Water and Soil Science, Vol.33, NO.4, Winter 2023, pp. 217-236.

DOI: 10.22034/ws.2023.53855.2499 ISSN:2717-3755 https://water-soil.tabrizu.ac.ir/

Research Article

Effect of Irrigation Management on Water Use Efficiency in Tomato Farms

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

Received: November 8, 2022
Revised: December 16, 2022
Accepted: January 16, 2023
Published online: December 22, 2023

1- Assist. Prof., Dept. of Water Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan,Iran
2- Ph.D. Candidate, Dept. of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Iran
3- National Planning Expert, Planning and Budget Organization of Zanjan Province, Zanjan, Iran
4- Assoc. Prof., Dept. of Water Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran
5- Assoc. Prof., Dept. of Agricultural Extension and Education, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
* Corresponding Author, Email: ojaghlou@znu.ac.ir

Abstract

Background and Objectives

Over-harvesting of water resources along with climate change led to the aggravation of the water shortage crisis. Therefore, proper management and planning for sustainable use of water resources are of great importance. In this situation, one of the most effective solutions is to increase agricultural water productivity. So, the main goal in improving agricultural water productivity is to save water consumption along with increasing the yield of agricultural products. There is 128,000 hectares of tomato cultivated lands, standing for 1.1% of the total cultivated area in Iran. Also, irrigation management is one of the most effective and recommended ways to control water consumption in tomato farms. Nevertheless, it is necessary to study the mentioned solution on large-scale such as a province with considering different climate, farm area, irrigation system and irrigation management in the field. In this research, irrigation management has been proposed as a solution to improve the water productivity. Initially, the current status of irrigation management in twelve tomato farms was investigated. Then, the effect of the irrigation management, specifically the corrected irrigation schedule, was evaluated owing to enhance the water productivity.

Methodology

Twelve tomato farms were firstly selected in the agricultural lands of Zanjan province. Most of the experimental farms were equipped with drip tape irrigation systems. In the second phase, two farms were selected and the proposed irrigation schedule were implemented in order to improve the water productivity. Each farm was divided into two parts; one with real conditions (farmers' management) and another with controlled conditions. In the controlled treatments, irrigation management was implemented through optimization of irrigation time. 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 consumed water, the water use efficiency, and the physical and economic efficiency of water have been determined to analyze the water productivity.

©: The Author(S)
Publisher: University of Tabriz

Findings

The minimum and maximum of consumed water in tomato farms was measured as 6142 and 17580 m3 ha-1, respectively (with an average of 10669 m3 ha-1). The average consumed water in farms with surface irrigation systems equal to 16600 and in farms equipped with drip tape irrigation systems is about 9483 m3 ha-1. While the actual water requirement in the studied area is between 6120 and 6950 m3 ha-1. The amount of application efficiency was calculated in the range of 34.8 to 90% (66% on average). The average of this index in surface and drip tape irrigation systems were determined 39.9 and 71.4%, correspondingly. The minimum and maximum values of tomato yield were measured 40- and 140-ton ha-1 (with average of 77.2-ton ha-1). The results of the second phase of the research showed that the application of proper irrigation management leads to a significant reduction in water consumption. Implementation of this strategy in farms 201 and 202 led to a 39% decrease and 8% increase, respectively of water consumption during the cropping season. Irrigation schedule in some farms is relatively fixed and they have less flexibility compared to changes in net water requirement. The water use efficiency CPD was calculated as an important criterion in order to investigate physical productivity. The value of CPD was obtained in the range of 2.3 to 22.8 (on average 8.7). As the consumed water increases to a certain amount (approximately 10000 m3 ha-1), the value of the CPD shows an upward trend. However, with the increase from the mentioned value, the value of the CPD drops. Implementation of modified irrigation management has led to a significant increase in CPD index. On average, the value of the CPD in the controlled plots has increased by 29.5% compared to the real conditions.

Conclusion

In some farms, the irrigation schedule was not in accordance with the net irrigation requirement and excessive irrigation was done by farmers. It was especially evident in the first half of the crop growth period, and with the reduction of groundwater level, the depth of irrigation water became closer to the actual requirement. In fact, the limitation of water resources was recognized as the main factor controlling water consumption in most farms. However, it is possible to considerably reduce the consumed water and improve the productivity by applying proper irrigation management (specifically correcting the irrigation time). Using the results of the present research through the preparation of understandable instructions for farmers can lead to the prevention of excessive irrigation and the control of water consumption in farms.

Keywords: Irrigation management, Irrigation schedule, Tomato, Water use efficiency, Zanjan

نشریه دانش آب و خاک / جلد ۳۳ شماره ۴ صفحه‌های ۲۱۷ تا ۲۳۶/ سال ۱۴۰۲

مقاله پژوهشی

اثر مدیریت آبیاری بر بهره‌وری مصرف آب در مزارع گوجه‌فرنگی

حسن اوجاقلو *[۱]، محمد مهدی جعفری[۲]، فرهاد اوجاقلو[۳]، فرهاد میثاقی[۱]، بیژن نظری[٤]، اسماعیل کرمی دهکردی[٥]

تاریخ دریافت: ۱٤۰۱/۰۸/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱٤۰۱/۱۰/۲٦

تاریخ ویرایش:۱٤۰۱/۰۹/۲٥ تاریخ انتشار انلاین :۱٤۰۲/۱۰/۰۱

۱- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

۲- دانشجوی دکتری گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۳- کارشناس برنامه‌ریزی کشوری، سازمان برنامه و بودجه استان زنجان

٤- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره) قزوین

٥- دانشیار گروه ترویج و آموزش کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: ojaghlou@znu.ac.ir

چکیده

مدیریت آبیاری نقش بسزایی بر کنترل مصرف آب و ارتقای شاخص‌های بهره‌وری دارد. برای این منظور، تعداد ۱۲ مزرعه واقع در استان زنجان انتخاب و مورد مطالعه میدانی قرار گرفت. از طریق اندازه‌گیری پارامترهایی نظیر حجم آب مصرفی در طول فصل آبیاری، عملکرد محصول، هزینه‌های تولید، درآمد ناخالص و خالص شاخص‌های راندمان کاربرد آب، بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی مصرف آب به تفکیک هر مزرعه برآورد شد. در مرحله دوم اجرای طرح، مدیریت آبیاری اصلاح شده در دو مزرعه منتخب اجرا شد و نتایج بدست آمده با مدیریت اعمال شده توسط کشاورز مورد مقایسه قرار گرفت. میانگین حجم آب مصرفی در مزارع گوجه‌فرنگی در حدود ۱۰٦٦۹ مترمکعب در هکتار و میانگین شاخص‌های کارایی مصرف آب، سود ناخالص و سود خالص به ترتیب برابر ۸/۷ کیلوگرم بر مترمکعب، ۹٤/۹ و ۱۸/۱ هزار ریال بر مترمکعب برآورد شد. اعمال مدیریت آبیاری منجر به افزایش ۲۹/٥ درصدی شاخص بهره‌وری فیزیکی شد. از طرفی دیگر، با وجود تجهیز بیش‌تر مزارع گوجه‌فرنگی به سامانه آبیاری قطره‌ای نواری، کاهش چشمگیری در میزان آب مصرفی برخی از این مزارع مشاهده نشد. نتایج پایش‌های میدانی نشان داد که مدیریت آبیاری از اهمیت بالاتری نسبت به نوع سامانه آبیاری بر کاهش مصرف آب در مزارع گوجه‌فرنگی برخوردار می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی آبیاری، زنجان، کارایی مصرف آب، گوجه‌فرنگی، مدیریت آبیاری

مقدمه

در حال حاضر تغییرات آب و هوایی باعث شدیدتر شدن بحران آب در بسیاری از نقاط جهان شده است (نظری و همکاران ۲۰۱۸). به طوری که براساس آمارها و گزارشات، هفت درصد جمعیت جهان در مناطقی که در آن آب کمیاب است، زندگی می‌کنند و پیش‌بینی شده است که این رقم تا سال ۲۰۵۰ به بیش از ٦٧ درصد افزایش یابد (هاول و همکاران ۲۰۰۱). در مطالعه دیگری گزارش شده است که تا سال ۲۰۲۵ میلادی، حدود ٤ میلیارد نفر درگیر بحران شدید کم‌آبی خواهند بود (نظری و همکاران ۲۰۱۸). بنابراین، در حال حاضر مدیریت صحیح و برنامه‌ریزی برای استفاده پایدار از منابع آب امری بسیار مهم و ضروری می‌باشد. ازآنجایی که بخش اعظمی از اراضی ایران در نواحی خشک و نیمه‌خشک می‌باشد و شرایط خاص اقلیمی و پراکنش نامناسب زمانی و مکانی بارندگی واقعیتی گریزناپذیر است که هر گونه تولید مواد غذایی و کشاورزی بدون آب و آبیاری را امری غیرممکن و غیراقتصادی ساخته است (صالحی ۲۰۱۸). به طوری که از بین عوامل تولید محصولات کشاورزی در ایران، آب اصلی‌ترین و محدود کننده‌ترین نهاده است که نقشی چشم‌گیر در تولید فرآورده‌های کشاورزی ایفا می‌نماید و کمیت و کیفیت محصولات کشاورزی وابستگی زیادی به آن دارد. (زیبایی ۲۰۰۷، گلکار و همکاران ۲۰۰۸). در بیش‌تر مناطق ایران منابع آب سطحی محدود بوده و اصلی‌ترین منبع تامین آب، آب‌های زیرزمینی می‌باشد (جعفری و همکاران ۲۰۲۰). به همین دلیل شاهد افت سالانه تراز آب زیرزمینی در اکثر دشت‌های کشور بوده‌ایم و در حال حاضر بیش از ۵۰ درصد دشت‌های کشور، دشت‌های ممنوعه و بحرانی محسوب می‌شوند و این یعنی امکان افزایش منابع جدید آب وجود ندارد (قدمی فیروزآبادی و سیدان ۲۰۱۹). سیاست‌های تأمین امنیت غذایی باعث فشار مضاعفی بر بخش کشاورزی به منظور افزایش کمی و کیفی تولیدات شده است. با توجه به اینکه اکثر دشت‌های کشور دچار بحران آبی هستند و نباید هیچ گونه توسعه و برداشت آبی در آن‌ها انجام شود، بجای افزایش سطح زیر کشت باید تولید در واحد سطح را افزایش داد. در این شرایط، یکی از مؤثرترین راهکارهای عملی، توجه جدی به کاهش مصرف آب و افزایش بهره‌وری آب کشاورزی است (میدانشاهی و همکاران ۲۰۱۳). بهره‌وری آب به مقدار محصولی گفته می‌شود که از هر واحد حجم آب مصرفی به دست می‌آید (عباسی و همکاران ۲۰۱۷). هدف اصلی در بهبود بهره‌وری آب کشاورزی در جهان، صرفه‌جویی در مصرف آب توأم با افزایش عملکرد 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 محیط‌زیست فراهم آید (حیدری ۲۰۱٤). 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 بلندمدتی همچون تأمین امنیت غذایی و اشتغال نیست (غلامی و همکاران ۲۰۱۵). درواقع می توان گفت که بدون توجه به این موضوع رسیدن به اهداف بزرگ‌تر (حفیظ امنیت غذایی، تأمین آب مورد نیاز سایر بخش‌های مصرف کننده) کاری بسیار پیچیده خواهد بود. به همین دلیل در اکثر مطالعات مربوط به بهره‌وری، یک یا هر دو معیار و شاخص بهره‌وری اقتصادی و بهره‌وری فیزیکی آب محصولات کشاورزی مورد بررسی قرار گرفته است (زمانی و همکاران ۲۰۱۵، بهرامی و همکاران ۲۰۱۹، امینی و همکاران ۲۰۲۰). خزائی (۱۹۹۹) در مطالعه خویش بر لزوم افزایش بهره‌وری آب کشاورزی تاکید و عنوان می‌کند که بهره‌وری آب کشاورزی در حال حاضر وضعیت مطلوبی نداشته و در مقایسه با بخش‌های دیگر در سطح

نازل‌تری قرار دارد. بهره‌وری مصرف آب در ایران حدود ٦٠٠ ولی در آمریکا بیش از ۲۰۰۰ گرم محصول به ازاء هر مترمکعب آب می‌باشد که نشان دهنده پایین بودن راندمان مصرف آب است (رضوانی و همکاران ۲۰۰۵). اکبری و همکاران (۲۰۰۹) با گزارش ضریب بهره‌وری آب بخش کشاورزی در ایران ٤١ درصد و متوسط جهانی آن ٦٥ درصد، بهره‌وری آب کشاورزی در کشور را در سطح بسیار پایین و غیر قابل قبول دانسته‌اند. به عبارت دیگر از آب استفاده بهینه نمی‌شود، بنابراین براساس برنامه‌ریزی‌های انجام شده در افق پیش‌رو افزایش شاخص بهره‌وری آب کشاورزی در کشور تا سال ١٤٠٤ به حداقل ۲ کیلوگرم به ازای یک متر مکعب آب ضرورت دارد (کشاورز و دهقانی سانیج ۲۰۱۲، عباسی ۲۰۱۷). دستیابی به هدف پیش‌بینی شده مستلزم جمع‌آوری داده‌های میدانی دقیق و کافی در 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 فراوانی تا به حال انجام شده، به طوری که در سال های اخیر بدلیل بحرانی‌تر شدن کمبود منابع آب این موضوع با اهمیت بیش‌تری در داخل و خارج کشور دنبال شده است (ستین و بیلگل ۲۰۰۲، لیو و همکاران ۲۰۰۸، سپهوند ۲۰۰۹، سالوادور و همکاران ۲۰۱۱، قدمی‌فیروزآبادی ۲۰۱۲، فن و همکاران ٢٠١٤، ناروا و همکاران ٢٠١٤، فاستر و همکاران ۲۰۱۷، اوجاقلو و همکاران ۲۰۲۰، محمدی و همکاران ۲۰۲۱، کریمی و همکاران ۲۰۲۲). یکی از عوامل موثر بر بهره‌وری، مدیریت آب در مزرعه می‌باشد. گوجه‌فرنگی با نام علمی *Lycopersicon esculentum* به لحاظ غنی بودن از لیکوپن، مواد معدنی، ویتامین‌ها (ویتامین‌های A و C) و ترکیبات آنتی اکسیدانی نقش مهمی در سلامتی افراد جامعه دارد (دهقان و همکاران ۲۰۱۵، عباسی و همکاران ۲۰۲۱). به طوری که در بین سبزیجات، بیش‌ترین مصرف را به خود اختصاص داده و در طی سالیان گذشته با تولید سالانه‌ی نزدیک به ۵۰ میلیون تن یکی از محبوب‌ترین سبزی‌ها به شمار می‌آید (گلکار و همکاران ۲۰۰۸). در سال‌های اخیر سطح زیر کشت این محصول در ایران نیز به شدت افزایش یافته است و کاشت گوجه فرنگی به عنوان یک منبع درآمدی و اشتغال برای بسیاری از خانواده‌های روستایی می‌باشد (راعی‌جدیدی و همکاران ۲۰۱۰). به طوری که براساس آمار موجود، سطح زیرکشت و میزان تولید گوجه‌فرنگی در کشور به ترتیب ۱۲۸ هزار هکتار و ٥/٦٨ میلیون تن است. در استان زنجان گوجه‌فرنگی یکی از محصولات شاخص تولیدی با سطح زیر کشت حدود ٥٣٢٨ هکتار (معادل حدود ٤/٢ درصد کل سطح زیر کشت گوجه‌فرنگی ایران) می‌باشد و حدود ۲۷۵ هزار تن گوجه‌فرنگی (معادل ٤/٨٤ درصد از کل گوجه‌فرنگی تولیدی کشور) از مزارع مذکور برداشت می‌شود و از این حیث استان زنجان در جایگاه ویژه‌ای (رتبه ۹ کشوری) قرار دارد. (احمدی و همکاران ۲۰۱۹، عباسی و همکاران ۲۰۲۱). یکی از اساسی‌ترین مشکلات مربوط به تولید محصولات سبزی و صیفی به ویژه گوجه‌فرنگی، این است که این محصولات نسبت به کمبود آب بسیار حساس بوده و هر گونه نقصان در تأمین نیاز آبی گیاه منجر به کاهش شدید عملکرد می گردد (صدرقاین و همکاران ۲۰۱۰). از سوی دیگر کمبود منابع آب و عدم مدیریت مطلوب مصرف آب و آبیاری در سالیان گذشته، از جمله دلایلی هستند که پایداری تولید محصول گوجه‌فرنگی را تهدید نموده است (شاهرخ‌نیا و رحیمی ۲۰۱۷). نتایج مطالعات انجام یافته نشان می‌دهد، عدم آگاهی و شناخت کامل کشاورزان از آبیاری دقیق و بهینه منجر به بالا رفتن مصرف آب در مزارع گردیده است (اوجاقلو و همکاران ۲۰۲۲). در برخی موارد حساسیت این گیاه به تنش کم آبی باعث اعمال آبیاری بی رویه از سوی کشاورز شده که علاوه بر تهدید جدی منابع آب، منجر به افزایش هزینه‌های تولید و به تبع آن قیمت تمام شده محصولات

شده و از طرف دیگر میزان تولید محصولات را کاهش می‌دهد (اشراقی و قاسمیان ۲۰۱۲، شاهرخ‌نیا و رحیمی ۲۰۱۷). مطالعات مختلفی با هدف ارائه راهکار برای ارتقای عملکرد تولید و بهره‌وری مصرف آب محصول گوجه‌فرنگی توسط پژوهشگران داخلی و خارجی صورت گرفته است. پژوهش‌های پیشین عمدتا در مزارع آزمایشی و در کرت‌های کنترل شده انجام شده است (شریواستاوا و همکاران ۱۹۹٤، هانسون و می ۲۰۰٤، العمران و همکاران ۲۰۱۰، شاهین و همکاران ۲۰۱۲، بیسواس و همکاران ۲۰۱۵، امیری و رستمی‌اجیرلو ۲۰۱۸، رحیمیان و ذبیحی ۲۰۱۸، هوشمند و همکاران ۲۰۱۹، اسکندری‌پور و همکاران ۲۰۲۰، پیری و مبارکی ۲۰۲۱، حسینی و همکاران ۲۰۲۲). ترک‌نژاد و همکاران (۲۰۰٦) در مطالعه‌ای نتیجه گرفته‌اند که نسبت منفعت به هزینه در آبیاری سطحی بیش‌تر از آبیاری قطره‌ای می‌باشد. با این وجود، بهره‌وری مصرف آب به ازاء هر واحد آب مصرفی در آبیاری قطره‌ای حدود دو برابر آبیاری سطحی بود. فاواتی و همکاران (۲۰۰۹) پژوهشی را به منظور بررسی تاثیر مقدار و دور آبیاری بر کمیت و کیفیت گوجه فرنگی در ایتالیا انجام دادند. مشاهده شد که کاهش میزان آبیاری یا افزایش دور آبیاری نه تنها باعث افزایش کارایی مصرف آب می‌شود، بلکه خصوصیات کیفی محصول نیز افزایش می‌یابد. کامپوس و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که روش آبیاری بخشی (PRD[1]) در مقایسه با آبیاری کامل موجب افزایش ۵۰ درصدی کارایی مصرف آب در کشت گوجه‌فرنگی می‌شود. صدرقاین و همکاران (۲۰۱۰) اثر مقادیر مختلف آب در روش آبیاری قطره‌ای را بر عملکرد گوجه‌فرنگی در ورامین مورد بررسی قرار دادند. در مناطقی که محدودیت آب وجود نداشت، تامین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه بهترین عملکرد را داشت. پاتن و همکاران (۲۰۱۱) با تاکید بر ضرورت مدیریت آبیاری گوجه فرنگی در نقاط خشک و نیمه‌خشک، تحقیقی در ایتالیا انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که آبیاری گوجه‌فرنگی به میزان ۵۰ درصد تبخیرتعرق سبب افزایش کیفیت میوه و کارایی مصرف آب شد، ضمن اینکه کاهش محصول کمی مشاهده شد. مولوی و همکاران (۲۰۱۱) بیان داشتند که با آبیاری سطحی یک در میان در صورتی که زمین عامل محدود کننده نباشد، می‌توان سطح زیر کشت را به دو برابر افزایش داد و میزان تولید محصول کل را افزایش داد. ایشان کارایی مصرف آب در آبیاری یک درمیان ثابت و متغیر به ترتیب ۱/۸ و ۱/۳ برابر آبیاری کامل اندازه‌گیری نمودند. میدانشاهی و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که روش آبیاری PRD با تیغه و محلول‌پاشی سالیسیلات سدیم در مقایسه با آبیاری کامل موجب افزایش ۱٦ درصدی عملکرد و ۱٦/۸٦ درصدی کارایی مصرف آب در کشت گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای می‌شود. اسدزاده شرفه و رئوف (۲۰۱۸) کارایی مصرف آب در سیستم‌های آبیاری بارانی بالادست کانال یامچی و شبکه کم فشار (هیدروفلوم) قوریچای در دشت اردبیل را مورد مقایسه و ارزیابی قرار دادند. ایشان در پژوهش خود، شاخص‌های عرضه نسبی آب آبیاری، عرضه نسبی آب، عرضه نسبی بارش، بهره‌وری فیزیکی آب، بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری و پارامترهای بهره‌وری اقتصادی شامل سود ناخالص، سود خالص و پارامترهای بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری شامل سود ناخالص و سود خالص محاسبه نمودند. نتایج نشان داد، متوسط کم آبیاری اعمال شده در چهار سال زراعی (۹٤-۹۰) برای شبکه‌های یامچی و قوریچای به ترتیب ۲۸ و ٤۳ درصد بوده است و مقدار متوسط بهره‌وری فیزیکی آب در دوره سه ساله (۹٤-۹۱) برای شبکه‌های یامچی و قوریچای به ترتیب ۱/۵۲ و ۲/۱۵ کیلوگرم بر مترمکعب بدست آمد. زلفی باوریانی و همکاران (۲۰۱۹) اثرات متقابل نیتروژن و آب آبیاری بر عملکرد و کارآیی مصرف آب و نیتروژن در کشت گوجه‌فرنگی در استان بوشهر را مورد بررسی قرار

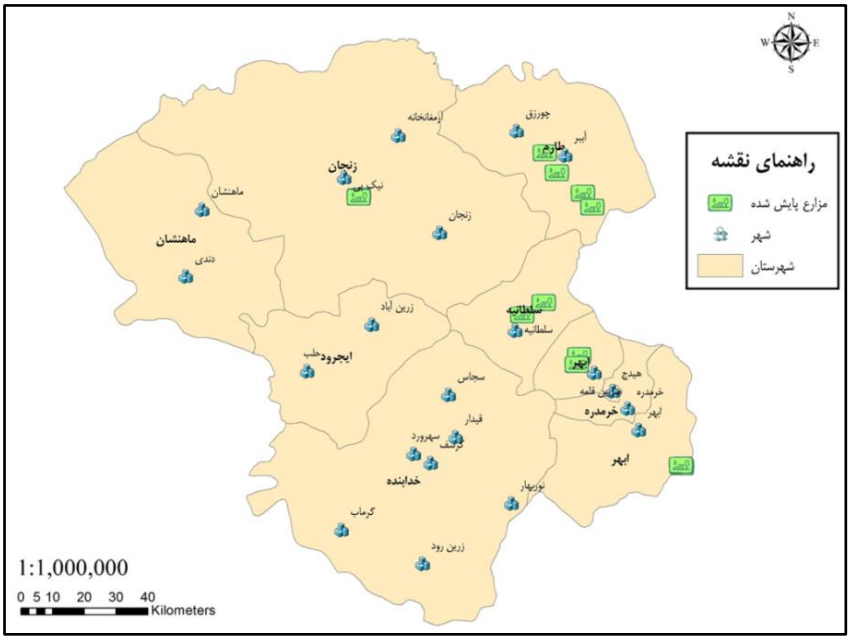
[1] Partial rootzone drying

دادند. نتایج نشان داد که تأثیر هرکدام از فاکتورها بر عملکرد محصول و کارآیی مصرف آب و نیتروژن تحت تأثیر دیگری بود و برای استفاده بهینه از آب آبیاری، مدیریت مصرف نیتروژن با توجه به رژیم آبیاری را ضروری دانستند. عباسی و همکاران (۲۰۲۱) بیان نمودند که آبیاری قطره‌ای نواری در مقایسه با آبیاری سطحی تاثیر بسزایی در افزایش شاخص‌های مدیریت مصرف آب در کشت گوجه‌فرنگی دارد، به طوری که آبیاری قطره‌ای موجب کاهش ۲۵ درصدی آب کاربردی و افزایش راندمان کاربرد آب در مزرعه و بهره‌وری آب آبیاری به ترتیب به میزان ۱۰ و ۱۶ درصد شده است. با وجود انجام مطالعات نقطه‌ای در خصوص عوامل مرتبط با بهره‌وری محصول گوجه‌فرنگی، نیاز به شناخت بیش‌تر وضعیت موجود و همچنین ارائه راهکارهای اجرایی از طریق انجام مطالعات میدانی در سطح یک دشت یا استان احساس می‌شود. در این تحقیق، ابتدا وضعیت موجود مدیریت آبیاری (اعمال شده از سوی کشاورزان) و شاخص‌های بهره‌وری مصرف آب در مزارع گوجه‌فرنگی از طریق مراجعات و اندازه‌گیری‌های میدانی در سطح استان زنجان پایش شد. سپس اثر مدیریت آبیاری اصلاح شده و متناسب با نیاز واقعی مزرعه بر بهبود راندمان و شاخص‌های بهره‌وری مورد مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

مزارع مورد مطالعه در این تحقیق واقع در استان زنجان می‌باشند. استان زنجان در شمال‌غرب کشور و مابین هفت استان از کشور ایران واقع گردیده است. موقعیت جغرافیایی استان منطبق بر عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۱۵ دقیقه شمال و طول جغرافیایی ٤٧ درجه و ۱۵ دقیقه تا ٤٥ درجه و ۲۵ دقیقه شرقی از نصف النهار گرینویچ است. مساحت استان در حدود ۲۲۱٦٤ کیلومتر مربع و جمعیتی بالغ بر ۱ میلیون نفر می‌باشد. از نظر شکل ظاهری زمین شامل دو منطقه کوهستانی و جلگه‌ای(دشت) می‌باشد. به دلیل موقعیت و شرایط خاص جغرافیایی استان اغلب رودخانه‌های این منطقه تحت تاثیر عوامل طبیعی، کم آب و سیلابی بوده به سبب ذوب شدن برف‌ها در بهار پرآب و در بقیه سال خشک و کم آب هستند. از رودخانه‌های مهم و نسبتا پرآب که در کشاورزی استان نقش اساسی دارند می‌توان به رودخانه‌های قزل‌اوزن، زنجانرود، ابهررود، ایجرود، سجاس‌رود، خررود و بزینه‌رود اشاره کرد. به جز رودهای ذکرشده، رودخانه‌های کوچک و فصلی فراوانی نیز در فصل‌های بارانی جاری هستند که اراضی محلی را مشروب نموده و در فصول گرم و کم بارش سال خشک می‌شوند. اوضاع جوی و شرایط اقلیمی منطقه بر حسب پستی و بلندی‌های موجود بسیار متغیر است. به طور کلی ارتفاعات دارای آب و هوای سرد، کوه‌های پوشیده از برف و تابستان‌های معتدل و خشک می‌باشند. متوسط بارندگی سالانه استان ۳۳۰ تا ۳٦۰ میلی‌متر بوده و اقلیم از خشک و بیابانی سرد تا نیمه مرطوب سرد در نقاط مختلف استان متغیر می‌باشد. شکل ۱ محدوده استان زنجان به همراه مزارع آزمایشی در نقاط مختلف محدوده مورد مطالعه را نمایش می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی مزارع گوجه‌فرنگی پایش شده.

مشخصات مزارع آزمایشی

بر اساس آخرین آمار ارائه شده از سوی سازمان جهاد کشاورزی استان زنجان، سطح زیر کشت گوجه‌فرنگی حدود ۵ هزار هکتار از اراضی زراعی این استان را در برمی‌گیرد. به منظور انجام مطالعه حاضر، ابتدا در سال اول تحقیق تعداد ۱۲ مزرعه گوجه‌فرنگی با مجموع مساحت ۲۸/۹ هکتار در اراضی کشاورزی استان زنجان انتخاب شد. لازم به ذکر است که بیش‌تر مزارع مورد مطالعه مجهز به سامانه آبیاری قطره‌ای نواری بودند (تعداد دو مزرعه با روش آبیاری سطحی و ۱۰ مزرعه مجهز به سامانه آبیاری قطره‌ای نواری). این مزارع در اراضی زراعی ٤ شهرستان (زنجان، ابهر، سلطانیه و طارم) از استان زنجان با توزیع مکانی و اقلیمی مناسب، واقع شده‌اند. در سال دوم اجرای پژوهش، تعداد دو مزرعه به منظور ارزیابی اثر مدیریت آبیاری اصلاح شده بر بهبود بهره‌وری مصرف آب انتخاب شد. هر مزرعه به دو قسمت تقسیم و بخشی از مزرعه در شرایط واقعی (مدیریت کشاورز) و بخش دوم نیز در شرایط آزمایشی (اعمال مدیریت آبیاری اصلاحی) قرار گرفت. در قطعات آزمایشی برنامه آبیاری بهینه با قابلیت اجرایی و قابل فهم برای کشاورز در نظر گرفته شد. 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. مشخصات مزارع آزمایشی در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است. در جدول ۳ نیز مشخصات مربوط به برنامه آبیاری اجرا شده در مزارع آزمایشی فاز دوم اجرای طرح ارائه گردیده است.

جدول ۱- ویژگی‌های مزارع گوجه‌فرنگی- مرحله اول تحقیق.

کد مزرعه	شهرستان	روستا	موقعیت	مساحت (ha)	دبی ورودی ($L\ S^{-1}$)	روش آبیاری
۱۰۱	سلطانیه	خیرآباد	(۳۰٤۲۳۲, ٤۰۳۸۵۷٤)	۱/۵۲	۳/۵	قطره‌ای نواری
۱۰۲	سلطانیه	بویین	(۳۱۱۰۰۹, ٤۰٤۲٤٦۲)	۱۷/٦٦	۲۱/۸	قطره‌ای نواری
۱۰۳	زنجان	کناوند	(۲۵۲۷۱۷, ٤۰۷۵۸۷۰)	۱/۵	۳/۷	قطره‌ای نواری
۱۰٤	زنجان	کناوند	(۲۵۲٦۲٦, ٤۰۷۵٦۲۹)	۰/۹۲	۹	قطره‌ای نواری

۱۰۵	ابهر	قروه	(۳۵٤٦۰٤, ۳۹۹۰۷۲۹)	۲/٤٤	۳٤	قطره‌ای نواری
۱۰٦	ابهر	قروه	(۳۵٤۲۸٦, ۳۹۹۱۲٤۷)	۲/۱۷	۳۰	قطره‌ای نواری
۱۰۷	ابهر	پیرسقا	(۳۲۲۱۸۸, ٤۰۲۵۷۹۰)	۰/۷٤	۱۳	قطره‌ای نواری
۱۰۸	ابهر	پیرسقا	(۳۲۱۳۸۹, ٤۰۲۲۹۳۰)	۰/۳۵	۲٤/۹	سطحی
۱۰۹	طارم	تسکین	(۳۲۳۳۷٤, ٤۰۷٦۸۸٦)	۰/۸	۹/٦	قطره‌ای نواری
۱۱۰	طارم	هندی کندی	(۳۲٦۳۲٤, ٤۰۷۲۵۰۲۲)	۰/۲٤	٤/٤	قطره‌ای نواری
۱۱۱	طارم	ونیسر	(۳۱۵۱۲٤, ٤۰۸۳۳٤٦)	۰/۱۲	۹/۵	سطحی
۱۱۲	طارم	آستاکل	(۳۱۱۳٦۱, ٤۰۸۹٦۱۰)	۰/٤۵	۵	قطره‌ای نواری

جدول ۲- ویژگی‌های مزارع گوجه‌فرنگی- مرحله دوم تحقیق.

کد مزرعه	شهرستان	روستا	موقعیت	مساحت (ha)	دبی ورودی ($L\ S^{-1}$)	روش آبیاری
۲۰۱	زنجان	محدوده زنجان	(۲۷۰۷۰۰, ٤۰٦۱۵۲۳)	۲/۳	۱۸/۱	قطره‌ای نواری
۲۰۲	ابهر	پیرسقا	(۳۲۲۰۱۲, ٤۰۲٤۹۹۹)	۰/۳۱	۵/۵	قطره‌ای نواری

جدول ۳- مشخصات برنامه آبیاری اجرا شده در مزارع آزمایشی- مرحله دوم تحقیق.

کد مزرعه	نوع مزرعه	بخش	زمان پس از کاشت (day)	دبی ورودی ($L\ S^{-1}$)	فواصل آبیاری (day)	نوبت آبیاری	زمان آبیاری (hr)	عمق آبیاری (mm)
۲۰۱	شرایط واقعی	۱	۲۰-٦۵	۲۰/۸	۱	٤۵	۵	۱٦/۳
		۲	٦۵-۱۰۰	۱٦/۷	۱	۳۵	۳	۷/۸
		۳	۱۰۰-۱۳۰	۱٦/۷	۱	۳۰	۲	۵/۲
		٤	---	---	---	---	---	---
	شرایط آزمایشی	۱	۲۰-٤۰	۲۰/۸	۱	۲۰	۲	٦/۵
		۲	٤۰-۷۰	۱٦/۷	۱	۳۰	۳	۷/۸
		۳	۷۰-۱۰۰	۱٦/۷	۱	۳۰	۳	۷/۸
		٤	۱۰۰-۱۳۰	۱٦/۷	۱	۳۰	۱/۵	۳/۹
۲۰۲	شرایط واقعی	۱	۱۵-٤۵	۵/۵	۷	٤	۲/۵	۱٦
		۲	٤۵-٦۰	۵/۵	٤	٤	۲/۵	۱٦
		۳	٦۰-۱۰۵	۵/۵	۳	۱٦	۲/۵	۱٦
		٤	۱۰۵-۱۳۰	۵/۵	٤	۷	۲/۵	۱٦
	شرایط آزمایشی	۱	۱۵-٤۵	۵/۵	۷	٤	۲/۵	۱٦
		۲	٤۵-۷۵	۵/۵	۳	۱۰	۳	۱۹/۲
		۳	۷۵-۱۰۵	۵/۵	۳	۱۰	۳	۱۹/۲
		٤	۱۰۵-۱۳۰	۵/۵	٤	۷	۲	۱۲/۸

شاخص‌های بهره‌وری مصرف آب

به منظور تحلیل بهره‌وری مصرف آب، شاخص های حجم آب مصرفی، راندمان کاربرد آب آبیاری،

بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در مزارع گوجه‌فرنگی محاسبه شد.

حجم آب مصرفی

به منظور برآورد حجم آب مصرفی در طول فصل آبیاری، میزان دبی ورودی به مزرعه و همچنین برنامه آبیاری حداقل در سه نوبت اندازه‌گیری و تعیین شد. در هر نوبت آبیاری، مقدار دبی ورودی به مزرعه بستگی به نوع منبع، روش انتقال و توزیع آب از طریق روش‌هایی همچون دستگاه مولینه، خطکش جت آب، روش حجمی، دبی‌سنج اولتراسونیک و فلوم WSC اندازه‌گیری شد.

حجم آب مصرف شده در کل فصل آبیاری از مجموع حجم‌های 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 فوق، V حجم کل آب مصرف شده در طول فصل آبیاری (m^3)، Q_i دبی آب ورودی به مزرعه در آبیاری نوبت iام ($L\ S^{-1}$) و t_i زمان آبیاری در نوبت iام (hr) می‌باشد.

راندمان کاربرد آب (E_a)

مقدار راندمان کاربرد (E_a) حداقل در سه نوبت در 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 اندازه گیری‌های میدانی تعیین 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 (٪)، ρ_b جرم مخصوص ظاهری خاک ($g\ cm^{-3}$)، $\theta_{(FC)}$ درصد رطوبت وزنی در نقطه ظرفیت زراعی، $\theta_{(i)}$ درصد رطوبت وزنی پیش از آبیاری نوبت iام، D_{rz} عمق توسعه ریشه گوجه‌فرنگی (mm) و D_{app} عمق آب آبیاری (mm) است.

شاخص بهره‌وری فیزیکی آب (CPD)

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 ($Kg\ m^{-3}$)، Tp مقدار عملکرد تولیدی محصول ($Kg\ ha^{-1}$)، P حجم بارشی که در طول فصل آبیاری صرف تأمین آب مورد نیاز گیاه شده است (m^3) و Tw(Ir+P) حجم آب کاربردی ($m^3\ ha^{-1}$) می‌باشد.

به منظور تحلیل نوع مدیریت آبیاری، علاوه بر شاخص CPD، شاخص‌های عرضه نسبی آبیاری سالانه (ARIS) و عرضه نسبی آب سالانه (ARWS) نیز از روابط زیر محاسبه شد (اسدزاده شرفه و رئوف ۲۰۱۸):

$$ARIS=\frac{IWA}{IRn} \qquad [٤]$$

$$ARWS=\frac{Ir+Pe}{ETc} \qquad [٥]$$

در روابط فوق، IWA حجم سالانه آب آبیاری ($m^3\ ha^{-1}$)، IR_n حجم سالانه نیاز خالص آبیاری ($m^3\ ha^{-1}$)، Ir حجم آب آبیاری ($m^3\ ha^{-1}$)، P_e حجم بارش موثر ($m^3\ ha^{-1}$) و ET_c حجم تبخیرتعرق گیاه ($m^3\ ha^{-1}$) می‌باشد.

شاخص‌های بهره‌وری اقتصادی آب (BPD و NBPD)

نسبت سود ناخالص به دست آمده به‌ازای هر واحد حجم آب به کار برده شده (BPD) بر حسب میلیون ریال بر مترمکعب، از طریق رابطه ٦ محاسبه می‌شود.

$$BPD=\frac{TR}{Tw_c} \quad [٦]$$

در رابطه ٦، TR مجموع درآمد کسب شده از محصول به ازای هر هکتار (Milion Rial ha^{-1}) و Tw_C حجم آب به کار برده شده ($m^3\ ha^{-1}$) برای تولید محصول است. شاخص سود خالص حاصل به ازای هر واحد حجم آب به کار برده شده (NBPD) بر حسب میلیون ریال بر مترمکعب، از طریق رابطه ۷ محاسبه می گردد.

$$NBPD=\frac{NB}{Tw_c} \quad [۷]$$

در رابطه ۷، NB سود خالص حاصل از فروش محصول در هر هکتار (Milion Rial ha^{-1}) و Tw_C حجم آب به کار برده شده ($m^3\ ha^{-1}$) برای تولید محصول می-باشد. 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 گوجه‌فرنگی در سال‌های ۱۳۹۹ و ۱٤۰۰ ملاک محاسبات شاخص‌های بهره‌وری اقتصادی قرار گرفته است.

نتایج و بحث

اجزای بهره‌وری

مقادیر پارامترهای بهره‌وری مصرف آب شامل حجم آب مصرفی، راندمان کاربرد، عملکرد محصول، هزینه‌های تولید، سود ناخالص و خالص تعیین شده برای ۱۲ مزرعه پایش شده در مرحله اول تحقیق در جدول ٤ ارائه گردیده است. حجم آب مصرفی در هر هکتار از مزارع گوجه‌فرنگی، از ٦۱٤۲ تا ۱۷۵۸۰ مترمکعب در هکتار متغیر می‌باشد. میانگین مصرف آب در هر هکتار حدود ۱۰٦٦۹ مترمکعب محاسبه شد. حداکثر مصرف آب نزدیک به سه برابر بیش از حداقل مصرف آب می‌باشد که این موضوع نشان دهنده تفاوت‌های چشمگیر بین مدیریت آبیاری اعمال شده توسط زارعین در مزارع مختلف گوجه‌فرنگی می‌باشد. میانگین مصرف آب به ازای هر هکتار کشت گوجه-فرنگی در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای نواری و سطحی به ترتیب ۹٤۸۳ و ۱٦٦۰۰ مترمکعب می‌باشد. این در حالی است که نیاز آبی خالص محصول گوجه‌فرنگی در دشت زنجان، ابهر و طارم به ترتیب برابر ٦۱۹۰، ٦۹۵۰ و ٦۱۲۰ مترمکعب در هکتار با استفاده از اطلاعات اقلیمی نزدیک‌ترین ایستگاه‌های سینوپتیک و ضرایب گیاهی مستخرج از نشریه فائو ٥٦ از طریق نرم افزار Cropwat برآورد شده است. بر اساس نتایج حاصل شده، آبیاری بی‌رویه در برخی مزارع گوجه‌فرنگی وجود دارد به طوری که تغییر سامانه آبیاری از سنتی به نوین منجر به کاهش قابل ملاحظه مصرف آب نشده است. میانگین راندمان کاربرد آب در مزارع پایش شده معادل ٦٦ درصد، بیش‌ترین مقدار برابر با ۹۰ درصد و کم‌ترین مقدار برابر با ۳٤/۸ درصد اندازه‌گیری شد. میانگین راندمان در مزارع مجهز به سیستم آبیاری قطره‌ای نواری در حدود ۷۱/٤ درصد و در سیستم‌های آبیاری سطحی ۳۹/۹ درصد برآورد شد. یکی از مهم-ترین انگیزه‌ها و اهداف تجهیز مزارع به سیستم‌های نوین آبیاری در مزارع گوجه‌فرنگی، کاربرد دبی‌های آب کم و همچنین کاهش هزینه‌های کارگری و در نهایت افزایش راندمان کاربرد می‌باشد. مطابق جدول ٤، میانگین عملکرد محصول گوجه‌فرنگی در مزارع پایش شده ۷۷/۲ تن در هکتار و حداقل و حداکثر عملکرد تولیدی نیز به ترتیب٤۰ و ۱٤۰ تن به ازای هر هکتار برآورد شد. میانگین عملکرد در مزارع با روش آبیاری

سطحی برابر ۴۸/۹۵ و در مزارع مجهز به سامانه آبیاری قطره‌ای نواری معادل ۸۲/۸۲ تن در هکتار حاصل شد. جلینی (۲۰۱۱) مقدار عملکرد در دو روش آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی به ترتیب برابر با ۴۳/۳۸ و ۵۵/۲۷ تن در هکتار اندازه‌گیری نمود که مشابه با نتایج این پژوهش می‌باشد. با بررسی همبستگی بین حجم آب مصرفی با میزان تولید ملاحظه گردید که محدوده بهینه مصرف آب در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای نواری ۶۵۰۰ تا ۷۰۰۰ مترمکعب در هکتار می‌باشد. در این مورد نیز، عباسی و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه خود میانگین حجم آب مصرفی در مناطق زیر کشت گوجه‌فرنگی در ایران را ۷۷۲۹ مترمکعب در هکتار گزارش نمودند.

جدول ۴- آب مصرفی، عملکرد، هزینه‌ها، سود ناخالص و سود خالص در مزارع پایش شده.

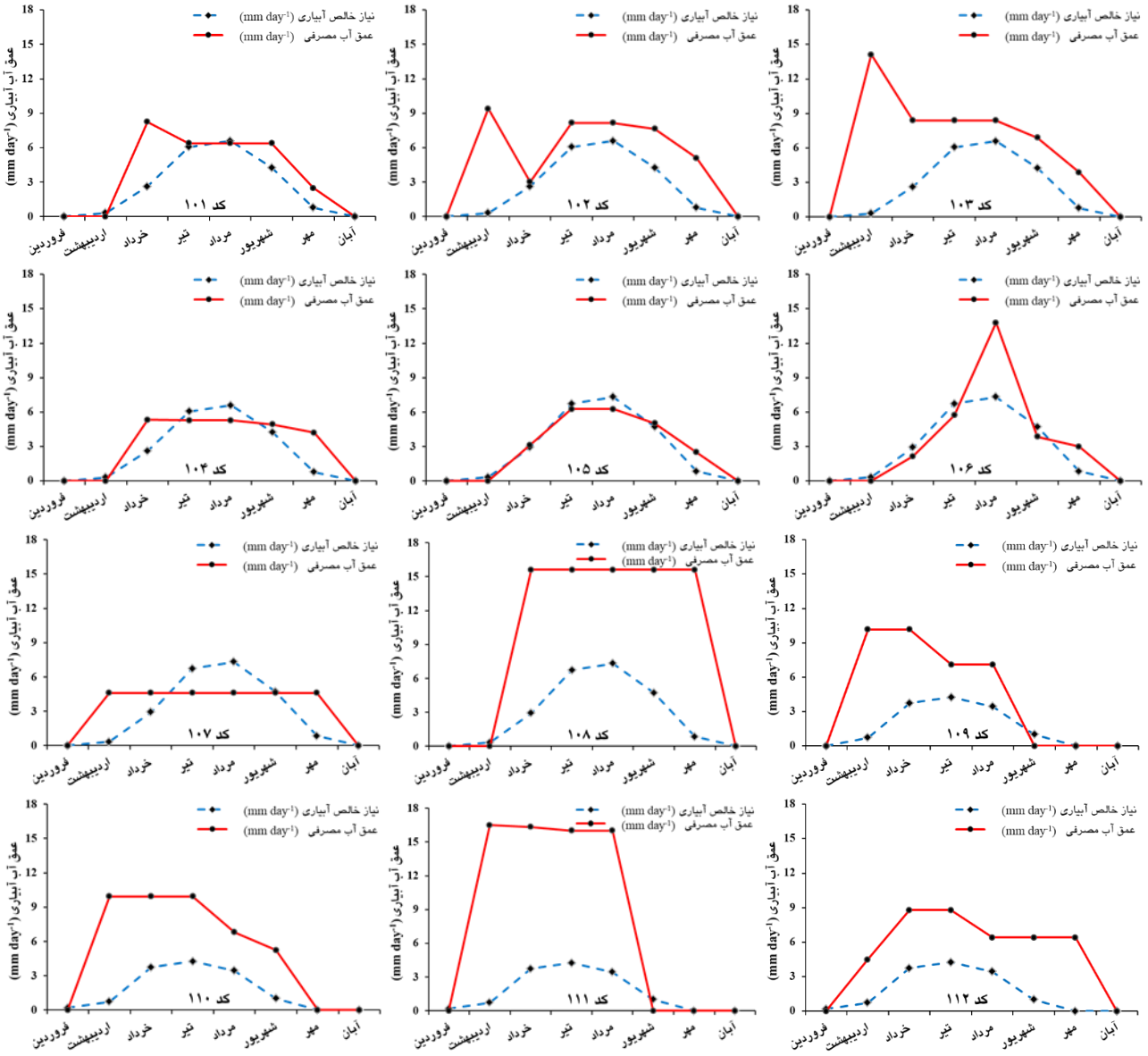
کد مزرعه	آب مصرفی ($m^3\ ha^{-1}$)	راندمان کاربرد (%)	عملکرد ($ton\ ha^{-1}$)	هزینه‌ها (million Rials ha^{-1})	سود ناخالص (million Rials ha^{-1})	سود خالص (million Rials ha^{-1})
۱۰۱	۸۲۰۵	۷۵/۴	۶۰	۶۰۷	۶۰۰	-۷
۱۰۲	۱۱۱۳۰	۶۰	۶۳	۵۳۳	۶۳۰	۹۷
۱۰۳	۱۲۰۴۵	۵۵	۶۵	۷۸۵	۶۵۰	-۱۳۵
۱۰۴	۷۷۱۳	۸۰/۳	۷۶	۶۴۳	۷۶۰	۱۱۷
۱۰۵	۶۱۴۲	۹۰	۱۴۰	۹۶۸	۱۶۸۰	۷۱۲
۱۰۶	۷۹۷۲	۸۷/۲	۱۳۰	۹۶۰	۱۶۹۰	۷۳۰
۱۰۷	۶۷۶۹	۹۰	۹۴/۲	۷۴۶	۹۴۲	۱۹۶
۱۰۸	۱۵۶۱۹	۴۵	۵۷/۹	۵۳۰	۵۷۹	۴۹
۱۰۹	۱۱۵۸۸	۶۰	۸۰	۷۵۲	۸۰۰	۴۸
۱۱۰	۱۲۴۵۸	۵۴	۶۰	۷۰۴	۶۰۰	-۱۰۴
۱۱۱	۱۷۵۸۰	۳۴/۸	۴۰	۸۳۱	۴۰۰	-۴۳۱
۱۱۲	۱۰۸۰۸	۶۲	۶۰	۶۵۴	۶۰۰	-۵۴

با افزایش مصرف آب به خصوص در مقادیر بالای ۱۰۰۰۰ متر مکعب، میزان تولید کاملا روند نزولی دارد. کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار سود خالص به ترتیب ۴۳۱- و ۷۳۰ میلیون ریال بر هکتار و میانگین این شاخص نیز ۱۰۱ میلیون ریال بر هکتار محاسبه شد. در جدول ۵ اجزای بهره‌وری محاسبه شده در مرحله دوم طرح برای دو مزرعه آزمایشی ارائه گردیده است. به دلیل عدم اعمال برنامه صحیح آبیاری و به طور صحیح‌تر آبیاری بی‌رویه و غیراصولی و نامتناسب با نیاز واقعی در مزرعه ۲۰۱، عمق آب آبیاری بیش از نیاز واقعی گیاه بوده و به تبع آن حجم آب مصرفی بیش از نیاز واقعی مزرعه می‌باشد. با توجه به اینکه در این مزرعه، عمق آب آبیاری بیش از ظرفیت قابل ذخیره آب در خاک می‌باشد، لذا تلفات نفوذ عمقی بالایی در این مزرعه وجود دارد. در مقابل مزرعه ۲۰۲ در شرایط کم آبی قرار دارد. این مزرعه به دلیل کمبود آب، با اعمال دور آبیاری نسبتا زیاد و با تعداد ساعات آبیاری کم، تحت مدیریت کم آبیاری است. یکی از دلایل مهم بالا بودن مصرف آب در مزرعه اول، عدم وجود محدودیت آب قابل دسترس بود به طوری 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 نداشت. با توجه به اینکه تغییر عواملی نظیر دبی آب ورودی به مزرعه و دور آبیاری ممکن است برای کشاورز سخت بوده و از قابلیت اجرایی کمتری برخوردار باشد، لذا اصلاح برنامه آبیاری از طریق تغییر تعداد ساعات کارکرد سیستم

آبیاری در قطعه‌های آزمایشی انجام گرفت. با توجه به شرایط موجود دو مزرعه گوجه‌فرنگی، وضعیت بهره-وری مصرف آب در مزرعه اول ضعیف و در مزرعه دوم متوسط توصیف می‌گردد. اصلاح برنامه آبیاری در مزرعه ۲۰۱ منجر به کاهش قابل ملاحظه حجم آب مصرفی شد به طوری که نسبت حجم آب مصرفی در قطعه آزمایشی به قطعه شاهد (مدیریت کشاورز) حدود ۰/٦۱ بود. به عبارت دیگر با اجرای برنامه آبیاری اصلاح شده، حجم آب مصرفی حدود ۳۹ درصد کاهش یافت. در مزرعه ۲۰۲، به منظور کاهش تنش کم آبی، افزایش عمق آب آبیاری از طریق افزایش ساعات آبیاری در دوره میانی رشد اعمال شد. به طوری که نسبت حجم آب مصرفی در قطعه آزمایشی به قطعه شاهد حدود ۱/۰۸ بود. درواقع حجم آب مصرفی در این مزرعه به میزان ۸ درصد افزایش یافت. مقدار راندمان کاربرد آب در دو مزرعه در شرایط وضع موجود به ترتیب ٦۸ و ۹۵ درصد و در شرایط اجرای برنامه آبیاری اصلاح شده به ترتیب ۹۰ و ۹۵ درصد تعیین شد. پس از اجرای برنامه آبیاری توصیه شده، مقدار راندمان کاربرد آب در قطعه آزمایشی مزرعه ۲۰۱ در حدود ۲۲ درصد افزایش یافت. در مزرعه ۲۰۲، با توجه به اینکه در شرایط کم آبیاری قرار دارد، لذا در مقدار راندمان کاربرد آب تغییر قابل ملاحظه مشاهده نشد. مقدار عملکرد محصول در دو مزرعه ۲۰۱ و ۲۰۲ برای شرایط واقعی مزرعه به ترتیب ۱۲۵ و ۵۷/۲ و برای قطعات آزمایشی به ترتیب ۱۱٤/۸ و ٦۸/۲ تن در هکتار برآورد گردید. در مزرعه اول حدود ۸/۲ درصد افت محصول و در مزرعه دوم حدود ۱۹/۲ درصد افزایش محصول در قطعات آزمایشی نسبت به شرایط واقعی مزرعه مشاهده شد. مقدار سود خالص به دست آمده برای شرایط واقعی مزرعه و قطعات آزمایشی در مزرعه اول، به ترتیب ۱۵۳۰ و ۱۲٤۵ و در مزرعه دوم، ۱۱۲۵ و ۱۵۲۵ میلیون ریال در هکتار محاسبه شد. در این راستا کریمی و جلینی (۲۰۱۷) در پژوهشی در دشت مشهد مقادیر شاخص‌های سود ناخالص و سود خالص محصول گوجه‌فرنگی را به ترتیب برابر ۱۰۲۷۵ و ۷٤۲۳ ریال در هکتار بیان نمودند. 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. شکل ۲ نمودارهای مقایسه‌ای بین دو شاخص فوق را در ۱۲ مزرعه مورد بررسی در مرحله اول تحقیق را نشان می‌دهد. مطابق نمودارهای ارائه شده، اختلاف بین عمق آبیاری و نیاز خالص گیاه در برخی مزارع چشمگیر بوده و این اختلاف عمدتا مربوط به نیمه ابتدایی دوره رشد گیاه می‌باشد. برنامه‌ریزی آبیاری در برخی مزارع تقریبا ثابت بوده و نسبت به تغییرات نیاز آبی از انعطاف‌پذیری کم‌تری برخوردار می‌باشند.

جدول ۵- آب مصرفی، عملکرد، هزینه‌ها، سود ناخالص و سود خالص در در شرایط واقعی و آزمایشی.

کد مزرعه		آب مصرفی ($m^3\ ha^{-1}$)	راندمان کاربرد (%)	عملکرد ($ton\ ha^{-1}$)	هزینه‌ها (million Rials ha^{-1})	سود ناخالص (million Rials ha^{-1})	سود خالص (million Rials ha^{-1})
۲۰۱	شرایط واقعی	۱۱٦٤۱	٦۸	۱۲۵	۱۷۲۰	۳۲۵۰	۱۵۳۰
	شرایط آزمایشی	۷۱۷٤	۹۰	۱۱٤/۸	۱۷٤۰	۲۹۸۵	۱۲٤۵
۲۰۲	شرایط واقعی	٤۹۵۰	۹۵	۵۷/۲	۱۱٦۳	۲۲۸۸	۱۱۲۵
	شرایط آزمایشی	۵۳٦۵	۹۵	٦۸/۲	۱۲۰۱	۲۷۲٦	۱۵۲۵



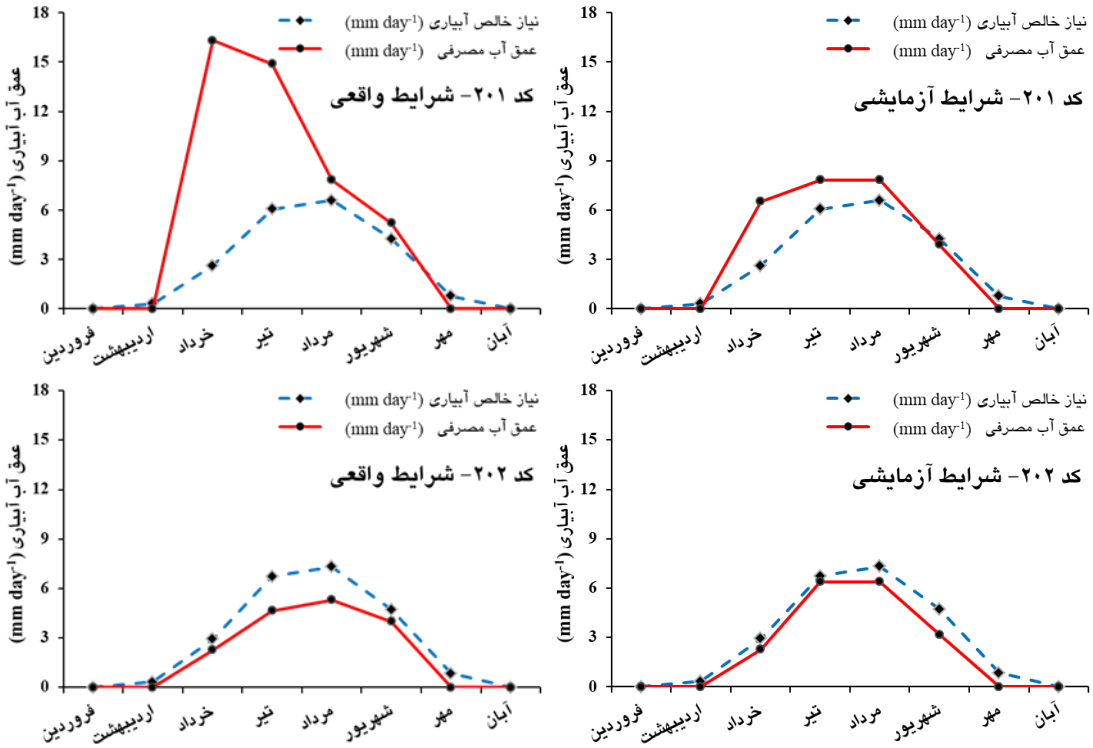
شکل۲- مقایسه نیاز خالص آبیاری و عمق آب مصرفی در در مزارع پایش شده - فاز ۱.

در اواخر دوره آبیاری با توجه به کاهش آبدهی چاه‌ها در بیش‌تر مزارع، کاهش عمق آب آبیاری اعمال شده مشاهده می‌شود. به طوری که بیش‌ترین اختلاف مربوط به مزرعه ۱۱۱ بوده که در فروردین ماه به میزان ۱۶/۳ 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 ۳ نمودارهای مربوط به مقایسه عمق آبیاری و نیاز آبی خالص در مزارع مورد مطالعه در بخش دوم طرح نمایش داده شده است. مدیریت بکار گرفته شده در مزارع ۲۰۱ و ۲۰۲ به ترتیب منجر به کاهش ۳۹ و افزایش ۸ درصدی عمق آب آبیاری در شرایط آزمایشی نسبت به واقعی شده است. ملاحظه می‌گردد وضعیت موجود دو مزرعه مورد مطالعه در شرایط کاملا متفاوتی نسبت به همدیگر قرار دارند. مزرعه ۲۰۱ در شرایط آبیاری بی‌رویه و مزرعه ۲۰۲ در شرایط کم آبیاری قرار دارند. مشابه نتایج به دست آمده در مرحله اول تحقیق، در مزرعه ۲۰۱ اختلاف بین عمق آب آبیاری و نیاز واقعی گیاه در نیمه ابتدایی دوره رشد قابل ملاحظه می‌باشد. در نیمه دوم دوره رشد و با کاهش

آبدهی چاه به طور ناخواسته عمق آب آبیاری نیز کاهش یافته است. در این مزرعه اصلاح برنامه آبیاری منجر به کاهش عمق آب آبیاری و متناسب شدن آن با نیاز واقعی بدون اعمال تنش کم آبی به محصول گردید. در مزرعه ۲۰۲، سعی گردید با اصلاح برنامه آبیاری از تنش کم آبی تا حد امکان کاسته شود.

بهره‌وری فیزیکی مصرف آب

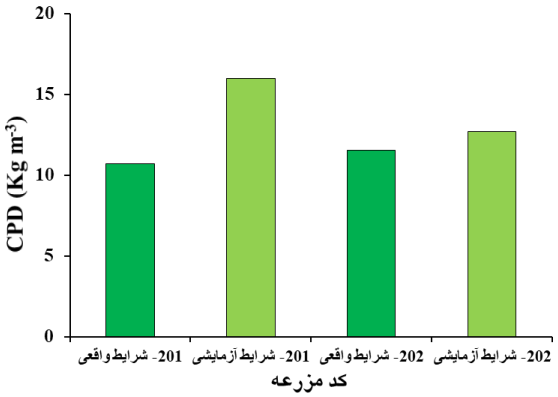
شکل ٤ مقادیر شاخص کارایی مصرف آب (CPD) برای ۱۲ مزرعه گوجه‌فرنگی پایش شده در مرحله اول تحقیق را نمایش می‌دهد. مقدار شاخص CPD برای مزارع مورد مطالعه در محدوده ۲/۳ تا ۲۲/۸ و به طور میانگین برابر با ۸/۷ کیلوگرم بر مترمکعب محاسبه شد. مقدار قابل قبول این شاخص زمانی حاصل می‌شود که مدیریت مناسب و بهینه در مصرف آب و همچنین سایر مدیریت مناسب تغذیه اعمال گردد.



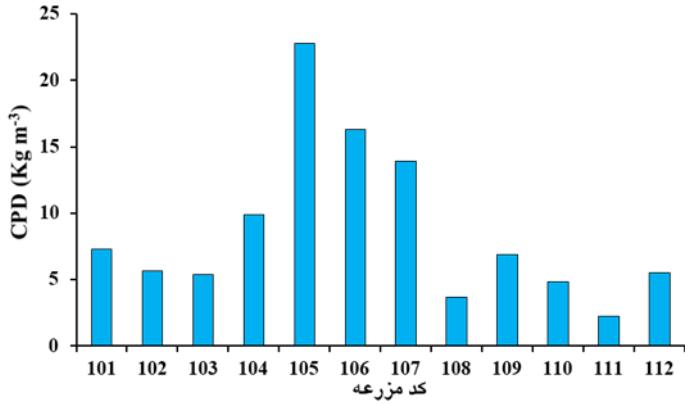
شکل۳- مقایسه نیاز خالص آبیاری و عمق آب مصرفی در شرایط واقعی و آزمایشی - فاز ۲.

با افزایش حجم آب مصرفی تا یک مقدار مشخص (حدود ۸ هزار مترمکعب)، مقدار شاخص کارایی مصرف آب تقریبا روند افزایشی دارد ولی با افزایش مصرف آب به خصوص در مقادیر بالای ۱۰۰۰۰ متر مکعب شاهد افت نسبی محصول نیز هستیم. از سوی دیگر با افزایش مقدار عملکرد به میزان ۱۰ تن در هکتار، مقدار کارایی مصرف آب به میزان ۱/۹ کیلوگرم بر مترمکعب افزایش می‌یابد. از سوی دیگر میانگین کارایی مصرف آب در دو مزرعه تحت پوشش سیستم آبیاری سطحی ۲/۹۹ کیلوگرم بر مترمکعب و در مزارع مجهز به آبیاری قطره‌ای نواری برابر با ۹/۸۵ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد. نتایج به دست آمده از مطالعه حاضر هم‌راستا با نتایج مطالعات پیشین می‌باشد. جلینی (۲۰۱۱) میزان کارایی مصرف آب به ازای تامین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گوجه‌فرنگی در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرزمینی را به ترتیب ٦/١ و ٧/٩ کیلوگرم بر مترمکعب آب، گزارش نمود. همچنین عباسی و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهش خود میزان بهره‌وری آب در مناطق تولید گوجه‌فرنگی کشور را از ٤/٢٣ تا ٩/٥٢ و متوسط آن ٧/٣٩ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش نمودند و بیان داشتند که آبیاری قطره‌ای نواری در مقایسه با آبیاری سطحی تاثیر بسزایی در افزایش

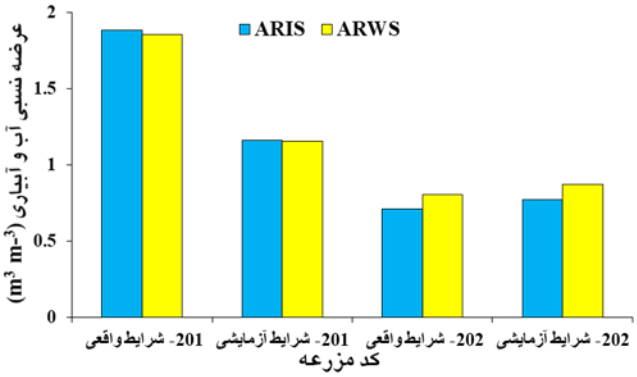
شاخص‌های مدیریت مصرف آب در کشت گوجه فرنگی دارد، به طوری که آبیاری قطره‌ای موجب کاهش ۲۵ درصدی آب کاربردی و افزایش راندمان کاربرد آب در مزرعه و بهره‌وری آب آبیاری به ترتیب به میزان ۱۰ و ۱۶ درصد شده است. شکل ۵ مقادیر شاخص CPD محاسبه شده برای دو مزرعه آزمایشی در مرحله دوم مطالعه را تحت شرایط واقعی مزرعه و آزمایشی نشان می‌دهد. اعمال مدیریت آبیاری اصلاح شده منجر به افزایش قابل توجه کارایی مصرف آب در قطعات آزمایشی گردیده است. افزایش شاخص کارایی مصرف آب در مزرعه ۲۰۱ عمدتا به دلیل کاهش قابل توجه مصرف آب و در مزرعه ۲۰۲ به دلیل افزایش تولید می‌باشد. مقدار شاخص مذکور در قطعات کنترل‌شده نسبت به شرایط واقعی در مزارع ۲۰۱ و ۲۰۲ به ترتیب ۴۹ و ۱۰ درصد افزایش داشته است. نتایج محاسبه شاخص‌های عرضه نسبی آب آبیاری سالانه و عرضه نسبی آب سالانه در شکل‌های ۶ و ۷ ارائه گردیده است. در مزارع با روش آبیاری قطره‌ای نواری، مقادیر IRIS کمتر از ۱/۱۵ نشان دهنده کم آبیاری و بیش از آن نشان دهنده بیش آبیاری می‌باشد. در مزارع با روش آبیاری سطحی نیز مقادیر کمتر از ۱/۴۰ نشان دهنده کم آبیاری و بیش‌تر از آن نشان دهنده بیش آبیاری است. با توجه به مقادیر ارائه شده در نمودار ۶، تعداد ۸ مزرعه در شرایط بیش آبیاری، ۲ مزرعه در شرایط کم آبیاری و ۲ مزرعه نیز تقریبا نزدیک به شرایط نرمال می‌باشند. مطابق شکل ۷، اصلاح مدیریت آبیاری در قطعات آزمایشی منجر به تغییر شرایط از بیش آبیاری به آبیاری نزدیک به نرمال در مزرعه ۲۰۱ شد. نتایج دو شاخص ارائه شده نشان می‌دهد، به دلیل عدم کنترل و نظارت دقیق بر بهره‌برداری از چاه‌ها، در بیش‌تر مزارع بیش آبیاری صورت می‌گیرد.



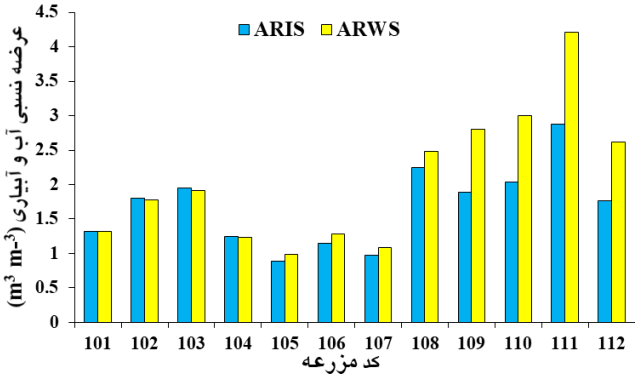
شکل ۴- مقادیر شاخص CPD در مزارع پایش شده.



شکل ۵- مقادیر شاخص CPD در شرایط واقعی و آزمایشی.



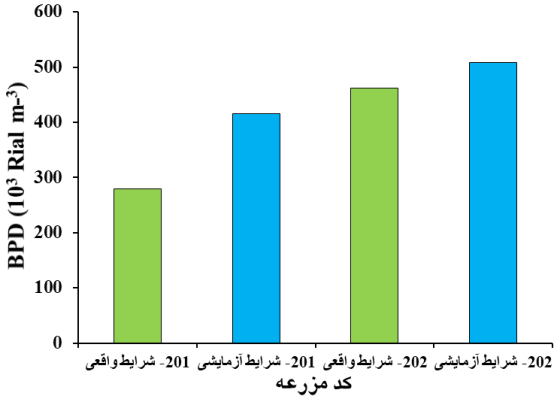
شکل ۶- مقادیر شاخص‌های ARIS و ARWS در مزارع پایش شده.



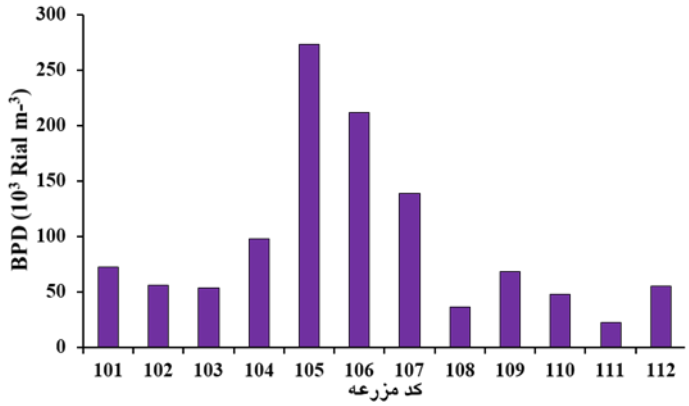
شکل ۷- مقادیر شاخص‌های ARIS و ARWS در شرایط واقعی و آزمایشی.

بهره‌وری اقتصادی مصرف آب

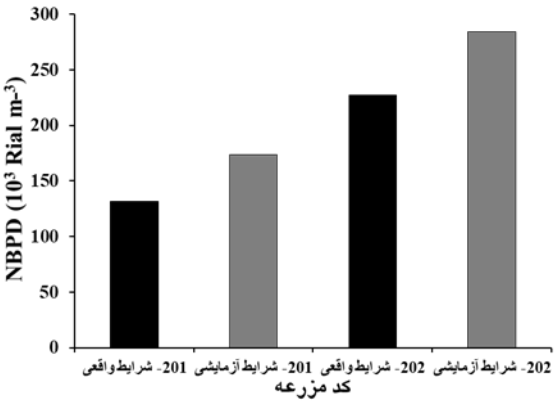
مقادیر شاخص سود ناخالص به ازای واحد حجم آب مصرفی (BPD) برای ۱۲ مزرعه پایش شده در شکل ۸ ارائه گردیده است. کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار BPD برای مزارع گوجه‌فرنگی به ترتیب برابر با ۲۲/۸ و ۲۷۳/۵ هزار ریال بر مترمکعب می‌باشد. میانگین این شاخص نیز در مزارع مورد بررسی ۹٤/۹ هزار ریال بر مترمکعب محاسبه شد. میانگین BPD به دست آمده برای مزارع با روش آبیاری سطحی و آبیاری قطره‌ای نواری به ترتیب برابر ۲۹/۹ و ۱۰۸ هزار ریال بر مترمکعب به دست آمد. مجهز نمودن مزارع به سامانه آبیاری قطره‌ای نواری منجر به افزایش ۲٦۱ درصدی سود ناخالص به‌ازای هر واحد حجم آب مصرفی شده است. در شکل ۹ مقادیر شاخص BPD به دست آمده برای دو مزرعه مربوط به فاز دوم تحقیق، تحت شرایط واقعی مزرعه و شرایط آزمایشی نشان داده شده است. با اعمال مدیریت مناسب آبیاری در قطعات کنترل‌شده مزارع ۲۰۱ و ۲۰۲ مقدار شاخص BPD به ترتیب ٤۹/۱ و ۱۰ درصد افزایش یافت. شکل ۱۰ 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 به ترتیب ۲٤/۵- و ۱۱۵/۹ هزار ریال بر مترمکعب تعیین شد. میانگین این شاخص نیز در مزارع پایش شده ۱۸/۱ هزار ریال بر مترمکعب تعیین شد. بررسی تغییرات شاخص NBPD نسبت به حجم آب مصرفی در مزارع پایش شده به وضوح نشان می‌دهد که رابطه کاملا معکوس بین مقادیر حجم آب مصرفی و شاخص سود خالص وجود دارد. نتایج نشان داد، مصرف آب بیش از ۷۰۰۰ مترمکعب در هکتار تأثیری بر افزایش میزان سود خالص ندارد. مقادیر مربوط به شاخص NBPD محاسبه شده برای دو مزرعه آزمایشی در فاز دوم پژوهش در شکل ۱۱ قابل مشاهده است. اجرای راهکارهای بهبود بهره‌وری مصرف آب مزارع ۲۰۱ و ۲۰۲، به ترتیب منجر به افزایش حدود ۳۲ و ۲۵ درصدی شاخص NBPD شده است. بررسی شاخص‌های بهره‌وری اقتصادی و به طور مشخص شاخص سود خالص به ازای حجم آب مصرفی نشان داد، بیش‌تر مزارع گوجه فرنگی پایش شده از سوددهی مناسبی برخوردار نبودند و حتی بیلان مالی منفی را تجربه کردند. افزایش سطح زیر کشت گوجه فرنگی در استان زنجان و عدم تعادل بین عرضه و تقاضای این محصول در بازار فروش موجب گردید، این محصول در برخی مزارع به طور کامل و در برخی مزارع نیز به طور ناقص برداشت گردد. بالا بودن هزینه‌های برداشت محصول از یک سو و پایین بودن قیمت فروش از سوی دیگر موجب شد تا حتی برداشت کامل محصول نیز نتواند منجر به سود دهی مورد انتظار گردد.



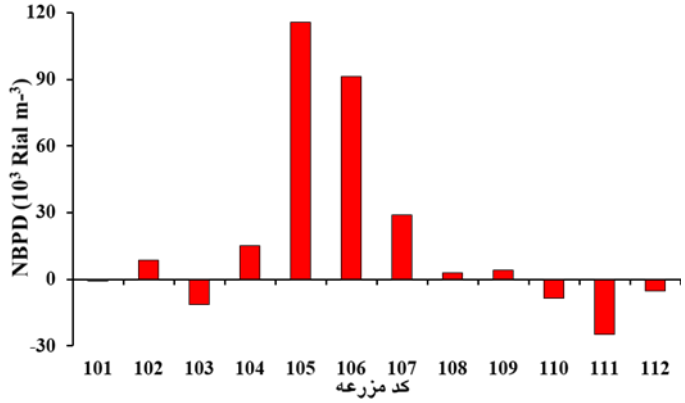
شکل ۸- مقادیر شاخص BPD در مزارع پایش شده.



شکل ۹- مقادیر شاخص BPD در شرایط واقعی و آزمایشی.



شکل ۱۰- مقادیر شاخص NBPD در مزارع پایش شده.



شکل ۱۱- مقادیر شاخص NBPD در شرایط واقعی وآزمایشی.

نتیجه‌گیری کلی

در پژوهش حاضر وضعیت موجود مدیریت آب در مزرعه و همچنین شاخص‌های مرتبط با بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی مصرف آب در مزارع گوجه‌فرنگی استان زنجان مطالعه شد. راهکار ساده و قابل اجرای اصلاح مدیریت آبیاری در مزارع پیاده و اثر آن بر ارتقای راندمان و بهره‌وری مصرف آب بررسی شد. در برخی مزارع پایش شده، برنامه آبیاری متناسب با نیاز واقعی محصول نبوده و آبیاری بیش از حد صورت می‌گرفت. این موضوع به خصوص در نیمه ابتدایی دوره رشد محصول مشهود بود و با کاهش آبدهی چاه‌ها، عمق آب آبیاری نزدیک به نیاز واقعی می‌شد. در واقع محدودیت منابع آبی به عنوان عامل اصلی کنترل مصرف آب در بیش‌تر مزارع شناخته شد. با این وجود با اعمال مدیریت آبیاری صحیح و تنها با اصلاح مدت زمان آبیاری می‌توان حجم آب مصرفی را تا حد قابل ملاحظه‌ای کاهش و بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی را بهبود بخشید. بر اساس مشاهدات میدانی، بیش از ۸۰ درصد مزارع گوجه‌فرنگی در استان زنجان مجهز به سامانه آبیاری قطره‌ای نواری می‌باشد، با این وجود حجم آب مصرفی در این مزارع به دلیل عدم مدیریت صحیح آبیاری کاهش قابل انتظار را نداشته است. استفاده از نتایج تحقیق حاضر ضمن تهیه دستورالعمل ترویجی قابل فهم برای کشاورزان با تاکید بر مدیریت آبیاری صحیح و متناسب با نیاز واقعی مزرعه می‌تواند منجر به جلوگیری از آبیاری بی‌رویه و کنترل مصرف آب در مزارع گردد.

منابع مورد استفاده

Abbasi F, Abbasi N and 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)

Abbasi F, Joleini M, Khorramian M, Dehghanian SE, Moghbli Dameneh E, Nowroozi M, Uossef Gomrokchi A, Taheri M, Zare-Mehrani E, Kiani A, Salamati N, Mousavi Fazl H, Ghadami-FirouzAbadi A, Bayat P and Nasseri A, 2021. The role of modern irrigation systems on tomato applied irrigation water management in Iran. Irrigation and Drainage Structures Engineering Research 22(82): 43-64. (in Persian with English abstract)

Ahmadi K, EbadZadeh HR, Hatami F, AbdShah H and Kazemian A, 2019. Agricultural statistics of 2017-2018. Ministry of Jihad for Agriculture, Deputy for Planning and Economy, Information and Communication Technology Office. Volume 1, Crops. 166p. (in Persian with English abstract)

Akbari SMR, Mousavi SN and Rezaei A, 2009. Water crisis and the need to pay attention to water efficiency in drought areas; case study: Seidan-Farooq plain. Second National Water Crisis Conference. 15-16 May, Isfahan. (in Persian with English abstract)

Al-Omran AM, Al-Harbi AR, Wahb-Allah MA, Nadeem M and Al-Eter A, 2010. Impact of irrigation water quality, irrigation systems, irrigation rates and soil amendments on tomato production in sandy calcareous soil. Turkish Journal of Agriculture and Forestry 34: 59-73.

Amini A, Porhemmat J and 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)
Amiri E and Rostami Ajirloo A, 2018. Assessment the effect of deficit irrigation on yield, quality and water productivity of different cultivars of tomato in Moghan plain. Iranian Journal of Soil and Water Research 49(2): 261-268. (in Persian with English abstract)
Asadzadeh Sharafeh H and Raoof M, 2018. Comparison of water use efficiency in sprinkler and hydroflume irrigation systems (case study: Ardabil plain). Water and Irrigation Management 8(1): 55-68. (in Persian with English abstract)
Bahrami M, Khalilain S, Mortazavi SS and Asaadi MA, 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)
Biswas SK, Akanda AR, Rahman MS and Hossain MA, 2015. Effect of drip irrigation and mulching on yield, water-use efficiency and economics of tomato. Plant, Soil and Environment 61(3): 97–102.
Campos HN, Trejo C, Pena-Valdivia CB, Ayala CR and Garcia PS, 2009. Effect of partial root zone drying on growth, gas exchange and yield of tomato. Scientia Horticulturae 120(4): 493-499.
Cetin O and Bilgel L, 2002. Effects of different irrigation methods on shedding and yield of cotton. Agricultural Water Management 54(1): 1-15.
Dehgan H, Alizadeh A, Esmaely K and Nematy SH, 2015. Root growth, yield and yield components of tomato under drought stress. Water Research in Agriculture 29(2): 169-179. (in Persian with English abstract)
Eshraghi F and Ghasemian S, 2012. Evaluating economic productivity of water use (case study: Golestan province). Water Research in Agriculture 26(3): 317-322. (in Persian with English abstract)
Eskandaripour R, Khorsand A, Rezaverdinejad V, Zeinalzadeh K and Norjoo A, 2020. Investigation of polyethylene mulch on improvement of tomato water use efficiency using aquacrop model. Plant Ecophsiology 11(39): 71-85. (in Persian with English abstract)
Fan Y, Wang C and 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.
Favati F, Lovelli S, Galgano F, Miccolis V, Di Tommaso T and Candido V, 2009. Processing tomato quality as affected by irrigation scheduling. Scientia Horticulturae 122: 562–571.
Foster T, Brozović N, Butler AP, Neale CMU, Raes D, Steduto P and Hsiao TC, 2017. AquaCrop-OS: An open source version of FAO's crop water productivity model. Agricultural Water Management 181: 18-22.
Ghadami Firouzabadi A and Seyedan SM, 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)
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.
Gholami Z, Ebrahimian H and Noory H, 2015. Investigation of irrigation water productivity in sprinkler and surface irrigation systems (case study: Gazvin plain). Journal of Irrigation Sciences and Engineerin 41(1): 17-30. (in Persian with English abstract)
Golkar F, Farahmand AR and Fardad H, 2008. Response of yield and water use efficiency of early urbana tomato to different levels of Irrigation. Water Engineering 1(1): 13-19. (in Persian with English abstract)
Hanson B and May D, 2004. Effect of subsurface drip irrigation on processing tomato yield, water table depth, soil salinity, and profitability. Agricultural Water Management 68: 1–17.
Heydari N, 2014. Water productivity in agriculture: challenges in concepts, termsand values. Irrigation and Drainage 63(1): 22–28.
Hooshmand M, Boroomand Nasab S, Albaji M and Alamzadeh Ansari N, 2019. Effect of different methods of irrigation management on yield, yield components and water use efficiency of tomatoes in hydroponic culture. Iranian Water Research Journal 13(3): 85-94. (in Persian with English abstract)
Hosseini SP, Golestani Kermani S, Qaderi K and Sayari N, 2022. Effects of superabsorbent and deficit irrigation on yield, water productivity and production function of cherry tomato. Journal of Crops Improvement 24(2): 659-672. (in Persian with English abstract)
Howell TA, Evtt SR and Tolk JA, 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. Pp. 10-14. Rio Bravo. Tamaulipas, Mexico and Weslaco, Texas, USA.
Jafari MM, Ojaghlou H and 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)
Jolaini M, 2011. Investigation the effect of different water and plastic mulch levels on yield and water use efficiency of tomato in surface and subsurface drip irrigation method. Journal of Water and Soil 25(5): 1025-1032. (in Persian with English abstract)
Karimi B, Karimi N, Shiri J and 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 and 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)
Keshavarz A and 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)
Khazaei Sh, 1999. Agricultural water productivity in Iran. Selected articles on agricultural productivity, publications of the Institute of Agricultural Planning and Economic Research. (in Persian with English abstract)
Liu J, Zehnder AJB and Yang H, 2008. Drops for crops: modelling crop water productivity on a global scale. Global Nest Journal 10(3): 295-300.
Meidanshahi M, Mousavi SF, Mostafazadeh-Fard B and Landi E, 2013. Effect of PRD deficit-irrigation method and sodium salicylate on yield, yield components and water use efficiency of tomato. Journal of Soil and Plant Interactions 4(1): 1-14. (in Persian with English abstract)
Mohammadi F, Ojaghlou H and Ghorbanian M, 2021. Effect of water resources utilization methods on olive water use efficiency. Journal of Water and Irrigation Management 11(3): 643-658. (in Persian with English abstract)
Molavi H, Mohammadi M and Liaghat A, 2011. Effect of full irrigation and alternative furrow irrigation on yield, yield components and water use efficiency of tomato (super strain B). Journal of Water and Soil Science 21(3): 115-126. (in Persian with English abstract)
Naroua I, Rodríguez L and Calvo RS, 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.
Nazari B, Liaghat A, Akbari MR and Keshavarz M, 2018. Irrigation water management in Iran: Implications for water use efficiency improvement. Agricultural water management 208: 7-18.
Ojaghlou H, Ojaghlou F, Ghorbanian M, Misaghi F, Nazari B and Karami Dehkordi E, 2022. Water use efficiency in onion production and assessment of improvement strategies. Journal of Water and Irrigation Management. (in Persian with English abstract)
Ojaghlou H, Sohrabi T, Abbasi F and 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.
Patanè C, Tringali S and Sortino O, 2011. Effects of deficit irrigation on biomass, yield, water productivity and fruit quality of processing tomato under semi-arid Mediterranean climate conditions. Scientia Horticulturae 129(4): 590–596.
Piri H and Mobarki M, 2021. Investigating water footprints and water consumption efficiency of crops of potatoes, sugar beets, tomatoes and forage corn in different climates of Iran. Journal of Water and Soil Conservation 27(6): 103-120. (in Persian with English abstract)
Raei Jadidi M, Homayounifar M, Sabuhi Sabuni M and Kheradmand V, 2010. Determination of energy use efficiency and productivity in tomato production (case study: Marand region). Journal of Agricultural Economics and Development 24(3): 363-370. (in Persian with English abstract)
Rahimian MH and zabihi HR, 2018. The effect of different compost and super absorbent polymers combination on yield and water use efficiency for tomato in greenhouse condition. Water Research in Agriculture 31(4): 547-558. (in Persian with English abstract)
Rezvani Moghaddam P, Norozpoor GH, Nabati J and Mohammad Abadi AA, 2005. Effects of different irrigation intervals and plant density on morphological characteristics, grain and oil yields of sesame (*Sesamum indicum*). Iranian Journal of Field Crops Research 3(1): 57-68. (in Persian with English abstract)
Sadreghaen SH, Akbari M, Afshar H and Nakhjavani Moghaddam MM, 2010. Effect of three methods of micro-irrigation and irrigation levels on yield of tomato. Journal of Water and Soil 24(3): 574-582. (in Persian with English abstract)
Salehi Y, Zarehaghi D, Dabbagh Mohammadi Nasab A and Neyshabouri MR, 2018. The effect of intercropping and deficit irrigation on the water use efficiency and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum Mill*) and basil (*Ocimum basilicum*). Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 28(3): 209-220. (in Persian with English abstract)
Salvador R, Martinez-Cob A, Cavero J and Playán E, 2011. Seasonal on-farm irrigation performance in the ebroBasin (Spain): crops and irrigation systems. Agricultural Water Management 98(4): 577–587.
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)
Shahien MM, Abuarab MA and Hassan AM, 2012. Effects of regulated deficit irrigation and phosphorus fertilizers on water use efficiency, yield and total soluble of tomato. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences 12(10): 1295-1304.
Shahrokhnia MA and Rahimi H, 2017. Economic analysis of deficit irrigation for transplanted tomato cultivars. Water Research in Agriculture 30(4): 483-495. (in Persian with English abstract)
Shrivastava PK, Parikh MM, Sawani NG and Raman S, 1994. Effect of drip irrigation and mulching on tomato yield. Agricultural Water Management 25(2): 179-184.
Torknejad A, Aghaei Sarbarzeh M, Jafari H, Shirvani AR, Roeintan R, Nemati A and Shahbazi KH, 2006. Study and economic evaluation of drip (tape) irrigation method on wheat compared to surface irrigation

in water limited areas. Pajohesh-Va-Sazanegi IN Agronomy and Horticulture 19(3): 36-44. (in Persian with English abstract)

Zamani O, Mortazavi SA and 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)

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 with English abstract)

Zolfi Bavariani M, Rashidi N, Nowrouzi M and Bayat P, 2019. Interaction effects of nitrogen and irrigation water on yield and water and nitrogen use efficiency of tomato in Bushehr province. Journal of Irrigation and Water Engineering 9(3): 168-181. (in Persian with English abstract)