**خوزستان**	قطع جریان آب در فاصله ۱۵ درصد طول مزرعه نسبت به انتها (مدیریت آبیاری)، مدیریت تغذیه	سطحی	ذرت
KH 7,8,9 KH 12	خوزستان	قطع جریان آب در فاصله ۱۵ درصد طول مزرعه نسبت به انتها به‌همراه کاهش طول نوار آبیاری به ۲ و ۳ بخش (مدیریت آبیاری)، مدیریت تغذیه	سطحی	کنجد
KH 10	خوزستان	فناوری کاهش جریان آب، به‌نحوی‌که آب به دوسوم نوار رسید، دبی ورودی نصف می‌شود (مدیریت آبیاری)، مدیریت تغذیه	سطحی	یونجه
KH 11 KH 13,14,15 KH 16,17,18	خوزستان	تغییر مدیریت آبیاری از کرت نواری به طشت اطراف سطح سایه‌انداز درخت به‌همراه اجرای مالچ برگ نخل، فناوری آرایش خوشه خرما و اجرای پوشش توری	سطحی	خرما

* آبیاری جزئی ریشه باعث تحریک رشد ریشه‌های ثانویه آن می‌شود. افزایش نسبت ریشه به اندام هوایی برای بهبود جذب آب و مواد مغذی خاک مفید است که این پدیده معمولاً با استفاده از روش PRD (آبیاری جزئی منطقه ریشه) مشاهده می‌گردد. East ، آذربایجان شرقی، West، آذربایجان غربی، Far، فارس و KH، خوزستان، W، کشت پاییزه و S، کشت بهاره

محاسبات دفتری و اندازه‌گیری‌های میدانی

برنامه‌ریزی آبیاری با استفاده از اطلاعات روزانه داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های نزدیک به مزارع پایلوت انجام شد. میزان تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه بر اساس داده‌های هواشناسی با روش پنمن-مانتیث-فائو محاسبه و با استفاده از ضرایب گیاهی اصلاح‌شده در منطقه، نیاز خالص مورد نیاز گیاه به‌صورت ده روزه و ماهانه در طول دوره رشد بدست آمد. ضرایب گیاهی اولیه از فائو ۵۶ استخراج‌شده، سپس بر اساس میزان رطوبت نسبی و سرعت باد منطقه، این ضرایب در ماه‌های مختلف رشد اصلاح گردید. با توجه به میزان شوری آب‌وخاک، جزء آبشویی بر اساس نوع سامانه آبیاری محاسبه و سپس مدت‌زمان آبیاری برای هر قطعه زراعی برآورد شد. بر اساس این برآورد، عملیات آبیاری در مزرعه انجام و اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای در طول دوره پایش مزرعه و یا باغ شامل حجم آب ورودی به زمین زراعی و یا باغی، تعیین رطوبت خاک قبل از هر آبیاری جهت تطبیق با برنامه‌ریزی آبیاری مبتنی با داده‌های هواشناسی، عمق توسعه ریشه گیاه در هر دور آبیاری و عملکرد محصول انجام شد. برای اندازه‌گیری حجم آب آبیاری در مزارع و باغاتی که مجهز به سامانه آبیاری سطحی بودند، از فلوم‌های WSC تیپ چهار استفاده شد. در صورت وجود سامانه کم‌فشار و سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار، حجم آب آبیاری در طول فصل رشد، از طریق کنتور حجمی قرائت گردید. همچنین راندمان کاربرد آب در مزرعه با توجه به نوع سامانه آبیاری (سطحی، بارانی و قطره‌ای) بر اساس روش‌های استاندارد اندازه‌گیری و برآورد شد. راندمان در سامانه آبیاری سطحی با اندازه‌گیری عمق آب آبیاری وارد شده به مزرعه و تعیین عمق آب مورد نیاز منطقه ریشه، برآورد شد. همچنین در صورت وجود سامانه آبیاری بارانی، با تعیین تلفات تبخیر و بادبردگی، راندمان یکنواختی پخش محاسبه گردید. این اندازه‌گیری‌ها در طول فصل رشد محصول با توجه به تفاوت در عمق توسعه ریشه، برای هر دور آبیاری انجام شد. با داشتن راندمان آب آبیاری در مزرعه، نیاز خالص آبیاری گیاه یا همان تبخیر-تعرق واقعی (ET_a) یا آب مصرفی واقعی محصول بدست آمد. در خصوص سامانه آبیاری قطره‌ای با برآورد ضریب یکنواختی پخش آب قطره‌چکان‌ها در مزرعه، نیاز خالص آبیاری برآورد شد. در نهایت با داشتن آب کاربردی به مزرعه (آب آبیاری+بارش مؤثر) و آب مصرفی واقعی (ET_a) محصول، بهره‌وری آب کاربردی (WP_{I+P}) و بهره‌وری آب مصرفی (WP_{ET}) برآورد شدند.

محاسبه بازده کاربرد در مزارع و یا باغات مجهز به سامانه آبیاری سطحی

بازده کاربرد در مزارع و باغات بیانگر تلفات به‌صورت نفوذ عمقی بود و در هر نوبت آبیاری، از رابطه زیر محاسبه گردید:

$$AE = \frac{SMD}{D_{app}} \times 100 \qquad (۱)$$

در رابطه (۱)، AE بازده کاربرد آب (درصد)، D_{app} متوسط عمق آب وارد شده به قطعه تحت آبیاری (میلی‌متر) بوده که برابر با حجم جریان ورودی به قطعه تحت آبیاری (لیتر) تقسیم بر مساحت قطعه (مترمربع) و SMD عمق آب مورد نیاز منطقه ریشه (میلی‌متر) است که از رابطه (۲) بدست می‌آید.

$$SMD = (\theta_{fc} - \theta_i) \times \rho_b \times D_r \qquad (۲)$$

در رابطه (۲)، θ_i و θ_{fc} به‌ترتیب رطوبت خاک قبل از آبیاری و حد ظرفیت زراعی (گرم/گرم)، ρ_b جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب) و D_r عمق توسعه ریشه گیاه (میلی‌متر) می‌باشند. برای آبیاری اول (خاکآب) که هنوز ریشه‌ای برای گیاه زراعی وجود ندارد ($D_r = 0$)، در این صورت آب مصرفی در آبیاری اول (خاکآب) از حاصل‌ضرب K_{cini} مربوط به مرحله اولیه رشد در تبخیر-تعرق پتانسیل محاسبه‌شده به روش فائو پنمن-مانتیث تعیین شد (رابطه ۳).

$$ET_c = K_{cini} \times ET_\circ \qquad (۳)$$

مطابق توصیه آلن و همکاران (۱۹۹۸)، ضریب گیاهی مرحله اولیه رشد (K_{cini}) ارائه‌شده در جداول نشریه

فائو ۵۶، بایستی بر اساس شرایط اقلیمی، بافت خاک، عمق آب آبیاری و دور آبیاری، اصلاح گردد. مطابق توصیه سند ملی آب کشور، مقدار بهینه عمق خالص آبیاری در خاکآب ۳۰ تا ۵۰ میلی‌متر پیشنهاد شده است. بر این اساس روش دیگر برای محاسبه راندمان آبیاری اول، فرض ۳۰ تا ۵۰ میلی‌متر به‌عنوان عمق خالص است. در پژوهش حاضر، محاسبه راندمان کاربرد در آبیاری اول بر اساس توصیه سند ملی آب کشور و بر مبنای ۵۰ میلی‌متر عمق خالص مورد نیاز آبیاری اول (خاکآب)، انجام شد. در نهایت آب مصرفی واقعی (ETa) محصول (میلی‌متر)، با مشخص شدن راندمان (بازده) کاربرد آب در مزرعه (درصد) و عمق آب آبیاری (میلی‌متر) برای هر دور آبیاری بدست آمد.

محاسبه نمایه‌های بهره‌وری آب کشاورزی مزارع

اصطلاح بهره‌وری آب کشاورزی[3]، به نسبت مقدار عملکرد و یا زیست‌توده محصول بر میزان آب مصرفی (تبخیر-تعرق واقعی) و یا حجم آب کاربردی تعریف می‌شود. اگر مبنا آب مصرفی محصول باشد، از WP_{ET} استفاده می‌گردد که در این صورت بهره‌وری مصرف آب به‌صورت رابطه (۴) تعریف می‌شود.

$$WP_{ET} = \frac{Y(kg\,ha^{-1})}{ET(m^3\,ha^{-1})} \qquad (۴)$$

در رابطه (۴)، WP_{ET} و ET و Y به‌ترتیب بهره‌وری آب مصرفی واقعی (کیلوگرم بر مترمکعب)، تبخیر و تعرق واقعی طی فصل زراعی (مترمکعب بر هکتار) و عملکرد و یا زیست‌توده محصول (کیلوگرم بر هکتار) است. اگر مقدار آب آبیاری و بارش به‌عنوان آب مورد استفاده گیاه در نظر گرفته شود، بهره‌وری آب با WP_{I+P} نشان داده شده و به‌صورت رابطه (۵) تعریف می‌شود.

$$WP_{I+P} = \frac{Y(kg\,ha^{-1})}{[I+P](m^3\,ha^{-1})} \qquad (۵)$$

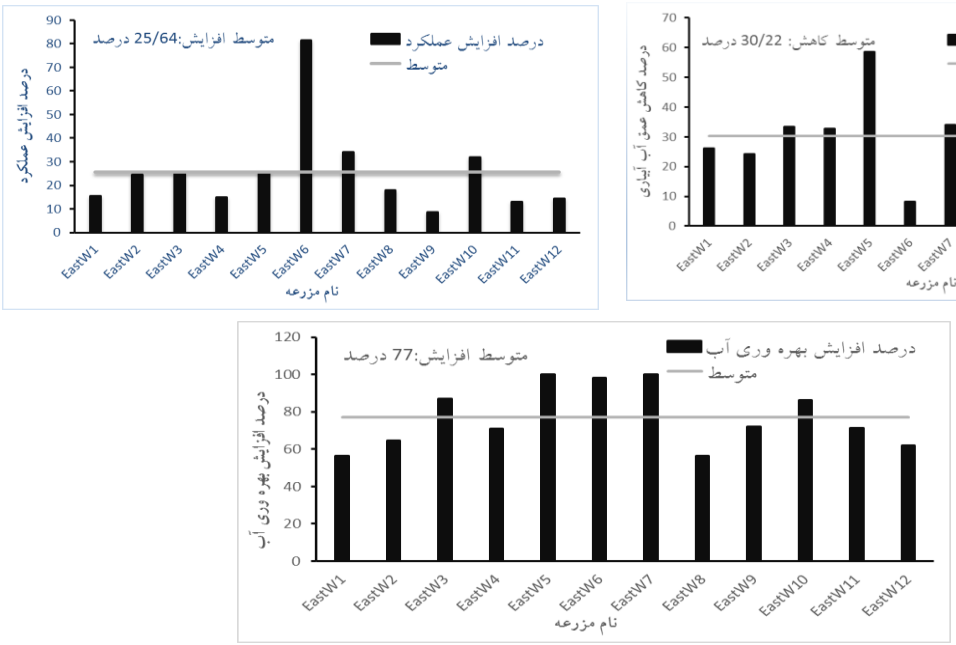
در رابطه (۵)، I و P مقدار آب آبیاری و بارندگی (مترمکعب بر هکتار) در طول فصل زراعی و WP_{I+P}، بهره‌وری آب کاربردی (کیلوگرم بر مترمکعب) می‌باشند. در شرایطی که میزان بارش اندک باشد، WP_{I+P} به WP_I تبدیل می‌شود.

نتایج و بحث

اثر فناوری‌ها بر نمایه‌های مهم آب کاربردی و آب مصرفی واقعی برای محصولات پاییزه، بهاره و باغات آذربایجان شرقی

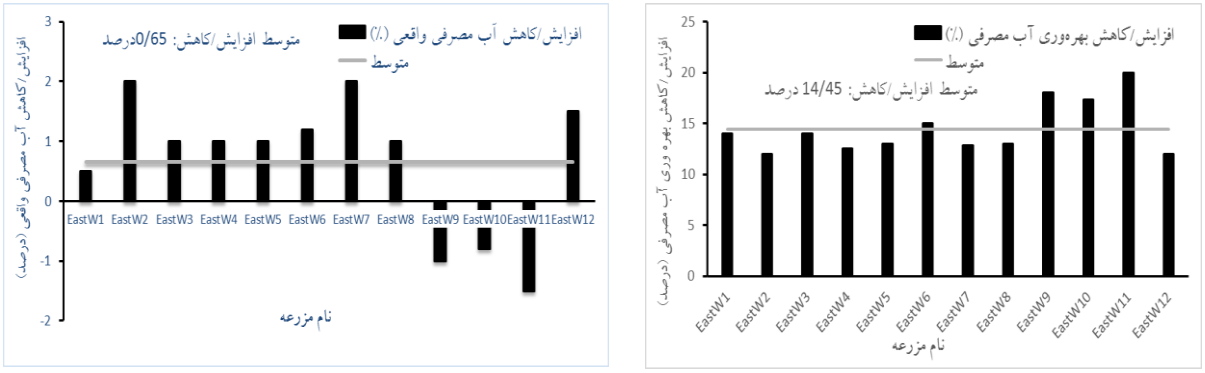
در بررسی نمایه‌های مهم آب کاربردی در مزرعه و آب مصرفی واقعی مزارع و باغات مورد پایش در استان آذربایجان شرقی، باغات East S3,S8,S11 که فناوری سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در آن اجرا شده بود، به‌دلیل تأخیر در بهره‌برداری پروژه و عدم پایش از تحلیل‌ها حذف شدند. در کشت پاییزه گندم، نتایج اعمال هر دو فناوری به‌زراعی؛ ۱) کشت در کف جویچه با دستگاه بذرکار خطی‌کار (East W1-8 ,W12) و ۲) کشت روی پشته‌های بلند و عریض (East W9-11) که هر دو با تسطیح مزرعه، مدیریت تغذیه کودی در طول فصل رشد محصول و برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس تغییرات رطوبتی خاک همراه بودند، نشان داد که برای سه نمایه مهم کاربردی آب در مزرعه (عمق آب آبیاری، عملکرد محصول و بهره وری آب کاربردی)، اثربخشی تقریباً یکسانی داشتند (شکل ۱). بااین‌حال حداکثر افزایش عملکرد (۸۱/۶ درصد)، حداکثر کاهش عمق آب آبیاری (۵۸/۵ درصد) و بیشترین افزایش بهره‌وری آب کاربردی (۱۰۰ درصد) با اجرای فناوری کشت بذرکار خطی‌کار بدست آمد. این روش کشت، یک فناوری بهینه بوده که در شرایط شوری خاک و آب می‌تواند پاسخگوی مناسبی برای کاشت غلات باشد. به‌هرحال، اعمال هر دو فناوری مذکور در تمامی مزارع مورد پایش گندم توانستند به‌طور متوسط، ۲۵/۶۴ درصد در میزان افزایش عملکرد، ۳۰/۲۲ درصد در کاهش عمق آب آبیاری و ۷۷ درصد در افزایش بهره‌وری آب کاربردی مؤثر باشند (شکل ۱).

3 - Agricultural Water Productivity



شکل ۱- مقایسه مقادیر افزایش عملکرد، کاهش عمق آب آبیاری و بهره‌وری آب کاربردی–کشت پاییزه گندم -آذربایجان شرقی

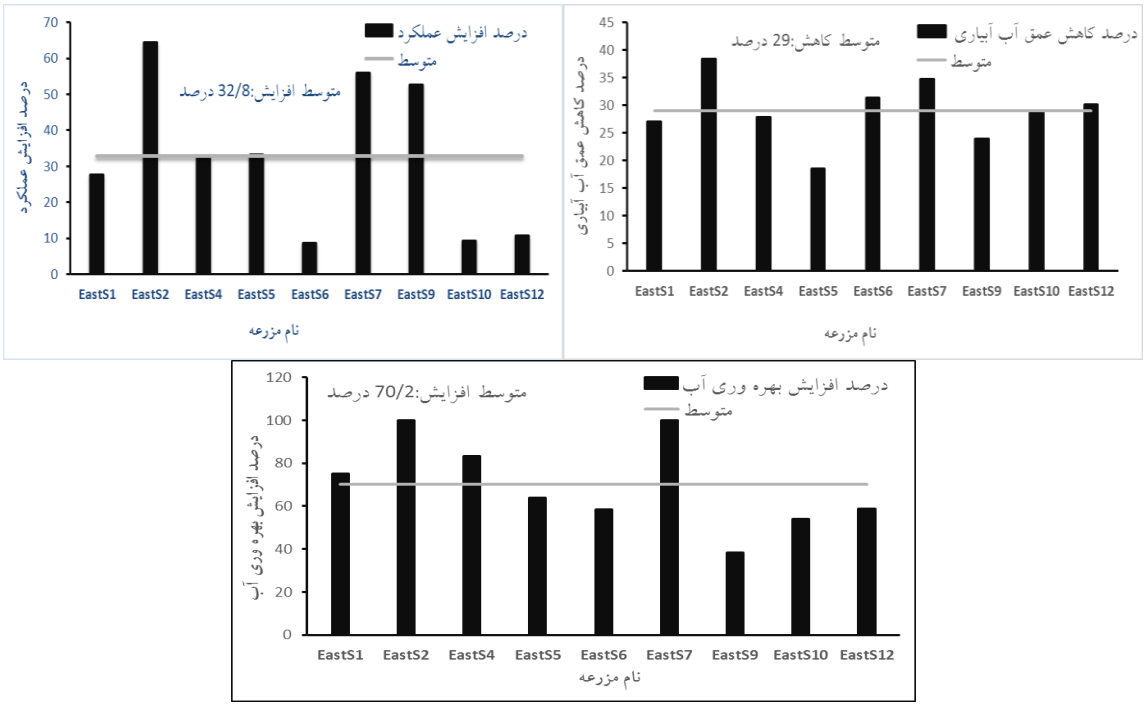
همچنین بررسی تغییرات نمایه‌های آب مصرفی واقعی (ETa) و بهره‌وری آب مصرفی (WP_{ET}) بعد از اعمال فناوری‌های به‌زراعی در مزارع کشت گندم نشان داد که فناوری کاشت با دستگاه کف‌کار خطی‌کار، میزان ETa محصول را در مقایسه با روش کاشت سنتی کشاورز، هرچند ناچیز اما به‌میزان متوسط ۱/۲۴ درصد افزایش داده است (شکل ۲). این در حالی است که در روش کشت گندم بر روی پشته‌های عریض و بلند، میزان ETa به‌طور نامحسوس اما روندی کاهشی نسبت به مزارع شاهد (۰/۶ درصد) داشت. در فناوری کشت بر روی پشته‌های بلند و عریض، آب با حرکت در جویچه‌ها بر بدنه پشته‌ها نفوذ کرده و علاوه بر این‌که خود یک روش خاک‌ورزی حفاظتی است (به‌دلیل حفظ پشته‌ها برای محصول بعدی)، روش آبیاری نشتی، میزان آب مصرفی واقعی را می‌تواند کاهش دهد. به‌طورکلی، اثربخشی هر دو فناوری کاشت در کنار سایر مدیریت‌ها بیان‌شده در بسته برای محصول گندم باعث افزایش آب مصرفی واقعی به‌میزان ۰/۶۵ درصد شد. با این‌حال این دو فناوری به‌دلیل ایجاد عملکرد مناسب محصول توانستند میزان WP_{ET} را ۱۴/۴۵ درصد ارتقا بخشند.



شکل ۲- مقایسه تغییرات مقادیر آب مصرفی واقعی (ETa) و بهره‌وری آب مصرفی (WP_{ET}) – کشت پاییزه گندم-آذربایجان شرقی

در بررسی اثربخشی اعمال فناوری‌های به‌زراعی بر نمایه‌های مهم آب کاربردی در مزرعه برای کشت‌های بهاره و باغات (شکل ۳)، نتایج نشان داد که استفاده از فناوری‌ها به‌طور متوسط، ۳۲/۸ درصد افزایش عملکرد، ۲۹

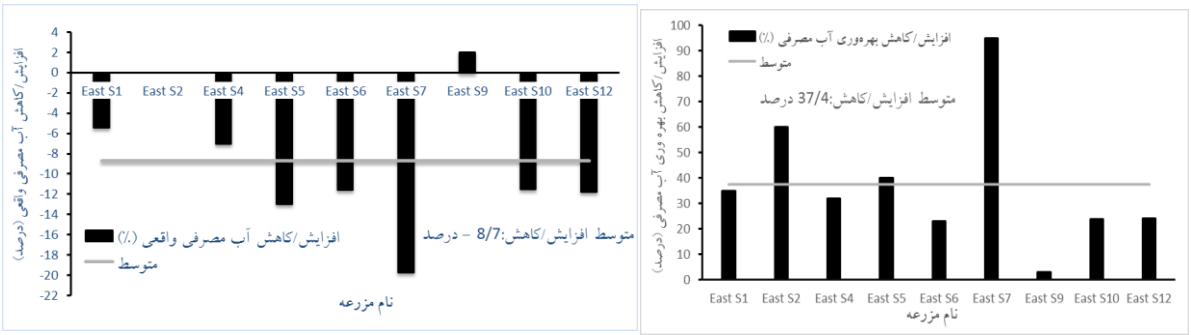
درصد کاهش در عمق آب آبیاری و ۷۰/۲ درصد افزایش بهره‌وری آب کاربردی را در تمامی مزارع پایش به‌همراه داشت. حداکثر مقدار در افزایش عملکرد (۶۴/۴ درصد)، حداکثر کاهش عمق آب آبیاری (۳۸/۴ درصد) و بیشترین افزایش بهره‌وری (۱۰۰ درصد)، مربوط به‌اعمال فناوری در مزرعه سیب‌زمینی با تغییر روش آبیاری از کرت غرقاب شده به جوی و پشته و تغییر روش کشت با استفاده از دستگاه غده‌کار روی پشته بود (East S2). با توجه به شکل ۳ مشاهده می‌شود که اعمال سایر فناوری‌ها برای محصولات مختلف در مزارع پایش نیز از وضعیت خوبی در ارتقا عملکرد، کاهش میزان آب آبیاری و افزایش بهره‌وری آب کاربردی برخوردار بودند. بااین‌حال برای درختان مثمر، اثربخشی فناوری، ایجاد شیارهای دوطرفه ردیف درختان برای توزیع و مدیریت بهینه آب در باغات جهت ارتقا نمایه‌های کاربردی مزرعه بسیار محسوس بود. به‌طوری‌که این فناوری توانست بر افزایش عملکرد تا ۵۶ درصد، کاهش عمق آب آبیاری تا ۳۵ درصد و ارتقا بهره‌وری آب کاربردی تا ۱۰۰ درصد اثربخش باشد (مزرعهEast S7).



شکل ۳- مقایسه مقادیر افزایش عملکرد، کاهش عمق آب آبیاری و بهره‌وری آب کاربردی–محصولات بهاره و باغات –آذربایجان شرقی

همچنین اثربخشی فناوری‌ها بر کاهش ETa و ارتقاء WP_{ET} برای محصولات بهاره و باغات استان آذربایجان شرقی، نتایج نشان داد که تقریباً تمامی روش‌های به‌زراعی به‌کارگرفته در مزارع و باغات (بجز مزرعه East S9)، توانستند ETa را کاهش دهند (شکل ۴). متوسط میزان کاهش ETa تمامی محصولات در مزارع کشت بهاره و باغات پایلوت با اعمال فناوری‌های به‌زراعی، ۸/۷ درصد بود. فناوری ایجاد شیارهای دوطرفه در باغ گوجه‌سبز با ۱۹/۷ درصد، بیشترین میزان کاهش ETa محصول را به همراه داشت (East S7). هرچند فناوری‌های چالکود، هرس و مدیریت بهینه آبیاری در شیارهای عمیق برای باغ انگور با کاهش متوسط ۱۳ درصد (East S5)، برنامه‌ریزی دقیق مزرعه گوجه‌فرنگی بر اساس نمایه خاک و گیاه در کنار روش کشت به‌صورت دو ردیفه زیگزاکی روی پشته‌ها همراه با انتقال نشا با کاهش متوسط ۱۱/۶ درصد (East S6,S10,S12)، ایجاد شیارهای یک‌طرفه برای باغات بادام

با کاهش متوسط ۵/۴ درصد (East S1) و کشت با دستگاه پنوماتیک و مدیریت آبیاری جوی و پشته در مقایسه با کشت دستی درون کرتی برای محصول کدو با کاهش هفت درصد (East S4)، بر میزان ETa مؤثر باشند. بر اساس موارد فوق مشاهده می‌شود، همه فناوری‌های ذکرشده در زمره روش‌های، برنامه‌ریزی دقیق بر اساس نمایه‌های خاک و گیاه در کنار اصلاح و مدیریت بهینه سامانه آبیاری موجود بودند که توانسته‌اند علاوه بر اثربخشی در نمایه‌های کاربردی آب در مزرعه، بر کاهش ETa محصولات نیز مؤثر باشند. اعمال این فناوری‌ها در ارتقا WP_{ET} محصولات به‌طور متوسط ۳۷/۴ درصد بود (شکل ۴).

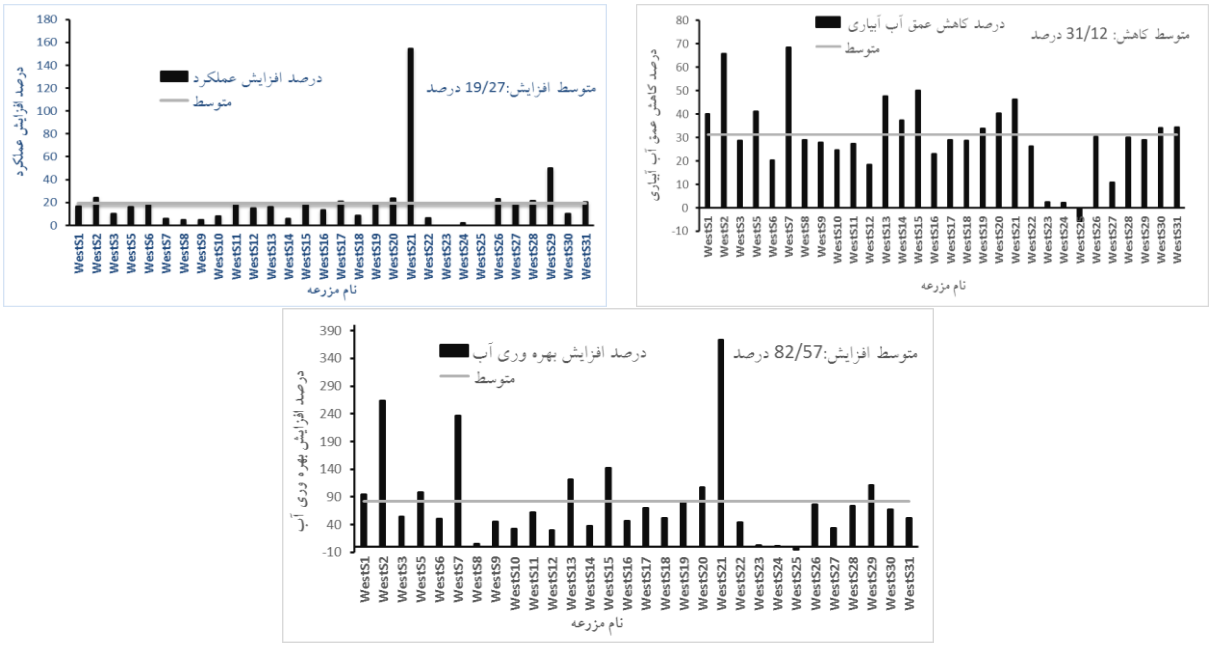


شکل ۴- مقایسه تغییرات مقادیر آب مصرفی واقعی (ETa) و بهره‌وری آب مصرفی (WP_{ET})- محصولات بهاره و باغات-آذربایجان شرقی

اثر فناوری‌ها بر نمایه‌های مهم آب کاربردی و آب مصرفی واقعی برای محصولات بهاره و باغات آذربایجان غربی

تغییرات نمایه‌های عملکرد محصول، عمق آب آبیاری و بهره‌وری آب کاربردی در تمامی قطعات تیماری پس از اعمال فناوری‌های به‌زراعی منطبق با جدول ۲ برای محصولات بهاره و باغات در استان آذربایجان غربی در شکل ۵ نشان داده شده است. باغ West S4 که فناوری سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در آن اجرا شده بود، به‌دلیل تأخیر در بهره‌برداری پروژه و عدم پایش، از تحلیل‌ها حذف شد. نتایج نشان داد که در اثر اعمال فناوری‌ها، متوسط افزایش عملکرد در همه مزارع و باغات، ۱۹/۲۷ درصد بود. به‌طوری‌که بیشترین افزایش عملکرد به‌میزان ۱۵۴/۵ درصد مربوط به اعمال فناوری برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس تغییرات رطوبتی خاک و نمایه گیاهی در باغات سیب دارای سامانه آبیاری قطره‌ای بود (West S21). کمترین و حتی عدم میزان افزایش عملکرد مربوط به فناوری آبیاری جزئی منطقه ریشه بود (West S23,24,25). میانگین کاهش عمق آب آبیاری با اعمال فناوری‌ها در همه مزارع و باغات، ۳۱/۱۲ درصد بود، به‌طوری‌که بیشترین درصد کاهش عمق آب آبیاری مربوط به فناوری، تغییر روش آبیاری از غرقاب دائم به قطره‌ای همراه با برنامه‌ریزی آبیاری بر طبق نمایه‌های خاک و گیاه در باغات سیب (West S7) و محصول پیاز (West S2)" به‌ترتیب به‌میزان ۶۸/۴ و ۶۵/۸ درصد بود. کمترین و حتی عدم میزان کاهش عمق آب آبیاری مربوط به فناوری" آبیاری جزئی منطقه ریشه بود، به‌طوری‌که با اجرای فناوری مذکور در باغات سیب دارای سامانه آبیاری سطحی، عمق آب آبیاری در قطعات تیمار نسبت به شرایط مدیریت کشاورز (شاهد)، به‌میزان شش درصد افزایش داشت (West S25) و تنها در یک باغ با اجرای این فناوری به‌میزان ۲/۵ درصد کاهش عمق آب آبیاری اتفاق افتاد (West S23). در بررسی تغییرات میزان بهره‌وری آب کاربردی در مزارع و باغات بعد از اعمال فناوری‌های به‌زراعی، نتایج نشان داد که این نمایه به‌میزان متوسط ۸۲/۵۷ درصد ارتقا یافت. به‌طوری‌که اعمال فناوری، برنامه‌ریزی آبیاری طبق نمایه‌های خاک و گیاه برای باغات سیب دارای سامانه قطره‌ای، بیشترین میزان افزایش بهره‌وری آب به‌مقدار ۳۷۳ درصد را داشتند (West S21). هر چند پس از آن مزارع و باغاتی که مبتنی بر مدیریت آب در مزرعه و برنامه‌ریزی آبیاری بودند، مانند West S2 با

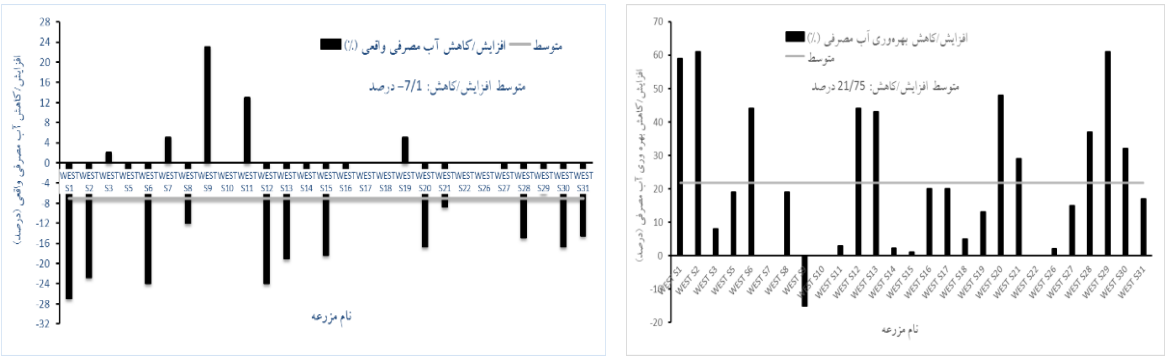
۲۶۳ درصد، West S7 با ۲۳۶ درصد و West S15 با ۱۴۲ درصد، ارتقا در بهره‌وری آب کاربردی را تجربه کردند که نشان‌دهنده اثربخشی اعمال فناوری مذکور بود. با این‌حال اعمال فناوری آبیاری جزئی منطقه ریشه، کمترین میزان در افزایش بهره‌وری آب کاربردی را با مقدار ۵/۵ درصد به‌همراه داشت (West S25) (شکل ۵).



شکل ۵- مقایسه مقادیر افزایش عملکرد، کاهش عمق آب آبیاری و بهره‌وری آب کاربردی–محصولات بهاره و باغات -آذربایجان غربی

در پایش اثربخشی فناوری‌ها بر کاهش ETa و ارتقاء WP_{ET} برای محصولات بهاره و باغات استان آذربایجان غربی، نتایج نشان داد که اعمال کلیه فناوری‌ها در همه مزارع و باغات پایلوت، باعث کاهش ETa و ارتقا WP_{ET} محصولات به‌ترتیب به‌میزان متوسط ۷/۱ و ۲۱/۷۵ درصد شدند (شکل ۶). به‌طوری‌که بیشترین کاهش مصرف واقعی آب (ETa) به‌میزان ۲۷ درصد، مربوط به اعمال فناوری ایجاد شیارهای دوطرفه ردیف درختان سیب در مقابل غرقاب کامل باغ بر اساس برنامه‌ریزی آبیاری طبق نمایه‌های خاک و گیاه بود (West S1). علت این مسئله را می‌توان چنین توضیح داد که در باغات، میزان مصرف مفید (تعرق) و مصرف غیرمفید (تبخیر) به‌طور تنگاتنگ و رقابتی در آب مصرفی مؤثرند. بر این اساس کاهش مصرف غیرمفید می‌تواند به‌طور ملموسی بر کاهش ETa مؤثر باشد. این مهم به دلیل مدیریت توزیع آب با ایجاد شیارهای یک‌طرفه و یا دوطرفه در ردیف درختان به علت کاهش سطح خیس‌شدگی در کل باغ بوده که می‌تواند بر کاهش مصرف غیرمفید آب اثربخش باشد. علاوه بر این، فناوری‌های دیگری مانند کشت نشایی محصول گوجه‌فرنگی با روش کاشت دو ردیفه زیگزاکی روی پشته همراه با برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس تغییرات رطوبتی خاک و نمایه گیاهی در سامانه قطره‌ای نواری (West S12) به‌میزان ۲۴ درصد، اعمال برنامه‌ریزی بر اساس نمایه‌های خاک و گیاه در سامانه آبیاری قطره‌ای برای محصولات گوجه‌فرنگی (West S6, S31)، پیاز (West S2) و باغات سیب (West S21, S27) به‌ترتیب به‌میزان متوسط ۱۹ درصد،۲۳ درصد و ۶/۸۵ درصد، اعمال مدیریت شبانه همراه با برنامه‌ریزی آبیاری در سامانه بارانی (West S8, S16,S17,S18) به‌میزان متوسط ۴/۳ درصد و در نهایت فناوری ایجاد شیارهای دوطرفه ردیف درختان (West S1,S13, S15, S20,S28,S29,S30) به‌میزان متوسط ۱۷ درصد، باعث کاهش در ETa شدند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، فناوری‌هایی که بر پایه برنامه‌ریزی دقیق مبتنی بر نمایه‌های خاک و گیاه در کنار اصلاح و مدیریت بهینه

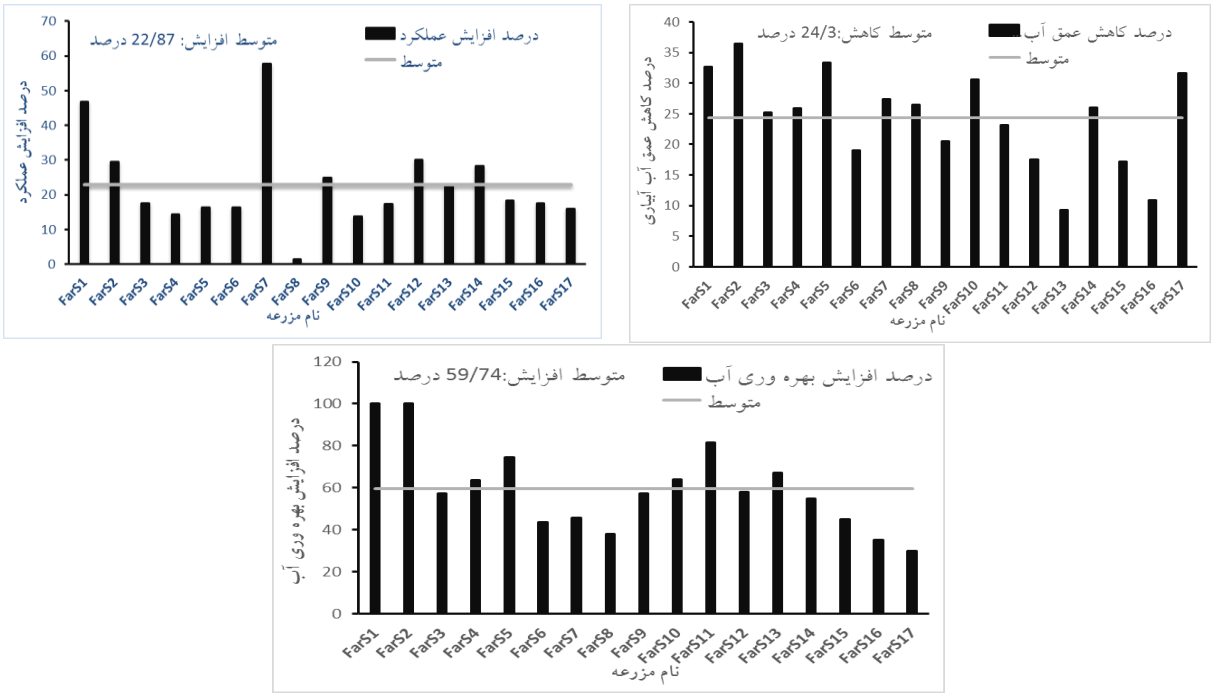
سامانه آبیاری موجود هستند، توانسته‌اند آب مصرفی واقعی را کاهش دهند. این فناوری‌ها را می‌توان اثربخش‌ترین برشمرد، زیرا ضمن ارتقا نمایه‌های مهم کاربردی در مزرعه (بازگشت به شکل ۵)، بر کاهش ETa و ارتقا WP_{ET} محصولات به‌ترتیب به‌میزان متوسط ۱۵/۶ و ۳۲/۶ درصد مؤثر بودند (شکل ۶). در مقابل، فناوری ایجاد سامانه آبیاری قطره‌ای در مقایسه با سامانه سطحی برای کشت ذرت نه‌تنها ETa گیاه را کاهش نداد بلکه باعث افزایش ۲۳ درصدی در میزان ETa محصول شد (West S9). علاوه بر این، فناوری‌های دیگری مانند تغییر آرایش کاشت در چغندرقند (West S3,S11)، ایجاد نوارهای کم‌عرض در باغات (West S10)، اجرای سامانه آبیاری قطره‌ای در مقایسه با سامانه سطحی در باغات (WestS7)، کاهش طول نوار آبیاری در سامانه سطحی (WestS26) و تغییر سامانه آبیاری از بارانی به قطره‌ای (WestS19)، باعث افزایش آب مصرفی واقعی (ETa) محصولات از ۲ تا ۲۳ درصد شده‌اند (شکل ۶).



شکل ۶- مقایسه تغییرات مقادیر آب مصرفی واقعی (ETa) و بهره‌وری آب مصرفی (WP_{ET})- محصولات بهاره و باغات-آذربایجان غربی

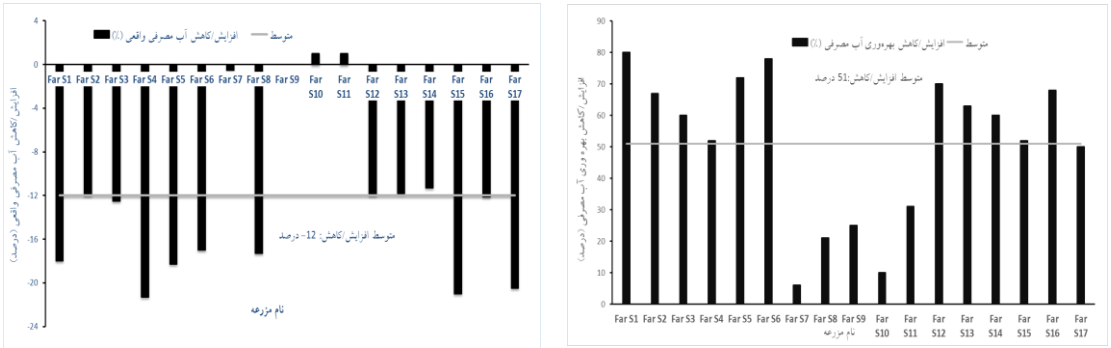
اثر فناوری‌ها بر نمایه‌های مهم آب‌کاربردی و آب مصرفی واقعی برای محصولات بهاره و باغات استان فارس

در استان فارس حوضه دریاچه طشک- بختگان، اعمال فناوری‌های به‌زراعی (برگرفته از جدول ۲) باعث افزایش عملکرد به‌طور متوسط ۲۲/۸۷ درصد، کاهش عمق آب آبیاری با میزان متوسط ۲۴/۳ درصد و افزایش متوسط بهره‌وری آب به‌میزان ۵۹/۷۴ درصد شدند (شکل ۷). فناوری کوچک کردن کرت‌ها در حد سطح سایه‌انداز درخت، استفاده از لوله ۱۶ میلی‌متری برای پر کردن کرت‌ها به‌جای غرقاب کامل باغ همراه با برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس تغییرات رطوبتی خاک، بیشترین کاهش عمق آب آبیاری (۳۶/۵ درصد) و حداکثر بهره‌وری آب (۱۰۰ درصد) را به‌همراه داشت (Far S2). این در حالی است که بیشترین افزایش عملکرد را مزرعه پنبه با احداث سامانه آبیاری قطره‌ای نواری (تیپ) به‌جای روش آبیاری سطحی، به‌میزان ۵۷/۸ درصد مشاهده شد (Far S7). فناوری برنامه‌ریزی آبیاری در سامانه قطره‌ای نواری (تیپ) بدون تغییر روش آبیاری برای مزرعه ذرت هر چند توانست حداقل عملکرد را حفظ کند، اما به‌میزان ۲۶/۵ درصد کاهش عمق آب آبیاری را به‌همراه داشت (Far S8).



شکل ۷- مقایسه مقادیر افزایش عملکرد، کاهش عمق آب آبیاری و بهره‌وری آب کاربردی–محصولات بهاره و باغات –فارس

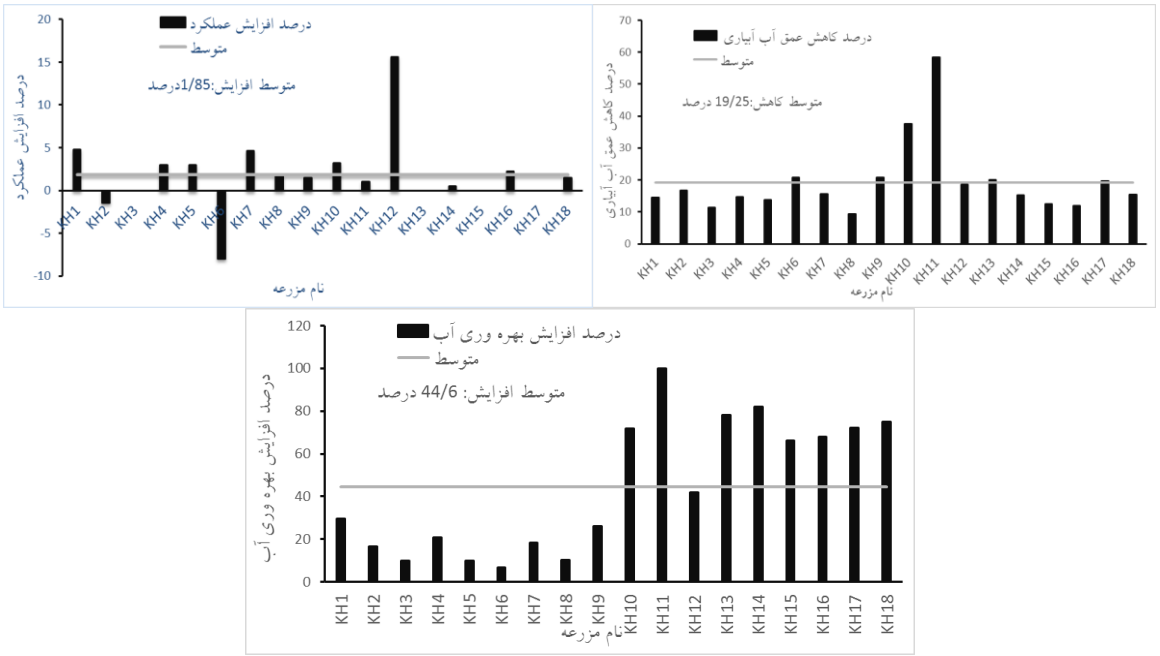
در پایش اثربخشی فناوری‌ها بر ETa و WP_{ET}، نتایج نشان داد که اعمال فناوری‌ها برای همه محصولات و مزارع پایلوت در سطح حوضه طشک-بختگان فارس توانست بر کاهش ETa و ارتقا WP_{ET} به‌ترتیب به‌میزان ۱۲ و ۵۱ درصد مؤثر باشد (شکل ۸). کم کردن عرض نوار آبیاری در باغ سیب (Far S9) و تغییر سامانه آبیاری از سطحی به قطره‌ای در مزرعه ذرت هرچند ناچیز اما میزان ETa را افزایش دادند (Far S10,S11). البته با تغییر سامانه آبیاری در مزرعه پنبه (Far S7) وضعیت نیز چنین بود، ولی مقاوم بودن این محصول در مقابل شوری و اعمال برنامه‌ریزی دقیق آبیاری توانست از افزایش ETa بکاهد. در باغات انار و پسته در کنار کوچک کردن کرت‌ها تا سطح سایه‌انداز درختان و استفاده از سامانه آبیاری میکرو به‌جای غرقاب کامل باغ که همراه با برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس تغییرات رطوبتی خاک و دقیق کردن ساعت آبیاری بود، کاهش آب مصرفی واقعی(ETa) بسیار محسوس بود (Far S1,S5,S6) (Far S2,S3,S12-17) (Far S4). به طوری‌که بیشترین میزان کاهش مصرف آب (ETa) در باغ پسته به‌میزان ۲۱/۳ درصد اتفاق افتاد (مزرعه Far S4). همچنین در بررسی اثربخشی اعمال فناوری‌های به‌زراعی، بیشترین افزایش WP_{ET} ناشی از اعمال فناوری کوچک کردن کرت‌ها تا سطح سایه‌انداز درختان انار و استفاده از سامانه آبیاری میکرو به‌جای غرقاب کامل باغ انار همراه با برنامه‌ریزی آبیاری (مزرعه Far S1) به‌میزان ۸۰ درصد بود.



شکل ۸- مقایسه تغییرات مقادیر آب مصرفی واقعی (ETa) و بهره‌وری آب مصرفی (WP_{ET})– محصولات بهاره و باغات-فارس

اثر فناوری‌ها بر نمایه‌های مهم آب‌کاربردی و آب مصرفی واقعی برای محصولات تابستانه و باغات استان خوزستان

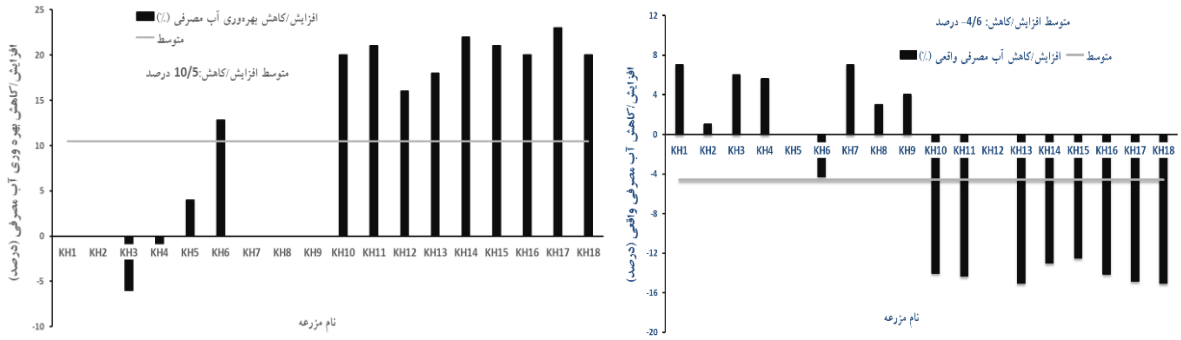
در استان خوزستان، نتایج اثربخشی اعمال فناوری‌های مدیریتی (منطبق بر جدول ۲) در تمامی مزارع و باغات پایش‌شده در سطح حوضه مارون–جراحی اثرگذار بر تالاب شادگان باعث افزایش عملکرد به‌میزان متوسط ۱/۸۵ درصد، کاهش عمق آب آبیاری به‌میزان متوسط ۱۹/۲۵ درصد و افزایش ۴۴/۶ درصدی در بهره‌وری آب کاربردی شدند (شکل ۹). ایجاد طشت آبیاری اطراف سطح سایه‌انداز درختان نخل توانست بهره‌وری آب کاربردی را در بعضی از باغات پایش شده تا ۱۰۰ درصد افزایش و عمق آب آبیاری را تا ۵۸ درصد کاهش دهد (KH11). این در حالی بود که فناوری مذکور عملکرد محصول را نسبت به مدیریت کشاورز (قطعات شاهد) حفظ و یا توانسته تا دو درصد افزایش دهد (KH 11,13,14,15,16,17,18) (شهرستان‌های رامشیر و شادگان مناطق انتهایی حوضه مارون–جراحی). همچنین روش مدیریتی قطع جریان آب در فاصله ۱۵ درصد طول مزرعه نسبت به انتها در مزرعه کنجد توانست حداکثر به‌میزان ۱۵/۶ درصد افزایش عملکرد و ۱۸/۶ درصد کاهش عمق آب آبیاری و ۴۲ درصد افزایش بهره‌وری آب کاربردی را به‌همراه داشته باشد (KH12). با این‌حال این فناوری در بعضی مزارع ذرت نتوانست عملکرد را حفظ کند و کاهشی هشت درصدی را نیز نسبت به مزارع شاهد تجربه کرد (KH6). تنها مزرعه‌ای که روش مدیریتی کاهش جریان آب برای مدیریت بهینه سامانه آبیاری سطحی اجرا شد، مزرعه یونجه بود که اعمال این فناوری افزایش عملکرد به‌میزان سه درصد، کاهش عمق آب آبیاری به‌میزان ۳۸ درصد و افزایش بهره‌وری آب کاربردی به‌میزان ۷۱ درصد را در بر داشت (KH10).



شکل ۹- مقایسه مقادیر افزایش عملکرد، کاهش عمق آب آبیاری و بهره‌وری آب کاربردی–محصولات تابستانه و باغات –خوزستان

در پایش اثربخشی فناوری‌ها بر کاهش ETa و ارتقاء WP_{ET} برای محصولات تابستانه و باغات استان خوزستان، نتایج نشان داد که اعمال فناوری‌ها برای همه محصولات و مزارع پایلوت در سطح حوضه مارون–جراحی توانست به‌طور میانگین ETa را به‌میزان ۴/۶ درصد کاهش و WP_{ET} را ۱۰/۵ درصد ارتقا دهد (شکل ۱۰). هر چند فناوری قطع جریان آب در فاصله ۱۵ درصد انتهایی در سامانه آبیاری سطحی جویچه‌ای برای محصولات زراعی نتوانست در کاهش آب مصرفی واقعی (ETa) مؤثر باشد، اما نمی‌توان به‌طور قطع روی این مهم نظر داد چون این

عامل می‌تواند ناشی از خطاهای مزرعه‌ای بوده که نیاز به پایش‌های بیشتر دارد (KH1,2,3,4,5,7,8,9,12). با این وجود برای محصول یونجه، روش کاهش جریان آب (زمانی که آب به انتهای شیار و یا نوار می‌رسد، دبی ورودی کاهش و یا نصف می‌گردد) در سامانه آبیاری سطحی نواری، توانست ETa محصول را تا ۱۴ درصد کاهش دهد (KH10). همچنین کاهش میزان ETa محصول در باغات نخل نیز محسوس بود، به‌طوری‌که تغییر مدیریت آبیاری از کرت نواری به ایجاد طشت در اطراف سطح سایه‌انداز درخت به‌همراه اجرای مالچ برگ نخل، توانست میزان ETa را تا متوسط ۱۳ درصد کاهش دهد (KH11,13,14,15,16,17,18). همچنین در بررسی اثربخشی اعمال فناوری‌های به‌زراعی، بیشترین افزایش WP_{ET} ناشی از اعمال فناوری، روش مدیریت آبیاری کات بک برای کشت یونجه در سامانه سطحی به‌میزان ۲۰ درصد (KH10) و اعمال فناوری مدیریت آبیاری در سطح سایه‌انداز و استفاده از مالچ در درختان نخل به‌مقدار متوسط ۲۰/۵ درصد بود (KH11,13,14,15,16,17,18).



شکل ۱۰- مقایسه تغییرات مقادیر آب مصرفی واقعی (ETa) و بهره‌وری آب مصرفی (WP_{ET})- محصولات تابستانه و باغات-خوزستان

تغییر سامانه آبیاری، مانند تغییر از روش آبیاری سطحی به تحت‌فشار یا کم‌فشار و یا تغییر از سامانه بارانی به قطره‌ای، به‌علت کاهش تلفات عمقی و رواناب و در کل کاهش عمق آب آبیاری، میزان برداشت را از منابع آب کم می‌کند، اما چون میزان تعرق (مصرف مفید) را افزایش می دهد، درنتیجه میزان تبخیر-تعرق واقعی گیاه یا آب مصرفی واقعی (ETa) افزایش می‌یابد. بنابراین، چنانچه راهکار سامانه‌های نوین آبیاری بدون اقدامات مدیریتی کنترل برداشت اجرا شوند، می‌تواند به افزایش مصارف واقعی آب در سطح حوضه آبریز منتهی شود (سازمان حفاظت از محیط‌زیست کشور، ۱۳۹۸). گلی‌رییسی و همکاران (۱۳۹۸)، در بررسی ارزیابی سیاست‌های کاهش مصرف آب و افزایش بهره‌وری آب کشاورزی برای محصولات گندم و گوجه‌فرنگی در حوضه طشک-بختگان فارس، بیان کردند که راهکار کم‌آبیاری به‌میزان ۵۰ درصد نیاز آبی محصول، منجر به ۱۲ درصد صرفه‌جویی آب شد. همچنین مدیریت کشت گلخانه با ۲۴ درصد کاهش در تبخیر-تعرق واقعی محصول، ظرفیت بالایی بر کاهش مصرف نشان داد. با این‌حال سامانه آبیاری قطره‌ای، باعث افزایش مصرف به‌میزان ۸/۳ درصد در سطح حوضه گردید. هر چند در این سامانه بهره‌وری فیزیکی به‌دلیل افزایش عملکرد ناشی از افزایش تعرق ارتقا داده شد، اما میزان بهره‌وری آب در حوضه آبریز تغییری نکرده است. این پژوهشگران بیان کردند که سامانه آبیاری قطره‌ای نسبت به روش سطحی در حوضه طشک-بختگان، علی‌رغم افزایش راندمان مزرعه را از ۴۲ درصد به ۸۰ درصد، میزان تعرق را از ۴۴۴ میلی‌متر به ۵۱۸ میلی‌متر افزایش داده است. این موارد در تحقیقات جداگانه‌ای توسط لی و همکاران (۲۰۱۶)، وارد و ولاسکوز (۲۰۰۸) نیز بیان شده است. هنگ و همکاران (۲۰۱۴)، با هدف تعیین بهترین فناوری‌ها در صرفه‌جویی واقعی آب،

طی سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۲ میلادی در هفت کشور جهان، نظیر چین و مراکش برای گندم زمستانه کشت‌شده با روش‌های آبیاری مختلف و تحت شرایط اقلیمی متنوع بیان کردند که استفاده از روش کم‌آبیاری و بهبود برنامه آبیاری نسبت به روش آبیاری کامل می‌تواند تلفات تبخیر از سطح خاک را به‌میزان ۳۰۰-۱۰ درصد از کل تلفات آب کاهش دهد. همچنین بر اساس نتایج پایلوت کشور مراکش، سهم تعرق از کل تبخیر-تعرق، برابر ۷۳ درصد بود. سازمان حفاظت از محیط‌زیست کشور (۱۳۹۸)، در ارائه تجربیات طرح احیا دریاچه ارومیه دو فناوری بسیار اثربخش در کاهش آب مصرفی واقعی حوضه، تغییر نوع و روش کشت و اصلاح اراضی و ابعاد کشت را بیان نمود. تغییر شیوه کشت، نقش نسبی در کاهش برداشت‌های آبی در حوضه (حدود ۳ درصد) و همچنین کاهش تبخیر-تعرق غیرمفید در دوران رشد سبزینه‌ای محصولات داشت. این اقدامات هر چند کاهش جریانات برگشتی را موجب می‌گردند، اما کاهش تلفات تبخیری در مراحل اولیه رشد، صرفه‌جویی واقعی آب به‌میزان حدود ۹/۵ میلیون مترمکعب در سال را به دنبال خواهد داشت و به‌عنوان یکی از اقدامات مؤثر در افزایش بهره‌وری آب در حوضه تلقی می‌شود. در این گزارش بیان می‌شود که فناوری اصلاح اراضی و ابعاد کشت، به‌واسطه نقش مهمی که در کاهش زمان و مقدار آبیاری دارند، کاهش حدود ۳۰ درصدی برداشت آبی در سطح حوضه از منابع آب سطحی و زیرزمینی را موجب می‌گردند. همچنین با توجه به نقش نسبی آن‌ها در کاهش تلفات تبخیری مزارع در مراحل ابتدایی رشد، به‌طور پتانسیل می‌تواند نقش نسبتاً مؤثری در افزایش اثر جریان ورودی به دریاچه ارومیه را داشته باشند. این افزایش رقمی حدود ۸ درصد خواهد بود؛ اما در صورت عدم کنترل اثر بازگشتی بخشی از آب ذخیره‌شده، صرف جبران کم‌آبیاری‌های بالاجبار جاری شده و مقدار آن تقلیل می‌یابد. در صورت کنترل اثر بازگشتی می‌توان انتظار داشت که این اقدام حدود ۹۷ میلیون مترمکعب در سال آب به دریاچه برساند و اما در غیر این صورت، تأثیر آن به حدود ۵۸ میلیون مترمکعب در سال خواهد رسید.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، با توجه به اهمیت صرفه‌جویی واقعی آب برای کمک به احیای دریاچه ارومیه، دریاچه طشک- بختگان فارس و تالاب شادگان خوزستان، استقرار کشاورزی پایدار در سطح مزارع کشاورزان برای چهار استان آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی، خوزستان و فارس، با اجرای فناوری‌های به‌زراعی در سال ۱۴۰۱-۱۴۰۰ مورد پایش قرار گرفت. در این طرح، ۲۴ مزرعه با کشت پاییزه، بهاره و باغ از آذربایجان شرقی، ۳۱ مزرعه کشت بهاره و باغ از آذربایجان غربی در حوضه دریاچه ارومیه، ۱۷ مزرعه کشت بهاره و باغ از استان فارس در حوضه دریاچه طشک-بختگان و در حوضه مارون-جراحی خوزستان، ۱۸ مزرعه کشت تابستانه و باغ جهت اجرای فناوری‌های مختلف به‌زراعی انتخاب و پایش شدند. نتایج نشان داد که متوسط کاهش عمق آب آبیاری در اثر اعمال فناوری‌ها برای مزارع و باغات حوضه‌های دریاچه ارومیه، ۳۰/۴۴ درصد، طشک-بختگان، ۲۴/۳ درصد و مارون-جراحی، ۱۹/۲۵ درصد و میزان متوسط افزایش بهره‌وری آب در حوضه‌های مذکور به‌ترتیب ۷۶/۶ درصد، ۶۰ درصد و ۴۴/۶ درصد بودند. همچنین در بررسی میزان صرفه‌جویی واقعی آب ناشی از اعمال تمامی فناوری‌ها، نتایج نشان داد که میزان متوسط کاهش ETa برای حوضه‌های دریاچه ارومیه، ۵/۵ درصد، طشک-بختگان، ۱۲ درصد و مارون-جراحی، ۴/۶ درصد و متوسط ارتقا WP_{ET} در حوضه‌های آبریز فوق، ۲۳/۸ درصد، ۵۱ درصد و ۱۰/۵ درصد بودند. با توجه به نتایج فوق می‌توان درک کرد که هرچند تمامی فناوری‌ها توانسته‌اند در کاهش آب آبیاری، حفظ یا افزایش عملکرد و در نتیجه افزایش بهره‌وری آب کاربردی مؤثر باشند، اما در کاهش میزان ETa و ارتقا WP_{ET}، همه این فناوری‌ها اثربخش نبوده و اتفاقاً تعدادی از آن‌ها باعث افزایش آب مصرفی در مزرعه شدند که در سطح حوضه

اثرگذار بود. نتایج بیان می‌کند، تنها فناوری‌هایی که بر اساس برنامه‌ریزی دقیق آبیاری طبق نمایه‌های خاک و گیاه در کنار اصلاح و مدیریت بهینه سامانه آبیاری موجود بودند، توانسته‌اند بر کاهش ETa و ارتقا WP_{ET} محصولات مؤثر باشند. این فناوری‌ها در حوضه دریاچه ارومیه مانند کشت نشایی محصول گوجه‌فرنگی با روش کاشت دو ردیفه زیگزاکی روی پشته همراه با برنامه‌ریزی آبیاری در سامانه قطره‌ای نواری با کاهش ۲۴ درصدی، اعمال برنامه‌ریزی بر اساس نمایه‌های خاک و گیاه در سامانه آبیاری قطره‌ای برای محصولات گوجه‌فرنگی، پیاز و باغات سیب با کاهش متوسط ۱۹، ۲۳ و ۶/۸۵ درصدی، مدیریت شبانه همراه با برنامه‌ریزی آبیاری در سامانه بارانی با کاهش متوسط ۳/۵ درصدی، فناوری ایجاد شیارهای دوطرفه ردیف درختان با کاهش متوسط ۱۸ درصدی، ایجاد شیارهای یک‌طرفه برای باغات بادام با کاهش متوسط ۵/۴ درصدی، فناوری چالکود، هرس و مدیریت بهینه آبیاری در شیارهای عمیق برای باغ انگور با کاهش ۱۳ درصدی، کشت با دستگاه پنوماتیک و مدیریت آبیاری جوی و پشته در مقایسه با کشت دستی درون کرتی برای محصول کدو با کاهش متوسط هفت درصدی و در نهایت، کشت گندم بر روی پشته‌های عریض و بلند با کاهش متوسط ۰/۶ درصدی در میزان ET_a بودند که اثربخش‌ترین در این حوضه آبریز به‌شمار می‌روند. در حوضه طشک-بختگان، برنامه‌ریزی دقیق آبیاری بر اساس نمایه خاک و گیاه عاملی مؤثر در کاهش آب مصرفی بود. این مهم در باغات انار و پسته در کنار کوچک کردن کرت‌ها تا سطح سایه‌انداز درختان و استفاده از سامانه آبیاری میکرو به‌جای غرقاب کامل باغ تا ۲۱/۳ درصد، ET_a را کاهش داد و اثربخش‌ترین فناوری در این حوضه به‌شمار آمد. در حوضه مارون-جراحی خوزستان، روش کاهش جریان آب در سامانه آبیاری سطحی نواری برای زراعت (به‌میزان ۱۴ درصد) و تغییر مدیریت آبیاری از کرت نواری به ایجاد طشت در اطراف سطح سایه‌انداز درختان نخل به‌همراه اجرای مالچ برگ نخل (به‌میزان متوسط ۱۳ درصد)، توانستند ET_a را کاهش داده و اثربخش‌ترین فناوری‌ها در این حوضه باشند. نتایج این تحقیق نشان داد که کاهش برداشت از منابع آب در سطح یک حوضه زمانی اتفاق می‌افتد که میزان آب مصرفی واقعی با در نظر گرفتن حفظ عملکرد محصول در مزرعه کاهش یابد. این مهم با اجرای فناوری‌های اثربخش حاصل از ترکیب تخصص‌های مختلف کشاورزی با توجه به شناخت منطقه، نوع محصول و عوامل اقلیمی در سطح مزرعه و ترویج آن در سطح دشت و یا حوضه امکان‌پذیر خواهد بود.

تشکر و قدردانی

نویسندگان و محققین این پژوهش در این راستا از همیاری و همکاری سازمان محیط‌زیست کشور، سازمان جهاد کشاورزی استان‌های خوزستان، فارس، آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی و مراکز تحقیقات کشاورزی استان‌های مذکور تشکر و قدردانی را دارد.

تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافعی وجود ندارد و این مسئله مورد تأیید نویسندگان مقاله است.

فهرست منابع

۱. حیدری، نادر، ۱۳۹۷. مسائل و چالش‌های صرفه‌جویی واقعی آب از طریق افزایش بهره‌وری آب و کاربرد سامانه‌های نوین آبیاری (یادداشت فنی)، نشریه آب و توسعه پایدار، ۵(۲)، صص. ۱۷۵-۱۶۹.

https://doi.org/10.22067/jwsd.v5i2.71076

۲. دهقانی‌سانیج، حسین، میر لطیفی، مجید، و طایفه رضایی، حیدر، ۱۳۹۵. شناسایی فناوری‌های مؤثر بر مصرف و بهره‌وری آب کشاورزی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه، گزارش سازمان حفاظت از محیط‌زیست، طرح حفاظت از تالاب‌های ایران، ۱۵۹ صص.

۳. دهقانی سانیج، حسین، میرلطیفی، مجید، و رضاوردی نژاد، وحید، ۱۳۹۸. اثربخشی فناوری‌های برتر به‌زراعی برای کاهش برداشت از منابع آب در حوضه آبریز دریاچه ارومیه، گزارش سازمان حفاظت از محیط‌زیست. طرح حفاظت از تالاب‌های ایران، ۱۷۰صص.

۴. دهقانی سانیج، حسین، میرلطیفی، مجید، رضاوردی نژاد، وحید، و نیکان فر، رامین، ۱۳۹۹الف. بررسی تکنیک های دقیق کشاورزی با رویکرد فعالیت بخش خصوصی برای کاهش آب ورودی به سایت‌های الگویی حوزه آبریز دریاچه ارومیه، گزارش سازمان حفاظت از محیط زیست، طرح حفاظت از تالاب‌های ایران، ۱۶۵صص.

۵. دهقانی سانیج، حسین، ابراهیمی، میلاد، رضاوردی‌نژاد، وحید، و تقی‌زاده قصاب، افروز، ۱۳۹۹ب. اثربخشی تغییر روش آبیاری و آرایش کاشت چغندرقند بر بهره‌وری آب، عملکرد و راندمان کاربرد آب در دشت میاندوآب، تحقیقات آب‌وخاک ایران، ۵۱(۸)، صص. ۲۱۳۶-۲۱۲۵.
https://doi.org/10.22059/ijswr.2020.300764.668575

۶. دهقانی سانیج، حسین، مختاران، علی، تقی‌زاده قصاب، افروز، رضا وردی‌نژاد، وحید، ورجاوند، پیمان، شاهرخ نیا، محمدعلی، نیکانفر، رامین، نورجو، امیر، حبیبی‌اصل، جعفر، به‌آیین، محمدعلی، یارقلی، بهمن، وسلامتی، نادر، ۱۴۰۲. گزارش " ارزیابی اثربخشی فناوری‌های به‌زارعی بر کاهش مصرف آب، ارزیابی اقتصادی و ردپای کربن در اراضی کشاورزی پیرامون تالاب‌های کشور (مطالعه موردی تالاب‌های ارومیه – شادگان و بختگان)"، گزارش سازمان حفاظت از محیط‌زیست، طرح حفاظت از تالاب‌های ایران، ۱۴۰صص.

۷. سازمان حفاظت از محیط‌زیست، طرح حفاظت از تالاب‌های ایران، ۱۳۹۸. گزارش "ارزیابی میزان صرفه‌جویی آب در اقدامات انجام‌شده " در طرح " الگوسازی مشارکت مردم در احیای دریاچه ارومیه و میزان اثربخشی آن‌ها در افزایش جریان ورودی به دریاچه"، جلد ۲، ۱۵۰ صص.

۸. گلی‌رییسی، لیلا، مرید، سعید، و دلاور، مجید، ۱۳۹۸. ارزیابی سیاست‌های کاهش مصرف آب و افزایش بهره‌وری آب کشاورزی در چارچوبی همبسته، نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱۳(۵)، صص. ۱۴۲۵-۱۴۱۰.
https://dorl.net/dor/20.1001.1.20087942.1398.13.5.20.4

9. Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. and Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56, 300PP.
10. Heng, L., Nguyen, L., Gong, D., Mei, X. and Amenzou, N., 2014. Separating soil evaporation and crop transpiration to improve crop water use efficiency. Geophysical Research Abstracts, 16: PP.1934-2014.
11. 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, 19 PP. Also printed in the USCID Newsletter, Issue 71, Apr 94–Jan 95, pp 4–10 with discussion by W. Clyma in the USCID Newsletter, Issue 72, Apr–Oct 95, pp 5–9, along with Keller's response, pp 4 and 22.
12. Li, J., Cui, J., Chen, R., Yang, P., Wu, Y. H., Chai, S. X. and Wangsomboondee, T., 2016. Evapotranspiration and crop coefficient of drip-irrigated winter wheat in China's Xinjiang Province, SCIENCEASIA, 42(5), PP. 303-314.
13. Molden, D., Sakthivadivel, R. and Habib, Z., 2001. Basin level use and productivity of water: examples from South Asia. In: Res, Rept., vol 49, International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka, 29 pp.

14. Perry, C. and Steduto, P., 2017. Does improved irrigation technology save water? A Review of the evidence. Discussion paper on irrigation and sustainable water resources management in the near East and North Africa. Food and agricultuer organization of the United Nations Cairo. ISBN 978-92-5-109774-8, 57pp.
15. Van Opstal, J., Droogers, P., Kaune, A., Steduto, P. and Perry. C., 2021. Guidance on realizing real water savings with crop water productivity interventions. Wageningen, FAO and Future Water. **https://doi.org/10.4060/cb3844en**
16. Ward, F. A. and Pulido-Velazquez, M., 2008. Water conservation in irrigation can increase water use. Proceedings of the National Academy of Sciences, 105(47):18215-20. **doi: 10.1073/pnas.0805554105**