University of Tehran Press

Journal of Water and Irrigation Management **Online ISSN: 2382-9931**

Homepage: https://jwim.ut.ac.ir/

Water Use Efficiency in Onion Production and Assessment of Improvement Strategies

Hassan Ojaghlou[1]✉ | Farhad Ojaghlou[2] | Mohammad Ghorbanian[3] | Farhad Misaghi[4] | Bijan Nazari[5] | Esmaeil Karami Dehkordi[6]

1. Corresponding Author, Water Science and Engineering Department, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran. E-mail: ojaghlou@znu.ac.ir
2. National Planning Expert, Management and Planning Organization, Zanjan, Iran. E-mail: ojaghlou@gmail.com
3. Water Science and Engineering Department, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran. E-mail: m.ghorbanian@znu.ac.ir
4. Water Science and Engineering Department, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran. E-mail: farhad_misaghi@znu.ac.ir
5. Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. E-mail: b.nazari@eng.ikiu.ac.ir
6. Agricultural Extension and Rural Development, Agricultural Extension and Education Department, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. E-mail: e.karami@znu.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 08 June 2022
Received in revised form:
26 June 2022
Accepted: 22 September 2022
Published online:
25 December 2022

Keywords:
Controlled,
Irrigation Program,
Water Use Efficiency,
Zanjanroud.

ABSTRACT

The present study was conducted to survey water use efficiency in onion production and field evaluation of its improvement strategies. In the first phase, 12 onion farms located in Zanjan plain were selected and studied. The factors related to productivity such as inflow discharge, water consumption, irrigation program, soil nutrition, crop yield, production costs and revenue were determined and then the physical and economic indicators of water productivity were calculated. In the second phase, irrigation management was implemented as a practical solution to improve water use efficiency in the control treatments and compared with the results from actual conditions. Based on the results of field monitoring, the average volume of water consumption in onion farms was obtained about 19626 m^3/ha and the average water productivity indices CPD, BPD, and NBPD were calculated 3.14 kg/m^3, 68 and 40 thousand Rials/m^3, respectively. On average, implementation of proper irrigation program led to a reduction of 58 percent of water consumption and, consequently, an increase of 147 percent of the water use efficiency index in experimental farms. Using the wrong pattern in irrigation programming and lack of control and supervision over the exploitation of water resources were identified as the main reasons for excessive water consumption in onion farms. The results showed that only by correcting the irrigation time, the volume of water consumption can be reduced significantly and the water use efficiency can be improved.

Cite this article: Ojaghlou, H., Ojaghlou, F., Ghorbanian, M., Misaghi, F., Nazari, B., & Karami Dehkordi, E. (2022). Water Use Efficiency in Onion Production and Assessment of Improvement Strategies. *Journal of Water and Irrigation Management*, 12 (4), 799-820. DOI: http://doi.org/10.22059/jwim.2022.344149.998

© The Author(s).
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: http://doi.org/10.22059/jwim.2022.344149.998

انتشارات دانشگاه تهران

مدیریت آب و آبیاری
Homepage: https://jwim.ut.ac.ir/

شاپا الکترونیکی: ۲۳۸۲-۹۹۳۱

بهره‌وری مصرف آب در محصول پیاز و ارزیابی راه‌کارهای بهبود آن

حسن اوجاقلو[۱]✉ | فرهاد اوجاقلو[۲] | محمد قربانیان[۳] | فرهاد میثاقی[۴] |بیژن نظری[۵] | اسماعیل کرمی دهکردی[۶]

۱. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. رایانامه: ojaghlou@znu.ac.ir
۲. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی، زنجان، ایران. رایانامه: ojaghlou@gmail.com
۳. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. رایانامه: m.ghorbanian@znu.ac.ir
۴. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. رایانامه: farhad_misaghi@znu.ac.ir
۵. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران. رایانامه: b.nazari@eng.ikiu.ac.ir
۶. ترویج کشاورزی و توسعه روستایی، گروه ترویج و آموزش کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: e.karami@znu.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۱۸
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۴/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۳۱
تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۱۰/۰۴

کلیدواژه‌ها:
برنامه آبیاری،
زنجانرود،
کارایی مصرف آب،
کنترل‌شده.

چکیده

پژوهش حاضر با هدف پایش بهره‌وری مصرف آب محصول پیاز و ارزیابی میدانی راه‌کارهای ارتقای آن انجام شد. در مرحله اول پژوهش، تعداد ۱۲ مزرعه پیاز واقع در شهرستان زنجان انتخاب و موردمطالعه قرار گرفت. عوامل مرتبط با بهره‌وری نظیر دبی ورودی به مزارع، حجم آب مصرفی، برنامه آبیاری، مدیریت تغذیه، عملکرد محصول، هزینه‌های تولید و درآمد حاصل از فروش محصول تعیین و شاخص‌های فیزیکی و اقتصادی بهره‌وری مصرف آب محاسبه شد. در مرحله دوم، مدیریت آبیاری به‌عنوان راه‌کار اجرایی به‌منظور بهبود بهره‌وری مصرف آب در شرایط واقعی مزرعه در قالب قطعات کنترل‌شده اجرا و با وضع موجود مقایسه شد. براساس نتایج حاصل از پایش‌های میدانی، میانگین حجم آب مصرفی در مزارع پیاز در حدود ۱۹۶۲۶ مترمکعب در هکتار و میانگین شاخص‌های بهره‌وری مصرف آب CPD، BPD و NBPD به‌ترتیب برابر ۳/۱۴ کیلوگرم بر مترمکعب، ۶۸ و ۴۰ هزار ریال بر مترمکعب برآورد شد. به‌طور میانگین اعمال برنامه صحیح آبیاری در قطعات کنترل‌شده منجر به کاهش ۵۸ درصدی حجم آب مصرفی و در نتیجه آن افزایش ۱۴۷ درصدی شاخص بهره‌وری فیزیکی شد. تثبیت الگوی اشتباه مدیریت آبیاری و عدم کنترل و نظارت بر بهره‌برداری از منابع آب دلایل اصلی مصرف بی‌رویه آب در مزارع پیاز شناخته شد. نتایج مرحله دوم اجرای پژوهش نشان داد، تنها با اصلاح مدت زمان آبیاری می‌توان حجم آب مصرفی را به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش و بهره‌وری مصرف آب را بهبود بخشید.

استناد: اوجاقلو، ح.، اوجاقلو، ف.، قربانیان، م.، میثاقی، ف.، نظری، ب. و کرمی دهکردی، ا (۱۴۰۱). بهره‌وری مصرف آب در محصول پیاز و ارزیابی راه‌کارهای بهبود آن. *نشریه مدیریت آب و آبیاری*، ۱۲ (۴)، ۷۹۹-۸۲۰. OI: http://doi.org/10.22059/jwim.2022.344149.998

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
© نویسندگان.

۱. مقدمه

کاهش منابع آب در دسترس برای کشاورزی در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک از یک‌سو و رشد جمعیت مصرف‌کننده از سوی دیگر چالش جدی فقدان امنیت غذایی نسل‌های آینده را پیش روی جوامع بشری نهاده است. رشد جمعیت ایران طی دهه‌های گذشته متناسب با رشد سایر بخش‌های تولیدی و رفاهی کشور نبوده است و همین عامل سبب شده که محدودیت‌ها و تنگناهایی در سایر بخش‌ها به‌ویژه منابع آب و تأمین غذا به‌وجود آید، به‌طوری‌که سرانه آب تجدیدپذیر کشور نسبت به سال ۱۳۰۰ شمسی به حدود یک هفتم کاهش یافته است (Nazari *et al*., 2016). با توجه به قرارگیری مناطق عمده‌ای از کشور ایران در اقلیم خشک و نیمه‌خشک، پدیده کم آبی از دیرباز در این مناطق وجود داشته و در سال‌های اخیر با تشدید کاهش منابع آب، بخش کشاورزی بیش از پیش تحت تأثیر قرار گرفته است (Afshar *et al*., 2020; Zibayi, 2007). لذا در شرایط کنونی استفاده صحیح و با بهره‌وری بالا از منابع آب عملاً از یک انتخاب فراتر رفته و به یک ضرورت تبدیل شده است (Qi *et al*., 2021; Solat *et al*., 2021). مفهوم بهبود بهره‌وری مصرف آب، استفاده مؤثر از آب در دسترس و تولید حداکثر محصول با درنظرگرفتن محدودیت منابع آبی موجود در منطقه است. به‌عبارت دیگر، افزایش بهره‌وری مصرف آب مستلزم بیشینه‌نمودن محصول تولیدشده و در نتیجه سود حاصل از آن در ازای مصرف بهینه آب می‌باشد (Heydari, 2014; Kjine *et al*., 2003; Molden *et al*., 2001; Scheierling *et al*., 2016; Singh *et al*., 2006; Vazifedoust *et al*., 2008a; Zwart and Bastiaanssen, 2004). متأسفانه کشور ایران از لحاظ بهره‌وری مصرف آب در بخش کشاورزی در شرایط مناسبی قرار ندارد. با این‌حال، طی سال‌های منتهی به سال زراعی ۱۳۹۴ رشد نسبی در شاخص‌های بهره‌وری مصرف آب در کشور مشاهده شده است (حدود ۰/۴۵ کیلوگرم افزایش به‌ازای هر مترمکعب آب مصرفی). هم‌چنین در افق پیش رو تا سال ۱۴۰۴ بهره‌وری فیزیکی برابر با ۱/۶ کیلوگرم به‌ازای هر مترمکعب آب مصرفی به‌عنوان هدف اصلی پیش‌بینی شده است (Abbasi *et al*., 2017). دست‌یابی به هدف پیش‌بینی‌شده مستلزم جمع‌آوری داده‌های میدانی دقیق و کافی در جهت دست‌یابی به شناخت کامل و قطعی از وضع موجود و سپس ارائه راه‌کارهای عملی و با قابلیت اجرایی به‌منظور ارتقای بهره‌وری مصرف آب کشاورزی در سطوح مختلف می‌باشد. این موضوع موردتوجه پژوهش‌گران زیادی در داخل و خارج از کشور بوده است (Bossio *et al*., 2010; Drechsel *et al*., 2022; Fan *et al*., 2014; Gholami *et al*., 2009; Javan and Falsoleiman, 2008; Kang *et al*., 2017; Karimi and Jolaini, 2017; Karimi *et al*., 2022; Kaviani *et al*., 2011; Keshavarz and Dehghanisanij, 2012; Liu *et al*., 2008; Nahvinia *et al*., 2010; Ojaghlou *et al*., 2020; Sepahvand *et al*., 2009; Vazifedoust *et al*., 2008b; Verdinejad *et al*., 2009). در سال‌های اخیر عواملی هم‌چون توسعه کشاورزی، برداشت‌های بی‌رویه از منابع آبی، پایین‌بودن راندمان آبیاری و در نتیجه آن بهره‌وری پایین مصرف آب، الگوی کشت نامتناسب با شرایط اقلیمی، تخصیص نامتوازن منابع آبی حوضه‌ها به‌دلیل رقابت‌های سیاسی و اجتماعی و تغییر اقلیم، موجب تشدید بحران کم آبی در بسیاری از نقاط ایران از جمله استان زنجان شده است (Mohammadi *et al*., 2021). استان زنجان ۳۱/۲ درصد از مساحت حوضه سفیدرود بزرگ را تشکیل داده است و براساس آخرین آمار وزارت نیرو با برداشت حدود ۵۹۶/۹ میلیون مترمکعب از منابع آب زیرزمینی در مقایسه با حجم آب قابل برنامه‌ریزی معادل با ۲۸۱/۶ میلیون مترمکعب دارای بیلان منفی می‌باشد (Iran Water Resources Management Company, 2017). یکی از سرشاخه‌های اصلی رودخانه قزل‌اوزن در حوضه سفیدرود، رودخانه زنجانرود می‌باشد. در سال‌های اخیر توسعه گسترده مزارع پیاز در اراضی حاشیه رودخانه زنجانرود موجب کاهش قابل‌ملاحظه جریان آب سطحی و زیرسطحی این رودخانه شده است، به‌طوری‌که شاهد خشک‌شدن کامل جریان

سطحی این رودخانه حتی در اوایل فصل بهار نیز هستیم. علاوه بر کاهش کمی و کیفی آب رودخانه، پیامدهای منفی زیست‌محیطی ناشی از آن مانند تجمع زباله‌ها، فرسایش خاک، ازبین‌رفتن اکوسیستم‌های گیاهی و جانوری و ... قابل مشاهده می‌باشد. با توجه به این‌که مزارع پیاز به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مصرف‌کننده‌های آب رودخانه زنجانرود در محدوده شهر زنجان تا ۸۰ کیلومتر پایین‌دست آن (محل تخلیه زنجانرود به رودخانه قزل‌اوزن در منطقه سرچم) می‌باشد، لذا ضروری است وضعیت شاخص‌ها و راه‌کارهای ارتقای بهره‌وری در این مزارع موردمطالعه و بررسی قرار گیرد.

کشور ایران دارای ۵۲/۸ هزار هکتار اراضی تحت کشت پیاز است (معادل ۰/۹۶ درصد از مزارع پیاز جهان) که سالیانه ۲/۰۶ میلیون تُن پیاز از این اراضی تولید می‌شود و از لحاظ تولید این محصول در جایگاه هفتم جهان قرار دارد (FAOSTAT, 2020). پیاز یکی از محصولات شاخص تولیدی در استان زنجان با سطح زیر کشت حدود ۳۲۰۰ هکتار (معادل حدود ۴/۷ درصد کل مزارع پیاز ایران) می‌باشد و حدود ۱۸۰ هزار تن انواع پیاز (معادل ۵/۴ درصد از کل پیاز تولیدی کشور) از مزارع مذکور برداشت می‌شود و از این حیث استان زنجان در رتبه هفتم کشور قرار گرفته است (Iran Ministry of Agriculture-Jahad, 2021). مطالعات مختلفی با هدف ارائه راه‌کار برای ارتقای عملکرد تولید و بهره‌وری مصرف آب محصول پیاز توسط پژوهش‌گران داخلی و خارجی صورت گرفته است. پژوهش‌های پیشین به‌طور عمده در مزارع آزمایشی و در کرت‌های کنترل‌شده انجام شده است (Abera *et al*., 2020; Aminpour & Mousavi, 2006; Baghani, 2012; Haile *et al*., 2019; Igbadun *et al*., 2012; Izadkhah *et al*., 2009; Izadkhah *et al*., 2010; Karandish *et al*., 2015; Khankahdani *et al*., 2013; Kifle *et al*., 2008; Mosavand and Ghafari, 2015; Rastegar and Baghani, 2012; Sabbaghi *et al*., 2011; Sabbagh Tazeh *et al*., 2019; Semida *et al*., 2020; Shahnavazi, 2017; Temesgen *et al*., 2018; Wakchaure *et al*., 2018; Wakchaure *et al*., 2021).

Daneshi *et al*. (2005) طی مطالعه‌ای در ایستگاه تحقیقات کشاورزی خیرآباد واقع در استان زنجان به بررسی تغییرات عملکرد، خواص کمی و کیفی و بهره‌وری مصرف آب محصول پیاز تحت روش‌های کشت نشایی و کشت مستقیم بذری پرداختند. نتایج نشان داد در شرایط یکسان، کشت نشایی در قیاس با کشت مستقیم بذری سبب افزایش ۱۱ درصدی عملکرد محصول پیاز (از ۳۷/۳ به ۴۱/۴ تن در هکتار) می‌شود. براساس نتایج این پژوهش، روش کشت نشایی سبب افزایش ۴۲ درصدی بهره‌وری نسبت به روش کشت مستقیم بذری شده است. Piri (2018) آزمایش‌های مزرعه‌ای در قالب کرت‌های خردشده با هدف بررسی اثر تیمارهای روش آبیاری، سطح آبیاری و سطح کود نیتروژن بر شاخص‌های عملکرد و بهره‌وری مصرف آب محصول پیاز، طی دو سال در شهرستان زهک استان سیستان و بلوچستان انجام داد. تیمارهای تحت آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و آبیاری سطحی با عملکرد ۲/۳۳ و ۵/۱۹ و تیمارهای دارای سطح مصرف ۲۵ و ۱۰۰ درصدی کود نیتروژن با عملکرد ۲/۶۷ و ۴/۷۵ کیلوگرم بر مترمکعب در هکتار، به‌ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین نرخ بهره‌وری مصرف آب را به خود اختصاص دادند. با کاهش ۲۵ درصدی تأمین عمق آب موردنیاز، اثر معناداری بر عملکرد و بهره‌وری محصول گزارش نشد. Karimi and Jolaini (2017) شاخص‌های بهره‌وری مصرف آب ۱۰ محصول مهم زراعی دشت مشهد از جمله پیاز را موردبررسی قرار دادند. نتایج نشان داد، محصول پیاز با ثبت مقدار شاخص بهره‌وری فیزیکی آب (CPD) ۳/۷۳ کیلوگرم بر مترمکعب در هکتار رتبه اول از لحاظ بهره‌وری اقتصادی را در میان ۱۰ محصول موردمطالعه داراست. هم‌چنین از لحاظ شاخص های بهره‌وری اقتصادی محصول پیاز با مقادیر شاخص‌های بهره‌وری اقتصادی BPD و NBPD به‌ترتیب ۱۲۳۱۳ و ۸۶۷۶ ریال بر مترمکعب، پس از سیب‌زمینی حائز رتبه دوم گزارش شد. Taheri *et al*. (2015) پژوهشی را در ایستگاه تحقیقات کشاورزی خیرآباد زنجان با هدف بررسی

اثر تیمارهای مختلف رژیم آبیاری و روش کاشت بر عملکرد، ویژگی‌های مرفولوژیکی و بهره‌وری مصرف آب محصول پیاز (رقم محلی قولی‌قصه) انجام دادند. نتایج این مطالعه نشان داد، تیمار E_2B_1 که ترکیبی از کشت نشایی و آبیاری در میزان تبخیر ۷۰ میلی‌متر از سطح تشتک مستقر در کرت بود، بیش‌ترین بهره‌وری مصرف آب (۱۰/۳ کیلوگرم بر مترمکعب) را برای محصول پیاز در دشت زنجان دارا می‌باشد. Kifle *et al.* (2017) در مناطق نیمه‌خشک شمال اتیوپی مطالعه‌ای را با هدف ارزیابی اثر جریان موجی و آبیاری متناوب بر شاخص‌های بهره‌وری مصرف آب و عملکرد محصول پیاز انجام دادند. نتایج نشان داد، روش‌های آبیاری جویچه‌ای متناوب و معمولی تأثیر معنی‌داری بر شاخص‌های عملکردی به‌دست‌آمده ندارد؛ با این وجود جریان موجی به‌طور معنی‌داری منجر به افزایش شاخص‌های عملکرد آبیاری و بهره‌وری مصرف آب شد. Zheng *et al.* (2013) با هدف ارائه و ارزیابی یک مدیریت آبیاری مناسب که می‌تواند منجر به افزایش عملکرد پیاز و بهبود بهره‌وری مصرف آب شود، پژوهشی را در منطقه خشک واقع در شمال‌غربی چین طی مدت دو سال اجرا نمودند. اعمال تنش آبی در مراحل توسعه و گلدهی، با وجود کاهش جزئی محصول تولیدی به‌طور میانگین موجب ارتقای بهره‌وری مصرف آب به میزان ۱۰ درصد شد. Geries *et al.* (2021) پژوهشی را در منطقه شمالی مصر با هدف ارزیابی اثر مدیریت جریان آب سطحی و نوع رقم بر شاخص‌های عملکرد و بهره‌وری فیزیکی مصرف آب انجام دادند. تیمار آبیاری با قطع جریان در ۸۰ درصد طول نوار و رقم پیاز Giza red منجر به بیش‌ترین عملکرد محصول (۴۰/۸ تن در هکتار) و بهره‌وری مصرف آب (۱۱/۹۲ کیلوگرم بر مترمکعب)، نسبت به سایر تیمارهای آبیاری شد. از سوی دیگر تفاوت معنی‌داری بین عملکرد محصول در میان رقم‌های موردمطالعه پیاز گزارش نشد.

مطالعات پیشین مرتبط با بهره‌وری مصرف آب در محصول پیاز به‌طور عمده متمرکز بر آزمایش‌های مزرعه‌ای در کرت‌های کنترل‌شده به‌منظور بررسی اثر متقابل تیمارهای مختلف نظیر نوع و سطح آبیاری، رقم، کود و سایر عوامل مرتبط با تولید می‌باشد. فقدان پژوهش میدانی که وضع موجود بهره‌وری و عوامل اثرگذار بر مصرف آب و تولید محصول پیاز را به‌صورت گسترده و در مقیاس بزرگ نظیر یک شهرستان در برگیرد، احساس می‌شود. از سوی دیگر مطالعه و ارزیابی راه‌کارهای مدیریتی ساده و قابل‌فهم برای کشاورزان به‌منظور بهبود بهره‌وری مصرف آب در شرایط واقعی مزرعه موضوعی است که کم‌تر به آن پرداخته شده است. یکی از این راه‌کارها اصلاح برنامه آبیاری متناسب با نیاز واقعی مزرعه، به‌منظور تغییر الگوی سنتی حاکم به الگوی آبیاری بهینه و مناسب می‌باشد. در مطالعه حاضر ابتدا در سال اول پژوهش، وضع موجود بهره‌وری مصرف آب در مزارع پیاز واقع در حاشیه رودخانه زنجانرود استان زنجان موردمطالعه قرار گرفت. سپس در دومین سال اجرای پژوهش، اثربخشی راه‌کار مدیریت آب در مزرعه و به‌طور مشخص اصلاح برنامه‌ریزی آبیاری در شرایط واقعی مزرعه به‌منظور بهبود بهره‌وری مصرف آب کشاورزی موردارزیابی قرار گرفت.

۲. مواد و روش‌ها

۲. ۱. معرفی منطقه موردمطالعه

استان زنجان با وسعت ۲۲۱۶۴ کیلومترمربع در منطقه شمال‌غرب کشور بین ´۳۳ و °۳۵ تا ´۱۵ و °۳۷ عرض شمالی از خط استوا و ´۱۰ و °۴۷ تا ´۲۶ و °۴۹ طول‌شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قراردارد. استان زنجان با میانگین بارندگی سالیانه ۳۲۳ میلی‌متر و میانگین دمای سالیانه ۹ تا ۱۷ درجه سانتی‌گراد، در طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن دارای اقلیم نیمه‌خشک معرفی می‌شود. مهم‌ترین حوضه آبخیز استان زنجان حوضه رودخانه قزل‌اوزن با مساحت حدود ۱۸۴۷۵ کیلومترمربع می‌باشد. قرارگرفتن استان زنجان در حوضه سفیدرود بزرگ ضرورت مدیریت بهینه مصارف آبی را به‌ویژه در بخش کشاورزی نمایان می‌سازد. شکل (۱) منطقه موردمطالعه پژوهش حاضر را نمایش می‌دهد.

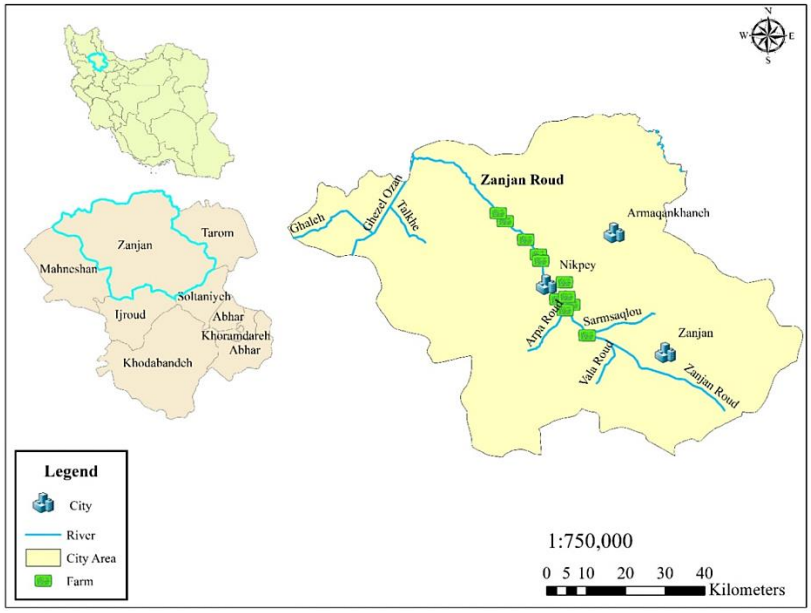

Figure 1. Location of the experimental farms

۲. ۲. مشخصات مزارع آزمایشی

براساس آخرین آمار ارائه‌شده از سوی سازمان جهاد کشاورزی استان زنجان حدود ۳۲۰۰ هکتار از اراضی زراعی شهرستان زنجان به کشت پیاز اختصاص یافته که تمامی این اراضی تحت کشت آبی قرار دارند. به‌منظور انجام مطالعه حاضر، ابتدا در سال اول پژوهش تعداد ۱۲ مزرعه پیاز با مجموع مساحت ۲۲/۶ هکتار در اراضی کشاورزی شهرستان زنجان واقع در اراضی حاشیه رودخانه زنجانرود انتخاب شد (شکل ۱). انتخاب مزارع کاملاً به‌صورت تصادفی بود با این وجود سعی شد از نظر نوع روش و مدیریت آبیاری تنوع قابل‌قبول وجود داشته باشد. لذا شش مزرعه مجهز به سامانه آبیاری قطره‌ای نواری با مساحت ۱۳/۰ هکتار و شش مزرع دیگر نیز با روش آبیاری سطحی (نواری) با مجموع مساحت ۹/۶ هکتار، انتخاب شدند. این مزارع در اراضی نُه روستا از شهرستان زنجان با توزیع مکانی مناسب، واقع شده‌اند. نکته قابل‌توجه این است که عمده مزارع پیاز واقع در منطقه موردمطالعه دارای مساحت کم‌تر از ۵ هکتار می‌باشند. در سال دوم اجرای پژوهش حاضر، به‌منظور ارزیابی میدانی راه‌کارهای بهبود بهره‌وری مصرف آب، تعداد دو مزرعه انتخاب و راه‌کارهای بهبود بهره‌وری مصرف آب اجرا شد. راه‌کارهای بهبود به‌طور عمده متمرکز بر مدیریت آبیاری بود. هر مزرعه به دو قسمت تقسیم شد. بخشی از مزرعه در شرایط واقعی (مدیریت کشاورز) و بخش دوم نیز در شرایط کنترل‌شده (اعمال راه‌کارهای بهبود) قرار گرفت. در قطعات کنترل‌شده برنامه آبیاری بهینه و با قابلیت اجرایی و قابل فهم برای کشاورز پیاده شد. اصلاح برنامه آبیاری از طریق اعمال ساعات آبیاری بهینه متناسب با دبی ورودی مزارع انجام گرفت. با توجه به این‌که عواملی نظیر دور آبیاری و دبی ورودی در برخی مزارع با منابع آبی از نوع مشاعی، تحت کنترل کشاورز نمی‌باشد، به‌منظور ساده و قابل‌درک‌بودن راه‌کار اعمال‌شده برای کشاورز و هم‌چنین ضمانت اجرایی بالا، مدیریت آبیاری تنها از طریق بهینه‌نمودن تعداد ساعات آبیاری انجام گرفت. هم‌چنین برنامه تغذیه‌ای متناسب با ویژگی‌های کیفی خاک مزارع تهیه و در قطعات کنترل‌شده اعمال شد؛ البته سعی شد در تهیه این برنامه عواملی نظیر دسترسی کشاورز و هزینه‌ها درنظر گرفته شود. مشخصات مزارع آزمایشی انتخاب‌شده برای فازهای اول و دوم پژوهش به‌ترتیب در جدول‌های (۱) و (۲) ارائه شده است. هم‌چنین جدول (۳) نیز مشخصات مربوط به برنامه آبیاری اجراشده در مزارع آزمایشی فاز دوم اجرای طرح را نشان می‌دهد.

Table 1. Characteristics of the onion farms- phase 1

Code	Name of village	Location	Area (ha)	Cultivar	Inflow rate (lit/s)	Irrigation method
101	Baghlojeh	(242814, 4093360)	2.36	Italia	13.3	Border
102	Kazabar	(250925, 4078050)	0.99	Italia (Falat)	2.8	Trickle
103	Aminabad	(258339, 4068840)	0.18	Italia	8.6	Border
104	Aminabad	(242814, 4093360)	2.36	Italia (Keshtzar)	8.8	Trickle
105	Kanavand	(254444, 4076690)	1.54	Italia	4.9	Trickle
106	Sardehat paein	(237639, 4098110)	1.05	Italia	6.6	Border
107	Gomshabad	(235836, 4100160)	1.76	Italia	10.8	Border
108	Kazabar	(253190, 4078770)	4.49	Falat	18.5	Trickle
109	Almalo	(246010, 4089560)	1.17	Italia	10.5	Border
110	Almalo	(246581, 4087980)	3.06	Italia	23	Border
111	Ghahran	(252572, 4082460)	2.75	Italia	7.8	Trickle
112	Yamchi	(252734, 4075310)	0.9	Italia	8.0	Trickle

Table 2. Characteristics of the onion farms- phase 2

Code	Name of village	Location	Area (ha)	Cultivar	Inflow rate (lit/s)	Irrigation method
201	Sardehat paein	(260265, 4109993)	2.2	Italia	10.3	Trickle
202	Sarcham	(259020, 4112754)	1.13	Zargan Falat	14.4	Trickle

Table 3. Specifications of irrigation program implemented in the experimental farms- phase 2

Code	Farm type	Section	Time after planting (day)	Inflow discharge (l/s)	Irrigation intervals (day)	Irrigation events	Irrigation time (hr)	Irrigation depth (mm)
201	Actual conditions	1	23	12.4	-	1	96	194.8
		2	30-37	12.4	7	2	64	129.9
		3	70-110	11	10	4	64	115.2
		4	110-150	9.5	7	6	96	149.2
		5	150-180	6	4	8	80	78.5
	Control treatment	1	23	12.4	-	1	64	129.9
		2	30-37	12.4	7	2	32	64.9
		3	70-110	11	10	4	24	43.2
		4	110-150	9.5	7	6	40	62.2
		5	150-180	6	4	8	32	31.4
202	Actual conditions	1	20	14.4	-	1	48	220.2
		2	30	14.4	-	1	40	183.5
		3	55-105	14.4	7	8	40	183.5
		4	105-135	14.4	7	4	24	110.1
		5	135-175	14.4	5	7	24	110.1
	Control treatment	1	20	14.4	-	1	32	146.8
		2	30	14.4	-	1	16	73.4
		3	55-105	14.4	7	8	12	55.1
		4	105-135	14.4	7	4	12	55.1
		5	135-175	14.4	5	7	12	55.1

۲. ۳. شاخص‌های بهره‌وری مصرف آب

در پژوهش حاضر به‌منظور تحلیل بهره‌وری مصرف آب، شاخص‌های حجم آب مصرفی، راندمان کاربرد آب آبیاری، بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در مزارع پیاز محاسبه شد.

۲. ۴. شاخص حجم آب مصرفی

به‌منظور برآورد حجم آب مصرفی در طول فصل آبیاری، میزان دبی ورودی به مزرعه و هم‌چنین برنامه آبیاری حداقل در سه نوبت به‌ترتیب اندازه‌گیری و تعیین شد. در هر نوبت آبیاری، مقدار دبی ورودی به مزرعه از طریق روش‌هایی هم‌چون دستگاه مولینه، خط‌کش جت آب، روش حجمی، دبی‌سنج اولتراسونیک و فلوم WSC اندازه‌گیری شد. روش اولتراسونیک پیش از استفاده در مزارع آزمایشی از طریق مقایسه نتایج آن با روش کنتور حجمی موردارزیابی و صحت‌سنجی قرار گرفت. تصاویری از اندازه‌گیری دبی در مزارع موردمطالعه در شکل (۲) قابل مشاهده می‌باشد.

Figure 2. Measuring the inflow discharge in the experimental farms

حجم آب مصرف شده در کل فصل آبیاری از مجموع حجم‌های آبیاری به‌دست‌آمده برای هر نوبت آبیاری از طریق رابطه (۱) تعیین می‌شود.

$$V=3.6\sum_{i=1}^{n} Q_i \times t_i$$ رابطه ۱)

در رابطه (۱)، V حجم کل آب مصرف‌شده در طول فصل آبیاری (مترمکعب)، Q_i دبی آب ورودی به مزرعه در آبیاری نوبت iام (لیتر بر ثانیه) و t_i زمان آبیاری در نوبت iام (ساعت) می‌باشد.

۲. ۵. راندمان کاربرد آب[۱] (E_a)

مقدار راندمان کاربرد (E_a) حداقل در سه نوبت در طول فصل آبیاری برآورد شد. در هر نوبت رطوبت خاک قبل از آبیاری اندازه‌گیری شد. مقدار رطوبت حد ظرفیت زراعی و جرم مخصوص ظاهری خاک در ابتدای اندازه‌گیری‌های میدانی تعیین شد. عمق توسعه ریشه نیز در هر نوبت اندازه‌گیری و ثبت شد. مقدار عمق آب آبیاری نیز از نسبت حجم آب ورودی به مزرعه بر مساحت مزرعه محاسبه شده است. در نهایت راندمان کاربرد آب آبیاری از طریق رابطه زیر محاسبه شد.

$$E_a=\frac{\rho_b(\theta_{(FC)}-\theta_{(i)})\times D_{rz}}{D_{app}}$$ رابطه ۲)

در رابطه فوق، E_a راندمان کاربرد آب آبیاری (درصد)، ρ_b جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌مترمکعب)، $\theta_{(FC)}$ درصد رطوبت وزنی در نقطه ظرفیت زراعی، $\theta_{(i)}$ درصد رطوبت وزنی پیش از آبیاری نوبت iام، D_{rz} عمق توسعه ریشه پیاز (میلی‌متر) و D_{app} عمق آب آبیاری (میلی‌متر) است.

۲. ۶. شاخص بهره‌وری فیزیکی آب[۲] (CPD)

با توجه به این‌که تاریخ کشت محصول پیاز در استان زنجان عموماً اواخر بهمن‌ماه تا اوایل اسفندماه می‌باشد، آب موردنیاز مزارع از دو طریق بارندگی و آبیاری تأمین می‌شود. لذا شاخص بهره‌وری فیزیکی آب با اعمال اثر بارندگی در فرایند تأمین آب موردنیاز گیاه، از رابطه (۳) تعیین می‌شود:

$$CPD(Ir+P)=\frac{Tp}{Tw(Ir+P)}$$ رابطه ۳)

در رابطه (۳)، CPD(Ir+P) شاخص بهره‌وری فیزیکی آب (کیلوگرم بر مترمکعب)، Tp مقدار عملکرد تولیدی محصول (کیلوگرم در هکتار)، P حجم بارشی که در طول فصل آبیاری صرف تأمین آب موردنیاز گیاه شده است (مترمکعب) و Tw(Ir+P) حجم آب کاربردی (مترمکعب در هکتار) می‌باشد.

۲. ۷. شاخص‌های بهره‌وری اقتصادی آب (BPD[۳] و NBPD[۴])

نسبت سود ناخالص به‌دست‌آمده به‌ازای هر واحد حجم آب به‌کار برده‌شده (BPD) برحسب میلیون ریال بر مترمکعب، از طریق رابطه (۴) محاسبه می‌شود.

$$BPD=\frac{TR}{Tw_c}$$ رابطه ۴)

در رابطه فوق، TR مجموع درآمد کسب‌شده از محصول به‌ازای هر واحد آب مصرفی (میلیون ریال) و Tw_C حجم آب به‌کار برده‌شده (مترمکعب در هکتار) برای تولید محصول است.

شاخص سود خالص حاصل به‌ازای هر واحد حجم آب به‌کار برده‌شده (NBPD) برحسب میلیون ریال بر مترمکعب، از طریق رابطه (۵) محاسبه می‌شود:

$$NBPD=\frac{NB}{Tw_c}$$ رابطه ۵)

در رابطه (۵)، NB سود خالص حاصل از فروش محصول (میلیون ریال) و و Tw_C حجم آب به‌کار برده‌شده (مترمکعب در هکتار) برای تولید محصول می‌باشد.

هزینه‌های تولید محصول از قبیل هزینه‌های کاشت (آماده‌سازی زمین، تهیه بذر، کشت بذر، کود حیوانی و ...)، هزینه‌های داشت (تهیه کود و سم، کارگری، آب‌بها، هزینه حامل‌های انرژی و ...)، هزینه‌های برداشت (کارگری، بسته‌بندی حمل و نقل)، هزینه اجاره زمین و تعمیر و نگهداری سامانه آبیاری به‌صورت مستقل برای هر مزرعه از طریق مصاحبه با کشاورزان و کنترل ارقام به‌دست‌آمده با گزارش‌های سازمان جهادکشاورزی برآورد شد. هم‌چنین در پژوهش حاضر، قیمت فروش پیاز در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ ملاک محاسبات شاخص‌های بهره‌وری اقتصادی قرار گرفت.

۳. نتایج و بحث

۳. ۱. اجزای بهره‌وری

مقادیر پارامترهای مرتبط با بهره‌وری مصرف آب شامل حجم آب مصرفی، راندمان کاربرد، عملکرد محصول، هزینه‌های تولید، سود ناخالص و خالص به‌دست‌آمده برای ۱۲ مزرعه پایش‌شده در فاز اول (پایش وضع موجود بهره‌وری مصرف آب) در جدول (۴) ارائه شده است. مقدار حجم آب مصرفی از ۸۷۲۷ تا ۲۶۹۶۹ مترمکعب در هکتار متغیر می‌باشد. میانگین حجم آب مصرفی در هر هکتار حدود ۱۹۶۲۶ مترمکعب برآورد شد. حداکثر مصرف آب حدود سه برابر بیش از حداقل مصرف آب بوده که این موضوع نشان‌دهنده تفاوت‌های چشم‌گیر بین شیوه‌های مدیریتی اعمال‌شده توسط زارعین در آبیاری مزارع پیاز می‌باشد؛ البته محدودبودن آب قابل‌دسترس و عدم تناسب حقابه با سطح زیر کشت نیز از دیگر عوامل ایجاد اختلاف به‌وجود آمده است. مشخص است بخش زیادی از مقدار آب برداشت‌شده به‌وسیله گیاه مصرف شده و بخشی نیز معمولاً از طریق تلفات نفوذ عمقی به چرخه هیدرلوژیکی حوضه بازمی‌گردد. مقایسه حجم آب مصرفی بین دو سامانه آبیاری پایش‌شده نیز نشان می‌دهد، میانگین مصرف آب به‌ازای هر هکتار کشت پیاز در اراضی با روش های آبیاری سطحی (نواری) برابر با ۱۹۱۶۸ مترمکعب و در اراضی مجهز سامانه‌های آبیاری قطره‌ای نواری معادل ۲۰۰۸۳ مترمکعب در هکتار می‌باشد. این در حالی است که مقدار نیاز آبی پیاز در منطقه در حدود ۴۱۵۵ مترمکعب برآورد شده است. براساس نتایج حاصل‌شده، آبیاری بی‌رویه در مزارع پیاز وجود دارد، به‌طوری‌که تغییر سامانه آبیاری از سنتی به

نوین منجر به کاهش مصرف آب نشده است. میانگین راندمان کاربرد آب در مزارع پیاز پایش شده معادل ۵۳ درصد، بیش‌ترین راندمان برابر ۸۵/۴ درصد و کم‌ترین راندمان برابر با ۲۹/۷ درصد برآورد شد. میانگین راندمان کاربرد در مزارع با روش آبیاری سطحی (نواری) ۴۹ درصد و در مزارع با روش آبیاری قطره‌ای نواری ۵۸ درصد محاسبه شد. تجهیز مزارع به سامانه‌های آبیاری نوین از جمله سامانه آبیاری قطره‌ای نواری به‌طور عمده با انگیزه و هدف کاربرد دبی‌های آب کم و هم‌چنین کاهش هزینه‌های کارگری انجام می‌گیرد. متاسفانه به‌دلیل پیاده‌نمودن برنامه آبیاری غلط و سنتی، کاهشی در حجم آب مصرفی مشاهده نمی‌شود. مطابق جدول (۴)، حداقل و حداکثر عملکرد محصول پیاز در مزارع پایش‌شده به‌ترتیب برابر ۱۶/۱ و ۱۰۶/۹ تن در هکتار و میانگین عملکرد تولیدی برابر ۵۸/۳ تن در هکتار به‌دست آمد. میانگین عملکرد در مزارع با روش آبیاری سطحی (نواری) برابر ۵۰/۴ تن در هکتار و در مزارع مجهز به سامانه آبیاری قطره‌ای نواری معادل ۶۶/۲ تن در هکتار حاصل شد. ملاحظه می‌شود که میزان عملکرد پیاز در مزارع با روش آبیاری قطره‌ای نواری حدود ۳۰ درصد نسبت به روش آبیاری سطحی بیش‌تر بود. بالابودن یکنواختی توزیع آب و کود و هم‌چنین کم‌بودن تلفات نفوذ عمقی در سامانه آبیاری قطره‌ای را می‌توان به‌عنوان مهم‌ترین دلیل اختلاف اشاره‌شده بیان داشت. بررسی رابطه میان حجم آب مصرفی و میزان عملکرد محصول نیز نشان می‌دهد، در محدوده حجم آب خالص مصرفی ۷۰۰۰ تا ۹۰۰۰ مترمکعب در هکتار میزان عملکرد تولید محصول مناسب و قابل‌قبول بوده و با افزایش آن به بیش از ۹۰۰۰ مترمکعب در هکتار افزایش چشم‌گیری در میزان عملکرد تولید مشاهده نمی‌شود. حداقل و حداکثر سود خالص به‌دست‌آمده از مزارع به‌ترتیب برابر ۲۴۲- و ۱۷۰۴ میلیون‌ریال در هکتار و میانگین سود خالص حاصل از مزارع پایش‌شده برابر ۷۰۱/۳ میلیون‌ریال در هکتار برآورد شد. میانگین سود خالص حاصل از مزارع با روش آبیاری قطره‌ای نواری و سطحی به‌ترتیب برابر با ۸۳۷/۷۵ و ۵۶۴/۹ میلیون‌ریال در هکتار برآورد شد. اختلاف مذکور می‌تواند ناشی از تولید بالای محصول و کاهش هزینه‌های کارگری در مزارع مجهز به سامانه آبیاری قطره‌ای نواری باشد.

Table 4. Water consumption, total product, costs, gross revenue and net income in experimental farms

Code	Water consumption (m^3/ha)	Application Efficiency (%)	Total product (ton/ha)	Costs (million Rials/ha)	Gross revenue (million Rials l/ha)	Net income (million Rials /ha)
101	26775	60	45.8	437	683	245
102	21665	68	88.4	633	1973	1340
103	8727	67.3	38.9	361	806	445
104	17518	85.4	16.1	460	217	- 242
105	12104	55.6	74.7	551	1419	868
106	19282	36.8	54.8	647	1486	839
107	26969	29.7	95.2	547	2251	1704
108	20672	43.5	106.9	640	1960	1320
109	20925	43.7	38.5	430	1115	685
110	12330	57.8	29.4	376	684	308
111	24709	49.9	55.6	484	1246	762
112	23832	43.1	55.6	521	1500	979

در جدول (۵) اجزای بهره‌وری محاسبه‌شده در فاز دوم طرح برای دو مزرعه آزمایشی آورده شده است. حجم آب مصرفی در مزارع پیاز بیش‌تر از مقدار نرمال و موردانتظار براساس نیاز آبی واقعی می‌باشد. با وجود این‌که هر دو مزرعه مجهز به سیستم آبیاری قطره‌ای نواری بودند، به‌دلیل عدم اعمال برنامه صحیح آبیاری و به‌طور صحیح‌تر آبیاری بی‌رویه، تلفات بالای آب از نوع نفوذ عمقی در مزارع مذکور مشاهده می‌شود. در شرایط واقعی حاکم بر دو مزرعه پیاز پایش‌شده، محدودیت آب قابل‌دسترس وجود نداشت و کشاورزان برنامه آبیاری دلخواه را بدون درنظرگرفتن نیاز آبی واقعی گیاه، پیاده می‌نمودند. تنها محدودیت دسترسی به آب مربوط به مزرعه با کد ۲۰۱ در

ماه مرداد بود (به‌دلیل افت سطح آب چاه و کاهش مقدار دبی آب پمپاژشده). با توجه به این‌که تغییر عواملی نظیر دبی آب ورودی به مزرعه و دور آبیاری برای کشاورز دشوار بوده و از ضمانت اجرایی کم‌تری برخوردار می‌باشد، لذا اصلاح برنامه آبیاری از طریق تغییر مدت زمان آبیاری مزرعه انجام گرفت. ساعات آبیاری در قطعات کنترل‌شده نسبت به قطعات دارای شرایط واقعی مزرعه، به‌طور میانگین حدود ۴۰ تا ۵۰ درصد کم‌تر بود. بر این اساس ملاحظه می‌شود، با اعمال برنامه آبیاری بهینه در قطعات کنترل‌شده حجم آب مصرفی به‌طور محسوسی کاهش یافته است. به‌طوری‌که در مزارع ۲۰۱ و ۲۰۲ حجم آب مصرفی در شرایط کنترل‌شده نسبت به واقعی (مدیریت کشاورز)، کاهش ۵۷ و ۵۹ درصدی را نشان می‌دهد. مقدار راندمان کاربرد آب در وضعیت موجود مزارع به‌طور چشم‌گیری پایین می‌باشد (به‌ترتیب ۳۳ و ۲۶ درصد برای مزارع ۲۰۱ و ۲۰۲). مقدار راندمان کاربرد آب در قطعات کنترل‌شده به‌طور میانگین حدود ۲/۴ برابر نسبت به شرایط واقعی مزرعه افزایش یافته است. مقدار عملکرد محصول در دو مزرعه ۲۰۱ و ۲۰۲ به‌ترتیب برای شرایط واقعی مزرعه ۳۶/۱ و ۵۲/۶ و برای قطعات کنترل‌شده ۳۴/۸ و ۵۴/۸ تن در هکتار برآورد شد. از لحاظ عملکرد محصول، اختلاف چشم‌گیری بین شرایط واقعی مزرعه و قطعات کنترل‌شده ملاحظه نمی‌شود. با این حال در مزرعه ۲۰۲ حدود ۴ درصد افت محصول و در مزرعه ۲۰۱ حدود ۱۱/۶ درصد افزایش محصول در قطعات کنترل‌شده نسبت به واقعی مزرعه ثبت شد. با توجه به گستردگی عوامل دخیل در عملکرد محصول نظیر کیفیت خاک، تراکم کشت، آفات و بیماری‌ها، مدیریت تغذیه و ... نمی‌توان وضعیت عملکرد تولیدی را فقط مرتبط با حجم آب مصرفی دانست. مقدار سود خالص به‌دست‌آمده برای شرایط واقعی مزرعه و قطعات کنترل‌شده در مزرعه ۲۰۱، به‌ترتیب ۶۳۸ و ۵۳۹ میلیون‌ریال در هکتار و در مزرعه ۲۰۲، ۹۸۰ و ۱۱۱۴ میلیون‌ریال در هکتار محاسبه شد.

عدم مدیریت صحیح آب در مزرعه مهم‌ترین عامل ایجاد اختلاف بین حجم آب مصرفی و نیاز آبی خالص گیاه و در نهایت کاهش بهره‌وری مصرف آب در مزارع موردمطالعه پژوهش حاضر شناخته شد. برنامه آبیاری اعمال‌شده در بیش‌تر مزارع به‌صورت سنتی و با نیاز واقعی مزرعه تناسب نداشت. به‌منظور تحلیل دقیق‌تر این موضوع، عمق آب آبیاری به‌صورت روزانه محاسبه و با مقدار نیاز آبی واقعی گیاه موردمقایسه قرار گرفت. نیاز آبی واقعی گیاه نیز براساس اطلاعات اقلیمی سال انجام پژوهش و سایر اطلاعات موردنیاز از قبیل مشخصات فیزیکی خاک و مشخصات گیاهی با استفاده از نرم‌افزار Cropwat تعیین شد. شکل (۳) نمودارهای مقایسه‌ای بین دو شاخص فوق را در ۱۲ مزرعه موردبررسی در فاز اول پژوهش حاضر نشان می‌دهد. مطابق نمودارهای ارائه‌شده، عمق آبیاری در اوایل و اواسط فصل رشد بیش‌تر از نیاز واقعی محصول پیاز بوده و در بیش‌تر مزارع اختلاف بین این دو شاخص چشم‌گیر می‌باشد.

Table 5. Water consumption, total product, costs, gross revenue and net income in actual conditions and control treatments

Code	Water consumption (m^3/ha)	Application efficiency (%)	Total product (ton/ha)	Costs (million Rials/ha)	Gross revenue (million Rials l/ha)	Net income (million Rials /ha)
201-Actual conditions	24391	33.0	36.1	878.6	1516	638
201-Control treatment	10570	78.0	34.8	920.5	1460	539
202-Actual conditions	30829	26.0	52.6	1121.8	2102	980
202-Control treatment	12662	64.0	58.7	1231.8	2346	1114

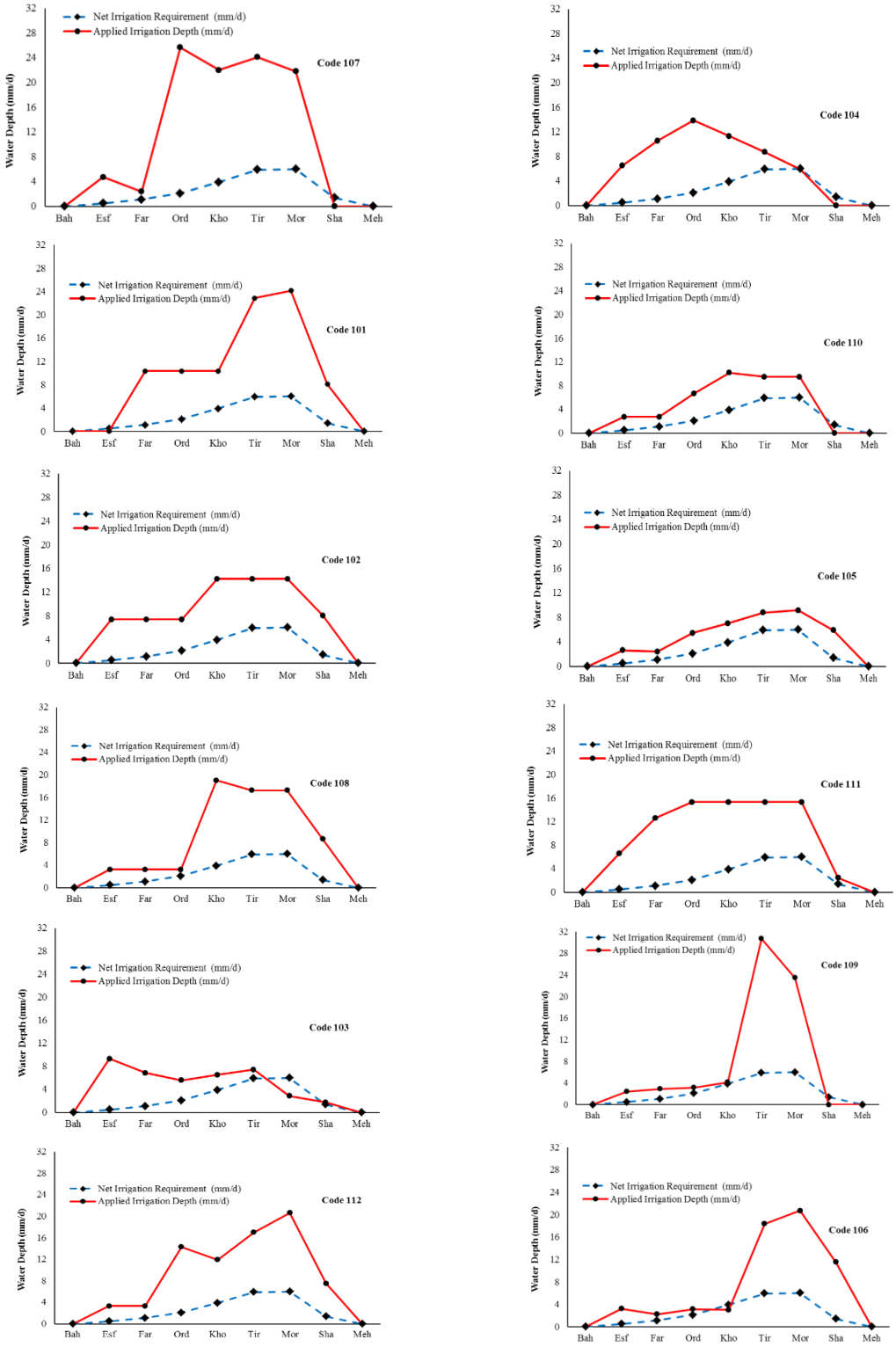

Figure 3. Comparison of net irrigation requirement and applied water depth between actual and controlled treatments-phase 1

نکته قابل‌تأمل در بررسی نمودارهای ارائه‌شده این‌است که در صورت عدم وجود محدودیت منابع آب قابل‌دسترس، انگیزه‌ای برای کاهش عمق آب آبیاری وجود ندارد و به‌طور کلی برنامه آبیاری در بیش‌تر مزارع نسبتاً ثابت و از انعطاف‌پذیری کم‌تری برخوردار می‌باشد. در اواخر دوره آبیاری با توجه به کاهش آبدهی چاه‌ها در بیش‌تر مزارع، کاهش عمق آب آبیاری اعمال‌شده مشاهده می‌شود. عمده این اختلاف در اواسط دوره رشد (اردیبهشت‌ماه تا مردادماه) ملاحظه می‌شود؛ به‌طوری‌که بیش‌ترین اختلاف مربوط به مزرعه ۱۰۹ بوده که در تیرماه به میزان ۲۴/۷ میلی‌متر در روز آبیاری مازاد صورت گرفته است. در برخی مزارع شاهد مدیریت مناسب آبیاری هستیم از جمله مزرعه با کد ۱۰۵ که مناسب‌ترین برنامه آبیاری را دارا می‌باشد. در شکل (۴) نمودارهای مربوط به مقایسه برنامه آبیاری در شرایط واقعی و کنترل‌شده در دو مزرعه آزمایشی فاز دوم مطالعه، نمایش داده شده است. هدف از برنامه آبیاری اعمال‌شده در فاز دوم طرح، نزدیک‌نمودن عمق آب آبیاری به نیاز خالص آبی گیاه (البته با لحاظ‌نمودن مقدار راندمان کاربرد آب پتانسیل) بود. با مقایسه نتایج ارائه‌شده دست‌یابی به هدف مذکور به‌وضوح مشاهده می‌شود. مدیریت به‌کار گرفته‌شده در مزارع ۲۰۱ و ۲۰۲ به‌ترتیب منجر به کاهش ۵۹ و ۷۰ درصدی عمق آب آبیاری در شرایط کنترل‌شده نسبت به واقعی شده است. اختلاف موجود بین دو منحنی در شرایط کنترل‌شده، مربوط به تلفات آبیاری می‌باشد.

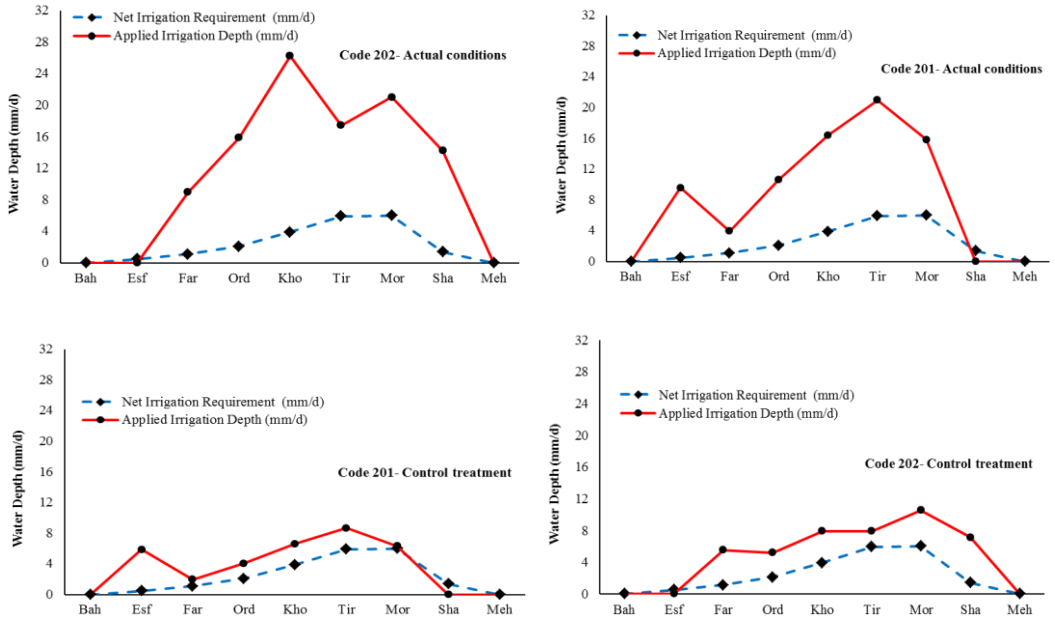

Figure 4. Comparison of net irrigation requirement and applied water depth between actual and controlled treatments- phase 2

۳. ۲. بهره‌وری فیزیکی مصرف آب

شکل (۵) مقادیر شاخص کارایی مصرف آب (CPD) برای ۱۲ مزرعه پیاز پایش‌شده در فاز اول مطالعات را نمایش می‌دهد. حداقل و حداکثر مقدار شاخص CPD برای مزارع موردمطالعه به‌ترتیب برابر با ۰/۹۲ و ۶/۱۷ و به‌طور میانگین برابر با ۳/۱۴ کیلوگرم بر مترمکعب محاسبه شد. شاخص کارایی مصرف آب تحت تأثیر اثر متقابل دو عامل حجم آب مصرفی و عملکرد محصول می‌باشد. مقدار مطلوب برای این شاخص زمانی قابل‌حصول خواهد بود که مدیریت مناسب و بهینه در مصرف آب و هم‌چنین سایر مدیریت مناسب تغذیه اعمال شد. بررسی همبستگی بین آب مصرفی و شاخص کارایی مصرف آب نشان می‌دهد، با بالا رفتن حجم آب مصرفی، مقدار شاخص کارایی مصرف آب تقریبا روند کاهشی

دارد. به‌طوری‌که افزایش ۱۰۰۰ مترمکعبی حجم آب مصرفی به‌طور میانگین موجب کاهش ۰/۱ کیلوگرم بر مترمکعبی شاخص کارایی مصرف آب شده است. از سوی دیگر با افزایش مقدار عملکرد به میزان ۱۰ تن در هکتار، مقدار کارایی مصرف آب به میزان ۱/۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب افزایش می یابد. هم‌چنین بررسی کارایی مصرف آب به تفکیک نوع سیستم آبیاری نشان می‌دهد، میانگین کارایی مصرف آب در اراضی با روش آبیاری سطحی ۲/۷۹ کیلوگرم بر مترمکعب و در مزارع مجهز به سیستم آبیاری قطره‌ای نواری برابر با ۳/۴۹ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد. به‌عبارت دیگر کارایی مصرف آب در اراضی تحت پوشش سیستم آبیاری قطره‌ای نواری حدود ۲۵ درصد بیش‌تر از مزارع با روش آبیاری سطحی است. نتایج به‌دست‌آمده از مطالعه حاضر هم‌راستا با نتایج مطالعات پیشین می‌باشد. به‌عنوان نمونه، Karimi & Jolaini (2017) حداکثر مقدار شاخص کارایی مصرف آب یا همان بهره‌وری فیزیکی محصول پیاز را در استان خراسان رضوی در شرایط تأمین ۱۰۰ درصدی نیاز آبی، معادل ۳/۷ گیلوگرم بر مترمکعب گزارش نمودند. هم‌چنین نتایج مطالعه Piri (2018) نشان داد، بیش‌ترین مقدار عملکرد و بهره‌وری مصرف آب در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به‌ترتیب ۲۸/۴ تن در هکتار و ۵/۱۹ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد.

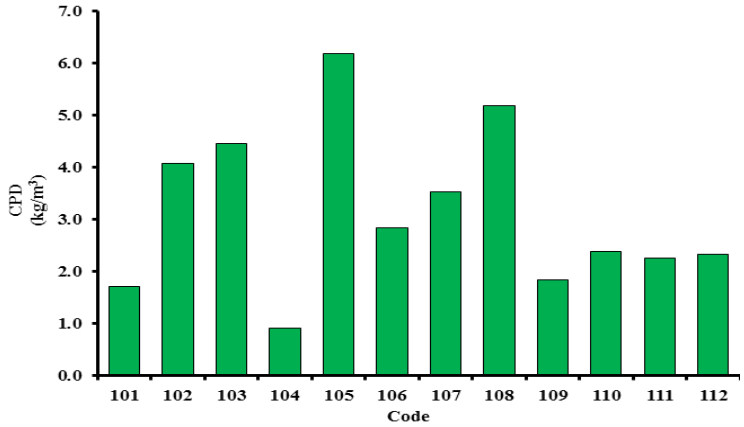

Figure 5. The values of CPD indicator in experimental farms

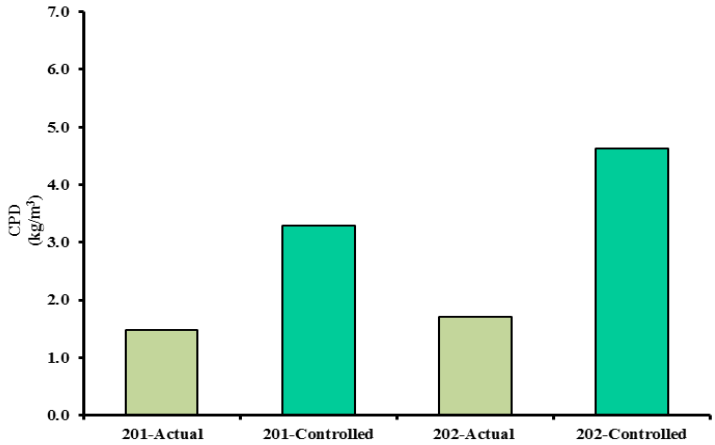

Figure 6. The values of CPD indicator in actual and controlled conditions

شکل (۶) مقادیر شاخص (CPD) محاسبه‌شده برای دو مزرعه آزمایشی در فاز دوم مطالعه را تحت شرایط واقعی مزرعه و

کنترل‌شده نشان می‌دهد. اعمال راه‌کارهای بهبود و به‌طور مشخص مدیریت آبیاری مناسب منجر به کاهش حجم آب مصرفی و در نهایت افزایش قابل‌توجه کارایی مصرف آب در قطعات کنترل‌شده گردیده است. مقدار شاخص مذکور در قطعات کنترل‌شده نسبت به شرایط واقعی در مزارع ۲۰۱ و ۲۰۲ به‌ترتیب ۱۲۲ و ۱۷۲ درصد افزایش داشته است.

۳. ۳. بهره‌وری اقتصادی مصرف آب

مقادیر شاخص سود ناخالص به‌ازای واحد حجم آب مصرفی (BPD) برای ۱۲ مزرعه پایش‌شده در شکل (۷) ارائه شده است. کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار BPD برای مزارع پیاز به‌ترتیب برابر با ۱۲ و ۱۱۷ هزار ریال بر مترمکعب می‌باشد. میانگین این شاخص نیز در مزارع موردبررسی ۶۸ هزار ریال بر مترمکعب محاسبه شد. میانگین BPD به‌دست‌آمده برای مزارع با روش آبیاری سطحی و قطره‌ای نواری به‌ترتیب برابر ۶۴/۵ و ۷۱/۵ هزار ریال بر مترمکعب به‌دست آمد. مجهزنمودن مزارع به سامانه آبیاری قطره‌ای نواری منجر به افزایش ۱۱ درصدی سود ناخالص به‌ازای هر واحد حجم آب مصرفی شده است. در شکل (۸) مقادیر شاخص BPD به‌دست‌آمده برای دو مزرعه مربوط به فاز دوم پژوهش، تحت شرایط واقعی مزرعه و کنترل‌شده نشان داده شده است. با کاهش حجم آب مصرفی در قطعات کنترل‌شده مزارع ۲۰۱ و ۲۰۲ مقدار شاخص BPD ترتیب ۱۲۱ و ۱۷۱ درصد افزایش یافت. شکل (۹) مقادیر شاخص سود خالص به‌ازای هر واحد حجم آب مصرفی (NBPD) را برای ۱۲ مزرعه پایش شده نشان می‌دهد. کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار شاخص NBPD به‌ترتیب ۱۳/۸- و ۷۱/۷ هزار ریال بر مترمکعب تعیین شد. میانگین این شاخص نیز در مزارع پایش‌شده ۴۰ هزار ریال بر مترمکعب تعیین شد. مقدار منفی شاخص NBPD مربوط به مزرعه ۱۰۴ می‌باشد. در این مزرعه افت قابل‌ملاحظه مقدار محصول تولیدی در مزرعه ۱۰۴ به‌دلیل عدم مدیریت صحیح در مبارزه با آفات و بیماری‌ها منجر به کاهش چشم‌گیر درآمد اقتصادی شد. میانگین شاخص NBPD در مزارع با روش آبیاری سطحی برابر با ۳۷/۴ هزار ریال بر مترمکعب و در مزارع مجهز به سامانه آبیاری قطره‌ای نواری ۴۲/۶ هزار ریال بر مترمکعب (با یک مزرعه خسارت‌دیده) برآورد شد. البته بدون احتساب مزرعه خسارت‌دیده ۱۰۴، مقدار میانگین شاخص NBPD در مزارع مجهز به سامانه آبیاری قطره‌ای نواری حدود ۵۳/۹ هزار ریال بر مترمکعب محاسبه شد. به‌عبارت دیگر، مقدار این شاخص در مزارع مجهز به سامانه آبیاری قطره‌ای نواری حدود ۴۴ درصد بیش‌تر از مزارع با روش آبیاری سطحی می‌باشد. بررسی تغییرات شاخص NBPD نسبت به حجم آب مصرفی در مزارع پایش‌شده نشان می‌دهد، با افزایش میزان حجم آب مصرفی، مقدار شاخص سود خالص روند کاهشی نسبی داشته است. بررسی‌ها مؤید افزایش ۴۰۰ ریالی سود خالص به‌ازای کاهش ۱۰۰۰ مترمکعب آب مصرفی می‌باشد. میانگین شاخص سود خالص در مزارع با حجم آب مصرفی کم‌تر از ۱۲.۵ هزار مترمکعب در هکتار، حدود ۴۹ هزارریال بر مترمکعب به‌دست آمد. در مزارع با حجم آب مصرفی بالاتر از آن، میانگین مقدار شاخص NBPD حدود ۳۷ هزار ریال بر مترمکعب برآورد شد. نتایج حاصل شده نشان می‌دهد، حجم آب مصرفی بالا لزوماً موجب تولید و سودآوری بیش‌تر محصول نمی‌شود. مقادیر مربوط به شاخص NBPD محاسبه‌شده برای دو مزرعه آزمایشی در فاز دوم پژوهش در شکل (۱۰) قابل مشاهده است. کاهش محسوس حجم آب مصرفی در قطعات کنترل‌شده مزارع ۲۰۱ و ۲۰۲، منجر به افزایش ۹۵ و ۱۷۷ درصدی شاخص NBPD در این قطعات نسبت به شرایط واقعی مزرعه شده است. به‌طورکلی، شیب تغییرات شاخص سود خالص NBPD در قطعه کنترل‌شده مزرعه ۲۰۲ نسبت به مزرعه ۲۰۱ بیش‌تر بوده است. دلیل این امر کاهش قابل‌توجه حجم آب مصرفی از یک‌سو و بالابودن عملکرد تولیدی محصول و در نتیجه آن افزایش درآمد حاصل از فروش از سوی دیگر می‌باشد.

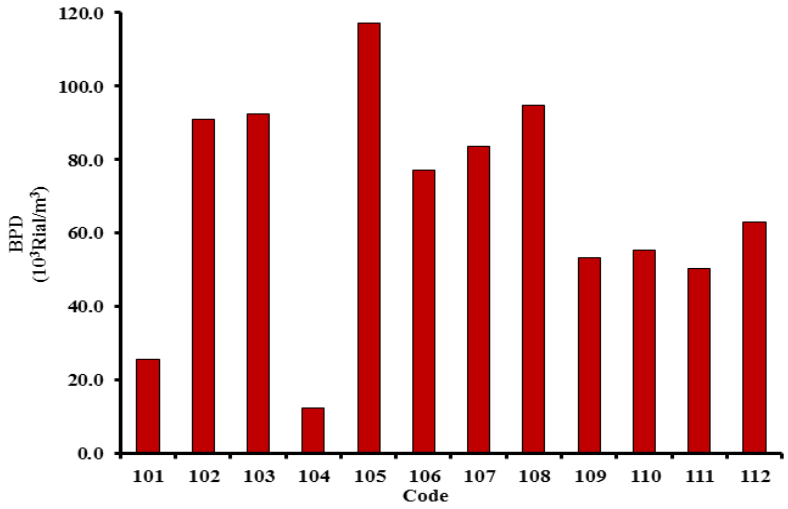

Figure 7. The values of BPD indicator in experimental farms

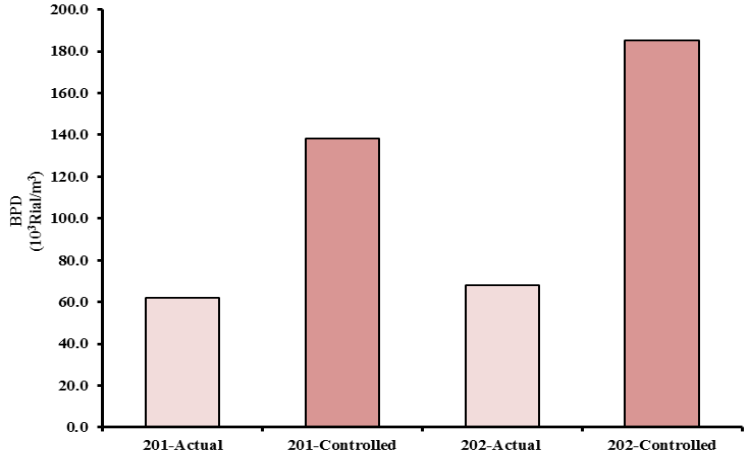

Figure 8. The values of BPD indicator in actual conditions and control treatments

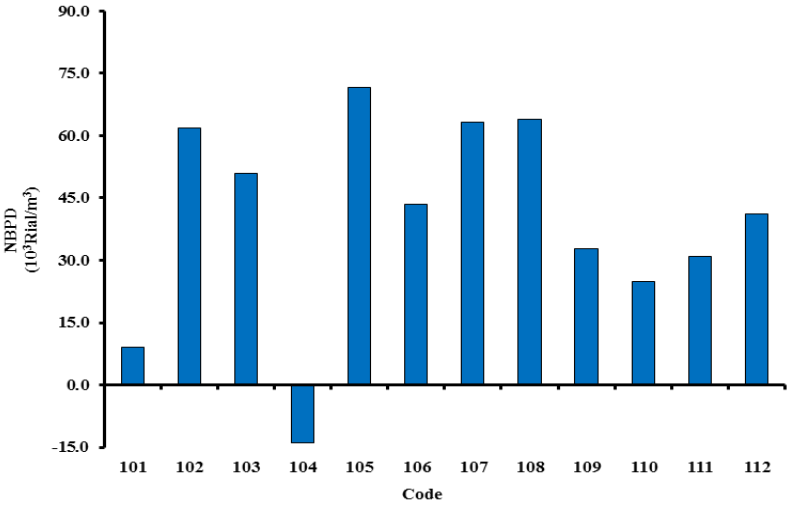

Figure 9. The values of NBPD indicator in experimental farms

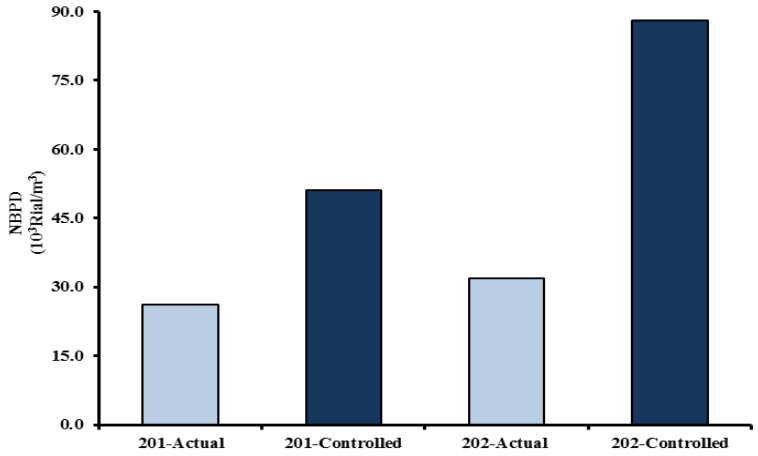

Figure 10. The values of NBPD indicator in actual conditions and control treatments

۳. ۴. آزمون معنی‌داری

به‌منظور مطالعه دقیق‌تر اثر نوع روش آبیاری بر شاخص‌های بهره‌وری مصرف آب در ۱۲ مزرعه پایش‌شده فاز اول مطالعه و هم‌چنین تحلیل آماری نتایج حاصل از قطعات کنترل‌شده و واقعی در فاز دوم طرح، آزمون معنی‌داری بین مقادیر شاخص‌های بهره‌وری محاسبه‌شده با استفاده از روش آزمون T مستقل انجام شد. جدول‌های (۶) و (۷) به‌ترتیب نتایج آزمون‌های معنی‌داری مربوط به نوع روش و مدیریت آبیاری را نشان می‌دهند. مطابق جدول (۶) ملاحظه می‌شود، بین مقادیر شاخص‌های حجم آب مصرفی، CPD، BPD و NBPD حاصل از مزارع با روش آبیاری سطحی و قطره‌ای نواری، اختلاف معنی‌داری در سطوح ۹۵ و ۹۹ درصد وجود ندارد. مطابق جدول (۷)، اختلاف بین مقادیر شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی به‌دست‌آمده در دو شرایط کنترل‌شده و واقعی در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار می‌باشد. نتیجه به‌دست‌آمده با توجه به کاهش قابل‌ملاحظه حجم آب مصرفی در قطعات کنترل‌شده نسبت به شرایط واقعی و اثر آن بر شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب، قابل پیش‌بینی بود. با این وجود اختلاف بین مقادیر شاخص NBPD حاصل از قطعات کنترل‌شده و واقعی در سطوح ۹۵ و ۹۹ درصد معنی‌دار نبود.

Table 6. Results of significance test between productivity indicators under border and trickle irrigation methods

Indicator	Mean		Standard deviation		Degrees of freedom	Significance
	Border irrigation	Trickle irrigation	Border irrigation	Trickle irrigation		
Water consumption ($10^3m^3/ha$)	19.17	20.08	7.45	4.66	10	0.804^{ns}
CPD (kg/m^3)	2.79	3.49	1.05	1.99	10	0.470^{ns}
BPD ($10^3Rial/m^3$)	64.50	71.47	24.57	37.48	10	0.711^{ns}
NBPD ($10^3Rial/m^3$)	37.41	42.58	19.28	31.60	10	0.740^{ns}

ns, *, **: No statistically significant difference and significance at 95% and 99% level.

Table 7. Results of significance test between productivity indicators under actual and controlled conditions

Indicator	Mean		Standard deviation		Degrees of freedom	Significance
	Control treatment	Experimental treatment	Control treatment	Experimental treatment		
Water consumption ($10^3m^3/ha$)	27.60	11.62	4.55	1.48	2	0.042^{*}
CPD (kg/m^3)	1.59	3.96	0.15	0.95	2	0.048^{*}
BPD ($10^3Rial/m^3$)	65.17	161.70	4.25	33.35	2	0.049^{*}
NBPD ($10^3Rial/m^3$)	28.97	69.51	4.00	26.12	2	0.162^{ns}

ns, *, **: No statistically significant difference and significance at 95% and 99% level.

۴. نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر وضعیت موجود شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی مصرف آب در مزارع پیاز موردمطالعه میدانی قرار گرفت. در مرحله دوم پژوهش، اثر تکنیک ساده و قابل اجرای مدیریت آبیاری بر ارتقای راندمان و بهره‌وری مصرف آب بررسی شد. نتایج پایش‌های میدانی نشان داد، به‌دلیل آبیاری بی‌رویه و بیش از حد موردنیاز واقعی گیاه، حجم آب مصرفی در مزارع پیاز قابل‌ملاحظه بوده و منجر به اُفت راندمان کاربرد آب و شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی شده است. یکی از دلایل بالابودن مصرف آب در مزارع پیاز، تثبیت‌شدن الگوی اشتباه مدیریت آبیاری (نگهداشتن رطوبت خاک به میزان بالا در تمام روزهای فصل کشت) در مزارع پیاز می‌باشد. عدم کنترل و نظارت بر بهره‌برداری از منابع آب سطحی و زیرسطحی در حاشیه رودخانه‌ها به‌عنوان دلیل اصلی مصرف بی‌رویه و انگیزه پایین بهره‌برداران در مدیریت بهینه آب شناخته شد. از سوی دیگر با وجود تجهیز برخی مزارع به سامانه آبیاری قطره‌ای نواری، حجم آب مصرفی کاهش قابل‌ملاحظه‌ای نداشت. به‌نظر می‌رسد در مزارع با بافت خاک از نوع سنگین هم‌چون مزارع پایش‌شده، امکان حصول به راندمان‌های ۶۰ تا ۷۰ درصد با اعمال تکنیک‌های ساده مدیریتی وجود داشته باشد. نتایج مرحله دوم پژوهش نشان داد، با اعمال مدیریت آبیاری صحیح و تنها با اصلاح مدت زمان آبیاری می‌توان حجم آب مصرفی را تا حد قابل‌ملاحظه‌ای کاهش و بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی را بهبود بخشید. استفاده از نتایج پژوهش حاضر ضمن تهیه دستورالعمل ترویجی قابل‌فهم برای کشاورزان با تأکید بر مدیریت آبیاری صحیح و متناسب با نیاز واقعی مزرعه می‌تواند منجر به کاهش برداشت از منابع آبی در حوضه‌های پرچالش نظیر سفیدرود شود.

۵. پی‌نوشت‌ها

1. Application Efficiency
2. Crop per drop
3. Benefit per drop
4. Net benefit per drop
5. Cropwat

۶. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۷. منابع مورداستفاده

Abasi, F., Abasi, N., & Tavakoli, A.R. (2017). Water productivity in agriculture; Challenges and prospects. *Iranian Journal of Water and Sustainable Development*, 4(1), 141-144. (In Persian).

Abera, M., Wale, A., Abie, Y., & Esubalew, T. (2020). Verification of the efficiency of alternate furrow irrigation on amount of water productivity and yield of onion at Sekota Woreda. *Irrigation and Drainage Systems Engineering*, 9(4), 1-5.

Afshar, H., Sharifan, H., Ghahraman, B., & Bannayan Aval, M. (2020). Investigation of wheat water productivity in drip irrigation (tape) (Case study of Mashhad and Torbat-e-Heydariyeh). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 14(1), 39-48. (In Persian).

Aminpour, R., & Mousavi, S.F. (2006). Effect of different irrigation regimes and mother-bulb size on seed quality and quantity of onion (*Allium cepa* L.). *Iranian Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 13(2), 1-9. (In Persian).

Baghani, J. (2012). Effect of irrigation methods on yield and agronomic characteristics of long-days onion cultivars. *Iranian Journal of Water and Soil*, 26(2), 251-259. (In Persian).

Bossio, D., Geheb, K., & Critchley, W. (2010). Managing water by managing land: Addressing land degradation to improve water productivity and rural livelihoods. *Agricultural Water Management*, 97(4), 536-542.

Daneshi, N., Lamei Harvani, J., & Taghadosi, M.V. (2005). The effect of planting methods on water use efficiency and quantitative and qualitative properties of onions in Zanjan. In: Proceeding of *9th Soil Science Congress of Iran*, 27 August, Soil Conservation and Watershed Management Research Center, Tehran, Iran. (In Persian).

Drechsel, P., Qadir, M., & Baumann, J. (2022). Water reuse to free up fresh water for higher-value use and increase climate resilience and water productivity. *Irrigation and Drainage*, 1-10.

Fan, Y., Wang, C., & Nan, Z. (2014). Comparative evaluation of crop water use efficiency, economic analysis and net household profit simulation in arid Northwest China. *Agricultural Water Management*, 146, 335-345.

Geries, L.S.M., El-Shahawy, T.A., & Moursi, E.A. (2021). Cut-off irrigation as an effective tool to increase water-use efficiency, enhance productivity, quality and storability of some onion cultivars. *Agricultural Water Management*, 244, 106589.

Gholami, M., Mazloumi, M., & Ghaderpor, L. (2009). The importance of water productivity in agriculture Case study: Marvdasht-Ramjard plain. In: Proceeding of *National Conference on Water Crisis Management*, February, Islamic Azad University, Marvdasht, Fars, Iran, 1-12. (In Persian).

Haile, G.G., Gebremicael, T.G., Kifle, M., & Gebremedhin, T. (2019). Effects of irrigation scheduling and different irrigation methods on onion and water productivity in Tigray, Northern Ethiopia. *BioRxiv*, 1-35.

Heydari, N. (2014). Water productivity in agriculture: challenges in concepts, termsand values. *Irrigation and Drainage*, 63(1), 22-28.

Igbadun, H.E., Ramalan, A.A., & Oiganji, E. (2012). Effects of regulated deficit irrigation and mulch on yield, water use and crop water productivity of onion in Samaru. Nigeria. *Agricultural Water Management*, 109, 162-169.

Iran Water Resources Management Company. (2017). Monitoring the exploitation of water resources in Sefidroud. (In Persian).

Izadkhah, M., Tajbakhsh, M., Zardoshti, M. R., & Hasnzadeh, A. (2010). Evaluation effects of different planting systems on water use efficiency, relative water content and some plant growth parameters in onion (*Allium cepa* L.). *Notulae Scientia Biologicae*, 2(1), 88-93.

Izadkhah, M., Tajbakhsh, M., Zardoshti, R., Hasnzade, A., Taheri, F., Saber Rezaei, M., Feghnabil, F., & Parvizi, S. (2009). Investigation the influence of planting methods on bulb and biologic yield, harvest index and some morphological traits in onion (*Allium cepa* L.). *Online International Journal of Agronomy and Biology*, 2(4), 189-193.

Javan, J. and Falsoleiman, M. (2008). Water crisis and importance of water productivity in agriculture in dry area of Iran (Case study: Birjand plain). *Iranian Journal of Geography and Development*, 6(11), 115-138. (In Persian).

Kang, S.Z., Hao, X.M., Du, T.S., Tong, L., Su, X.L., Lu, H.N., Li, X.L., Huo, Z.L., Li, S.E., & Ding, R.S. (2017). Improving agricultural water productivity to ensure food security in China under changing environment: From research to practice. *Agricultural Water Management*, 179, 5-17.

Karandish, F., Salari, S., & Darzi Naftchali, A. (2015). Spatial prioritizing of the onion producing in warm and arid regions (Case study: Sistan and Bluchestan Province). *Iranian Journal of Plant Production*, 22(1), 191-209. (In Persian).

Karimi, B., Karimi, N., Shiri, J., & Sanikhani, H. (2022). Modeling moisture redistribution of drip irrigation systems by soil and system parameters: regression-based approaches. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 36, 157-172.

Karimi, M., & Jolaini, M. (2017). Investigation of agricultural productivity indices in important crops, Case study: Mashhad plain (Technical Note). *Iranian Journal of Water and*

Sustainable Development, 4(1), 133-138. (In Persian).
Kaviani, A., Sohrabi, T., & Araste, P. (2011). Application of SEBAL algorithm in estimating the actual evapotranspiration of agricultural water in Qazvin plain and comparing its results with lysimeter data. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 5(2), 165-175. (In Persian).
Keshavarz, A., & Dehghanisanij, H. (2012). Water productivity index and the future strategy of the country. *Iranian Journal of Economic Strategy*, 1(1), 199-233. (In Persian).
Khankahdani, H.H., Mohammadi Jahromi, A., Molla Hasani, A., & Mohammadi Jahromi, M. (2013). Effect of different irrigation intervals on yield and yield components of four onion cultivars in hot and humid climates. *Iranian Journal of Water Research in Agriculture*, 27(2), 137-147. (In Persian).
Kifle, M., Gebremicael, T.G., Girmay, A., & Gebremedehin, T. (2017). Effect of surge flow and alternate irrigation on the irrigation efficiency and water productivity of onion in the semi-arid areas of North Ethiopia. *Agricultural Water Management*, 187, 69-76.
Kifle, M., Tilahun, K., & Yazew, E. (2008). Evaluation of surge flow furrow irrigation for onion production in a semiarid region of Ethiopia. *Irrigation Science*, 26, 325-333.
Kjine, J.W., Barker, R., & Molden, D. (2003). Water productivity in agriculture. Colombo, Sri Lanka: Cabi press.
Liu, J., Zehnder, A. J. B., & Yang, H. (2008). Drops for crops: modelling crop water productivity on a global scale. *Global Nest Journal*, 10(3), 295-300.
Mohammadi, F., Ojaghlou, H & Ghorbanian, M. (2021). Effect of water resources utilization methods on olive water use efficiency. *Iranian Journal of Water and Irrigation Management*, 11(3), 643-658. (In Persian).
Molden, D., Murray-Rust, H., Sakthivadivel, R., & Makin, I. (2001). A water productivity framework for understanding and action. *Workshop on Water Productivity*, 12-13 November. Wadduwa, Sri Lanka.
Mosavand, S., & Ghafari, H. (2015). Estimating economic value of water in onion production in Zanjanrud Basin. *Iranian Journal of Water Research in Agriculture*, 29(4), 548-557. (In Persian).
Nahvinia, M.J., Shahidi, A., Parsinejad, M., & Karimi, B. (2010). Assessing the performance of SWAP model in estimating the production of wheat under salinity and water stress (case study: Birjand, Iran). *Iranian Water Research*, 4(6), 43-58. (In Persian).
Nazari, B., Liaghat, A., & Akbari, M. (2016). Water economics and food security, analysis of the importance of strategic agricultural products in terms of combined water productivity index (Case study: Moghan plain). In: Proceeding of *the First National Conference on Water Economics*, 26 July. The Ministry of Energy, Tehran, Iran. (In Persian).
Ojaghlou, H., Sohrabi, T., Abbasi, F., & Javani, H. (2020). Development and evaluation of a water flow and solute transport model for furrow fertigation with surge flow. *Irrigation and Drainage*, 69, 682-695.
Onion (Dried) Production in 2020: Crops/World Regions/Production Quantity from Pick Lists. (2020). *Food and Agriculture Organization*, statistics division (FAOSTAT).
Piri, H. (2018). Effect of different levels of irrigation and nitrogen fertilizer on onion yield and water use efficiency in three irrigation methods. *Iranian Journal of Water Research in Agriculture*, 32(2), 187-200. (In Persian).
Qi, W., Zhang, Z., Wang, C., & Huang, M. (2021). Prediction of infiltration behaviors and evaluation of irrigation efficiency in clay loam soil under Moistube irrigation. *Agricultural Water Management*, 248, 106756.
Rastegar, J., & Baghani, J. (2012). Effect of different irrigation methods on bulb yield of onion cultivars. *Iranian Journal of seed and plant*, 28-2(2), 209-223. (In Persian).
Sabbagh Tazeh, E., & Sadeghian, N. (2020). The effect of pumice on irrigation schedule and nutritional quality of onion in two types of soil texture under deficit irrigation. *Iranian*

Journal of Environmental Science and Technology, 22(4), 67-78. (In Persian).
Sabbagh Tazeh, E., Sadeghian, N., & Rameshknia, Y. (2019). Effect of mineral superabsorbent on some characteristics of soil and growth parameters of onion (Allium cepa) under limited irrigation. *Iranian Journal of Soil and Water Resources Protection*, 9(1), 87-104. (In Persian).
Sabbaghi, A.R., Golchin, A., & Delavar, M.A. (2011). The effect of irrigation interval and different levels of nitrogen on yield and some quality characteristics of onion. In: Proceeding of *the First National Congress of New Agricultural Sciences and Technologies*, 11 September. University of Zanjan, Zanjan, Iran. (In Persian).
Scheierling, S.M., Tréguer, D.O., & Booker, J.F. (2016) Water productivity in agriculture: Looking for water in the agricultural productivity and efficiency literature. *Water Economics and Policy*, 2(3), 1650007.
Semida, W.M., Abdelkhalik, A., Rady, M.O.A., Marey, R.A., & El-mageed, T.A.A. (2020). Exogenously applied proline enhances growth and productivity of drought stressed onion by improving photosynthetic efficiency, water use efficiency and up regulating osmoprotectants. *Scientia Horticulturae*, 272, 109580.
Sepahvand, M. (2009). Comparing water need, water productivity and its economic productivity for wheat and canola in western Iran for rainy years. *Iranian Journal of Water Research*, 3(4), 63-68. (In Persian).
Shahnavazi, A. (2017). Onion total factor productivity in Iran. *Iranian Journal of Agricultural Economics Research*, 9(4), 153-172. (In Persian).
Singh, R., Van Dam, J.C., & Feddes, R.A. (2006). Water productivity analysis of irrigated crops in Sirsa district, India. *Agricultural Water Management*, 82, 253-278.
Solat, S., Alinazari, F., Maroufpoor, E., Shiri, J., & Karimi, B. (2021). Modeling moisture bulb distribution on sloping lands: Numerical and regression-based approaches. *Journal of Hydrology*, 601, 126835.
Taheri, M., Abasi, M., Daneshi, N., & Ebrahimi Pak, N.A. (2015). Assessing effect of different irrigation intervals and planting methods on onion yield. *Iranian Journal of Water Research in Agriculture*, 29(1), 11-19. (In Persian).
Temesgen, T., Ayana, M., & Bedadi, B. (2018). Evaluating the effects of deficit irrigation on yield and water productivity of furrow irrigated onion (*Allium cepa* L.) in Ambo, West. Ethiopia. *Irrigation and Drainage Systems Engineering*, 7(1), 1-6.
Vazifedoust, M., Alizadeh, A., Kameli, Gh., & Feizi, M. (2008b). Increasing agricultural water productivity in irrigated farms in Barkhoar region of Isfahan. *Iranian Journal of Water and Soil (Agricultural Sciences and Industries)*, 22(2), 484-495. (In Persian).
Vazifedoust, M., Van Dam, J.C., Feddes, R.A., & Feizi, M. (2008a). Increasing water productivity of irrigated crops under limited water supply at field scale. *Agricultural Water Management*, 95, 89-102.
Verdinejad, V., Sohrabi, T., Heydari, N., Araghinejad, Sh., & Mamanpoush, A. (2009). Investigation of supply and demand and estimation of agricultural water productivity in Zayandehrood catchment area (Case study of irrigation network on the right side of the Abshar). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 2(3), 88-98. (In Persian).
Wakchaure, G.C., Minhas, P.S., Kumar, S., Khapte, P.S., Meena, K.K., Rane, J., & Pathak, H. (2021). Quantification of water stress impacts on canopy traits, yield, quality and water productivity of onion (*Allium cepa* L.) cultivars in a shallow basaltic soil of water scarce zone. *Agricultural Water Management*, 249, 106824.
Wakchaure, G.C., Minhas, P.S., Meena, K.K., Singh, N.P., Hegade, P.M., & Sorty, A.M. (2018). Growth, bulb yield, water productivity and quality of onion (*Allium cepa* L.) as affected by deficit irrigation regimes and exogenous application of plant bio-regulators. *Agricultural Water Management*, 199, 1-10.
Zheng, J., Huang, G., Wang, J., Huang, Q., Pereira, S., Xu, X., & Liu, H. (2013). Effects of water deficits on growth, yield and water productivity of drip-irrigated onion (*Allium cepa*

L.) in an arid region of Northwest China. *Irrigation Science*, 31, 995-1008.

Zibayi, M. (2007). Factors affecting continuity in using sprinkler irrigation systems in Fars Province, comparison of logistic regression and discriminant analysis. *Iranian Journal of Agricultural Economics*, 1(2), 183-194. (In Persian).

Zwart, S.J., & Bastiaanssen, W.G. M. (2004). Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. *Agricultural Water Management*, 69(2), 115-133.