Journal of Water and Soil
https://jsw.um.ac.ir

CC BY

Research Article
Vol. 37, No. 2, May-June 2023, p. 165-185

Effect of Irrigation Management on Water Productivity Indicators of Alfalfa

H. Ojaghlou[1]*, F. Ojaghlou[2], M.M. Jafari[3], F. Misaghi[4], B. Nazari[5], E. Karami Dehkordi[6]

Received: 11-10-2022
Revised: 04-02-2023
Accepted: 04-03-2023
Available Online: 04-03-2023

How to cite this article:
Ojaghlou, H., Ojaghlou, F., Jafari, M.M., Misaghi, F., Nazari, B., & Karami Dehkordi, E. (2023). Effect of irrigation management on water productivity indicators of alfalfa. *Journal of Water and Soil, 37*(2), 165-185. (In Persian with English abstract). http://doi.org/10.22067/jsw.2023.79145.1211

Introduction

Over the last years, long-term average rainfall has experienced a meaningful decrease (from 250 to 206 mm per year) leading to continuous drought in Iran. In addition, population growth and increasing demand for food put more pressure on the limited available water resources. Thus, the quantitative and qualitative improvement of agricultural products become a necessity. There is 640,000 hectares of alfalfa cultivated land, standing for 5.4% of the total cultivated area. One of the most basic obstacles in these farms is the unsuitable model of water consumption management. Previous studies were conducted with the aim of evaluating the mutual effects of different treatments in controlled plots. Nonetheless, there is a need for large-scale investigations to monitor and improve water productivity in agricultural systems. In this research, the focus was on irrigation management and optimizing irrigation timing as a potential solution to enhance water productivity, considering the fixed irrigation cycles and traditional use of available water resources. The study began by assessing the current water productivity in 11 alfalfa farms located across four regions in Zanjan province, ensuring a suitable spatial distribution. Subsequently, the impact of irrigation management, particularly the adjustment of irrigation timing, was evaluated to determine its effectiveness in improving water productivity in these farms.

Materials and Methods

Eleven alfalfa farms, covering a total area of 28 hectares, were initially selected in the agricultural lands of Zanjan province. The majority of these farms were equipped with sprinkler irrigation systems. From these 11 farms, two specific farms were chosen to implement the proposed methods aimed at improving water productivity. These selected farms served as experimental sites where the irrigation management techniques were applied and evaluated. Improvement solutions were mainly focused on irrigation management. Each farm was divided into two parts; one part with real conditions (farmers' management) and the second one with controlled conditions. In the controlled treatments, irrigation management was implemented through optimization of irrigation time. A nutritional program was also prepared according to the soil quality of the fields and applied in the controlled treatments. In each farm, basic information such as area, physical and chemical properties of soil and water quality were determined. Irrigation information (such as inflow discharge and irrigation schedule) was measured and determined at least three times during the cropping season. Soil moisture were measured before and after irrigation in order to calculate the water application efficiency. The amount of harvested product and production costs were obtained at the end of the cropping season through measurements and interviews with farmers. In this research, the indicators including the volume of irrigation water, the water use efficiency, and the physical and economic

1 and 4- Assistant Professors, Department of Water Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran
(*- Corresponding Author Email: ojaghlou@znu.ac.ir)
2 - National Planning Expert, Planning and Budget Organization of Zanjan Province, Iran
3- Ph.D. Candidate, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran
5- Associate Professor, Department of Water Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran
6- Associate Professor, Department of Agricultural Extension and Education, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
DOI: 10.22067/jsw.2023.79145.1211

efficiency of water have been calculated to analyze the water productivity.

Results and Discussion

The volume of irrigation water in alfalfa farms was measured as 14250 m3/ha on average (with the lowest and highest consumption values of 9849 and 20576 m^3/ha, respectively). The average of irrigation water in farms with surface irrigation systems equals to 17,806 and in farms equipped with sprinkle irrigation systems is about 13,460 m^3/ha. While the net water requirement of alfalfa in study area was 7160 to 7290 m^3/ha. The minimum and maximum values of water application efficiency were 38.3 and 82%, respectively, with average of 64%. The average of application efficiency in surface and sprinkle irrigation systems were obtained 50 and 67%, respectively. The measured alfalfa yield ranged from a minimum of 6.5 ton/ha to a maximum of 14.1 ton/ha, with an average yield of 10.4 ton/ha. After implementing the revised irrigation program in the controlled plots, the harvested water decreased by an average of 49.5%. It was observed that the irrigation schedule in most farms followed a traditional and estimated pattern, with the depth of irrigation water in the middle of the growing season exceeding the net irrigation requirement. The water use efficiency (WUE) values varied between 0.42 and 1.28 kg/m3, with a minimum value of 0.42 kg/m^3 and a maximum value of 1.28 kg/m3. The average WUE was calculated as 0.79 kg/m3. Analyzing the correlation between water consumption and the water use efficiency index revealed a decreasing trend. As the volume of irrigation water increased, the water use efficiency index experienced a decline. Specifically, an increase of 1000 m^3 in irrigation water resulted in a decrease of 0.04 kg/m3 in the water use efficiency index. The implementation of the corrected irrigation program and appropriate to the water demand led to an increase of the mentioned index by 72%.

Conclusion

The lack of proper irrigation programs that consider climatic conditions and the actual needs of the alfalfa plant was identified as a key factor contributing to high water consumption in the farms. Additionally, the inefficient selection and design of the irrigation system led to lower irrigation efficiency than expected. Despite the majority of farms being equipped with sprinkle irrigation systems, the harvested water did not decrease significantly due to inadequate water management practices. These factors ultimately resulted in a decline in both physical and economic productivity indicators in the alfalfa farms. However, the results of the study highlighted that implementing corrected irrigation management, particularly through modifications to the irrigation timing, can lead to a significant decrease in volume of irrigation water and an improvement in both physical and economic productivity.

Keywords: Efficiency, Irrigation scheduling, Water use efficiency

نشریه آب و خاک
https://jsw.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۳۷، شماره ۲، خرداد-تیر ۱۴۰۲، ص. ۱۸۵-۱۶۵

اثر مدیریت آبیاری بر شاخص‌های بهره‌وری مصرف آب محصول یونجه

حسن اوجاقلو[1*]- فرهاد اوجاقلو[2]- محمد مهدی جعفری[3]- فرهاد میثاقی[4]- بیژن نظری[5]- اسماعیل کرمی دهکردی[6]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۱۹
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۱/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۱۳

چکیده

تحقیق حاضر با هدف پایش بهره‌وری مصرف آب محصول یونجه و بررسی اثر اصلاح برنامه آبیاری بر کاهش مصرف آب و ارتقای شاخص‌های بهره‌وری انجام شد. در مرحله اول تحقیق، تعداد ۱۱ مزرعه یونجه واقع در استان زنجان انتخاب و مورد مطالعه قرار گرفت. عوامل مرتبط با بهره‌وری نظیر شدت جریان 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، اصلاح مدیریت آبیاری به عنوان راهکار اجرایی به منظور بهبود بهره‌وری مصرف آب در شرایط واقعی مزرعه در قالب قطعات کنترل‌شده اجرا و با وضع موجود مقایسه شد. بر اساس نتایج حاصل از پایش‌های میدانی، میانگین حجم آب آبیاری در مزارع یونجه در حدود ۱۴۲۵۰ متر مکعب در هکتار و میانگین شاخص‌های بهره‌وری مصرف آب CPD، BPD و NBPD به ترتیب برابر ۰/۷۹ کیلوگرم بر متر مکعب، ۱۶/۱ و ۸/۹ هزار ریال بر متر مکعب برآورد شد. به طور میانگین اعمال برنامه صحیح آبیاری در قطعات کنترل‌شده منجر به کاهش ۴۹/۵ درصدی حجم آب آبیاری و به تبع آن افزایش ۷۲ درصدی شاخص بهره‌وری فیزیکی شد. تثبیت الگوی اشتباه برنامه آبیاری و عدم کنترل و نظارت بر بهره‌برداری از منابع آب دلایل اصلی مصرف بی‌رویه آب در مزارع یونجه شناخته شد. نتایج مرحله دوم اجرای پژوهش نشان داد، تنها با اصلاح مدت زمان آبیاری می‌توان حجم آب آبیاری را بطور قابل ملاحظه‌ای کاهش و بهره‌وری مصرف آب را بهبود بخشید.

واژه‌های کلیدی: برنامه آبیاری، راندمان، کارایی مصرف آب

مقدمه

آب یکی از مهم‌ترین منابع مورد نیاز جامعه بشری و در عین حال یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های قرن حاضر بشریت است (Hamdi Ahmadabadi *et al.*, 2019). برای بسیاری از بخش‌های مختلف جهان بحران آب در حال حاضر وجود دارد و تغییرات آب و هوایی باعث تشدید این بحران شده است (Nazari *et al.*, 2018). بطوری‌که براساس منابع موجود، هفت درصد جمعیت جهان در مناطقی که در آن آب کمیاب است، زندگی می‌کنند و طبق آمارها می‌توان انتظار داشت که این رقم تا سال ۲۰۵۰ به بیش از ۶۷ درصد افزایش یابد (Howell *et al.*, 2001). بنابراین در حال حاضر مدیریت صحیح و برنامه‌ریزی

۱ و ۴- استادیاران، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: ojaghlou@znu.ac.ir)
۲- کارشناس برنامه‌ریزی کشوری، سازمان برنامه و بودجه استان زنجان، ایران
۳- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۵- دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره) قزوین، قزوین، ایران
۶- دانشیار، گروه ترویج و آموزش کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

DOI: 10.22067/jsw.2023.79145.1211

برای استفاده پایدار از منابع آب امری بسیار مهم و ضروری می‌باشد. کمبود آب یکی از عوامل مهم بازدارنده اقتصادی و اجتماعی در اکثر کشورهای در حال توسعه به خصوص کشورهای واقع شده در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است (Angus *et al.*, 1991; Seckler *et al.*, 1999). به همین دلیل در بسیاری از مناطق از جمله ایران، کشاورزی بدون آب و آبیاری، غیرممکن و غیراقتصادی می‌باشد. بطوری که آب به عنوان مهم‌ترین و محدود کننده‌ترین نهاده تولید کشاورزی در ایران به شمار می‌رود (Zibayi, 2007).

در سال‌های اخیر اکثر مناطق کشور با خشک‌سالی مواجه بوده است. علاوه برخشک‌سالی‌های اخیر، رشد جمعیت و به دنبال آن افزایش تقاضا برای این جمعیت رو به رشد کشور و توجه به خودکفایی غذایی، باعث فشار مضاعف بر منابع محدود آب قابل دسترس شده است. در بیش‌تر مناطق ایران منابع آب سطحی محدود بوده و اصلی ترین منبع تامین آب، آب‌های زیرزمینی می‌باشد (Jafari *et al.*, 2020). به همین دلیل اکثر دشت‌های کشور با افت سالانه تراز آب زیرزمینی مواجه هستند و در شرایط فعلی بیش از ۵۰ درصد دشت‌های کشور جزء دشت‌های ممنوعه و بحرانی مشخص شده‌اند که نباید هیچ گونه توسعه و برداشت آبی در آن‌ها انجام شود (Ghadami Firouzabadi and Seyedan, 2019). بدیهی است که تمامی فشارهای تأمین غذای این جمعیت بر عهده بخش کشاورزی می‌باشد. با توجه به اینکه اکثر دشت‌های کشور دچار بحران آبی هستند، بجای افزایش سطح زیر کشت باید تولید در واحد سطح را افزایش داد. در واقع می‌توان بیان داشت که از مسائل اساسی در تولید مواد غذایی درکشورهای مختلف جهان و بخصوص کشورهای کم آب نظیر ایران، موضوع ارتقای بهره‌وری آب است (Zamani *et al.*, 2015; Gholami *et al.*, 2015). امروزه بهره‌وری مهم‌ترین و مؤثرترین روش دستیابی به رشد اقتصادی، با توجه به کمیابی منابع تولید است (Ehsani and Khaledi, 2003). در تعریف مفهوم بهره‌وری مصرف آب، بهره وری آب به مقدار محصولی گفته می‌شود که از هر واحد حجم آب مصرفی به دست می‌آید (Abbasi *et al.*, 2017). هدف اصلی در بهبود بهره‌وری آب کشاورزی در جهان، مصرف کم‌تر آب توأم با افزایش بیش‌تر محصولات کشاورزی است تا از این طریق امکان کاهش سهم آب بخش کشاورزی و تخصیص بیش‌تر آب به سایر مصارف و از همه مهم‌تر نیاز آبی محیط زیست فراهم آید (Heydari, 2014). لذا پرداختن به موضوع اندازه‌گیری و تحلیل شاخص‌های بهره‌وری آب کشاورزی در ایران به علت محدودیت کمی و کیفی این نهاده ارزشمند، به یک ضرورت تبدیل شده است (Qi *et al.*, 2021; Solat *et al.*, 2021).

در کنار این مسائل باید توجهی خاص به میزان درآمد کشاورزان به ازای آب مصرفی محصولات داشت، به عبارتی تخصیص آب بایستی به محصولاتی صورت گیرد که دارای سود اقتصادی بیش‌تری به ازای یک متر مکعب آب باشند. البته این مسئله به معنی چشم‌پوشی از سایر اهداف اساسی و بلند مدتی همچون تأمین امنیت غذایی و اشتغال نیست (Gholami *et al.*, 2015). درواقع می‌توان گفت که بدون توجه به این موضوع رسیدن به اهداف بزرگ‌تر (حفظ امنیت غذایی، تأمین آب مورد نیاز سایر بخش‌های مصرف کننده) کاری بسیار پیچیده خواهد بود. به همین دلیل در اکثر پژوهش‌های انجام یافته در زمینه بهره‌وری، از یک یا هر دو معیار و شاخص بهره‌وری اقتصادی و بهره‌وری فیزیکی آب محصولات کشاورزی صحبت به عمل آمده است (Amini *et al.*, 2020 Zamani *et al.*, 2015; Bahrami *et al.*, 2019;). متأسفانه کشور ایران از نظر معیار بهره‌وری مصرف آب در بخش کشاورزی در شرایط مطلوبی نمی‌باشد. براساس برنامه‌ریزی‌های صورت گرفته در افق پیش‌رو بایستی میزان بهره‌وری آب کشاورزی در کشور تا سال ۱۴۰۴ به حداقل ۱/۶ کیلوگرم به ازای یک متر مکعب آب افزایش یابد (Abbasi et al., 2017 Keshavarz and Dehghanisanije, 2012;). تحقق اهداف پیش‌بینی شده در برنامه‌های توسعه بالادستی نیازمند جمع‌آوری و تحلیل داده‌های میدانی دقیق و کافی جهت دستیابی به شناخت کامل و قطعی از وضع موجود و سپس ارائه راهکارهای علمی–عملی و با قابلیت اجرایی به منظور ارتقای بهره‌وری مصرف آب کشاورزی در سطوح مختلف می‌باشد. در این زمینه مطالعات گسترده‌ای در داخل و خارج کشور صورت گرفته است (Cetin and Bilgel, 2002; Liu *et al.*, 2008; Sepahvand *et al.*, 2009; Salvador *et al.*, 2011; Ghadami Firouzabadi, 2012; Fan *et al.*, 2014; Naroua *et al.*, 2014; Foster *et al.*, 2017; Ojaghlou *et al.*, 2020; Karimi *et al.*, 2022).

از طرفی، امروزه غذا به عنوان یکی از محورهای اصلی توسعه اقتصادی، نقشی بنیادین در تأمین استقلال کشورها، سلامت جامعه، پرورش نسل‌های آینده و افزایش کارآیی در آموختن علم و تکنولوژی نوین توسط نیروهای فعال هر کشور دارد (Modir Shanechi, 2006). لذا، توجه به بهبود خصوصیات کمی و کیفی محصولات کشاورزی به یک ضرورت تبدیل شده است (Mofidian *et al.*, 2013). تولید گیاهان علوفه‌ای را می‌توان نخستین گام در این جهت شمرد (Modir Shanechi, 2006). از مهم‌ترین گیاهان علوفه‌ای که کشت و کار آن در تمام نقاط رواج دارد، گیاهان خانواده لگومینوز هستند (Moinizadeh *et al.*, 2017). این گیاهان علاوه بر تأمین علوفه دام، با تثبیت زیستی نیتروژن ضمن بهبود حاصلخیزی خاک، به صورت گیاهان پوششی نقش بدیعی را در جایگزینی کودهای مصنوعی ایفا می‌نمایند و در تناوب با بسیاری از گیاهان زراعی در جلوگیری از فرسایش خاک مؤثر بوده و این محصولات بطور منفرد و به صورت کشت درهم، ردیفی و مخلوط با سایر محصولات قابل کشت می‌باشند (Heidari Sharif Abad and Dari, 2001). همچنین این گیاهان به عنوان یک منبع غنی از پروتئین‌های حیوانی نیز محسوب می‌شوند

(Mobtaker *et al.*, 2011). یونجه به عنوان مهم‌ترین گیاه علوفه‌ای خانواده لگومینوز به شمار می‌رود. این گیاه با نام علمی *Medicago sativa* L. به علت غنی بودن از پروتئین، کلسیم، ویتامین، خوش خوراک بودن و درصد کم سلولز در ردیف بهترین گیاهان علوفه‌ای قرار می‌گیرد که به آن طلای سبز لقب داده‌اند (Moinizadeh *et al.*, 2017). بنابراین یونجه دارای جایگاه ویژه‌ای در تغذیه دام و به ویژه در دامداری‌های مدرن و صنعتی می‌باشد (Behnamfar *et al.*, 2014).

کشور ایران دارای ۶۴۰ هزار هکتار اراضی زیر کشت یونجه است که معادل ۵/۴۱ درصد از کل سطح زیر کشت محصولات زراعی و ۶۲/۸ درصد از کل سطح زیر کشت نباتات علوفه‌ای می‌باشد. میزان تولید یونجه در کشور حدود ۵/۸ میلیون تن برآورد شده که معادل ۷/۸۸ درصد از کل میزان تولید محصولات زراعی و ۳۱/۷ درصد از کل میزان تولید نباتات علوفه‌ای می‌باشد (Ghaderpour *et al.*, 2017). شرایط اقلیمی متنوع ایران امکان کشت یونجه را در بسیاری از نقاط کشور فراهم ساخته است. بویژه در استان زنجان یونجه یکی از محصولات شاخص تولیدی با سطح زیر کشت حدود ۳۶ هزار هکتار (معادل حدود ۵/۶۳ درصد کل سطح زیر کشت یونجه ایران) می‌باشد و حدود ۲۸۵ هزار تن یونجه (معادل ۴/۹ درصد از کل یونجه تولیدی کشور) از مزارع مذکور برداشت می‌شود و از این حیث استان زنجان در جایگاه ویژه‌ای قرار دارد. (Iran Ministry of Agriculture-Jahad, 2021). مطالعات مختلفی با هدف ارائه راهکار برای ارتقای عملکرد تولید و بهره‌وری مصرف آب محصول یونجه توسط پژوهشگران داخلی و خارجی صورت گرفته است. پژوهش‌های پیشین عمدتاً در مزارع آزمایشی و در کرت‌های کنترل شده انجام شده است (Berrada, 2005; Carter *et al.*, 2013; Li *et al.*, 2017; Del Pozo *et al.*, 2017; Darapuneni *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2021).

یکی از اساسی‌ترین مشکلات مربوط به تولید محصولات علوفه‌ای به ویژه یونجه، مصرف بالای آب و کمبود منابع آب است. از طرفی مدیریت نامناسب آبیاری در سالیان گذشته، این مشکل را شدیدتر نموده است (Goudarzi *et al.*, 2021). بنابراین یونجه نیز از این امر مستثنی نبوده و تولید بهینه آن در شرایط کم آبی امکان پذیر نیست. از ویژگی های بیولوژیکی قابل توجه این گیاه نسبت به آب می‌توان بازدهی بالای مصرف آب، ریشه‌های عمیق، ماهیت چند ساله و توانایی پایداری تولید در زمان خشک‌سالی‌های دوره‌ای را نام برد (Rogers *et al.*, 2016). با این وجود افزایش تولید علوفه یونجه تابعی از تبخیر و تعرق گیاه بوده و با افزایش مصرف آب رابطه خطی دارد (Li and Su, 2017; Shewmaker *et al.*, 2013). براساس گزارش‌های متعدد، بسته به شرایط آب و هوایی و میزان تولید، نیاز آبی یونجه در طول دوره رشد بین ۸۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌متر در سال است. لذا، با توجه به نیاز آبی بالای این محصول باید حداکثر استفاده ممکن از قابلیت‌های گیاه برای کاهش مصرف آب صورت پذیرد (Goudarzi *et al.*, 2021).

بالیک و همکاران (Balik *et al.*, 2001) در پژوهش خود بهره‌وری آب یونجه را ۰/۸۹ تا حداکثر ۲ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش نموده‌اند. در مطالعات انجام یافته دیگر، بهره‌وری آب علوفه خشک یونجه در مناطقی از کلرادو ۰/۷۶ توسط برادا (Berrada, 2005)، ۰/۷۹ در ایالت آیداهو آمریکا توسط آندرسندر و همکاران (Undersander *et al.*, 2011) گزارش شده است. حیدری (Heydari, 2011) متوسط بهره وری مصرف آب یونجه را ۱/۴۶ کیلوگرم در هکتار و متوسط حجم آب مصرفی را ۷۶۲۵ متر مکعب در هکتار تعیین نمود. لشنی‌زند و همکاران (Lashanizand *et al.*, 2015) شاخص بهره‌وری مصرف آب یونجه در حوضه آبخیز هنام الشتر را ۱/۸۵ کیلوگرم بر مترمکعب و میزان کل آب مصرفی این محصول را ۹۸۲۹/۷۱ مترمکعب در هکتار اندازه‌گیری کردند. غلامی و همکاران (Gholami *et al.*, 2015) میزان بهره‌وری آب برای یونجه در سامانه آبیاری بارانی را بین ۰/۲۲ تا ۱/۷۶ و در سامانه آبیاری سطحی بین ۰/۱۲ تا ۱/۶۴ کیلوگرم بر متر مکعب گزارش نمودند. در پژوهشی مشاهده گردید که کاربرد آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در اقلیم خشک عربستان با اعمال کم‌آبیاری به صورت کاهش مقدار آب مصرفی، موجب کاهش علوفه تر و خشک شده اما بهره‌وری آب را افزایش می‌دهد (Li *et al.*, 2017). کریمی و جلینی (Karimi and Jolaini, 2017) بهره‌وری آب کشاورزی در محصولات مهم زراعی دشت مشهد را مورد بررسی قرار دادند و با توجه به شاخص های بهره‌وری آب تعیین شده برای محصول یونجه، کشت یونجه را با مصرف آب بالا و بازده اقتصادی پائین دانستند و بیان نمودند که بایستی از الگوی کشت منطقه حذف شود. چرا که این کار هم باعث کاهش مصرف و استحصال آب شده و هم متضمن منافع اقتصادی بالا برای کشاورزان و بهره‌برداران کشاورزی می‌باشد. قدمی فیروزآبادی و سیدان (Ghadami Firouzabadi and Seyedan, 2019) در طی پژوهشی بر روی واکنش ارقام مختلف یونجه در برابر تنش آبی، به این نتیجه رسیدند که برخی ارقام با بستن روزنه‌های خود تعرق را کاهش و از این طریق موجب افزایش بهره‌وری آب می‌شوند. فرحزا و همکاران (Farahza *et al.*, 2020) به ارزیابی بهره‌وری آب فیزیکی و اقتصادی محصولات زراعی در دشت مغان پرداختند و در مطالعه خود بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب محصول یونجه را به ترتیب برابر ۰/۲۵ کیلوگرم بر متر مکعب و ۹۷ تومان بر متر مکعب تعیین و گزارش نمودند که بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب محصول یونجه از لحاظ هر دو نوع شاخص بهره‌وری در سطح نسبتا ضعیفی قرار دارند. صفوی و همکاران (Safavi *et al.*, 2022) اثر سطوح مختلف آبیاری قطره‌ای تیپ بر عملکرد و بهره‌وری آب ارقام یونجه گرمسیری را مورد مطالعه قرار دادند و نتیجه گرفتند که عملکرد علوفه تر و خشک با تنش آبی، کاهش و درصد علوفه خشک افزایش یافته است، همچنین بیش‌ترین عملکرد و بهره‌وری علوفه خشک به ترتیب ۱۲/۴ تن در هکتار و ۰/۹۴ کیلوگرم

بر مترمکعب گزارش نمودند.

مطالعات گذشته بهره‌وری مصرف آب محصول یونجه بیش‌تر با بهره‌گیری از آزمایش‌های مزرعه‌ای در کرت‌های کنترل‌شده به بررسی اثر متقابل تیمارهای مختلف نظیر سامانه و سطح کفایت آبیاری، ارقام مختلف بذور، انواع متفاوت و مقدار مصرفی کودهای شیمیایی و بیولوژیکی و سایر عوامل مرتبط با تولید پرداخته شده است. لذا نیاز به پژوهش‌های میدانی که وضع موجود بهره‌وری و عوامل اثرگذار بر مصرف آب و تولید محصول یونجه را به صورت گسترده و در مقیاس بزرگ نظیر یک دشت یا استان در برگیرد، احساس می‌شود. همچنین ارائه و ارزیابی راهکارهای مدیریتی ساده و قابل اجرا توسط کشاورزان با هدف افزایش بهره‌وری مصرف آب در شرایط واقعی مزرعه تحت کشت، در این تحقیقات کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است. در این پژوهش با توجه به غیر قابل تغییر بودن دور آبیاری و حجم آب ورودی به مزارع یونجه و نظام‌های بهره‌برداری سنتی از منابع آب در دسترس، راهکار پیشنهادی ارتقای بهره‌وری، مدیریت آبیاری توسط کشاورز صرفاً از طریق بهینه نمودن تعداد ساعات آبیاری متناسب با شدت جریان آب ورودی مزارع بود. در این راستا در سال اول تحقیق، وضع موجود بهره‌وری مصرف آب در ۱۱ مزرعه منتخب یونجه واقع در ۴ شهرستان (زنجان، ابهر، خرمدره و خدابنده) از استان زنجان با توزیع مکانی مناسب مورد مطالعه قرار گرفت. سپس در دومین سال اجرای پژوهش، اثربخشی راهکار اصلاح برنامه‌ریزی آبیاری در مزرعه و بطور مشخص اصلاح برنامه‌ریزی آبیاری در شرایط واقعی مزرعه به منظور بهبود بهره‌وری مصرف آب کشاورزی مورد ارزیابی قرار گرفت.

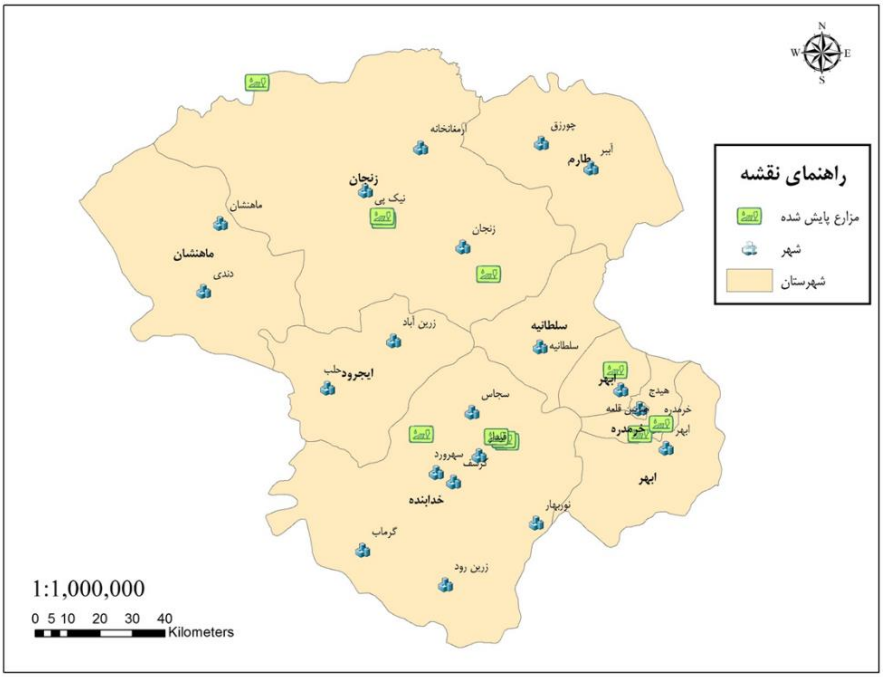
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان زنجان در شمال باختر فلات ایران قرار گرفته است. وسعت استان برابر ۲۲۱۶۴ کیلومتر مربع و ۱/۴۳ درصد کل کشور را شامل می‌شود. استان زنجان دارای ۸ شهرستان، ۱۹ بخش و ۱۲۱۰ آبادی است که از این تعداد، ۹۷۸ آبادی دارای سکنه و بقیه خالی از سکنه می‌باشند. از نظر توپوگرافی استان زنجان منطقه‌ای است کوهستانی که بصورت فلات مرتفعی خودنمایی می‌نماید و در اثر تجزیه رودخانه جلگه‌های حاصلخیز مستقلی را تشکیل داده است. ناهمواری‌های شهرستان در این مقوله به کوه‌های زنجان شمالی و کوه‌های زنجان جنوبی تقسیم گردیده است، که از نظر تقسیمات جغرافیایی، رشته کوه های زنجان شمالی ادامه رشته کوه‌های البرز و کوه‌های زنجان جنوبی جزئی از رشته کوه‌های منفرد مرکزی است. جهت کوه‌ها بطور طبیعی از شمال غربی به جنوب شرقی ممتد بوده و دره زنجان‌رود برزخی را میان رودخانه قزل اوزن سفلی و علیا بوجود آورده است. میانگین بارندگی سالانه در سطح استان ۳۲۳ میلی‌متر و میانگین دما ۹ تا ۱۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد که بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن در اقلیم نیمه‌خشک قرار گرفته است. مهم‌ترین حوضه آبخیز استان زنجان حوضه رودخانه قزل اوزن با مساحت حدود ۱۸۴۷۵ کیلومتر مربع می‌باشد که پس از سیراب نمودن باغات و مزارع در محل شهرستان منجیل در استان گیلان با رودخانه شاهرود قزوین تلاقی یافته و سپیدرود را شکل می‌دهند. قرار گرفتن استان زنجان در حوضه سفیدرود بزرگ ضرورت مدیریت بهینه مصارف آبی را به خصوص در بخش کشاورزی نمایان می‌سازد. شکل ۱ محدوده استان زنجان به همراه مزارع آزمایشی در نقاط مختلف محدوده مورد مطالعه را نمایش می‌دهد.

مشخصات مزارع آزمایشی

بر اساس آخرین آمار ارائه شده از سوی سازمان جهادکشاورزی استان زنجان حدود ۳۶ هزار هکتار از اراضی زراعی استان زنجان به کشت یونجه اختصاص دارد. به منظور انجام مطالعه حاضر، ابتدا در سال اول تحقیق تعداد ۱۱ مزرعه یونجه با مجموع مساحت ۲۷/۹۵ هکتار در اراضی کشاورزی استان زنجان انتخاب گردید (شکل ۱). با توجه به اینکه اکثر مزارع یونجه در منطقه مورد مطالعه مجهز به سیستم آبیاری بارانی شده‌اند، لذا تنوع سیستم‌های آبیاری در طرح تحقیقاتی حاضر نیز متناسب با شرایط واقعی بود. تعداد دو مزرعه با روش آبیاری سطحی و نه مزرعه دیگر نیز مجهز به سامانه آبیاری بارانی انتخاب شدند.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی مزارع یونجه پایش شده
Figure 1- Location of monitored alfalfa farms

این مزارع در اراضی زراعی ۴ شهرستان (زنجان، ابهر، خرمدره و خدابنده) از استان زنجان با توزیع مکانی مناسب، واقع شده‌اند. در سال دوم اجرای پژوهش حاضر، به منظور ارزیابی میدانی راهکارهای بهبود بهره‌وری مصرف آب، تعداد دو مزرعه انتخاب و راهکارهای بهبود بهره وری مصرف آب اجرا شد. راهکارهای بهبود عمدتاً 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 کنترل شده (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 شدت جریان 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، به منظور ساده و قابل درک بودن راهکار اعمال شده برای کشاورز و همچنین ضمانت اجرایی بالا، مدیریت آبیاری صرفا از طریق بهینه نمودن تعداد ساعات آبیاری انجام گرفت. همچنین برنامه تغذیه‌ای متناسب با خصوصیات کیفی خاک مزارع تهیه و در قطعات کنترل‌شده اعمال شد. مشخصات مزارع آزمایشی برای فازهای اول (۱۰۱ تا ۱۱۱) و دوم (۲۰۱ و ۲۰۲) در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین در جدول ۲ نیز مشخصات مربوط به برنامه آبیاری اجرا شده در مزارع آزمایشی فاز دوم اجرای طرح را نشان می‌دهد.

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب و خاک مزارع مورد مطالعه در جدول ۳ ارائه شده است.

شاخص‌های بهره‌وری مصرف آب

در این تحقیق جهت تحلیل بهره‌وری مصرف آب، از شاخص‌های حجم آب مصرفی، راندمان کاربرد آب آبیاری، بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در مزارع یونجه استفاده شده است.

حجم آب آبیاری

جهت تعیین حجم آب آبیاری در مزارع مورد مطالعه در طول فصل آبیاری، میزان شدت جریان ورودی به مزرعه و همچنین برنامه آبیاری حداقل در سه نوبت اندازه‌گیری و محاسبه شد. در هر نوبت آبیاری، مقدار شدت جریان ورودی به مزرعه بستگی به نوع منبع، روش انتقال و توزیع آب از طریق روش‌هایی همچون دستگاه مولینه، خط‌کش جت آب، روش حجمی، شدت جریان‌سنج اولتراسونیک و فلوم WSC اندازه گیری شد. حجم آب مصرف شده در کل فصل آبیاری از مجموع حجم-های آبیاری به‌دست آمده برای هر نوبت آبیاری از طریق رابطه ۱ تعیین می‌شود.

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

در رابطه (۱)، V حجم کل آب مصرف شده در طول فصل آبیاری (مترمکعب)، Q_i شدت جریان آب ورودی به مزرعه در آبیاری نوبت iام

(لیتر بر ثانیه) و t_i زمان آبیاری در نوبت iام (ساعت) می‌باشد.

راندمان کاربرد آب (E_a)

راندمان کاربرد آب (Ea) عبارت است از نسبت آب ذخیره شده در ناحیه ریشه به کل مقدار آب وارد شده به مزرعه، که در این پژوهش حداقل در سه نوبت در فصل آبیاری در مزارع منتخب اندازه‌گیری شده است. در هر نوبت رطوبت خاک قبل از آبیاری، رطوبت حد ظرفیت زراعی و جرم مخصوص ظاهری خاک در ابتدای اندازه‌گیری‌های میدانی اندازه گیری شد. عمق توسعه ریشه نیز در هر نوبت اندازه‌گیری و ثبت گردید. 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.

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

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

شاخص بهره‌وری فیزیکی آب (CPD)

شاخص بهره‌وری فیزیکی آب (CPD) نسبت مقدار محصول تولید شده به مقدار حجم آب مصرفی می‌باشد. آب مورد نیاز مزارع از دو طریق بارندگی و آبیاری تأمین می‌شود. لذا شاخص بهره‌وری فیزیکی آب با اعمال اثر بارندگی در فرآیند تأمین آب موردنیاز گیاه، از رابطه ۳ تعیین می‌گردد:

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

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

جدول ۱- ویژگی‌های عمومی مزارع آزمایشی

Table 1- General properties of the experimental farms

کد Code	نام روستا Name of village	موقعیت Location	مساحت (هکتار) Area (ha)	شدت جریان ورودی (لیتر بر ثانیه) Inflow rate (Lit/S)	روش آبیاری Irrigation method
101	اسفجین Sfajin	X: 253770 Y: 4072680	10.15	17.8	بارانی Sprinkler
102	رجعین Rajein	X: 214664 Y: 4115170	3.65	8.7	بارانی Sprinkler
103	دیزج آباد Dizajabad	X: 286123 Y: 4055990	1.16	6.3	بارانی Sprinkler
104	یامچی Yamchi	X: 253271 Y: 4073870	2.95	8.16	بارانی Sprinkler
105	کوه زین Kohzin	X: 325193 Y: 4026360	0.33	27	سطحی surface
106	زنجان Zanjan	X: 332878 Y: 4006670	0.45	38	سطحی surface
107	زنجان Zanjan	X: 339366 Y: 4009751	6.94	37.7	بارانی Sprinkler
108	نظرقلی Nazagholi	X: 291768 Y: 4004300	0.77	10.26	بارانی Sprinkler
109	نظرقلی Nazagholi	X: 290744 Y: 4005000	0.51	12	بارانی Sprinkler
110	گوندره Gondareh	X: 288430 Y: 4005790	0.81	8.63	بارانی Sprinkler
111	آق بلاغ سفلی Aghbelagh Sofla	X: 265392 Y: 4006550	0.23	6	بارانی Sprinkler
201	سرچم Sarcham	X: 758757 Y: 4112931	3.6	9	بارانی Sprinkler
202	سلطانیه Soltaniyeh	X: 305491 Y: 4033185	2.7	26	بارانی Sprinkler

جدول ۲- مشخصات برنامه آبیاری اجرا شده در مزارع آزمایشی- فاز ۲

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

کد Code	نوع مزرعه Farm type	بخش Section	زمان پس از اولین آبیاری Time after first Irrigation (day)	شدت جریان ورودی Inflow discharge (Lit/S)	فواصل آبیاری Irrigation intervals (day)	نوبت آبیاری Irrigation events	زمان آبیاری Irrigation time (hr)	عمق آبیاری Irrigation depth (mm)
201	شرایط واقعی Actual conditions	1	30	9	---	1	100	90
		2	190-240	9	7	7	75	67.5
		3	240-365	9	7	18	100	90
		4	---	---	---	---	---	---
	شرایط کنترل شده Control conditions	1	30	9	---	1	80	72
		2	190-240	9	7	7	30	27
		3	240-330	9	7	13	45	40.5
		4	330-365	9	7	5	30	27
202	شرایط واقعی Actual conditions	1	235-270	26	10	4	16	55.5
		2	270-300	26	7	2	20	69.3
		3	300-330	24	7	9	16	51.2
		4	330-365	24	7	2	12	38.4
	شرایط کنترل شده Control conditions	1	235-270	26	10	4	12	41.6
		2	270-300	26	7	4	16	55.5
		3	300-330	24	7	4	16	51.2
		4	330-365	24	7	4	12	38.4

جدول ۳- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب و خاک مزارع یونجه

Table 3- Some physical and chemical characteristices of water and soils in alfalfa farms

	آب Water				خاک Soil				
کد Code	شوری S	اسیدیته pH	سدیم Na	کلر Cl	بافت Texture	شوری S	مواد آلی OM	پتاسیم K	فسفر P
101	1175	7.53	6.10	0.59	clay	1.59	3.63	242	17.2
102	2070	7.64	10.40	3.55	clay	1.71	3.05	190	13.3
103	508	7.87	1.20	2.05	sandy clay loam	3.22	2.18	192	9.8
104	759	7.65	4.10	0.40	sandy clay loam	1.40	2.67	283	14.4
105	364	7.66	0.39	2.65	clay loam	1.64	2.96	295	12.1
106	656	7.73	3.50	0.64	silty clay loam	1.49	3.11	278	14.6
107	482	7.15	1.39	2.05	silty clay	1.89	2.41	228	10.6
108	498	7.31	1.21	1.94	sandy loam	0.96	3.44	170	8.9
109	496	7.22	1.14	1.95	sandy clay loam	1.22	3.66	215	9.5
110	580	7.44	1.17	2.00	silty clay loam	1.51	2.53	191	13.7
111	464	7.75	0.41	2.85	silty clay loam	1.33	2.58	227	10.4
201	2870	7.64	10.40	13.40	silty clay	4.77	0.54	186	9.1
202	526	7.46	1.55	0.58	silty clay	2.32	1.36	311	14.3

شاخص‌های بهره‌وری اقتصادی آب (BPD و NBPD)

شاخص بهره‌وری اقتصادی آب (BPD) شامل نسبت سود ناخالص به دست آمده به‌ازای هر واحد حجم آب به کار برده شده بر حسب میلیون ریال بر متر مکعب می‌باشد، که از طریق رابطه ۴ محاسبه می شود.

$$BPD=\frac{TR}{Tw_c} \quad (۴)$$

در رابطه فوق، TR مجموع درآمد کسب شده از محصول به ازای هر واحد آب مصرفی (میلیون ریال) و Tw_C حجم آب به کار برده شده (مترمکعب در هکتار) برای تولید محصول است.

شاخص بهره‌وری اقتصادی آب (NBPD) شامل نسبت سود خالص حاصل به ازای هر واحد حجم آب به کار برده شده بر حسب میلیون ریال بر متر مکعب می‌باشد، که از طریق رابطه ۵ محاسبه می-گردد:

$$NBPD=\frac{NB}{Tw_c} \quad (۵)$$

در رابطه (۵)، NB سود خالص حاصل از فروش محصول (میلیون ریال) و Tw_C حجم آب به کار برده شده (متر مکعب 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، ماشین آلات و حمل و نقل)، هزینه اجاره زمین و تعمیر و نگهداری سامانه آبیاری به صورت مستقل برای هر مزرعه تعیین شد. لازم به ذکر است در پژوهش حاضر، قیمت فروش یونجه در سال های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ ملاک محاسبات شاخص‌های بهره‌وری اقتصادی قرار گرفته است.

نتایج و بحث

اجزای بهره‌وری

مقادیر پارامترهای مرتبط با بهره‌وری مصرف آب شامل حجم آب آبیاری، راندمان کاربرد، عملکرد محصول، هزینه‌های تولید، سود ناخالص و خالص به دست آمده برای ۱۱ مزرعه پایش شده در فاز اول (پایش وضع موجود بهره‌وری مصرف آب) در جدول ۴ ارائه گردیده است. مقدار حجم آب آبیاری از ۹۸۴۹ تا ۲۰۵۷۶ متر مکعب در هکتار متغیر می‌باشد. میانگین حجم آب آبیاری در هر هکتار حدود ۱۴۲۵۰ متر مکعب اندازه‌گیری شد. حداکثر مصرف آب حدود ۲/۱ برابر بیش از حداقل مصرف آب بوده که این موضوع نشان دهنده تفاوت‌های چشم گیر بین مدیریت آبیاری اعمال شده توسط زارعین در مزارع یونجه می‌باشد. مشخص است بخش زیادی از مقدار آب برداشت شده به وسیله گیاه مصرف شده و بخشی نیز عموما از طریق تلفات نفوذ عمقی به چرخه هیدرلوژیکی حوضه باز می‌گردد. مقایسه حجم آب آبیاری بین دو سامانه آبیاری پایش شده نیز نشان می‌دهد، میانگین آب آبیاری به ازای هر هکتار کشت یونجه در اراضی با روش‌های آبیاری سطحی برابر با ۱۷۸۰۶ متر مکعب و در اراضی مجهز به سامانه‌های آبیاری بارانی معادل ۱۳۴۶۰ متر مکعب در هکتار می‌باشد. این در حالی است که نیاز آبی خالص محصول یونجه در دشت زنجان و ابهر برابر ۷۱۶۰ متر مکعب در هکتار و در دشت خدابنده معادل ۷۲۹۰ متر مکعب در هکتار برآورد شده است. بر اساس نتایج حاصل شده، آبیاری بی‌رویه در مزارع یونجه وجود دارد بطوری که تغییر سامانه آبیاری از سنتی به نوین منجر به کاهش مصرف آب نشده است. میانگین راندمان کاربرد آب در مزارع یونجه پایش شده معادل ۶۴ درصد، بیش‌ترین راندمان برابر ۸۲ درصد و کم‌ترین راندمان برابر با ۳۸/۳ درصد برآورد شد. میانگین راندمان کاربرد در مزارع با روش آبیاری سطحی ۵۰ درصد و در مزارع با روش آبیاری بارانی ۶۷ درصد محاسبه شد. تجهیز مزارع به سامانه‌های آبیاری بارانی عمدتا با انگیزه و هدف کاربرد شدت جریان‌های آب کم و همچنین کاهش هزینه‌های کارگری انجام می‌گیرد. متاسفانه به دلیل پیاده نمودن برنامه آبیاری غلط و سنتی، کاهشی در حجم آب آبیاری مشاهده نمی‌گردد. مطابق جدول ۴، حداقل و حداکثر عملکرد محصول یونجه در مزارع پایش شده به ترتیب برابر ۶/۵ و ۱۴/۱ تن در هکتار و میانگین عملکرد تولیدی برابر ۱۰/۴ تن در هکتار به دست آمد. میانگین عملکرد در مزارع با روش آبیاری سطحی برابر ۱۰/۳۴ تن در هکتار و در مزارع مجهز به سامانه آبیاری بارانی معادل ۱۰/۳۸ تن در هکتار حاصل شد. ملاحظه می‌گردد، میزان عملکرد یونجه در سیستم‌های مختلف آبیاری نزدیک به هم بوده و به میزان جزئی عملکرد یونجه در روش آبیاری بارانی نسبت به روش آبیاری سطحی بیش‌تر بود. بررسی رابطه میان حجم آب آبیاری و میزان عملکرد محصول نیز نشان می دهد، در محدوده حجم آب خالص مصرفی ۷۵۰۰ تا ۸۰۰۰ متر مکعب در هکتار میزان عملکرد تولید محصول (عملکرد بالای ۱۰ تن در هکتار) مناسب و قابل قبول بوده و با افزایش آن افزایش چشم‌گیری در میزان عملکرد تولید مشاهده نمی‌شود. حداقل و حداکثر سود خالص به دست آمده از مزارع به ترتیب برابر ۵۹ و ۱۸۱ میلیون ریال در هکتار و میانگین سود خالص حاصل از مزارع پایش شده برابر ۱۲۰/۸ میلیون ریال در هکتار برآورد گردید.

در جدول ۵ اجزای بهره‌وری محاسبه شده در فاز دوم طرح برای دو مزرعه آزمایشی آورده شده است. حجم آب مصرفی در دو مزرعه یونجه با وجود اینکه هر دو مزرعه مجهز به سیستم آبیاری بارانی بودند، در وضعیت کاملا متفاوت نسبت به هم قرار دارد. به دلیل عدم اعمال برنامه صحیح آبیاری و بطور صحیح‌تر آبیاری بی‌رویه و غیراصولی و نامتناسب با نیاز واقعی در مزرعه ۲۰۱، عمق آب آبیاری بیش از حد نیاز یونجه بوده و منجر به بالا رفتن قابل ملاحظه حجم آب مصرفی شده است.

جدول ٤- آب آبیاری، عملکرد، هزینه‌ها، سود ناخالص و سود خالص در مزارع آزمایشی

Table 4- Irrigation water, production, costs, gross revenue and net income in experimental farms

کد Code	آب آبیاری Irrigation water (m^3/ha)	راندمان کاربرد Application Efficiency (%)	عملکرد Total product (ton/ha)	هزینه‌ها Costs (million Rials/ha)	سود ناخالص Gross revenue (million Rials/ha)	سود خالص Net income (million Rials /ha)
101	9849	78	8.1	88	178	90
102	18535	61	11.8	100	236	136
103	11731	77.5	7.2	99	158	59
104	15295	69	9.3	96	198	102
105	15035	62	9.8	103	215	112
106	20576	38.3	10.9	82	238	156
107	10326	82	13.3	95	265	170
108	10361	75	10.6	92	212	120
109	15247	50.4	6.5	96	161	65
110	18411	48.0	14.1	100	281	181
111	11382	65	12.6	114	252	138

بطوری که علاوه بر تلفات تبخیر و بادبردگی، تلفات بالای آب از نوع نفوذ عمقی در مزرعه مذکور مشاهده می‌گردد. در مقابل و در مزرعه ۲۰۲ وضعیت مصرف آب تقریبا نزدیک به مقدار نرمال و مورد انتظار بر اساس نیاز آبی واقعی مزرعه می‌باشد. در این مزرعه، برنامه آبیاری تقریبا اصولی و متناسب با تغییرات نیاز آبی در طول فصل کشت اعمال شده است. یکی از دلایل مهم بالا بودن مصرف آب در مزرعه اول، عدم وجود محدودیت آب قابل دسترس بود بطوری که کشاورز برنامه آبیاری دلخواه را بدون در نظر گرفتن نیاز آبی واقعی گیاه، پیاده می‌نمود. این در حالی است که شرایط مزرعه دوم کاملا متفاوت بود و تناسب بین سطح کشت شده و حجم آب در دسترس وجود داشت. 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 تعداد ساعات کارکرد آبپاش در قطعه‌های آزمایشی انجام گرفت. در مزرعه ۲۰۱ مدت زمان آبیاری مزرعه به کم‌تر از نصف کاهش یافت. ساعات آبیاری در قطعات کنترل‌شده مزرعه ۲۰۲ نیز نسبت به قطعات دارای شرایط واقعی این مزرعه تنها در دوره ابتدایی فصل به میزان حدود ۲۵ درصد کاهش داده شد. بر این اساس ملاحظه می‌گردد، با اعمال برنامه آبیاری اصلاح شده در قطعات کنترل‌شده حجم آب مصرفی در قطعات آزمایشی مزارع ۲۰۱ و ۲۰۲ نسبت به واقعی (مدیریت کشاورز)، کاهش ۵۷ و ۱۷ درصدی را نشان می‌دهد. مقدار راندمان کاربرد آب در وضع موجود مزرعه ۲۰۱ بسیار کم‌تر از حد پتانسیل و قابل انتظار از سیستم‌های آبیاری بارانی کلاسیک می‌باشد در حالی که در مورد مزرعه ۲۰۲ وضعیت بهتر بوده و مقدار راندمان کاربرد قطعه شاهد نزدیک به مقدار پتانسیل است (به ترتیب ۳۷ و ۷۶ درصد برای مزارع اول و دوم). با اجرای راهکارهای توصیه شده، مقدار راندمان کاربرد آب در قطعات آزمایشی مزارع ۲۰۱ و ۲۰۲ به ترتیب ۳۸ و ۹ درصد افزایش یافت. افزایش راندمان کاربرد در هر دو مزرعه عمدتا از طریق کاهش تلفات نفوذ عمقی میسر شد. مقدار عملکرد محصول در دو مزرعه ۲۰۱ و ۲۰۲ به ترتیب برای شرایط واقعی مزرعه ۹/۸ و ۱۱/۵ و برای قطعات کنترل‌شده ۹/۲ و ۱۱/۹ تن در هکتار برآورد گردید. از لحاظ عملکرد محصول، اختلاف چشم‌گیری بین شرایط واقعی مزرعه و قطعات کنترل‌شده ملاحظه نمی‌شود. با این حال در مزرعه اول حدود ۶/۱ درصد افت محصول و در مزرعه دوم حدود ۳/۵ درصد افزایش محصول در قطعات کنترل‌شده نسبت به شرایط واقعی مزرعه ثبت گردید. با توجه به گستردگی عوامل دخیل در عملکرد محصول نظیر کیفیت خاک، تراکم کشت، آفات و بیماری‌ها، مدیریت تغذیه و... نمی توان وضعیت عملکرد تولیدی را صرفاً مرتبط با حجم آب مصرفی دانست. مقدار سود خالص به دست آمده برای شرایط واقعی مزرعه و قطعات کنترل‌شده در مزرعه اول، به ترتیب ۲۱۶/۵ و ۱۷۲ میلیون ریال در هکتار و در مزرعه دوم، ۲۴۹/۶ و ۲۶۳ میلیون ریال در هکتار محاسبه شد.

برنامه آبیاری اعمال شده در بیش‌تر مزارع به صورت سنتی و با نیاز واقعی مزرعه تناسب نداشت. به منظور تحلیل دقیق‌تر این موضوع، عمق آب آبیاری به صورت روزانه محاسبه و با مقدار نیاز آبی واقعی گیاه مورد مقایسه قرار گرفت. نیاز آبی واقعی گیاه نیز بر اساس اطلاعات اقلیمی سال انجام پژوهش و سایر اطلاعات مورد نیاز از قبیل مشخصات فیزیکی خاک و مشخصات گیاهی با استفاده از نرم‌افزار Cropwat تعیین شد. شکل ۲ نمودارهای مقایسه‌ای بین دو شاخص فوق را در ۱۱ مزرعه مورد بررسی در فاز اول پژوهش حاضر نشان می‌دهد.

جدول ۵- آب آبیاری، عملکرد، هزینه‌ها، سود ناخالص و سود خالص در شرایط واقعی و کنترل‌شده

Table 5- Irrigation water, production, costs, gross revenue and net income under actual and controlled conditions

کد Code		آب مصرفی Irrigation water (m^3/ha)	راندمان کاربرد Application Efficiency (%)	عملکرد Total product (ton/ha)	هزینه‌ها Costs (million Rials/ha)	سود ناخالص Gross revenue (million Rials/ha)	سود خالص Net income (million Rials /ha)
201	شرایط واقعی Actual conditions	21696	37	9.8	274	490.5	216.5
	شرایط کنترل‌شده Control conditions	9225	75	9.2	286	457.5	172.0
202	شرایط واقعی Actual conditions	8981	76.0	11.5	324	573.6	249.6
	شرایط کنترل‌شده Control conditions	7467	85	11.9	331	594.0	263.0

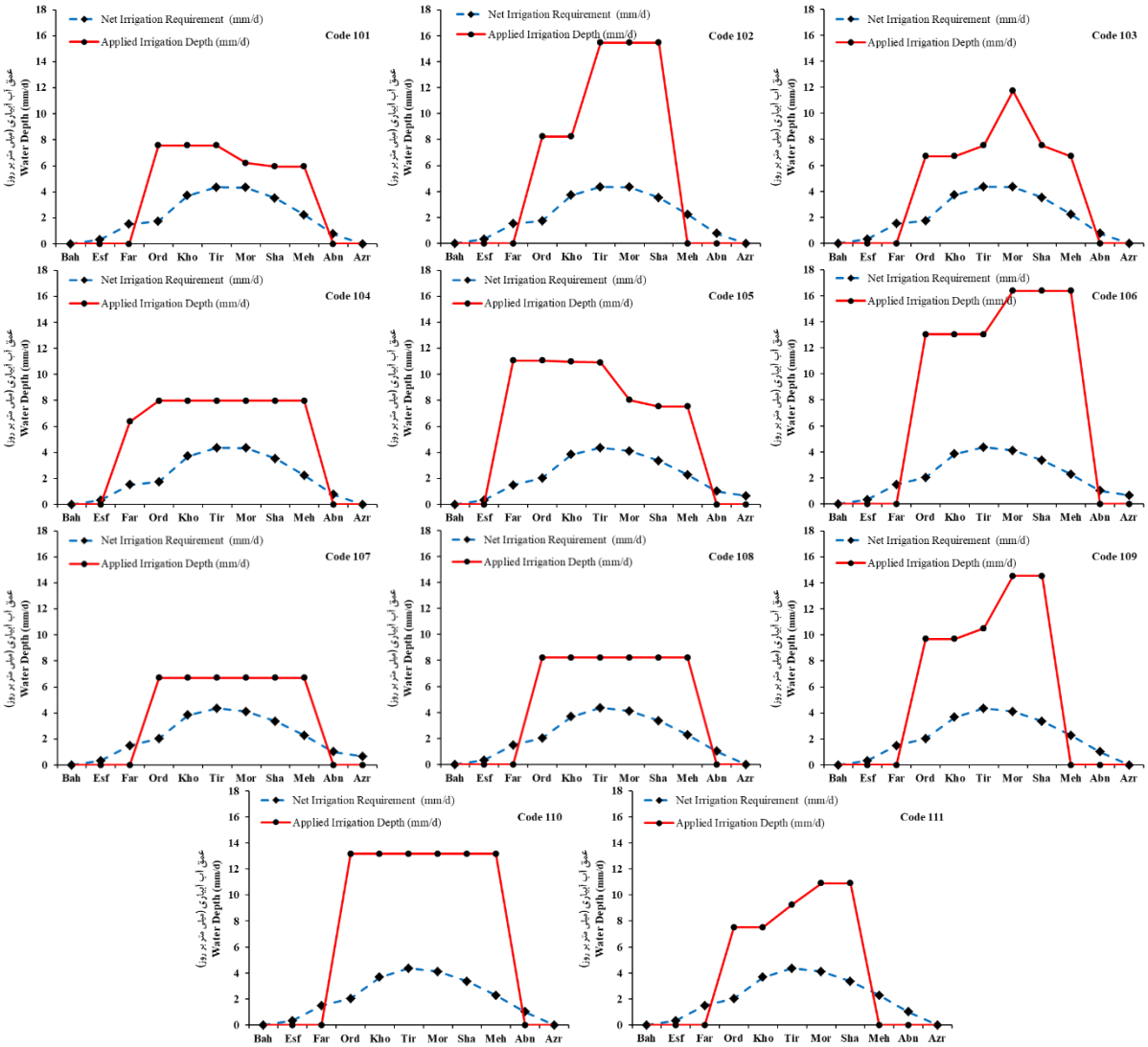
مطابق نمودارهای ارائه شده، عمق آبیاری در اواسط فصل رشد بیش‌تر از نیاز واقعی محصول یونجه بوده و در بیش‌تر مزارع اختلاف بین این دو شاخص چشم‌گیر می‌باشد. بطور کلی برنامه آبیاری در بیش تر مزارع نسبتا ثابت و از انعطاف پذیری کم‌تری برخوردار می‌باشد. در اواخر دوره آبیاری با توجه به کاهش آبدهی چاه‌ها در بیش‌تر مزارع، کاهش عمق آب آبیاری اعمال شده مشاهده می‌شود. عمده این اختلاف در اواسط دوره رشد (اردیبهشت تا مهرماه) ملاحظه می‌شود؛ بطوری که بیش‌ترین اختلاف مربوط به مزرعه ۱۰۶ بوده که در مهر ماه به میزان ۱۴/۱ میلی‌متر در روز آبیاری مازاد صورت گرفته است. در برخی مزارع شاهد مدیریت مناسب آبیاری هستیم از جمله مزرعه با کد ۱۰۷ که مناسب‌ترین برنامه آبیاری را دارا می‌باشد. در شکل ۳ 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 اعمال شده در فاز دوم طرح، نزدیک نمودن عمق آب آبیاری به نیاز خالص آبی گیاه (البته با لحاظ نمودن مقدار راندمان کاربرد آب پتانسیل) بود. با مقایسه نتایج ارائه شده دستیابی به هدف مذکور به وضوح مشاهده می‌گردد. مدیریت بکار گرفته شده در مزارع ۲۰۱ و ۲۰۲ به ترتیب منجر به کاهش ۵۵ و ۱۱ 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.

بهره‌وری فیزیکی مصرف آب

شکل ۴ مقادیر شاخص کارایی مصرف آب (CPD) برای ۱۱ مزرعه یونجه پایش شده در فاز اول مطالعات را نمایش می‌دهد. حداقل و حداکثر مقدار شاخص CPD برای مزارع مورد مطالعه به ترتیب برابر با ۰/۴۲ و ۱/۲۸ و بطور میانگین برابر با ۰/۷۹ کیلوگرم بر متر مکعب محاسبه گردید. شاخص کارایی مصرف آب تحت تاثیر اثر متقابل دو عامل حجم آب آبیاری و عملکرد محصول می‌باشد. مقدار مطلوب برای این شاخص زمانی قابل حصول خواهد بود که مدیریت مناسب و بهینه در مصرف آب و همچنین سایر مدیریت مناسب تغذیه اعمال گردد. بررسی همبستگی بین آب مصرفی و شاخص کارایی مصرف آب نشان می‌دهد، با بالا رفتن حجم آب آبیاری، مقدار شاخص کارایی مصرف آب تقریبا روند کاهشی دارد. بطوری‌که افزایش ۱۰۰۰ متر مکعبی حجم آب مصرفی بطور میانگین موجب کاهش ۰/۰۴ کیلوگرم بر متر مکعبی شاخص کارایی مصرف آب شده است. از سوی دیگر با افزایش مقدار عملکرد به میزان ۱ تن در هکتار، مقدار کارایی مصرف آب به میزان ۰/۰۷ کیلوگرم بر متر مکعب افزایش می‌یابد. همچنین بررسی کارایی مصرف آب به تفکیک نوع سیستم آبیاری نشان می‌دهد، میانگین کارایی مصرف آب در اراضی دو مزرعه تحت پوشش سیستم آبیاری سطحی ۰/۵۹ کیلوگرم بر متر مکعب و در مزارع مجهز به سیستم آبیاری

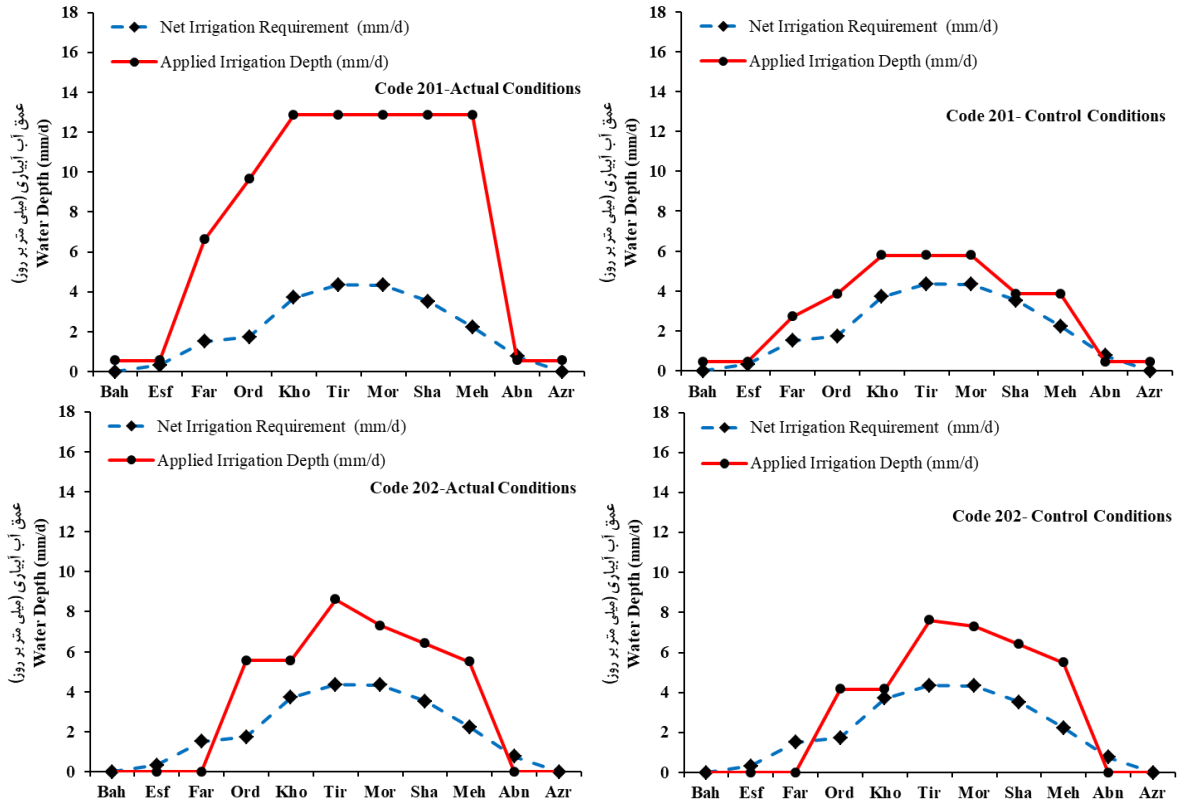
بارانی برابر با ۰/۸۳ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد. به عبارت دیگر کارایی مصرف آب در اراضی تحت پوشش سیستم آبیاری بارانی حدود ۲۴ درصد بیش‌تر از مزارع با روش آبیاری سطحی است. نتایج به دست آمده از مطالعه حاضر هم‌راستا با نتایج مطالعات پیشین می‌باشد. به عنوان نمونه، حیدری (Heydari, 2011) مقدار متوسط شاخص کارایی مصرف آب یا همان بهره‌وری فیزیکی محصول خشک یونجه را در منطقه کرمان، با مصرف ۷۶۲۵ متر مکعب و عملکرد ۱۱/۱ تن در هکتار، ۱/۴۶ گیلوگرم بر متر مکعب گزارش نموده است. همچنین نتایج مطالعه بهنام‌فر و همکاران (Behnamfar *et al.*, 2014) نشان داد که میزان کارایی مصرف آب (علوفه خشک) یونجه مابین ۰/۵ تا ۰/۸ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد.

شکل ۵ مقادیر شاخص CPD محاسبه شده برای دو مزرعه آزمایشی در فاز دوم مطالعه را تحت شرایط واقعی مزرعه و کنترل‌شده نشان می‌دهد. اعمال راهکارهای بهبود و بطور مشخص مدیریت آبیاری مناسب منجر به کاهش حجم آب آبیاری و در نهایت افزایش قابل توجه کارایی مصرف آب در قطعات کنترل‌شده گردیده است. مقدار شاخص مذکور در قطعات کنترل‌شده نسبت به شرایط واقعی در مزارع ۲۰۱ و ۲۰۲ به ترتیب ۱۱۹ و ۲۵ درصد افزایش داشته است. لازم به ذکر است کیفیت آب آبیاری در قطعات کنترل‌شده و واقعی یکسان بود. از سوی دیگر شاخص‌های کیفی خاک در هر دو قطعه اندازه‌گیری و تا حد امکان سعی گردید از این نظر نیز شرایط قطعات مذکور نزدیک به هم باشد.



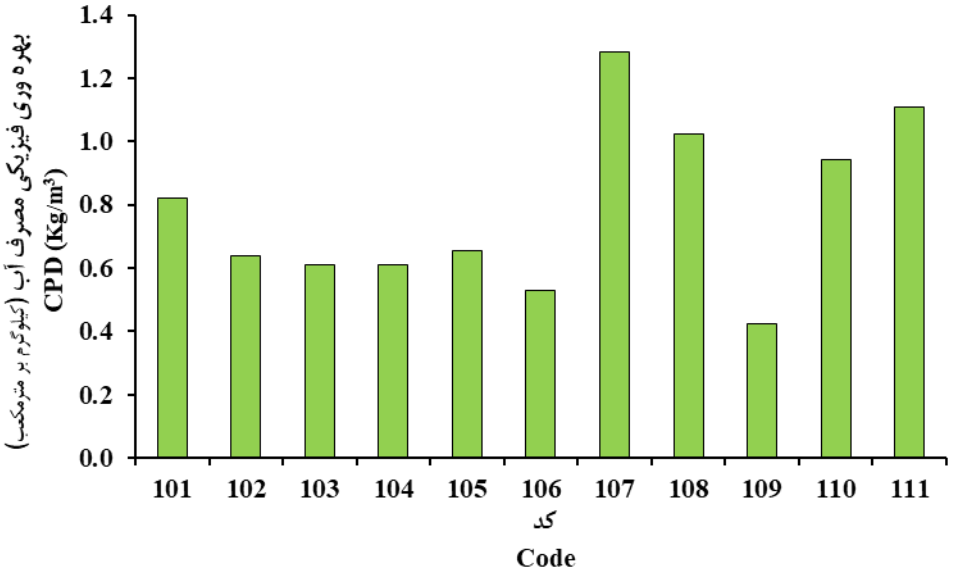
شکل ۲- مقایسه نیاز خالص آبیاری و عمق آب آبیاری در شرایط واقعی و کنترل شده - فاز ۱

Figure 2– Comparison of net irrigation requirement and applied water depth under actual and controlled conditions-phase 1



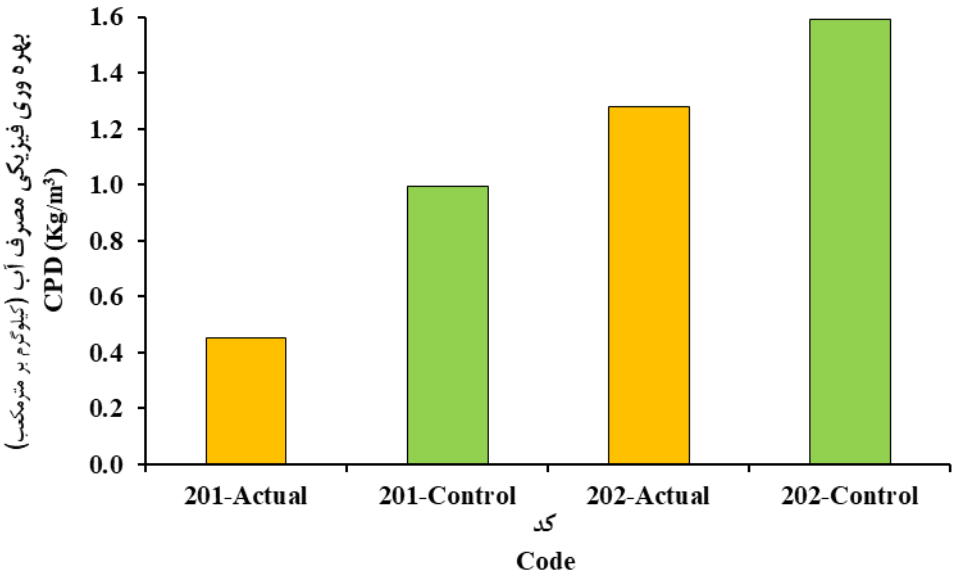
شکل ۳- مقایسه نیاز خالص آبیاری و عمق آب آبیاری در شرایط واقعی و کنترل‌شده - فاز ۲

Figure 3– Comparison of net irrigation requirement and applied water depth under actual and controlled conditions-phase 2



شکل ٤- مقادیر شاخص CPD در مزارع آزمایشی

Figure 4– The values of CPD indicator in experimental farms



شکل ۵- مقادیر شاخص CPD در شرایط واقعی و کنترل‌شده

Figure 5– The values of CPD indicator under actual and controlled conditions

بهره‌وری اقتصادی مصرف آب

مقادیر شاخص سود ناخالص به ازای واحد حجم آب آبیاری (BPD) برای ۱۱ مزرعه پایش شده در شکل ۶ ارائه شده است. کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار BPD برای مزارع یونجه به ترتیب برابر با ۱۰/۵ و ۲۵/۷ هزار ریال بر مترمکعب می‌باشد. میانگین این شاخص نیز در مزارع مورد بررسی ۱۶/۱ هزار ریال بر متر مکعب محاسبه شد. میانگین BPD به دست آمده برای مزارع با روش آبیاری سطحی و بارانی به ترتیب برابر ۱۲/۹ و ۱۶/۸ هزار ریال بر متر مکعب به دست آمد. مجهز نمودن مزارع به سامانه آبیاری بارانی منجر به افزایش ۳۰/۲ درصدی سود ناخالص به‌ازای هر واحد حجم آب آبیاری شده است. در شکل ۷ مقادیر شاخص BPD به دست آمده برای دو مزرعه مربوط به فاز دوم تحقیق، 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 به ترتیب ۶/۸ درصد کاهش و ۳/۵ درصد افزایش یافت. شکل ۸ مقادیر شاخص سود خالص به‌ازای هر واحد حجم آب مصرفی (NBPD) را برای ۱۱ مزرعه پایش شده نشان می‌دهد. کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار شاخص NBPD به ترتیب ۴/۳ و ۱۶/۴ هزار ریال بر مترمکعب تعیین شد. میانگین این شاخص نیز در مزارع پایش شده ۸/۹ هزار ریال بر مترمکعب تعیین شد. میانگین شاخص NBPD در مزارع با روش آبیاری سطحی برابر با ۷/۵ هزار ریال بر متر مکعب و در مزارع مجهز به سامانه آبیاری بارانی ۹/۲ هزار ریال بر متر مکعب برآورد شد. بررسی تغییرات شاخص NBPD نسبت به حجم آب آبیاری در مزارع پایش شده نشان می‌دهد، با افزایش میزان حجم آب آبیاری، مقدار شاخص سود خالص روند کاهشی نسبی داشته است. بررسی‌ها مؤید افزایش ۶۰۰ ریالی سود خالص به ازای کاهش ۱۰۰۰ متر مکعب آب آبیاری می‌باشد. میانگین شاخص سود خالص در مزارع با حجم آب آبیاری کم‌تر از ۱۲ هزار متر مکعب در هکتار، حدود ۱۱ هزار ریال بر متر مکعب به دست آمد. در مزارع با حجم آب آبیاری بالاتر از ۱۵ هزار متر مکعب در هکتار، مقدار شاخص NBPD بطور متوسط حدود ۷ هزار ریال بر متر مکعب برآورد شد. مقادیر مربوط به شاخص NBPD محاسبه شده برای دو مزرعه آزمایشی در فاز دوم پژوهش در شکل ۹ قابل مشاهده است. کاهش محسوس حجم آب آبیاری در قطعات کنترل‌شده مزارع ۲۰۱ و ۲۰۲، به ترتیب منجر به کاهش ۱۷ درصدی و افزایش ۵/۳ درصدی شاخص NBPD در این قطعات نسبت به شرایط واقعی مزرعه شده است.

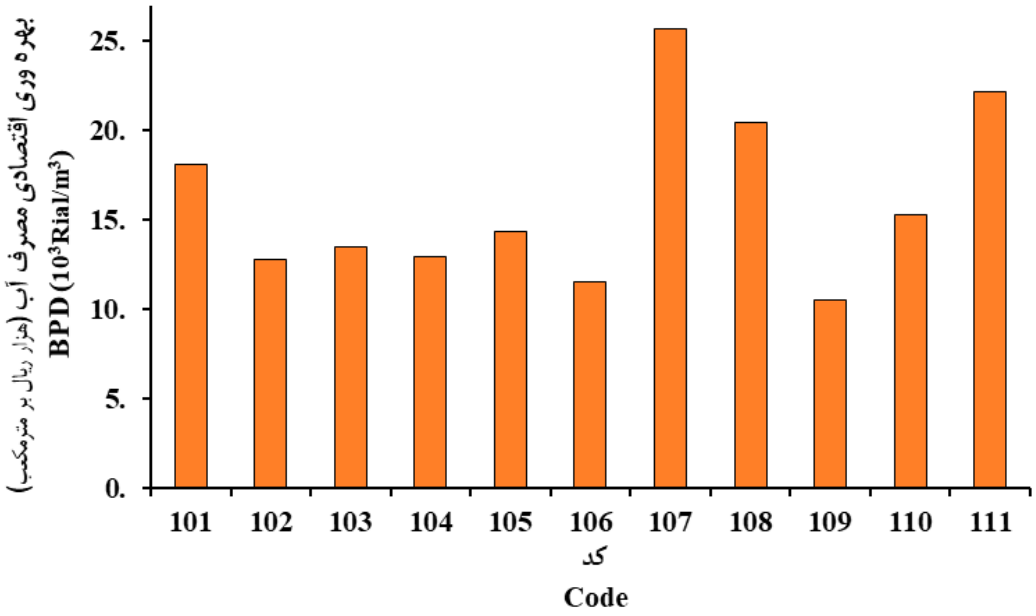
آزمون معنی‌داری

به منظور مطالعه دقیق‌تر اثر نوع روش آبیاری بر شاخص‌های بهره وری مصرف آب در ۱۱ 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. جداول ۶ و ۷ به ترتیب نتایج آزمون‌های معنی‌داری مربوط به نوع روش و مدیریت آبیاری را نشان می‌دهند. مطابق جدول ۶ ملاحظه می‌شود، بین مقادیر شاخص های حجم آب مصرفی، CPD، BPD و NBPD در مزارع با روش آبیاری سطحی و بارانی، اختلاف معنی‌داری در سطوح ۹۵ و ۹۹ درصد وجود ندارد. مطابق جدول ۷، اختلاف بین مقادیر شاخص‌های CPD و BPD به دست آمده در دو شرایط کنترل‌شده و واقعی در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار می‌باشد. با این وجود اختلاف بین مقادیر شاخص

NBPD حاصل از قطعات کنترل‌شده و واقعی در سطوح ۹۵ و ۹۹ درصد معنی‌دار نبود.

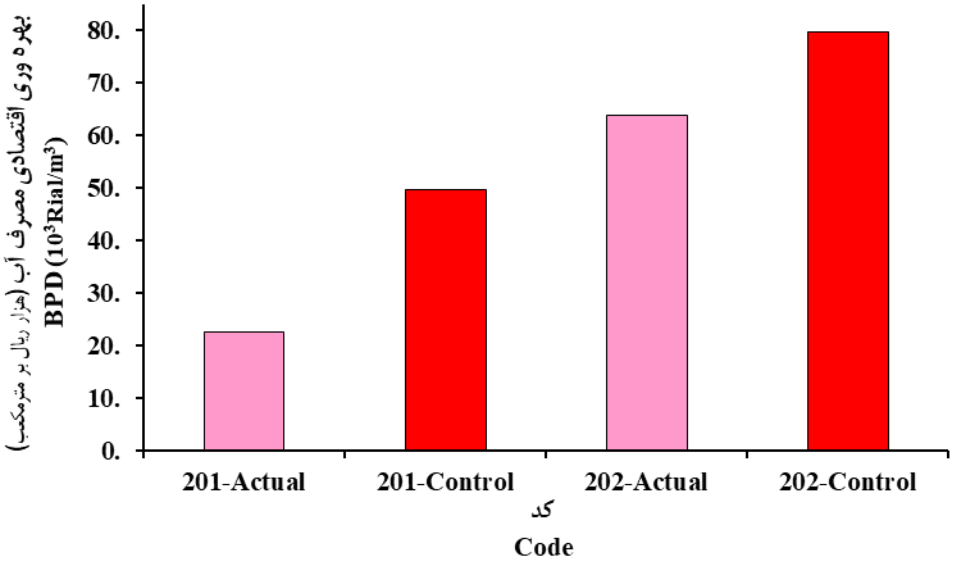
نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر توسعه سامانه‌های نوین آبیاری به عنوان راهکار مهم به منظور ارتقای بهره‌وری مصرف آب کشاورزی شناخته شده است. با این وجود به نظر می‌رسد نتایج مورد انتظار به دلایلی از جمله عدم دانش کافی کشاورزان و نبود نظارت علمی مستمر بر بهره‌برداری از این سامانه‌ها، محقق نشده است.



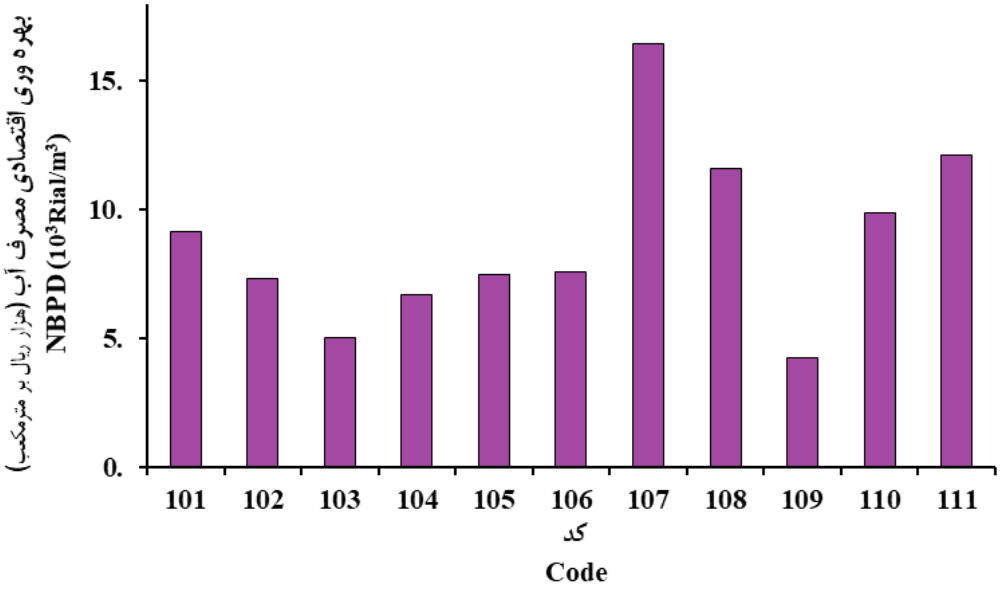
شکل ٦- مقادیر شاخص BPD در مزارع آزمایشی

Figure 6– The values of BPD indicator in experimental farms



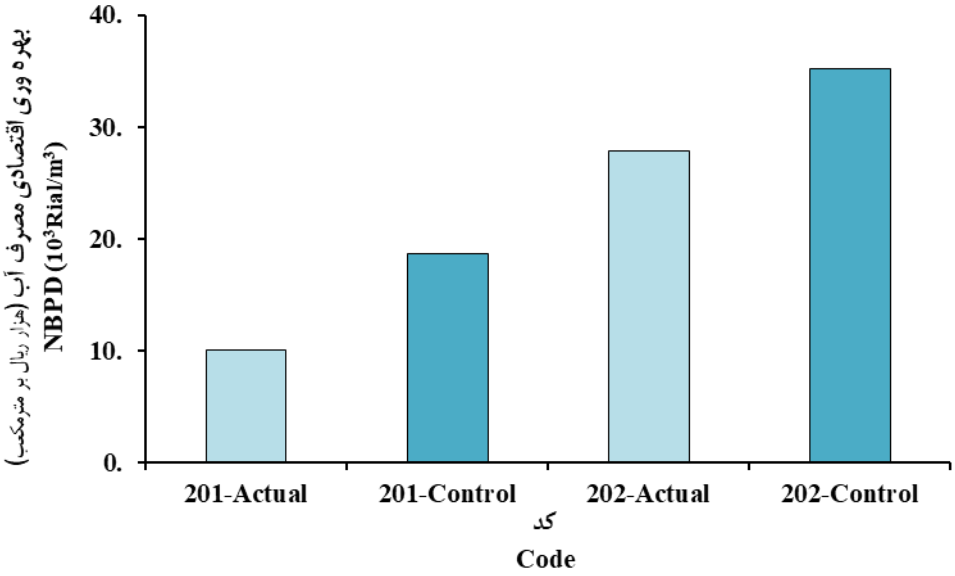
شکل ۷- مقادیر شاخص BPD در شرایط واقعی و کنترل‌شده

Figure 7– The values of BPD indicator under actual and controlled conditions



شکل ۸- مقادیر شاخص NBPD در مزارع آزمایشی

Figure 8– The values of NBPD indicator in experimental farms



شکل ۹- مقادیر شاخص NBPD در شرایط واقعی و کنترل‌شده

Figure 9– The values of NBPD indicator under actual and controlled conditions

در این تحقیق، مدیریت آبیاری و اثر آن بر شاخص‌های بهره‌وری مصرف آب در مزارع یونجه که عمدتا مجهز به روش آبیاری بارانی بودند، مورد مطالعه قرار گرفت. در مرحله اول، برنامه آبیاری اعمال شده توسط کشاورزان و وضع موجود شاخص‌های بهره‌وری پایش شد. در مرحله دوم، اثر اصلاح برنامه آبیاری به عنوان تکنیک ساده و در عین حال با قابلیت اجرایی بالا بر ارتقای بهره‌وری مصرف آب مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد، حجم آب آبیاری در مزارع یونجه بیش‌تر از نیاز واقعی گیاه بوده و با وجود مجهز بودن بیش‌تر مزارع یونجه به سامانه آبیاری بارانی، حجم آب آبیاری قابل توجه می‌باشد.

جدول ٦- آزمون معنی‌داری بین شاخص‌های بهره‌وری در روش‌های آبیاری سطحی و بارانی

Table 6- Significance test between productivity indicators under surface and sprinkler irrigation methods

شاخص Indicator	میانگین (Mean)		انحراف معیار (Standard deviation)		درجه آزادی Degrees of freedom	معنی‌داری Significance
	آبیاری سطحی Surface irrigation	آبیاری بارانی Sprinkler irrigation	آبیاری سطحی Surface irrigation	آبیاری بارانی Sprinkler irrigation		
آب مصرفی Water consumption ($10^3 m^3/ha$)	17.81	13.46	3.92	3.48	9	0.149 ns
بهره وری فیزیکی مصرف آب CPD (Kg/m^3)	0.59	0.83	0.08	0.28	9	0.283 ns
سود ناخالص به ازای حجم آب مصرفی BPD ($10^3 Rial/m^3$)	12.93	16.82	1.94	5.08	9	0.333 ns
سود خالص به ازای حجم آب مصرفی NBPD ($10^3 Rial/m^3$)	7.51	9.16	0.08	3.85	9	0.573 ns

ns No statistically significant difference, * Significance at 95% level, and ** Significance at the 99% level

جدول ۷- نتایج آزمون معنی‌داری بین شاخص‌های بهره‌وری در شرایط واقعی و کنترل‌شده

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

شاخص Indicator	میانگین (Mean)		انحراف معیار (Standard deviation)		درجه آزادی Degrees of freedom	معنی‌داری Significance
	شرایط واقعی Actual conditions	شرایط کنترل شده Control conditions	شرایط واقعی Actual conditions	شرایط کنترل شده Control conditions		
آب مصرفی Water consumption (m^3/ha)	15.34	8.35	8.99	1.24	2	0.039*
بهره وری فیزیکی مصرف آب CPD (Kg/m^3)	0.86	1.29	0.59	0.42	2	0.0494*
بهره وری اقتصادی مصرف آب BPD ($10^3 Rial/m^3$)	43.24	64.57	29.18	21.19	2	0.0491*
بهره وری NBPD ($10^3 Rial/m^3$)	18.88	26.93	12.59	11.72	2	0.176 ns

ns No statistically significant difference, * Significance at 95% level, and ** Significance at the 99% level

نتایج آزمون معنی‌داری نیز نشان داد، اختلاف معنی‌داری بین مقادیر شاخص‌های بهره‌وری در دو روش آبیاری وجود ندارد. متاسفانه برنامه آبیاری در مزارع از انعطاف کم‌تری برخوردار بوده و متناسب با تغییرات نیاز آبی در طول فصل نمی‌باشد. به نظر می‌رسد الگوی اشتباه در مدیریت آبیاری مزارع یونجه در منطقه تثبیت شده است و بیش‌تر مزارع در وضعیت بیش آبیاری قرار دارند. مطابق نتایج به دست آمده، اختلاف قابل توجهی بین عملکرد محصول در مزارع وجود ندارد و شاخص‌های بهره‌وری بیش‌تر متاثر از حجم آب آبیاری می‌باشند. نتایج مرحله دوم پژوهش نشان داد، با مدیریت مناسب آبیاری از طریق اصلاح مدت زمان آبیاری می‌توان حجم آب آبیاری را تا حد قابل ملاحظه‌ای کاهش و بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی را بهبود بخشید. با توجه به نتایج حاصل شده از یک سو و وضعیت موجود کم آبی در بیش‌تر دشت‌های کشور از سوی دیگر، نظارت علمی بر بهره‌برداری از سامانه‌ها آبیاری و همچنین ترویج گسترده و پیوسته شیوه‌های صحیح برنامه‌ریزی آبیاری به شدت احساس می‌شود.

منابع

1. Abbasi, F., Abbasi, N., & Tavakoli, A. (2017). Water productivity in agriculture: challenges and perspectives. *Journal of Water and Sustainable Development*, *4*(1), 141-144. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jwsd.v4i1.67121
2. Amini, A., Porhemmat, J., & Sedri, H. (2020). Investigating the physical and economic efficiency of water in major

crops in the Talvar Watershed, Kurdistan, Iran. *Watershed Engineering and Management, 12*(2), 481-491. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/ijwmse.2019.123085.1534
3. Angus, J.F., Herwaarden, A., Howe, G.N., & Van, H.A. (1991). Productivity and break crop effects of winter-growing oilseeds. *Animal Production Science, 31*(5), 669-677.
4. Bahrami, M., Khalilain, S., Mortazavi, S.S., & Asaadi, M.A. (2019). Evaluation of physical productivity of water agricultural in selected provinces in Iran (Case study: wheat crop). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 12*(6), 1511-1518. (In Persian with English abstract)
5. Balik, M., Grismer, M.E., & Tod, L. (2001). Reduced run off irrigation of alfalfa in Imperial Valley, California. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 127*, 123-130. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2001)127:3(123)
6. Behnamfar, K., Siadat, S.A., Bakhshandeh, A.M., Kashefipour, S.M., Alemi saied, Kh., & Jafari, A.A. (2014). Evaluation of Impct of Water Deficit on Yield and Water Use Efficiency of Four Cultivars Alfalfa (*Medicago sativa*) in Khuzestan Conditions – Ahvaz. *Journal of Irrigation Sciences and Engineering, 37*(3), 63-71. (In Persian with English abstract). https://dorl.net/dor/20.1001.1.25885952.1393.37.3.7.9
7. Berrada, A. (2005). Alfalfa response to water deficit using subsurface drip irrigation. *Technical bulletin (Colorado Agricultural Experiment Station); TB-05-1*,1-21. http://hdl.handle.net/10217/39158
8. Carter, C.M., Garcia, A.G.Y., Islam, M.A., & Hansen, K. (2013). *Effect of deficit irrigation on water use and water use efficiency of alfalfa*. In: Proceeding of American Society of Agricultural and Biological Engineers, Kansas City, Missouri. https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=44069
9. Cetin, O., & Bilgel, L. (2002). Effects of different irrigation methods on shedding and yield of cotton. *Agricultural Water Management, 54*(1), 1-15. https://doi.org/10.1016/S0378-3774(01)00138-X
10. Darapuneni, M.K., Lauriault, L.M., Vanleeuwen, D.M., & Angadi, S.V. (2020). Influence of irrigation regimes on alfalfa dry matter yield and water productivity in a semiarid subtropical environment. *Irrigation and Drainage, 69*(5), 1063-1071. https://doi.org/10.1002/ird.2490
11. Del Pozo, A., Ovalle, C., Espinoza, S., Barahona, V., Gerding, M., & Humphries, A. (2017). Water relations and useefficiency, plant survival and productivity of nine Alfalfa (*Medicago sativa* L.) cultivars in dryland Mediterranean conditions. *European Journal of Agronomy, 4*, 16-22. https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.12.002
12. Ehsani, M., & Khaledi, H. 2003. Agricultural water efficiency. *Irrigation and Drainage Committee, 82*, 1-109. (In Persian)
13. 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. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.09.001
14. Farahza, M.N., Nazari, B., Akbari, M.R., Naeini, M.S., & Liaghat, A. (2020). Assessing the physical and economic water productivity of annual crops in Moghan plain and analyzing the relationship between physical and economic water productivity. *Irrigation and Water Engineering, 11*(2), 166-179. (In Persian with English abstract). http://www.waterjournal.ir/article_120729.html#:~:text=10.22125/IWE.2020.120729
15. Foster, T., Brozović, N., Butler, A.P., Neale, C.M.U., Raes, D., Steduto, P., & Hsiao, T.C. (2017). AquaCrop-OS: An open source version of FAO's Crop water productivity model. *Agricultural Water Management, 181*, 18-22. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.11.015
16. Ghadami Firouzabadi, A. (2012). Technical evaluation of low pressure irrigation pipe (Hydro flume) and comparison with traditional and sprinkler irrigation systems. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 4*(3), 108-113.
17. Ghadami Firouzabadi, A., & Seyedan, S.M. (2019). Evaluation of irrigation water productivity and economic analysis of alfalfa production in sprinkler and surface irrigation systems. *Journal of Irrigation and Water Engineering, 10*(37), 136-149. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22125/iwe.2019.95880
18. Ghaderpour, O., Rafiee, S., & Sharifi, M. (2017). Analysis and modeling of energy and cost of alfalfa production using adaptive neural fuzzy inference system in Bukan city. *Iranian Journal of Biosystems Engineering, 48*(1), 179-190. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/ijbse.2017.61573
19. Gholami, Z., Ebrahimian, H., & Noory, H. (2015). Investigation of irrigation water productivity in sprinkler and surface irrigation systems (Case study: Qazvin plain). *Journal of Irrigation Sciences and Engineerin, 41*(1), 17-30. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22055/jise.2018.13447
20. Goudarzi, M., Akbari, M., & Hedayatipour, A. (2021). The efficiency of water consumption in the production of alfalfa fodder in the conditions of farmers in Central Province. *Fodder and Animal Feed Promotional Magazine, 2*(1), 87-95. (In Persian)
21. Hamdi Ahmadabadi, Y., Liaghat, A., Rasoulzadeh, A., & Ghaderpour, R. (2019). Investigation of in the capita water consumption variation in Iran based on the past two-deca diet. *Iranian Journal of Soil and Water Research 50*(1): 77-87. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/ijswr.2018.246084.667795
22. Heidari Sharif Abad, H., & Dari, M.G. (2001). *Forage Plants (Nyamdaran).* Publications and Research Institute of Forests and Rangelands.

23. Heydari, N. (2011). Determination and evaluation of water use efficiency of some major crops under farmers management in Iran. *Journal of Water and Irrigation Management*, *1*(2), 43-57. (In Persian with English abstract)
24. Heydari, N. (2014). Water productivity in agriculture: challenges in concepts, termsand values. *Irrigation and Drainage*, *63*(1), 22–28. https://doi.org/10.1002/ird.1816
25. Howell, TA., Evtt, S.R., & Tolk, J.A. (2001). *Irrigation systems and management to meet future food/fiber needs and to enhance water use efficiency*. In Proceedings of the INIFAP-ARS Joint Meeting; A Frame Work for Cooperation. Rio Bravo. Tamaulipas, Mexico and Weslaco, Texas, USA: 10-14.
26. Jafari, M.M., Ojaghlou, H., & Zare, M. (2020). Groundwater level fluctuation simulation using support vector machines and adaptive neuro fuzzy inference system (Case study: Maragheh plain). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 3*(14), 942-956. (In Persian with English abstract)
27. 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. https://doi.org/10.1007/s00477-021-02031-y(0123456789().,-vol(V0)123456789().,-volV)
28. Karimi, M., & Jolaini, M. (2017). Evaluation of agricultural water productivity indices in major field crops in Mashhad plain (technical note). *Journal of Water and Sustainable Development, 4*(1), 133-138. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jwsd.v4i1.52783
29. Keshavarz, A., & Dehghanisanije, H. (2012). Water productivity index and solutions for future agricultural activities in Iran. *Economic Stratrgy, 1*(1), 199-233. (In Persian with English abstract)
30. Lashanizand, M., Payamani, K., & Vyskarami, E. (2015). Investigating actual schema in agricultural using water surface, case study: Honam watershed. *Journal of Watershed Engineering and Management*, *6*(4), 400-406. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/ijwmse.2015.100822
31. Li, M., Liu, Y., Yan, H., & Sui, R. (2017). Effects of irrigation amount on alfalfa yield and quality with a center-pivot system. *Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers*, *60*(5), 1633-1644. https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=48474
32. Li, Y., & Su, D. (2017). Alfalfa water use and yield under different sprinkler irrigation regimes in North arid regions of China. *Sustainability 9*(8): 1380. https://doi.org/10.3390/su9081380
33. 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.
34. Mobtaker, H.G., Akram, A., Keyhani, A., & Mohammadi, A. (2011). Energy consumption in alfalfa production: A comparison between two irrigation systems in Iran. *African Journal of Plant Science*, *5*(1), 47-51.
35. Modir Shanechi, M. (2006). *Production and Management of Forage Plants*. Published Astan Quds Razavi 1-448. (In Persian)
36. Mofidian, S.M.A., Agha Shahi, A.R., & Moghadam, A. (2013). Quantitative and qualitative forage yield of cold-region alfalfa ecotypes of Iran. *Seed and Plant Journal*, *1-29*(4), 745-729.
37. Moinizadeh, M., Piri, I., Tavasoli, A., & Shojaei, S. (2017). Study of quantitative and qualitative forage yield of alfalfa cultivars (*Medicago sativa* L.) in different harvest in Khash region. *Journal of Applied Research of Plant Ecophysiology, 3*(2), 127-140. (In Persian). http://arpe.gonbad.ac.ir/article-1-223-fa.html
38. Naroua, I., Rodríguez, L., & Calvo, R.S. (2014). Water use efficiency and water productivity in the Spanish irrigation district "Río Adaja". *International Journal of Agricultural Policy and Research*, *2*(12), 484-491. https://doi.org/10.15739/IJAPR.021
39. Nazari, B., Liaghat, A., Akbari, M.R., & Keshavarz, M. (2018). Irrigation water management in Iran: Implications for water use efficiency improvement. *Agricultural Water Management, 208*, 7-18. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.06.003
40. 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. https://doi.org/10.1002/ird.2478
41. 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. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106756
42. Rogers, M.E., Lawson, A.R., & Kelly, K.B. (2016). Lucerne yield, water productivity and persistence under variable and restricted irrigation strategies. *Crop and Pasture Science*, *67*(5), 563-573. https://www.publish.csiro.au/cp/cp15159#:~:text=https%3A//doi.org/10.1071/CP15159
43. Safavi, M., asareh, A., Khorramian, M., Khodadadi dehkordi, D., & Egdernezhad, A. (2022). Effect of different levels of tape irrigation on yield and water productivity of tropical Alfalfa cultivars. *Journal of Water and Soil Science - Isfahan University of Technology, 26*(1), 211-222. (In Persian). http://jstnar.iut.ac.ir/article-1-4081-fa.html
44. Salvador, R., Martinez-Cob, A., Cavero, J., & Playán, E. (2011). Seasonal on-farm irrigation performance in the EbroBasin (Spain): Crops and irrigation systems. *Agricultural Water Management*, *98*(4), 577–587. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.10.003

45. Seckler, D., Baker, R., & Amarasinghe, U.A. (1999). Water scarcity in the twenty-first century. *International Journal of Water Resources Development*, *15*(1-2), 29–42.
46. 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 with English abstract)
47. Shewmaker, G.E., Allenand, R.G., & Neibling, W.H. (2013). *Alfalfa Irrigation and Drought*. University of Idaho College of Agriculture and Life Science: Moscow, ID, USA.
48. 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. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126835
49. Undersander, D., Cosgrove, D., Cullen, E., Rice, M.E., Renz, M., Sheaffer, C., Shewmaker, G., & Sulc, M. (2011). *Alfalfa Management Guide*. Wisconsin American Society of Agronomy. https://www.agronomy.org/files/publications/alfalfa-management-guide.pdf
50. Zamani, O., Mortazavi, S.A., & Balali, H. (2015). Economical water productivity of agricultural products in Bahar Plain, Hamadan. *Journal of Water Research in Agriculture*, *28*(1), 51-62. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/jwra.2015.101065
51. Zhang, J., Qian Wang, Q., Pan Pang, X., Peng Xu, H., Juan Wang, J., Na Zhang, W., & Gang Guo, Z. (2021). Effect of partial root-zone drying irrigation (PRDI) on the biomass, water productivity and carbon, nitrogen and phosphorus allocations in different organs of alfalfa. *Agricultural Water Management*, *243*(1), 1-11. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106525
52. Zhang, Q., Liu, J., Liu, X., Li, S., Sun, Y., Lu, W., & Ma, C. (2020). Optimizing water and phosphorus management to improve hay yield and water- and phosphorus-use efficiency in alfalfa under drip irrigation. *Food Science and Nutrition*, *8*(5), 2406-2418. https://doi.org/10.1002/fsn3.1530
53. 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)