

Influence of irrigation management and agricultural technologies on water use, economic efficiency, and carbon footprints in farms surrounding the Tashk and Bakhtegan wetlands

M.A. Shahrokhnia^{1*}, M.A. Behaeen², H. Dehghanisani³, A. Mokhtaran⁴ and A. Taghizadehghasab⁵

Extended Abstract

Introduction:

Natural lakes and wetlands are vital ecosystems that play a crucial role in maintaining biodiversity and regulating the water cycle. The rising demand for water in agriculture and irrigation has significantly impacted these ecosystems. To address this global challenge, water-saving irrigation technologies have been proposed as one of the key solutions. In the present study, with the assumption that reducing water consumption in farms around wetlands can help restore wetlands, existing technologies were employed to reduce irrigation water consumption on some farms around Tashk and Bakhtegan wetlands in Fars province.

Methods:

To achieve this objective, 17 farms and orchards were selected in the counties of Arsenjan, Estahban, and Abadeh Tashak. The selected orchards included pomegranate, pistachio, and apple, while the chosen farms comprised cotton, forage corn, and grain corn. Appropriate technologies were identified and implemented for each farm and orchard, based on field visits. The technologies applied regarding modifications to the irrigation system, determination of irrigation scheduling, and the enhancement of tree watering basins. Each farm or orchard was divided into two plots: one was managed under the farmer's conventional practices (control), and the other with water-saving technologies (treatment). Over a period of one year, the farms were managed with these technologies were compared with those under traditional management. Factors such as crop yield, volume of irrigation water used, and water productivity were measured and analyzed using paired t-tests. Additionally, the carbon footprint of the selected farms was assessed. An economic analysis was conducted, considering all costs and revenues generated on the farms and orchards. Land preparation for planting cotton and corn in experimental treatments was done using a compound tiller. Cotton was planted with Bakhtegan variety seeds at a rate of 25 kg/ha and corn with 704 variety seeds at a rate of 25 kg/ha with pneumatic row tiller. Cotton weeds were controlled chemically (trifluralin herbicide, 2.5 liters/ha) and mechanically with a hoe cultivator in the sixth and eighth weeks after planting. In the case of corn, weeding was done with Tuford herbicide at a rate of 1.5 liters/ha at the 5-7 leaf stage of corn and using a hoe cultivator 25 days after corn emergence. Cotton was harvested by workers, grain corn by a combine and forage corn with a chopper. A rotary plow (at least with two discs and rollers) was used for the control treatment, Non-delinted cotton seeds (hairy seeds) were sown at a rate of 250 kg/ha with a centrifugal seeder. By modifying the land preparation

1- Associate Professor, Agricultural Engineering Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran.

2- Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran.

3 - Professor, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

4- Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, (AREEO), Ahwaz, Iran.

5 - Ph.D. student, Soil Science Department, Isfahan University of Technology.

*Corresponding Author: m.shahrokhnia@areeo.ac.ir

Received: 2025/05/06

Accepted: 2025/07/03

operations with a compound tiller and sowing with a pneumatic row-cutter, 25 kg/ha less seed was used in addition to reducing the traffic of tractors and agricultural machinery.

Results:

The results indicated that the yield levels in the treated farms increased between 7% and 55%. The the lowest and highest increases observed in forage corn and cotton fields, respectively. Irrigation water decreased by 20% to 31% in apple orchards and grain corn fields, respectively. Consequently, the water productivity improved by 43% to 113% in forage corn and cotton farms. Statistically, the differences in yield, irrigation water, and water productivity between the control and treated farms were significant at the 1% level. The effectiveness of the employed technologies led to a reduction in carbon footprint by 12% to 26%, particularly in pistachio orchards and cotton fields. Economic analyses revealed that under current conditions and without considering the true value of water, the implementation of water-saving technologies increased economic profit by 14% to 70%, specifically for forage corn and pomegranate orchards. However, when accounting for the true value of water, although the percentage of economic profit increased, the actual profit decreased compared to the scenario that did not consider the true value of water. This resulted in negative economic profit for pomegranate orchards under conventional farmer management (control). Thus, while pomegranate orchards may provide significant profits for local farmers, they are not economically viable in terms of water usage. This highlights the importance of considering water economics in agricultural practices.

Conclusion:

Although technologies such as drip irrigation and deficit irrigation improve crop water productivity, a balance must be struck between expanding these systems, increasing the area under cultivation by farmers, and ensuring water availability for natural ecosystems. Limited access to advanced water-saving technologies limits efforts to protect wetlands and lakes. More research is also needed on how to divert excess irrigation water to help adjacent wetlands. Few studies have been conducted to assess the long-term water-saving effects of modern irrigation systems on aquatic ecosystems. Future research on water governance frameworks that address both irrigation efficiency and ecosystem sustainability is critical. Policies that encourage farmers to adopt water-saving technologies while preserving natural wetlands are essential. Water-saving irrigation technologies are a promising approach to balancing agricultural productivity and the conservation of natural lakes and wetlands. However, addressing existing challenges through integrated frameworks, long-term monitoring, and policy reforms can help achieve sustainable water resource management while protecting critical ecosystems.

Keywords: Economic benefit, Reduced tillage, Water productivity, Water requirements

Citation: Shahrokhnia, M.A., Behaeen, M.A., Dehghanisani, H., Mokhtaran, A. and Taghizadehghasab, A., 2025. Influence of irrigation management and agricultural technologies on water use, economic efficiency, and carbon footprints in farms surrounding the Tashk and Bakhtegan wetlands. *Iranian Water Research Journal*. 58(3). pp.29-43. <https://dx.doi.org/10.22034/iwrj.2025.15199.2681>.



تاثیر مدیریت آبیاری و فناوری‌های به‌زراعی بر آب آبیاری، بازده اقتصادی و ردپای کربن در مزارع حاشیه تالاب‌های طشک و بختگان

محمدعلی شاهرخ‌نیا^{*}، محمدعلی به‌آئین^۲، حسین دهقانی سانجی^۳، علی مختاران^۴ و افروز تقی‌زاده قصاب^۵

چکیده

افزایش تقاضای آب برای کشاورزی، بر آب دریاچه‌ها و تالاب‌ها تأثیر می‌گذارد. در پژوهش حاضر با این فرض که کاهش مصرف آب در مزارع اطراف تالاب‌ها به احیای تالاب‌ها کمک می‌کند، از فناوری‌های موجود، برای کاهش مصرف آب آبیاری در تعدادی از مزارع اطراف تالاب طشک و بختگان در استان فارس استفاده شد. بدین منظور ۱۷ مزرعه و باغ در شهرستان‌های ارسنجان، استهبان و آباده طشک انتخاب و فناوری‌های متناسب با هر مزرعه انتخاب و اجرایی شد. باغات انتخابی شامل انار، پسته و سیب و مزارع انتخابی شامل پنبه، ذرت علوفه‌ای و ذرت دانه‌ای بودند. در هر مزرعه یا باغ دو قطعه در نظر گرفته شد. یکی با مدیریت معمول کشاورز (شاهد) و دیگری با اعمال فناوری‌های صرفه‌جویی در آب آبیاری (تیمار). با اعمال فناوری‌ها، مزارع مورد نظر به مدت یکسال مدیریت و با مزارع تحت مدیریت معمول مقایسه شدند. شاخص‌هایی شامل عملکرد میوه، حجم آب آبیاری استفاده شده و بهره‌وری آب اندازه‌گیری و با آزمون t زوجی مقایسه شدند. در مزارع انتخابی، رد پای کربن نیز مورد بررسی قرار گرفت. همچنین با در نظر گرفتن تمام هزینه‌ها و درآمد به‌دست آمده از مزارع و باغات، تجزیه و تحلیل‌های اقتصادی نیز انجام شد. نتایج نشان داد که میزان عملکرد در مزارع تیمار بین ۷ تا ۵۵ درصد افزایش یافت که کمترین و بیشترین افزایش به‌ترتیب در مزارع ذرت علوفه‌ای و پنبه بود. میزان آب آبیاری بین ۲۰ تا ۳۱ درصد به‌ترتیب در باغ سیب و مزرعه ذرت دانه‌ای کاهش یافت. در نتیجه میزان بهره‌وری آب آبیاری از ۴۳ تا ۱۱۳ درصد به‌ترتیب در مزارع ذرت علوفه‌ای و پنبه افزایش یافت. تفاوت بین مزارع شاهد و تیمار از لحاظ عملکرد، میزان آب آبیاری و بهره‌وری آب آبیاری از نظر آماری در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. اثر بخشی فناوری‌های مورد استفاده از ۱۲ تا ۲۶ درصد در کاهش ردپای کربن به‌ترتیب برای باغات پسته و مزارع پنبه مؤثر بود. تجزیه و تحلیل‌های اقتصادی نشان داد که در شرایط فعلی و بدون در نظر گرفتن ارزش واقعی آب، میزان افزایش سود اقتصادی در اثر اعمال فناوری‌های کاهش مصرف آب از ۱۴ درصد در مزارع ذرت تا ۷۰ درصد در باغات انار متغیر است. با در نظر گرفتن ارزش واقعی آب، اگرچه درصد سود اقتصادی افزایش یافت ولی میزان سود واقعی نسبت به حالت در نظر نگرفتن ارزش واقعی آب کاهش یافت. این موضوع نشان می‌دهد که لحاظ نمودن ارزش واقعی آب در تجزیه و تحلیل‌های اقتصادی می‌تواند نتایج به دست آمده و احتمالاً سیاست‌های آینده را تغییر دهد.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری آب، سود اقتصادی، کم‌خاک‌ورزی، نیاز آبی.

ارجاع: شاهرخ‌نیا، م.ع.، به‌آئین، م.ع.، دهقانی سانجی، ح.، مختاران، ع.، تقی‌زاده قصاب، ا.، ۱۴۰۴. تاثیر مدیریت آبیاری و فناوری‌های به‌زراعی بر آب آبیاری، بازده اقتصادی و ردپای کربن در مزارع حاشیه تالاب‌های طشک و بختگان. مجله پژوهش آب ایران، ۵۸(۳)، صص. ۲۹-۴۳.

<https://dx.doi.org/10.22034/iwrj.2025.15199.2681>

۱- دانشیار پژوهشی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران.

۲- 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.

۳- استاد پژوهشی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

۴- 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.

۵- دانشجوی دکتری، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

* نویسنده مسئول: m.shahrokhnia@areeo.ac.ir

مقدمه

اهمیت اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی تالاب‌ها بر کسی پوشیده نیست. پیوندی بسیار پیچیده و ظریف بین بخش کشاورزی و زیست‌بوم تالاب‌ها وجود دارد و هرگونه تغییر در کشاورزی منطقه، بر منابع تالابی و حیات آنها اثرگذار است. از سوی دیگر، هرگونه تغییر در زیست‌بوم تالابی نه تنها بر بخش کشاورزی اثرگذار است، بلکه تمام ابعاد جامعه وابسته به بخش کشاورزی را تحت تاثیر قرار خواهد داد. بر همین اساس به نظر می‌رسد، اثربخش‌ترین فعالیت برای احیاء و حفاظت از تالاب‌ها، کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی است. البته این کاهش بایستی به‌نحو انجام شود که مسائل اقتصادی، اجتماعی و پایداری در تولید را تحت تاثیر قرار ندهد. آسیب به منابع پایه آب و خاک به معنای آسیب به محیط‌زیست بوده و تالاب‌ها یکی از زیست‌بوم‌های متاثر از این آسیب‌ها هستند که نه تنها حیات گونه‌های مختلف جانوری و گیاهی، بلکه اقتصاد منطقه را با چالش روبه‌رو می‌کند. کاهش تلفات مصارف مفید و غیرمفید از طریق توسعه فناوری‌های نرم‌افزاری و سخت‌افزاری از جمله روش‌های اساسی کاهش آب مصرفی در بخش کشاورزی است. به‌دلایل مختلف باید هرگونه فعالیت‌های اجرایی، توسعه و مدیریتی در تالاب‌های کشور با رویکرد احیاء آنها باشد. با توجه به اینکه کشاورزی به‌عنوان یکی از منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای شناخته می‌شود، می‌تواند باعث تشدید تغییرات آب و هوایی شود. تغییر اقلیم یا تغییرات آب و هوایی نیز متقابلاً باعث کاهش بهره‌وری کشاورزی می‌شود. در نتیجه، تغییر الگو و روش کشاورزی اگر در راستای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای باشد، می‌تواند به سمت رسیدن به پایداری محیط زیست و توسعه پایدار تلقی شود و در غیر این‌صورت موجب ناپایداری در محیط زیست و کاهش بهره‌وری کشاورزی خواهد شد. بنابراین اندازه‌گیری میزان دی اکسید کربن تولیدی را می‌توان به عنوان شاخصی برای تولید گازهای گلخانه‌ای در نظر گرفت. اجزای اصلی بکار رفته در چرخه کشاورزی تولید کننده کربن به‌صورت دی اکسید کربن و ترسیب کننده آن به‌صورت کربن زیست توده تولیدی می‌باشند. بنابراین با استفاده از داده‌های عملکرد گیاهان زراعی این مقدار خروجی قابل محاسبه می‌باشد (Dehghanisanij et al., 2020 a).

راندمان آبیاری معمولاً به‌عنوان نسبت آب مصرفی به آب کاربردی یا آب خارج شده از منبع محاسبه شده و جریان برگشتی و استفاده مجدد در آن لحاظ نمی‌شود. استفاده از این مفهوم کلاسیک در حوضه‌های آبی به عنوان یک مجموعه، منجر به تصمیمات نادرست و در نتیجه اتخاذ سیاست‌های نادرست می‌شود. در مفهوم کلاسیک راندمان، اصطلاح صرفه‌جویی واقعی آب در واقع تأکیدی است بر اینکه نتایج حاصل از یک مقیاس میدانی باید به کل حوضه گسترش یابد. به عبارت دیگر، صرفه‌جویی واقعی آب در صورتی به‌وجود می‌آید که مقدار مشخصی آب را برای سایر مصارف آزاد کند (Van Opstal et al., 2021). پری و استودوتو در تحقیقی مشاهده نمودند که بعضی مزارع با میزان یکسان تعرق محصول، عملکرد متفاوتی داشتند. دلیل این 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 (Perry and Steduto, 2017).

به‌کارگیری فناوری‌های مختلف می‌تواند منجر به کاهش مصرف آب و افزایش بهره‌وری شود. از جمله این موارد می‌توان به اصلاح روش‌های آبیاری، روش‌های نوین آبیاری، انواع روش‌های خاک‌ورزی، استفاده از بذور اصلاح شده، کودهای ماکرو و میکرو، خاک پوشه‌ها و... اشاره نمود. تحقیقات زیادی در مورد اثر روش‌های مختلف خاک‌ورزی بر عملکرد پنبه انجام شده است (Usman et al., 2014; Sardar et al., 2015; Nowruzi et al., 2014; Ghaderi-Far et al., 2011).

بررسی‌ها روی کاربرد فناوری‌های مختلف به‌نژادی و به‌زراعی در حوضه دریاچه ارومیه نشان داده است که این امر توانسته در ارتقا مدیریت به‌زراعی و به‌نژادی برای مزارع مناطق مختلف مؤثر باشد. فناوری‌های معرفی شده توانسته تا ۵۰ درصد، آب تحویلی به مزارع را کاهش دهد. عدم اجرای تمامی فناوری‌های پیشنهادی در یک مزرعه می‌تواند منجر به این شود که اثربخشی سایر فناوری‌ها ظاهر نشود. برهمین اساس شناسایی فناوری‌های مختلف و مورد نیاز یک مزرعه و کاربرد هم‌زمان تمامی آن‌ها برای یک فصل زراعی توصیه شده است. آموزش و توجه به مدیریت آبیاری در این مزارع منجر به اثربخشی بیشتر فناوری‌ها و اطمینان

خود و سود رسانی به حیات وحش ادامه دهند (Hatamkhani and Moridi, 2023). مطالعه‌ای نشان داد که اتخاذ استراتژی‌های سازگاری مناسب می‌تواند اثرات تغییر اقلیم را کاهش داده و آب بیشتری برای احیای تالاب جازموریان در حوضه هلیل‌رود فراهم کند. با این حال، انعطاف‌ناپذیری در رفتار کشاورزان، سازگاری بخش کشاورزی را کند می‌کند (Mirzaei and Zibaei, 2021). البته باید توجه داشت مدیریت فعالیت‌های کشاورزی علاوه بر کمیت، از نظر حفظ کیفیت آب تالاب‌ها نیز می‌تواند بسیار حائز اهمیت باشد (Lizotte et al., 2017). بهینه-سازی الگوهای کشت می‌تواند ضمن حفاظت از تالاب‌ها، مصرف آب کشاورزی را به میزان قابل توجهی کاهش دهد. با به حداقل رساندن اثرات زیست محیطی حاصل از آبیاری و به حداکثر رساندن منفعت اقتصادی کشاورزان، استفاده الگوهای کشت پویا که سالانه بر اساس آب موجود تهیه می‌شوند امکان‌پذیر می‌شود (Sedighkia and Datta, 2023). بررسی‌ها در دانه‌وانگ چین نشان داد که تنظیم ساختار صنعتی در حوضه و اجرای مدیریت فشرده منابع آب می‌تواند به طور قابل‌توجهی به ترمیم سطح آب زیرزمینی کمک کند (Yang, 2014). استراتژی‌های کم-آبیاری، مصرف منابع آب را کاهش می‌دهد و به طور غیرمستقیم به تعادل هیدرولوژیکی دریاچه‌ها و تالاب‌ها کمک می‌کند. به عنوان مثال، یک مطالعه موردی در حوضه موری-دارلینگ (استرالیا) نشان داد که کشاورزان با به‌کارگیری فناوری‌های صرفه‌جویی در مصرف آب، نه تنها به احیای این حوضه کمک کردند، بلکه امکان بازگشت جریان آب به تالاب‌های تحت فشار ناشی از بهره‌برداری بیش از حد را نیز فراهم آوردند (Wheeler et al., 2018). در حالی که فناوری‌های صرفه‌جویی در مصرف آب مفید هستند، ممکن است به طور ناخواسته رواناب سطحی را به دریاچه‌ها و تالاب‌ها کاهش دهند. بحث در مورد این پیامدهای ناخواسته نیاز به رویکردهای یکپارچه‌تر را برجسته می‌کند (Foster et al., 2020). دهقانی سانج و همکاران فناوری‌های به‌زراعی و مدیریتی مختلف از جمله سامانه‌های کشاورزی حفاظتی، اصلاح سامانه‌های آبیاری، آبیاری براساس نیاز واقعی گیاه، انتخاب الگوی کشت مناسب، ارقام و پایه‌های زراعی و باغی، تاریخ کاشت، کم آبیاری، مدیریت آبیاری، آبیاری جویچه‌ای یک در میان، کاهش تبخیر، بهینه‌سازی ابعاد نوارها و کرت‌های آبیاری، استفاده از بذرها بوجاری شده و استفاده از ارقام با دوره

از تأمین نیاز واقعی گیاه و افزایش راندمان کاربرد آب در مزرعه می‌شود. با توجه به اینکه زمان آبیاری، مدت زمان آبیاری و مقدار آب ورودی به مزرعه از شاخص‌های مهم در مدیریت آبیاری است، متفاوت بودن این شاخص‌ها در مزارع تیمار و شاهد که ناشی از مسائل فرهنگی و دیدگاه‌های تجربی است، اثربخشی فناوری‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. کاربرد فناوری‌های آماده‌سازی زمین توانست در کاهش مقدار آب ورودی به مزارع مفید باشد (Dehghanisanij et al., 2016).

براساس نتایج دهقانی سانج و همکاران برای مزارع پایش شده حوضه دریاچه ارومیه با اجرای فناوری‌های به‌زراعی، میزان آب مصرفی در عموم مزارع طرح کمتر از مزارع شاهد بود (Dehghanisanij et al., 2019). کاهش مصرف آب کشاورزی می‌تواند به طور قابل توجهی بر دسترسی به آب برای تالاب‌ها و دریاچه‌ها تأثیر بگذارد. با اجرای استراتژی‌های مؤثر حفاظت از آب، می‌توان مصرف آب غیرمفید را به حداقل رساند و منجر به جریان‌های برگشتی قابل بازیافت شد. این جریان‌های برگشتی می‌توانند توسط کشاورزان پایین‌دست استفاده شوند و به حیات تالاب‌ها کمک کنند. یافته‌ها نشان می‌دهد که صرفه‌جویی واقعی در مصرف آب برای مدیریت پایدار آب حیاتی و در نهایت برای اکوسیستم‌هایی مانند تالاب‌ها و دریاچه‌ها مفید است (Kanani et al., 2023). مطالعات انجام شده در حوضه یانچی چین نشان می‌دهد که افزایش استخراج آب‌های زیرزمینی برای کشاورزی تأثیر منفی بر تالاب گذاشته و منجر به کاهش سطح آب دریاچه‌ها شده است (Jiang et al., 2020). اجرای سیاست‌هایی که کاهش ردپای آب در واحد تولید را با کاهش صادرات مواد غذایی ترکیب می‌کند، می‌تواند احیای تالاب را به حداکثر برساند و در عین حال رقابت بین زمین‌های کشاورزی و تالاب‌ها را برای آب کاهش دهد. این رویکرد اهمیت تعدیل شیوه‌های کشاورزی و الگوهای تجاری را برای کاهش تخریب تالاب ناشی از افزایش تقاضای آب کشاورزی برجسته می‌کند (Jiang et al., 2023). ادغام اصول توسعه پایدار و حفاظت از محیط زیست می‌تواند بهره‌برداری از تالاب‌ها برای کشاورزی را کنترل و در نهایت به نفع کشاورزی و حفاظت از تالاب باشد (Li et al., 2023). می‌توان با استفاده از رویکرد بهینه‌سازی شبیه‌سازی، جریان زیست‌محیطی لازم برای حفظ شرایط اکولوژیکی مناسب در تالاب‌ها را ارزیابی و تعیین نمود و اطمینان داد که تالاب‌ها می‌توانند به حیات

انجام گرفت. سپس مشخص شد که با استفاده از چه فناوری‌هایی می‌توان مصرف آب کشاورزی را کاهش داد. این فناوری باید به گونه‌ای طراحی می‌شد که ضمن حفظ سطح تولید محصول، از نظر فنی قابل اجرا و از نظر اقتصادی برای کشاورزان مقرون به صرفه باشد تا پذیرش گسترده‌تری پیدا کند. جدول ۱ مشخصات مزارع و باغات انتخابی و جدول ۲ لیست فناوری‌های انتخاب شده برای هر مزرعه یا باغ را نشان می‌دهد. آماده‌سازی زمین برای کاشت پنبه و ذرت (دانه‌ای و علوفه‌ای) در تیمارهای آزمایشی با استفاده از خاک‌ورز مرکب شرکت ماشین ابزار فارس (۵ پایه با تیغه-های چپزل، شش بشقاب، عرض کار ۲/۴ متر و وزن ۷۶۰ کیلوگرم) انجام شد. کاشت پنبه با بذر رقم بختگان به مقدار ۲۵ کیلوگرم در هکتار و ذرت با بذر رقم سینگل کراس ۷۰۴ و به مقدار ۲۵ کیلوگرم در هکتار با ردیف‌کار پنوماتیک صورت گرفت. کنترل علف‌های هرز پنبه به صورت شیمیایی (علف‌کش تریفلورالین، ۲/۵ لیتر در هکتار) و کنترل مکانیکی با کولتیواتور پنجه‌غازی در هفته‌های ششم و هشتم پس از کاشت انجام شد. عملیات داشت در مورد ذرت نیز با علف‌کش توفوردی به مقدار ۱/۵ لیتر بر هکتار در زمان ۵-۷ برگی ذرت و کاربرد کولتیواتور پنجه‌غازی، ۲۵ روز پس از رویش ذرت انجام شد. برداشت پنبه توسط کارگر و برداشت ذرت دانه‌ای با کمباین و ذرت علوفه‌ای با چابر انجام شد. کشت تیمار شاهد (روش سنتی منطقه) با استفاده از گاوآهن برگردان‌دار و حداقل دو بار دیسک و لولر و کاشت بذر پنبه غیر دلینته (بذر کرک‌دار) به مقدار ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار با بذرپاش سانتریفوژ بود. با اصلاح عملیات تهیه زمین با خاک‌ورز مرکب و کاشت با ردیف‌کار پنوماتیک، علاوه بر کاهش تردد تراکتور و ماشین‌های کشاورزی، مقدار ۲۵ کیلوگرم بذر هکتار کمتری مصرف شد.



شکل ۱- نقشه منطقه مورد مطالعه

رشد کوتاه‌تر، اصلاح رژیم کودی و عملیات تسطیح دقیق را در مقیاس مزرعه به کار بردند. بررسی اثربخشی این فناوری‌ها نشان داد در مزارع پایلوت استان آذربایجان غربی به ترتیب به میزان ۲۴، ۸، ۳۹، ۲۶ و ۷ درصد در کاهش برداشت آب آبیاری، افزایش عملکرد، بهره‌وری آب آبیاری، راندمان کاربرد آب و کارایی مصرف آب اثر بخش هستند. در استان آذربایجان شرقی این اثربخشی به ترتیب ۲۵، ۲۰، ۶۰، ۳۴ و ۲۰ درصد بود (Dehghanisanij et al., 2020).
(a,b). همچنین در مطالعه‌ای نشان دادند که اگرچه تمامی فناوری‌ها می‌تواند بر کاهش مصرف آب، افزایش عملکرد و افزایش بهره‌وری آب در سه حوضه آبریز کشور مؤثر باشد، اما همه این فناوری‌ها بر کاهش میزان تبخیر-تعرق واقعی محصول اثربخش نبوده است. پایش مزارع نشان داد که فناوری‌هایی که بر پایه "برنامه‌ریزی دقیق مبتنی بر نمایه-های خاک و گیاه در کنار اصلاح و مدیریت بهینه سامانه آبیاری موجود" بود، توانست علاوه بر اثربخشی در نمایه‌های کاربردی آب در مزرعه، باعث کاهش تبخیر-تعرق واقعی به میزان متوسط ۱۵/۵ درصد و ارتقای بهره‌وری آب مصرفی به میزان متوسط ۴۰ درصد در هر سه حوضه آبریز شود (Dehghanisanij et al., 2024).

جمع‌بندی بررسی‌های گذشته نشان داده که کاهش آب آبیاری در مزارع حاشیه تالاب‌ها می‌تواند بر افزایش آب تالاب‌ها مؤثر باشد. لذا با این فرض که کاهش مصرف آب در مزارع اطراف تالاب‌ها به احیای آنها کمک می‌کند، هدف از این تحقیق بررسی تاثیر فناوری‌های به‌زراعی و مدیریت آبیاری بر کاهش مصرف آب آبیاری در مزارع حاشیه تالاب‌های طشک و بختگان است. اثربخشی این پژوهش با شاخص‌های میزان آب آبیاری، بهره‌وری آب، تجزیه و تحلیل‌های اقتصادی و در نهایت ردپای کربن بررسی شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، مزارع و باغات حاشیه دریاچه طشک و بختگان در استان فارس است. این تالاب در بین شهرستان‌های ارسنجان بختگان، نی‌ریز، استهبان و خرامه واقع شده و دارای آب شور است (شکل ۱). در این پژوهش در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ و در ۱۷ مزرعه و باغ در مناطق مورد نظر انجام شد. در هر کدام از این مزارع و باغ‌ها، بسته به شرایط موجود فناوری‌هایی به منظور کاهش مصرف آب انتخاب و اعمال شد. نحوه انتخاب فناوری‌ها به این صورت بود که ابتدا از هر کدام از باغ‌ها و مزارع بازدید

جدول ۱- مشخصات مزارع و باغات منتخب برای پژوهش

شماره مزرعه	نام روستا	شهرستان	تیمار/شاهد	مساحت (هکتار)	روش آبیاری	محصول	رقم
۱	شرق آباد	ارسنجان	تیمار	۰/۵	بابلر	انار	رباب
۱	شرق آباد	ارسنجان	شاهد	۰/۵	غرقاب ی	انار	رباب
۲	شرق آباد	ارسنجان	تیمار	۱	نواری	انار	رباب
۲	شرق آباد	ارسنجان	شاهد	۱	کرتی	انار	رباب
۳	شرق آباد	ارسنجان	تیمار	۱	نواری	انار	رباب
۳	شرق آباد	ارسنجان	شاهد	۱	کرتی	انار	رباب
۴	سنگر	ارسنجان	تیمار	۱	بابلر	پسته	اکبری
۴	سنگر	ارسنجان	شاهد	۱	غرقاب ی	پسته	اکبری
۵	سنگر	ارسنجان	تیمار	۰/۱	بابلر	انار	رباب
۵	سنگر	ارسنجان	شاهد	۰/۱	غرقاب ی	انار	رباب
۶	سنگر	ارسنجان	تیمار	۰/۵	بابلر	انار	رباب
۶	سنگر	ارسنجان	شاهد	۰/۵	غرقاب ی	انار	رباب
۷	دامنه	استهبان	تیمار	۰/۴۷	تیپ	پنبه	گلستان
۷	دامنه	استهبان	شاهد	۰/۲۴	جویچ های	پنبه	گلستان
۸	دامنه	استهبان	تیمار	۰/۴۰	تیپ	ذرت	۷۰۴
۸	دامنه	استهبان	شاهد	۱/۲	تیپ	ذرت	۷۰۴
۹	ماهفرخان	استهبان	تیمار	۰/۵	نواری	سیب	زرد
۹	ماهفرخان	استهبان	شاهد	۱/۲	نواری	سیب	زرد
۱۰	ماهفرخان	استهبان	تیمار	۰/۷	تیپ	ذرت	۷۰۴
۱۰	ماهفرخان	استهبان	شاهد	۱	جویچ های	ذرت	۷۰۴
۱۱	ماهفرخان	استهبان	تیمار	۰/۶	تیپ	ذرت	۷۰۴
۱۱	ماهفرخان	استهبان	شاهد	۰/۸	جویچ های	ذرت	۷۰۴
۱۲	جزین	بختگان	تیمار	۰/۰۲۵	کرتی	انار	رباب
۱۲	جزین	بختگان	شاهد	۰/۱	کرتی	انار	رباب
۱۳	جزین	بختگان	تیمار	۰/۰۲	کرتی	انار	رباب
۱۳	جزین	بختگان	شاهد	۰/۱	کرتی	انار	رباب
۱۴	جزین	بختگان	تیمار	۰/۱۵	کرتی	انار	رباب
۱۴	جزین	بختگان	شاهد	۰/۵	کرتی	انار	رباب
۱۵	جزین	بختگان	تیمار	۰/۲	کرتی	پسته	اکبری
۱۵	جزین	بختگان	شاهد	۱	کرتی	پسته	اکبری
۱۶	قاسم آباد	بختگان	تیمار	۰/۰۱	کرتی	انار	رباب
۱۶	قاسم آباد	بختگان	شاهد	۲	کرتی	انار	رباب
۱۷	قاسم آباد	بختگان	تیمار	۰/۱۵	کرتی	پسته	اکبری
۱۷	قاسم آباد	بختگان	شاهد	۱	کرتی	پسته	اکبری

جدول ۲- فناوری‌های اعمال شده مدیریت آبیاری در کنار سایر فناوری‌های به‌زراعی در مزارع تیمار

شماره مزرعه	فناوری اعمال شده
۱، ۵ و ۶	کوچک کردن کرت‌ها در حد سطح سایه‌انداز درخت، آبیاری میکرو در مقایسه با غرقابی، برنامه‌ریزی آبیاری براساس تغییرات رطوبتی خاک
۲، ۳، ۱۲ و ۱۷	کوچک کردن کرت‌ها در حد سطح سایه‌انداز درخت، استفاده از لوله ۱۶ میلی‌متری برای پر کردن کرت‌ها بجای غرقاب کامل باغ، برنامه‌ریزی آبیاری براساس تغییرات رطوبتی خاک
۴	کوچک کردن کرت‌ها در حد سطح سایه‌انداز درخت، آبیاری میکرو در مقایسه با غرقابی، برنامه‌ریزی آبیاری براساس تغییرات رطوبتی خاک
۷	آبیاری قطره‌ای نواری در مقایسه با سطحی، برنامه‌ریزی آبیاری براساس تغییرات رطوبتی خاک
۸	مدیریت زمان آبیاری براساس نمایه خاک و گیاه
۹	کم کردن عرض نوارها در حد سطح سایه‌انداز درخت، برنامه‌ریزی آبیاری براساس تغییرات رطوبتی خاک
۱۰ و ۱۱	آبیاری قطره‌ای نواری در مقایسه با سطحی، برنامه‌ریزی آبیاری براساس تغییرات رطوبتی خاک

در مزارع و باغات انتخابی میزان تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه با استفاده از داده‌های هواشناسی نزدیک‌ترین ایستگاه‌ها با روش پنمن-مانتیت-فائو محاسبه و با استفاده از ضرایب گیاهی اصلاح شده در منطقه، نیاز خالص مورد نیاز گیاه در طول دوره رشد به‌دست آمد (Allen et al., 1998). ضرایب گیاهی اولیه از نشریه فائو ۵۶ استخراج شد. براساس میزان رطوبت نسبی و سرعت باد مناطق، این ضرایب در ماه‌های مختلف رشد اصلاح گردید. با توجه به میزان شوری آب و خاک، نیاز آبشویی براساس نوع سامانه آبیاری محاسبه و سپس مدت زمان آبیاری برای هر قطعه زراعی برآورد شد. عملیات آبیاری در مزارع و باغات انتخابی انجام و حجم آب ورودی به زمین و عملکرد میوه اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری حجم آب آبیاری در مزارع و باغات تحت سامانه آبیاری سطحی از فلوم‌های WSC تیپ ۴ و در مزارع تحت سامانه‌های آبیاری تحت فشار، از کنتور حجمی واسنجی شده استفاده گردید. قبل از انجام آبیاری میزان رطوبت خاک به طریقه وزنی اندازه‌گیری شد. برای تعیین عمق آب مورد نیاز منطقه ریشه از کمبود رطوبت خاک (Soil Moisture Deficit) و رابطه (۱) استفاده شد.

$$SMD = (\theta_{fc} - \theta_i) \times \rho_b \times D_r \quad (1)$$

کشاورزی کم کربن و پایدار در مقیاس منطقه‌ای و ملی باشد. بررسی ردپای کربن در این مطالعه با بهره‌گیری از رویکرد ارزیابی چرخه زندگی بر اساس استانداردهای بین‌المللی ISO 14040 و ISO 14044 انجام شد. این ارزیابی چهار مرحله اصلی را شامل می‌شود: تعریف هدف و دامنه، تدوین سیاهه موجودی چرخه زندگی، ارزیابی اثرات زیست‌محیطی و تفسیر نتایج. در این راستا، هدف اصلی پژوهش حاضر، برآورد و مقایسه ردپای کربن محصولات منتخب شامل سیب، پسته، انار، پنبه و ذرت در مزارع حاشیه تالاب‌های طشک و بختگان، تحت دو سناریوی مدیریتی کشاورزی مرسوم و کشاورزی فناورانه است. این ارزیابی بر اساس یک رویکرد انتسابی صورت گرفته است. برای دستیابی به این هدف، واحد عملکردی به صورت تولید محصول در یک هکتار زمین زراعی تعریف شده و مرز سامانه به صورت از گهواره تا دروازه در نظر گرفته شده است؛ به گونه‌ای که کلیه نهاده‌های ورودی به مزرعه، مصرف انرژی و فعالیت‌های انجام شده را از زمان ورود نهاده‌ها تا برداشت محصول نهایی در نظر می‌گیرد.

به منظور تدوین سیاهه داده‌های مورد استفاده در مرحله سیاهه موجودی، داده‌ها به دو دسته پیش‌زمینه و پس‌زمینه تفکیک شدند. داده‌های پس‌زمینه از طریق بازدید میدانی، مصاحبه با کشاورزان محلی و اندازه‌گیری‌های مستقیم در مزرعه جمع‌آوری شده است که شامل نهاده‌های اصلی مانند کودهای شیمیایی (اوره، سولفات پتاسیم، سوپرفسفات تریپل)، کود حیوانی، آفت‌کش‌ها، برق و سوخت دیزل می‌باشد. اطلاعات مربوط به انتشار گازهای گلخانه‌ای از مصرف مستقیم کودهای شیمیایی و دامی مطابق با دستورالعمل‌های IPCC استخراج شد. در این مطالعه، انتشار کربن دی‌اکسید از کود اوره عمدتاً ناشی از فرآیند هیدرولیز و تجزیه آن در خاک محاسبه شده و معادل حدود ۷۳/۳ کیلوگرم کربن دی‌اکسید به ازای هر ۱۰۰ کیلوگرم اوره مصرفی در نظر گرفته شد. همچنین، انتشار دی‌اکسید نیتروژن مونوکسید مستقیم از اوره و کود دامی بر اساس ضریب انتشار یک درصد از کل نیتروژن مصرفی محاسبه گردید؛ به این معنا که به ازای هر ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن، تقریباً یک کیلوگرم دی‌اکسید نیتروژن مونوکسید تولید می‌شود. داده‌های مربوط به انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از مصرف سوخت دیزل نیز از پایگاه داده اکواینونت نسخه ۳/۳.۸ استخراج شد. برای داده‌های پیش‌زمینه مرتبط با تولید و

در این رابطه، θ_i و θ_{fc} به ترتیب رطوبت خاک قبل از آبیاری و حد ظرفیت زراعی (گرم/گرم)، ρ_b جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌مترمکعب) و D_r عمق توسعه ریشه گیاه (میلی‌متر) می‌باشد. در آبیاری اول مزارع (خاک‌آب) که هنوز ریشه‌ای برای گیاه زراعی وجود ندارد ($D_r = 0$)، آب مصرفی از حاصل ضرب K_{cini} (ضریب گیاهی مربوط به مرحله اولیه رشد) در تبخیر و تعرق پتانسیل به دست آمده از روش فائو پنمن-مانتیت (ET_o) تعیین شد (رابطه ۲).

$$ET_c = K_{cini} \times ET_o \quad (2)$$

در پژوهش حاضر، خاک‌آب براساس توصیه سند ملی آب کشور برابر با ۵۰ میلی‌متر در نظر گرفته شد. بهره‌وری آب آبیاری، نسبت مقدار عملکرد میوه و یا محصول (Y) بر میزان حجم آب آبیاری تعریف می‌شود.

$$WP_I = \frac{Y(kgha^{-1})}{[I](m^3ha^{-1})} \quad (3)$$

که در این رابطه، I مقدار آب آبیاری (مترمکعب بر هکتار) در طول فصل زراعی و WP_I ، بهره‌وری آب آبیاری (کیلوگرم بر مترمکعب) است.

در این پژوهش در هر ۱۷ مزرعه و باغ انتخاب شده، مقادیر عملکرد میوه، عمق آب آبیاری و بهره‌وری آب آبیاری به دست آمد و با استفاده از آزمون t زوجی، معنی‌داری تفاوت این عوامل بین مزارع تیمار و شاهد بررسی شد. هر مزرعه به عنوان یک تکرار در نظر گرفته شد. برای انجام آزمون t زوجی، باید شرایط زیر وجود داشته باشد: ۱- توزیع داده‌ها باید نرمال باشد (با استفاده از آزمون کولموگروف اسمیرنوف). ۲- داده‌ها باید در مقیاس فاصله‌ای یا نسبی باشند. ۳- دو داده باید از یک جامعه باشد. ۴- حجم نمونه باید کافی باشد تا نتایج آزمون قابل اعتماد باشند. به طور کلی، حجم نمونه بزرگتر منجر به نتایج دقیق‌تر می‌شود.

این پژوهش همچنین بر برآورد دقیق ردپای کربن به منظور ارزیابی تأثیر به کارگیری فناوری‌های نوین زراعی و آبیاری بر میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در فرآیند تولید محصولات کشاورزی با استفاده از روش ارزیابی چرخه زندگی متمرکز است. تمرکز اصلی مطالعه بر سنجش و مقایسه عملکرد کربنی سیستم‌های تولید در شرایط بهره‌گیری از روش‌های نوین در مقابل شیوه‌های سنتی رایج در منطقه است. نتایج این ارزیابی می‌تواند در شناسایی نقاط بحرانی انتشار کربن در زنجیره تولید و ارائه راهکارهای بهینه‌سازی برای کاهش اثرات اقلیمی کشاورزی نقشی کلیدی ایفا کند و زمینه‌ساز توسعه سیاست‌ها و راهبردهای

نتایج و بحث

اجزای بهره‌وری آب

جدول ۳ تا ۵ مقادیر عملکرد محصول، عمق آب آبیاری و بهره‌وری آب آبیاری را در مزارع شاهد و تیمار برای محصولات مختلف نشان می‌دهند. بر اساس جدول ۳، در اثر اجرای فناوری‌های مختلف زراعی و مدیریت آبیاری، میزان عملکرد در همه مزارع و باغات مورد بررسی، افزایش یافت که این افزایش از ۷ درصد برای ذرت علوفه‌ای تا ۵۵ درصد در پنبه متغیر بود. یکی از دلایل افزایش عملکرد در ذرت و پنبه با کاربرد روش کم خاک‌ورزی (خاک‌ورزی حفاظتی)، حفظ بقایای گیاهی در سطح خاک است که نتیجه آن حفظ رطوبت و عدم تشکیل سله در سطح خاک است (Afzalnia, 2021). نتایج تحقیقات استفاده از روش کم خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم در پنبه نشان داد که با انجام کم خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم، عملکرد محصول کاهش نیافت (Ghaderi-Far et al., 2011). با توجه به استفاده از خاک‌ورز مرکب (روش کم-خاک‌ورزی) در تهیه زمین برای ذرت علوفه‌ای، دانه‌ای و نیز پنبه، مقدار مخلوط شدن بقایای گیاهی با خاک بیشتر از روش بی‌خاک‌ورزی است؛ بنابراین اثر دمای کم خاک برای جوانه‌زدن بذره‌ای ذرت و پنبه در مناطق کاشت این دو محصول، کاهش یافته و یکی از دلایل افزایش عملکرد، تحقق این امر است. تحقیقات انجام شده قبلی نیز این نتیجه را در ارتباط با استفاده از روش خاک‌ورزی و شرایط آب و هوایی و دمای خاک، تایید می‌کنند (Afzalnia, 2021). در باغات انار متوسط افزایش عملکرد ۲۵ درصد بود. جدول ۴ نشان می‌دهد که میزان کاهش آب آبیاری از ۲۰ درصد برای درختان سیب تا ۳۱ درصد در مزرعه ذرت دانه‌ای متفاوت بود. مقادیر آب آبیاری در مزارع ذرت با نتایج به‌دست آمده از تحقیقات قبلی همخوانی دارد (Shahrokhnia and Zare, 2022). میزان عملکرد و آب مصرفی باغات انار در این تحقیق با نتایج به‌دست آمده از شاهرخ نیا و همکاران همخوانی دارد (Shahrokhnia et al., 2021 a, 2022). بنابراین بر اساس جدول ۵، میزان بهره‌وری آب آبیاری از ۴۳ تا ۱۱۳ درصد به‌ترتیب برای ذرت علوفه‌ای تا پنبه متغیر بود. عملکرد و بهره‌وری آب باغ سیب در این تحقیق با نتایج گزارش شده توسط شاهرخ نیا و همکاران همخوانی دارد (Shahrokhnia et al., 2021). b) بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در اثر اعمال فناوری‌های مختلف زراعی و مدیریت آبیاری، اولاً میزان افزایش

توزیع نهاده‌های ورودی نیز از همین پایگاه داده استفاده گردید.

به منظور ارزیابی ردپای کربن در این مطالعه، از شاخص پتانسیل گرمایش جهانی در بازه ۱۰۰ ساله (IPCC GWP100) استفاده شد که به عنوان استاندارد بین‌المللی برای سنجش تأثیرات گازهای گلخانه‌ای بر تغییرات اقلیمی شناخته می‌شود. این شاخص، اثر گازهای مختلف مانند کربن دی‌اکسید، متان و نیتروژن مونوکسید را بر اساس میزان گرمایش ایجاد شده طی یک دوره ۱۰۰ ساله به یک مقدار معادل کربن دی‌اکسید تبدیل می‌کند. برای انجام این تحلیل، نرم‌افزار تخصصی سیمپرو نسخه ۹ به کار گرفته شده است که امکان محاسبه دقیق ردپای کربن از طریق مدل‌سازی چرخه زندگی محصولات و فرآیندها را فراهم می‌کند. این نرم‌افزار با استفاده از پایگاه داده‌های جامع و استانداردهای بین‌المللی، امکان تحلیل کامل و مقایسه سناریوهای مختلف مدیریت کشاورزی را در قالب یک چارچوب علمی و قابل اطمینان فراهم آورد. در نتیجه، استفاده از IPCC GWP100 در سیمپرو به برآورد جامع و قابل مقایسه اثرات گازهای گلخانه‌ای ناشی از فعالیت‌های کشاورزی کمک کرد و نقش فناوری‌های نوین در کاهش ردپای کربن محصولات را به صورت دقیق‌تر نشان داد. برای بررسی تفاوت‌ها در ردپای کربن نیز از آزمون t زوجی استفاده شد.

به منظور بررسی این موضوع که آیا به‌کارگیری فناوری‌ها از نظر اقتصادی به‌صرفه خواهد بود یا نه، تحلیل اقتصادی سود و هزینه انجام شد. بدین منظور کل هزینه‌های کاشت، داشت، برداشت، آبیاری، به‌کارگیری فناوری‌ها و غیره در مزارع و باغات مورد نظر برآورد شد. مقدار درآمد ناخالص نیز از حاصلضرب قیمت فروش محصول در میزان عملکرد در مزارع تیمار و شاهد به دست آمد. شاخص تفاضل منفعت و هزینه که بیانگر میزان سود خالص می‌باشد نیز محاسبه و مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به اینکه کشاورزان عملاً هزینه‌ای را به‌عنوان ارزش واقعی آب پرداخت نمی‌کنند و این موضوع اهمیت ویژه‌ای در مباحث اقتصاد آب و اقتصاد کشاورزی در سطح کلان کشور دارد، تجزیه و تحلیل‌های اقتصادی در دو حالت بدون در نظر گرفتن ارزش آب و با در نظر گرفتن ارزش آب انجام شد. ارزش ریالی آب در منطقه، با توجه به تحقیقات قبلی به دست آمد (Shahrokhnia and Rahimi, 2017).

جدول ۶ نتایج تجزیه و تحلیل‌های آماری اجزای بهره‌وری آب را در مزارع شاهد و تیمار با استفاده از آزمون t زوجی نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که تفاوت‌های بین مزارع تیمار و شاهد در هر سه عامل عملکرد، عمق آب آبیاری و بهره‌وری آب آبیاری در سطح ۱ درصد و حتی کمتر معنی‌دار بود. میزان متوسط کاهش عمق آب آبیاری ۲۷۹ میلی-متر، متوسط افزایش عملکرد ۳۳۸۶ کیلوگرم در هکتار و متوسط افزایش بهره‌وری آب آبیاری یک کیلوگرم بر مترمکعب بود.

جدول ۶- نتایج تجزیه و تحلیل‌های آماری اجزای بهره‌وری آب بر اساس آزمون t زوجی

پارامتر	میانگین تفاوت (تیمار-شاهد)	t بحرانی	t محاسبه شده	سطح معنی‌داری	ضریب همبستگی
I	-۲۷۹	۲/۱۲	۹/۱۷	۰/۰۰۰	۰/۸۰
Y	۳۳۸۶	۲/۱۲	-۵/۴۵	۰/۰۰۰	۰/۹۹
WP	۱/۰۰	۲/۱۲	-۴/۳۸	۰/۰۰۰	۰/۹۹

ردپای کربن

نتایج حاصل از محاسبات ردپای کربن در محصولات مختلف در شکل ۲ نشان داده شده است. بر این اساس در مزارع تیمار که در آن فناوری‌های کشاورزی پایدار به کار گرفته شده، دارای ردپای کربن کمتری نسبت به مزارع شاهد (کشاورزی مرسوم) هستند. نتایج به دست آمده از آزمون t نیز نشان داد که تفاوت‌ها بین مزارع تیمار و شاهد در سطح ۱ درصد معنی‌دار هستند. در بین مزارع تیمار پسته با مقدار کربن ۶۸۸۹ ($\text{Kg CO}_2 \text{ eq/ha}$) بیشترین و ذرت با مقدار کربن ۲۹۱۵ ($\text{Kg CO}_2 \text{ eq/ha}$) کمترین میزان ردپای کربن را داشتند. همچنین در بین مزارع شاهد نیز پسته و ذرت به ترتیب بیشترین و کمترین میزان ردپای کربن را نشان دادند. شکل ۳ اثر مربوط به اصلاح فعالیت‌های زراعی در راستای کاهش میزان تولید گازهای گلخانه‌ای را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۳ مشاهده می‌شود که فناوری‌های بکار رفته در مزارع تیمار در محصول پنبه با ۲۶/۲ درصد و در محصول پسته با ۱۲/۴ درصد کاهش ردپای کربن نسبت به مزارع شاهد به ترتیب بیشترین و کمترین اثر بخشی را در کاهش میزان تولید گازهای گلخانه‌ای داشتند. نتایج به دست آمده در این موضوع با نتایج پژوهش‌های قبلی همخوانی دارد (Mohammadi and Yousefi, 2020).

عملکرد و بهره‌وری آب و کاهش آب آبیاری در مزارع و باغات انتخابی قابل توجه بوده و ثانیاً بیشترین تاثیر در مزرعه پنبه و کمترین تاثیر در مزرعه ذرت علوفه‌ای مشاهده شده است. حال بایستی بررسی نمود که آیا تفاوت بین اجزای بهره‌وری در مزارع شاهد و تیمار از لحاظ آماری معنی‌دار می‌باشد یا خیر.

جدول ۳- میانگین عملکرد میوه محصولات مختلف در مزارع شاهد و تیمار

محصول	عملکرد شاهد (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد تیمار (کیلوگرم در هکتار)	میزان افزایش عملکرد (درصد)
انار	۱۸۸۱۱	۲۳۴۴۴	۲۵
پسته	۱۰۱۷	۱۱۸۳	۱۶
ذرت علوفه‌ای	۵۵۰۰	۵۹۰۰	۷
ذرت دانه‌ای	۶۹۰۰	۷۸۵۰	۱۴
پنبه	۲۶۰۰	۴۰۲۰	۵۵
سیب	۲۰۰۰	۲۵۰۰	۲۵

جدول ۴- میانگین عمق آب آبیاری محصولات مختلف در مزارع شاهد و تیمار

محصول	عمق آب آبیاری شاهد (میلی‌متر)	عمق آب آبیاری تیمار (میلی‌متر)	میزان کاهش عمق آب آبیاری (درصد)
انار	۱۲۱۴	۹۱۷	۲۵
پسته	۱۰۵۷	۷۸۳	۲۶
ذرت علوفه‌ای	۷۶۱	۵۷۴	۲۵
ذرت دانه‌ای	۱۰۸۳	۷۵۲	۳۱
پنبه	۱۲۲۹	۸۹۲	۲۷
سیب	۱۰۱۳	۸۰۶	۲۰

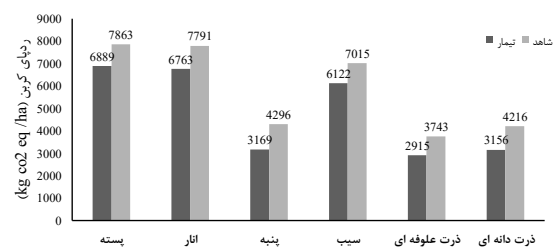
جدول ۵- میانگین بهره‌وری آب آبیاری محصولات مختلف در مزارع شاهد و تیمار

محصول	بهره‌وری آب آبیاری تیمار (کیلوگرم بر مترمکعب)	بهره‌وری آب آبیاری شاهد (کیلوگرم بر مترمکعب)	درصد افزایش بهره‌وری آب (درصد)
انار	۱/۵۸	۲/۵۶	۶۲
پسته	۰/۱۰	۰/۱۵	۵۶
ذرت علوفه‌ای	۷/۳۷	۱۰/۵۳	۴۳
ذرت دانه‌ای	۰/۶۴	۱/۰۴	۶۴
پنبه	۰/۲۱	۰/۴۵	۱۱۳
سیب	۱/۹۷	۳/۱۰	۵۷

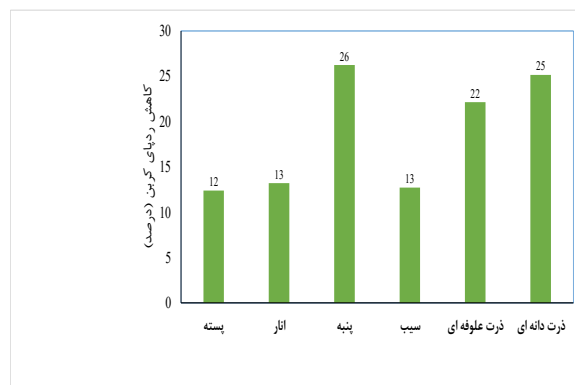
جدول ۷- میانگین سود خالص محصولات مختلف در مزارع

شاهد و تیمار بدون لحاظ ارزش آب				
محصول	سود خالص	سود تیمار	میزان	درصد
خالص	شاهد	(میلیون ریال در هکتار)	افزایش سود	افزایش سود
(میلیون ریال در هکتار)	ریال در هکتار	به شاهد	تیمار نسبت	تیمار نسبت به شاهد
انار	۳۰۸	۵۰۶	۱۹۸	۷۰
پسته	۱۹۱۶	۲۲۲۹	۳۱۳	۱۶
ذرت علوفه‌ای	۳۴۶	۳۷۰	۲۴	۱۴
ذرت دانه‌ای	۵۲۹	۶۰۷	۷۸	۱۵
پنبه	۶۱۱	۹۵۵	۳۴۳	۵۶
سیب	۴۲۷	۶۶۲	۲۳۵	۵۵

Shahrokhnia and Rahimi, 2017 ارزش آب را در منطقه در سال ۱۳۹۳ معادل ۶۰۰۰ ریال در نظر گرفته‌اند. با اعمال مقادیر گزارش شده تورم سالانه کشور از بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران، ارزش آب در سال ۱۴۰۰ معادل ۳۷۰۰۰ ریال به دست می‌آید که با قیمت خرید و فروش آب در منطقه همخوانی داشته و می‌تواند ملاک عمل برای سال انجام تحقیق قرار گیرد. لازم به توضیح است که کشاورزانی که زمین و آب متعلق به خودشان است یا به عبارت دیگر پولی بابت خرید آب نمی‌پردازند، مبلغ محاسبه شده بعنوان ارزش آب را نمی‌پردازند، لیکن مبلغی که بعنوان ارزش آب در نظر گرفته می‌شود اثر خود را در اقتصاد آب کشور خواهد گذاشت. چون زمانی که ارزشی بالاتر از قیمت برای آب در نظر گرفته می‌شود بدین معنی است که از آن آب می‌توان به گونه‌ای استفاده کرد که اقتصادی‌تر باشد. جدول ۸ مقادیر سود خالص محصولات مختلف در سال انجام تحقیق با در نظر گرفتن ارزش آب را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه آب یکی از نهاده‌های تولید می‌باشد، با لحاظ نمودن ارزش آب، هزینه‌های تولید افزایش یافته و در نتیجه سود خالص به دست آمده در مزارع تیمار و شاهد کاهش می‌یابد. البته چون مصرف آب در مزارع شاهد بیشتر از شاهد بوده است، میزان هزینه در مزارع شاهد و در نتیجه سود در مزارع تیمار بیشتر خواهد بود. ملاحظه می‌گردد که در باغات شاهد انار، سود خالص منفی شده است (۱۴۱ میلیون ریال)؛ یعنی در این باغات با در نظر گرفتن ارزش آب، تولید انار نه تنها اقتصادی نیست، بلکه حتی با زیان همراه است. در این شرایط بیشترین تفاوت بین سود مزارع تیمار و شاهد مربوط به محصول پنبه (۴۶۸ میلیون ریال) و پس از آن پسته (۴۱۴ میلیون ریال) بوده است. ذرت علوفه‌ای دارای کمترین میزان تفاوت سود بین مزرعه تیمار و شاهد بوده است (۹۳ میلیون ریال). مقایسه مقادیر افزایش سود



شکل ۲- نتایج محاسبه ردپای کربن محصولات مختلف در مزارع مورد بررسی



شکل ۳- میزان اثربخشی فناوری‌های کشاورزی پایدار در کاهش ردپای کربن محصولات مختلف در مزارع مورد بررسی

تحلیل اقتصادی

با توجه به اینکه کشاورزی یک فعالیت اقتصادی می‌باشد، کاهش مصرف آب در مزارع به تنهایی کافی نبوده و میزان سود خالص به دست آمده از این فعالیت نیز بسیار مهم می‌باشد که باید در نظر گرفته شود. بدین منظور در جداول ۷ و ۸ میزان سود خالص در مزرعه شاهد و تیمار برای محصولات مختلف به‌ازای مقادیر مختلف ارزش آب آورده شده است. جدول ۷ مربوط به شرایط حاکم بر تحقیق است که قیمت یا ارزش اقتصادی آب ناچیز در نظر گرفته شده است. نتایج نشان می‌دهد که با این شرایط، در مزارع شاهد و تیمار، به طور متوسط بیشترین سود اقتصادی مربوط به محصول پسته (۲۰۷۳ میلیون ریال در هکتار) و کمترین مربوط به ذرت علوفه‌ای (۳۵۸ میلیون ریال در هکتار) بود. با اعمال فن‌آوری‌های کاهش مصرف آب و سایر عملیات کشاورزی، میزان سود به دست آمده در تمام مزارع تیمار بیشتر از مزارع شاهد بوده و از ۱۴ تا ۷۰ درصد متغیر بود. بیشترین و کمترین افزایش سود به ترتیب در مزرعه پنبه (۳۴۳ میلیون ریال در هکتار) و ذرت علوفه‌ای (۲۴ میلیون ریال در هکتار) مشاهده شد. بیشترین و کمترین درصد افزایش سود نیز به‌ترتیب متعلق به انار (۷۰ درصد) و ذرت علوفه‌ای (۱۴ درصد) بود.

است کشاورز سطح زیر کشت را افزایش داده که در این صورت آبی صرفه‌جویی نشده و کمکی به حفظ یا احیای تالاب نمی‌شود؛ بنابراین بایستی با سهمیه‌بندی و تحویل حجمی آب از برداشت بیش از اندازه آب جلوگیری نمود. معمولاً کشاورزانی تمایل بیشتری به کاهش مصرف آب نشان می‌دهند که برای آبیاری مزرعه خود آب کافی در اختیار ندارند. کوچک کردن کرت‌ها در آبیاری سطحی اگرچه باعث کاهش قابل توجه مصرف آب آبیاری می‌شود، اما نیاز به هزینه کارگری قابل توجهی برای اصلاح کرت‌ها دارد. استفاده از فناوری‌هایی نظیر خاکورزی حفاظتی علاوه بر نیاز به ماشین‌آلات کشاورزی مناسب، نیاز به آموزش و تحقیقات نیز دارد.

نکته دیگر اینکه اگرچه استفاده از سامانه‌های نوین آبیاری، برنامه‌ریزی آبیاری و تحویل حجمی آب باعث کاهش برداشت آب و کاهش تبخیر از خاک می‌شود، ممکن است باعث کاهش رواناب سطحی که به سمت تالاب می‌رود نیز بشود. بنابراین لازم است قبل از توصیه و به‌کارگیری فناوری‌ها، بررسی‌هایی در خصوص میزان تبخیر، سهم رواناب از کل تلفات آب، امکان انتقال رواناب به تالاب و هزینه‌های مرتبط با انتقال رواناب به تالاب انجام شود. در پژوهش حاضر، قبل از اجرای فناوری‌ها روانابی از انتهای مزارع بسمت تالاب وجود نداشت؛ لذا اجرای این فناوری‌ها عمدتاً باعث کاهش برداشت آب از منابع آب زیرزمینی شد که البته چون مزارع در حاشیه تالاب بودند و سطح آب زیرزمینی تالاب و مزارع با هم ارتباط دارند این کاهش برداشت، اثر مثبت روی تالاب خواهد داشت.

نتیجه‌گیری

دریاچه‌ها و تالاب‌های طبیعی، اکوسیستم‌های ضروری برای حفظ تنوع زیستی، تنظیم چرخه آب و ارائه خدمات اکوسیستمی مانند تصفیه آب و کنترل سیل هستند. با این حال، افزایش تقاضای آب برای کشاورزی و آبیاری به طور قابل توجهی بر این اکوسیستم‌ها تأثیر گذاشته است. برای مقابله با این چالش در دنیا، فناوری‌های صرفه‌جویی در مصرف آب آبیاری به عنوان یک راه حل کلیدی پیشنهاد شده‌اند. نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد که فناوری‌های موجود از جمله سامانه‌های آبیاری قطره‌ای، برنامه‌ریزی دقیق آبیاری، اصلاح حوضچه‌های زیر درختان و سایر عملیات کشاورزی می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر کاهش آب آبیاری، افزایش عملکرد محصول، افزایش بهره‌وری آب و افزایش سود اقتصادی در مزارع و باغات اطراف تالاب‌های طشک و بختگان داشته باشد. بررسی این که با صرفه‌جویی در مصرف آب چقدر بر میزان آب تالاب افزوده می‌شود، نیاز

تیمار نسبت به شاهد با و بدون لحاظ ارزش آب (جدول ۷ و ۸) نشان می‌دهد که برای همه محصولات مورد بررسی، میزان افزایش سود افزایش یافته است (مثلاً عدد ۴۱۴ در مقایسه با ۳۱۳ برای پسته). این افزایش به این دلیل است که با افزایش ارزش یا قیمت آب، سود خالص در هر دو مزرعه شاهد و تیمار کاهش می‌یابد ولی کاهش سود در مزارع شاهد بیشتر است، چون آب بیشتری مصرف کرده‌اند. بیشترین و کمترین درصد افزایش سود به ترتیب متعلق به سیب (۵۹۷ درصد) و پسته (۲۷ درصد) بوده است. البته شاخص درصد افزایش سود تیمار نسبت به شاهد برای کشاورزان از اهمیت ناچیزی برخوردار است، چون برای آنها میزان افزایش سود خالص یا کاهش هزینه ارزش دارد. نتایج بدست آمده در این موضوع با نتایج پژوهش‌های قبلی همخوانی دارد (Shahrokhnia and Zare, 2022).

جدول ۸- میانگین سود خالص محصولات مختلف در مزارع شاهد و تیمار با لحاظ ارزش آب ۳۷۰۰۰ ریال (سال ۱۴۰۰)

محصول	سود خالص	سود تیمار (میلیون ریال در هکتار)	میزان افزایش سود تیمار نسبت به شاهد (میلیون ریال در هکتار)	درصد افزایش سود
انار	-۱۴۱	۱۶۷	۳۰۹	۳۳۳
پسته	۱۵۲۶	۱۹۳۹	۴۱۴	۲۷
ذرت علوفه‌ای	۶۵	۱۵۸	۹۳	۴۴
ذرت دانه‌ای	۱۲۹	۳۲۹	۲۰۰	۱۵۶
پنبه	۱۵۶	۶۲۵	۴۶۸	۲۹۹
سیب	۵۲	۳۶۴	۳۱۲	۵۹۷

محدودیت‌ها و چالش‌های اجرای فناوری‌ها

هر کدام از فناوری‌های مورد استفاده برای کاهش مصرف آب دارای محدودیت‌ها و چالش‌هایی است. بطور کلی کشاورزانی که محدودیت آب ندارند، تمایل چندانی به صرفه‌جویی مصرف آب نشان نمی‌دهند، چون نگران کاهش تولید محصول در اثر کاهش مصرف آب می‌باشند. علاوه بر این، صرفه‌جویی در مصرف آب مستلزم صرف هزینه، زمان و آموزش کشاورزان می‌باشد. استفاده از سامانه‌های نوین آبیاری مانند آبیاری قطره‌ای در مقایسه با سامانه‌های آبیاری سطحی سنتی دارای هزینه اولیه نسبتاً زیادی می‌باشد. ضمن اینکه این سامانه‌ها نیاز به آموزش، سرویس و نگهداری دارند. علاوه بر این اگر استفاده از سامانه‌های نوین آبیاری همراه با برنامه‌ریزی آبیاری نباشد، ممکن است کاهش مصرف آب انجام نشود. یکی از چالش‌های استفاده از این سامانه‌ها این است که اگر کاهش مصرف آب نیز صورت بگیرد، ممکن

تقدیر و تشکر

نویسندگان این مقاله از همکاری مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان جهاد کشاورزی استان فارس، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی و سازمان حفاظت محیط زیست در اجرای این پژوهش قدردانی می‌نمایند.

تضاد منافع نویسندگان

در این مقاله هیچ‌گونه تضاد منافی وجود ندارد و این مسئله مورد تایید همه نویسندگان است.

دسترسی به داده‌ها

داده‌های استفاده شده در این پژوهش از طریق مکاتبه با نویسنده مسئول در اختیار قرار خواهد گرفت.

مشارکت نویسندگان

نحوه و میزان مشارکت نویسندگان در انجام این پژوهش به صورت زیر است:
نویسنده اول: جمع‌آوری و تحلیل داده‌های آبیاری، اقتصادی و نگارش مقاله
نویسنده دوم: جمع‌آوری و تحلیل داده‌های زراعی و نگارش مقاله
نویسنده سوم و چهارم: همکاری در انجام تحلیل داده‌ها و نگارش مقاله
نویسنده پنجم: همکاری در انجام تحلیل داده‌های مربوط به ردپای کربن و نگارش مقاله

اصول اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر عملی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تایید همه آنها می‌باشد.

منابع

- 1-Afzalnia, S., 2021. Conservation Tillage. Agricultural Engineering Research Institute. 287 p. [In Persian]
- 2-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, 300p.
- 3-Dehghanisani, H., Mokhtaran, A., Nikanfar, R., Nourjou, A., Shahrokhnia, M.A., Varjavand, P., Salamati, N., Yargholi, B., Behaen, M.A. and

به پژوهش‌های بیشتر و اعمال کاهش مصرف آب در همه یا بیشتر مزارع اطراف تالاب دارد و با بررسی تعداد محدودی مزرعه در این پژوهش نمی‌توان به آن پاسخ داد. از لحاظ افزایش عملکرد، کاهش آب آبیاری، افزایش بهره‌وری آب و افزایش سود اقتصادی به ترتیب مزارع پنبه، ذرت دانه‌ای، پنبه و پنبه از بهترین وضعیت برخوردار بوده‌اند. بررسی‌های اقتصادی نشان داد که در نظر گرفتن ارزش واقعی آب به جای قیمت ناچیز فعلی در تجزیه و تحلیل‌های اقتصادی می‌تواند در نتایج به دست آمده و در نتیجه در تصمیم‌گیری‌ها بسیار تاثیرگذار باشد؛ به گونه‌ای که تولید بعضی از محصولات پرطرفدار در منطقه مانند انار، از نظر اقتصادی برای کشور به صرفه نبوده، اگرچه برای کشاورزان که قیمت واقعی آب را نمی‌پردازند به صرفه خواهد بود. البته با توجه به افزایش تورم، قیمت محصول، قیمت نهاده‌ها و ارزش آب افزایش یافته و ممکن است نتایج دچار تغییر گردد. بنابراین لازم است بررسی‌های اقتصادی در سال‌های آتی نیز انجام شوند.

اگرچه فناوری‌هایی مانند آبیاری قطره‌ای و کم‌آبیاری بهره‌وری آب را بهبود می‌بخشند، اما بایستی بین توسعه این سامانه‌ها، افزایش سطوح زیر کشت توسط کشاورزان و در دسترس بودن آب برای اکوسیستم‌های طبیعی تعادل برقرار گردد. دسترسی محدود به فناوری پیشرفته صرفه‌جویی در مصرف آب، تلاش برای حفاظت از تالاب‌ها و دریاچه‌ها را محدود می‌کند. همچنین بایستی مطالعات بیشتری در مورد چگونگی هدایت آب اضافی آبیاری به منظور کمک به تالاب‌های مجاور انجام شود. تاکنون بررسی‌های اندکی با هدف ارزیابی اثرات سامانه‌های آبیاری نوین بر صرفه‌جویی در مصرف آب، برای کمک به اکوسیستم‌های آبی در دوره‌های طولانی مدت انجام شده است. تحقیقات آینده در مورد چارچوب‌های حاکمیت آب که هم بهره‌وری آبیاری و هم پایداری اکوسیستم را در بر می‌گیرد، حیاتی خواهد بود. باید سیاست‌هایی اتخاذ شود که کشاورزان را تشویق می‌کند تا فناوری‌های صرفه‌جویی در مصرف آب را در عین حفظ تالاب‌های طبیعی به کار ببرند. فناوری‌های صرفه‌جویی در آب آبیاری رویکردی امیدوارکننده برای متعادل کردن بهره‌وری کشاورزی و حفظ دریاچه‌ها و تالاب‌های طبیعی هستند. اما پرداختن به چالش‌های موجود از طریق چارچوب‌های یکپارچه، نظارت بلندمدت، و اصلاح سیاست‌ها، می‌تواند به دستیابی به مدیریت پایدار منابع آب و در عین حال حفاظت از اکوسیستم‌های حیاتی کمک کند.

- Yanqi Basin. *Water*, 12(11), 3225. <https://doi.org/10.3390/w12113225>
- 13-Kanani E., Nazari, B. and Dehghanisani, H., 2023. A new framework for evaluating water use reduction strategies using an integrated, holistic, and transparent approach (Urmia Lake basin case study). *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140193>
- 14-Li, J., Liu, W. and Zhang, J., 2023. Agricultural wetland utilization based on land cover restoration and water-ecosystem nexus. *Water Supply*. <https://doi.org/10.2166/ws.2023.215>
- 15-Lizotte, R.E., Yasarer, L.M.W., Locke, M.A., Bingner, R.L. and Knight, S.S., 2017. Lake Nutrient Responses to Integrated Conservation Practices in an Agricultural Watershed. *Journal of Environmental Quality*, 46(2), pp. 330–338. <https://doi.org/10.2134/jeq2016.08.0324>
- 16-Mirzaei, A. and Zibaei, M., 2021. Water Conflict Management between Agriculture and Wetland under Climate Change: Application of Economic-Hydrological-Behavioral Modelling. *Water Resources Management*, 35(1), pp. 1–21. <https://doi.org/10.1007/s11269-020-02703-4>
- 17-Mohammadi, A. and Yousefi, H., 2020. Potential evaluation of bioenergy production from maize crop based on water footprint approach. *Ecohydrology*, 7(1), pp. 121–129. [In Persian] <https://doi.org/10.22059/ije.2020.293955.1251>
- 18-Nowruozi, M., Shamsabadi, H. and Nowrouzieh, Sh., 2014. Effect of conservational tillage and plant density on two cottons cultivars yield. *Iranian Journal of Cotton Researches*, 1(2), pp. 105–122. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/ijcr.2014.100662>
- 19-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, 57p.
- 20-Sardar, M., Behdani, M.A., Eslami, S.V. and Mahmoodi, S., 2015. The effect of different soil disturbance methods and weeds control on cotton (*Gossypium Hirsutum*) yield after wheat. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 12(4), pp. 784–792. [In Persian] <https://doi.org/10.22067/gsc.v12i4.25495>
- 21-Sedighkia, M. and Datta, B., 2023. Improving Environmental Water Supply in Wetlands through Optimal Cropping Patterns. *Agriculture*, 13(10), 1942. <https://doi.org/10.3390/agriculture13101942>
- Shahrokhnia, M.A. and Zare, E., 2022. Technical and economic study of irrigation scheduling devices on corn water productivity in a semi-arid region. *Italian Journal of Agrometeorology*, (1), pp. 13–22. <http://dx.doi.org/10.36253/ijam-1513>
- 23-Shahrokhnia, M.A., Bonyanpur, A. and Mohammadi, D., 2021 a. Influence of Different Habibi, J., 2024. Determining the Most Effective Agricultural Technologies in Actual Water Saving in Three Watersheds. *Journal of Water Research in Agriculture*, 38(2), pp. 117–138. [In Persian] <https://doi.org/10.22092/jwra.2024.365223.1034>
- 4-Dehghanisani, H., Mirlatifi, M. and Tayefe-Rezaei, H., 2016. Identifying technologies affect agricultural water consumption and productivity in the Urmia Lake basin, Environmental Protection Organization report, Iranian Wetlands Protection Plan, 159 p. [in Persian]
- 5-Dehghanisani, H., Mirlatifi, M. and Rezaverdinejad, V., 2019. Effectiveness of superior agricultural technologies to reduce water resource extraction in the Urmia Lake basin, Environmental Protection Organization report, Iranian Wetlands Protection Plan, 170 p. [in Persian]
- 6-Dehghanisani, H., Mirlatifi, M., Rezaverdinejad, V. and Nikanfar, R., 2020 a. Study of precision agriculture techniques with a private sector activity approach to reduce water inflow to model sites in the Urmia Lake watershed, Environmental Protection Organization report, Iranian Wetlands Protection Plan, 165 p. [In Persian]
- 7-Dehghanisani, H., Mirlatifi, M., Rezaverdinejad, V. and Taghizadehghasab, A., 2020 b. Impact of Changing Irrigation Method and Planting Spacing on Water Productivity, Yield and Application Efficiency of Sugar Beet in Miandoab Plain. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(8), pp. 2125–2136. [In Persian] <https://doi.org/10.22059/ijswr.2020.300764.668575>
- 8-Foster, T., Brozović, N. and Butler, A.P., 2020. Realizing the economic and environmental benefits of water-saving irrigation technologies. *Agricultural Water Management*, 233, 106081.
- 9-Ghaderi-Far, F., Ghajari, A., Sadegh-Nejad, H. and Gharanjiki, A., 2011. Effect of tillage systems on yield of cotton following canola in Gorgan. *Iranian Journal of Field Crop Research*, 9(3), pp. 416–421. [In Persian]
- 10-Hatamkhani, A. and Moridi, A., 2023. A Simulation Optimization Approach for Wetland Conservation and Management in an Agricultural Basin. *Sustainability*, 15(18), 13926. <https://doi.org/10.3390/su151813926>
- 11-Jiang, L., Wang, H., Wang, S. and Zhang, W., 2023. Process analysis and mitigation strategies for wetland degradation caused by increasing agricultural water demand: an ecology-economy nexus perspective. *Ecological Processes*, 12, 40. <https://doi.org/10.1186/s13717-023-00452-x>
- 12-Jiang, M., Xie, S. and Wang, S., 2020. Water Use Conflict and Coordination between Agricultural and Wetlands, A Case Study of

- Irrigation Management on Rabab-Neyriz Pomegranate Cultivar in Kazerun City of Fars Province. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 14(6), pp. 2175-2187. [In Persian] <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20087942.2021.14.6.5.6>
- 24-Shahrokhnia, M.A., Abbasi, F., Naseri, A., Haghayeghi-Moghaddam, A., Goodarzi, M., Farzamnia, M., Parvizi, H., Moosavi-Fazl, H. and Ghasemi, M.M., 2022. Investigation of Irrigation Water and Water Productivity of Pomegranate Orchards in Iran. *Water Management in Agriculture*, 9(1), pp. 57-72. [In Persian] <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.24764531.1401.9.1.5.6>
- 25-Shahrokhnia, M.A., Nasser, A. and Abbasi, F., 2021 b. Determining the Amount of Applied Water and Water Productivity in Apple Orchards in Fars Province. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 15(4), pp. 931-940. [In Persian] <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20087942.2021.15.4.16.6>
- 25-Shahrokhnia, M.A., and Rahimi, H., 2017. Economic analysis of deficit irrigation for transplanted tomato cultivars. *Journal of Water Research in Agriculture*, 30(4), pp. 483-495. [In Persian] <https://doi.org/10.22092/jwra.2017.109011>
- 26-Usman, K., Khan, M., Khan, M.U., Saleem, F.Y. and Rashid, A., 2014. Impact of tillage and nitrogen on cotton yield and quality in a wheat-cotton system, Pakistan. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 60(4), pp. 519-530. <http://dx.doi.org/10.1080/03650340.2013.812201>
- 27-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>.
- 28-Wheeler, S.A., Smith, D.M. and Morrison, M., 2018. Water-saving agriculture and its impact on the environment in the Murray-Darling Basin. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 62(3), pp. 491-509.
- 29-Yang, J., 2014. Evolution trend of and protection measures for Dunhuang west lake wetland. *Journal of Lanzhou University (Natural Sciences)*, 50(5), pp. 716-721.