Advanced Technologies in Water Efficiency
homepage:https://atwe.razi.ac.ir
Online ISSN:2783-4964

Evaluation of various irrigation management for the automation of the Sprinkler irrigation system

Raheleh Lorestani[1], Bahman Frahadi Bansouleh[2]✉, Gholam Hasan Sadeghi[3], Mahsa Rahmani[4]

[1] MS.c graduated of Irrigation and drainage, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: r.lorestani66@gmail.com
[2] Corresponding Author, Associate professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: bfarhadi2001@yahoo.com
[3] Ph.D student of Irrigation and drainage, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: hasangh2008@yahoo.com
[4] Ph.D graduated of Irrigation and drainage, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: mahsarahmani39@yahoo.com

ABSTRACT

Introduction

In Iran, pressurized irrigation systems cover a large area of agricultural land, but water use efficiency remains low because farmers tend to do deficit (over) - irrigation due to their lack of knowledge on crop water requirements. To address this issue, irrigation systems can be automated, and it is important to estimate crop water requirements accurately. This can be done based on soil moisture deficit or meteorological data. The water required can then be applied using a volume meter or by determining irrigation time based on sprinkler flow rate. The study aimed to compare crop water requirement estimates based on soil moisture deficit and meteorological data, as well as the amount of water applied using volume and time-based methods.

Methodology

The study was conducted in the research farm of Razi University, Kermanshah, Iran, on a sprinkler irrigation system equipped with pressure and flow measuring devices, pressure switches, and electrical valves. The field was under corn cultivation, and four types of irrigation management were evaluated, which included a combination of two methods of determining crop water requirement (soil moisture deficiency and meteorological data) and two methods of irrigation application (time or volume). The four treatments were soil moisture - time (MT), soil moisture - volume (MV), weather - time (WT), and weather - volume (WV). The crop water requirement was calculated using the Penman-Monteith formula based on daily weather data. Soil moisture was measured at different depths one day before irrigation, and the soil moisture deficit was calculated to determine the crop water requirement based on soil moisture. The irrigation volume for each sprinkler in the irrigation cycle was calculated using equations 1 and 2.

$$V = \sum_{i=1}^{n} ETc_i * \frac{S_m * S_l}{e_a}$$ Method 1: Based on meteorological data (1)

$$V = \frac{d * S_m * S_l}{e_a}$$ Method 2: Based on soil moisture deficiency (2)

where V is the irrigation volume, d is the water deficit depth in the root zone, n is the number of days after the previous irrigation, and Sm and Sl are the distance between the laterals and sprinklers respectively (21 m * 21m), and e_a is the irrigation application efficiency (0.8).

In the volumetric-based method (treatments WV and MV), the volume of water applied was measured using a water meter with a precision of 0.1 liters, and irrigation was stopped after passing the required volume of water. In the time-based method (treatments WT and MT), the irrigation time was calculated by dividing the irrigation volume by the average flow rate of the sprinklers (3 liters per second), and irrigation was stopped after the calculated duration. The actual sprinkler flow rate was calculated based on the volume of applied water and irrigation time in each treatment and irrigation round. Crop yield was measured at the time of harvest in the studied treatments and a control treatment managed by the Faculty of Agriculture. The irrigation treatments were not applied in the first month of the growth period due to field limitations.

Results and discussion

The results show that the crop water requirement calculated based on meteorological data at the beginning and end of the growing period was more than the method based on soil moisture. In total, the amount of crop water requirement calculated based on soil moisture was 8% more than meteorological based method. The volume of applied water in treatments of MT and WT was 14 and 8% more than in MV and WV treatments, respectively.

The actual flow rate of sprinklers was different from the design flow rate due to irrigation situations in other parts of the farm. The average discharge of sprinklers (12 irrigation events) in WT, MT, WV, and MV treatments was 2.79, 3.03, 3.27, and 3.12 l/s, respectively. The irrigation time in volume and time-based methods also showed a significant difference. The irrigation time in MT and MV treatments was 10 and 18% longer than in WT and WV treatments, respectively. The final grain yield, applied water, and crop water productivity (based on the treatment application period) are presented in Table 1.

Table 1. Grain yield, applied water, and crop water productivity

Parameter	Unit	Treatment				
		MT	MV	WT	WV	Control
Grain Yield	$Kg.ha^{-1}$	10770	10654	10036	8615	7828
Applied water	$m^3.ha^{-1}$	8332	7328	7082	6540	N. A.
Crop water productivity	$Kg.m^{-3}$	1.29	1.45	1.42	1.32	N.A.

Conclusions

The study found that due to the non-uniformity of sprinkler discharge, applying irrigation by volume method is better than the time-based method. The results suggest that the MV treatment, which determined the amount of irrigation based on soil moisture deficit and applied it using a volumetric method, is a suitable option for automating sprinkler irrigation systems in the studied region.

Keywords: Maize, Meteorology, Pressurized irrigation, Soil moisture, Water requirement**.**

Article Type: Research Article
Article history: Received: 30 May 2023 **Revised:** 28 July 2023 **Accepted:** 25 September 2023 **ePublished:** 15 December 2023

Cite this article: Lorestani, R., Farhadi Bansouleh, B., Sadeghi, GH.H., & Rahmani, M. (2023). Evaluation of various irrigation management for the automation of the Sprinkler irrigation system, *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 3(2), 1-19. DOI: 10.22126/ATWE.2023.9310.1055

Publisher: Razi University

© The Author(s).

فناوری های پیشرفته در بهره وری آب

وبگاه نشریه: https://atwe.razi.ac.ir شاپا الکترونیکی: ۴۹۶۴-۲۷۸۳

ارزیابی مدیریت‌های مختلف آبیاری به‌منظور هوشمندسازی سامانه آبیاری بارانی

راحله لرستانی [۱]، بهمن فرهادی بانسوله [۲]✉ ، غلامحسن صادقی [۳] ، مهسا رحمانی [۴]

[۱] دانش آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: r.lorestani66@gmail.com

[۲] نویسنده مسئول، دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: bfarhadi2001@yahoo.com

[۳] دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: hasangh2008@yahoo.com

[۴] دانش آموخته دکتری آبیاری و زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: mahsarahmani39@yahoo.com

چکیده

یکی از مسائلی که در بخش کشاورزی امروزه به نیازی مهم تبدیل شده، هوشمندسازی سامانه‌های آبیاری (تحت‌فشار) است. مقدار نیاز آبی و نحوه اعمال آن از جمله مباحث مهم در این موضوع است. هدف این مطالعه، مقایسه مقدار آب موردنیاز تعیین شده بر اساس داده‌های رطوبت خاک و هواشناسی و همچنین مقایسه مقادیر آب اعمال شده بر اساس روش‌های حجمی و زمانی است. برای این منظور، چهار نوع مدیریت آبیاری که شامل ترکیبی از دو روش تعیین نیاز آبی (کمبود رطوبتی خاک و داده‌های هواشناسی) و دو روش اعمال آبیاری (زمانی یا حجمی) بود، در یک سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک در یک مزرعه ذرت، مورد ارزیابی قرار گرفتند. این چهار تیمار عبارت بودند از: کمبود رطوبتی خاک– زمانی (MT)، کمبود رطوبتی خاک– حجمی (MV)، هواشناسی– زمانی (WT) و هواشناسی– حجمی (WV). نتایج نشان داد که مقدار آبیاری در تیمارهای موردمطالعه با یکدیگر متفاوت بود. حجم آب کاربردی در تیمارهای مبتنی بر زمان (MT و WT) به ترتیب ۱۴ و ۸ درصد بیشتر از تیمارهای حجمی (MV و WV) بود. در بیشتر موارد، دبی آبپاش‌ها با دبی طراحی اختلاف داشت و اختلاف زیادی بین دبی آبپاش‌ها مشاهده شد. باتوجه‌به غیریکنواختی نسبتاً بالای دبی آبپاش‌ها در نقاط مختلف مزرعه، اعمال آبیاری به روش زمانی پیشنهاد نمی‌گردد. در نهایت تیمار MV که در آن میزان آبیاری بر اساس کمبود رطوبتی خاک تعیین و با روش حجمی اعمال شده بود به‌عنوان روش مناسب جهت سامانه آبیاری در مزرعه مورد بررسی، پیشنهاد شد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری تحت‌فشار، ذرت، رطوبت خاک، نیاز آبی، هواشناسی.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

سابقه مقاله: دریافت: ۰۹ خرداد ۱۴۰۲ **اصلاح:** ۰۶ مرداد ۱۴۰۲ **پذیرش:** ۰۳ مهر ۱۴۰۲ **چاپ الکترونیکی:** ۲۴ آذر ۱۴۰۲

استناد: لرستانی، ر.، فرهادی بانسوله، ب.، صادقی، غ.ح.، و رحمانی، م. (۱۴۰۲). ارزیابی مدیریت های مختلف آبیاری به‌منظور هوشمندسازی سامانه آبیاری بارانی، *فناوری های پیشرفته در بهره وری آب*، ۳(۲)، ۱۹-۱، شناسه دیجیتال: 10.22126/ATWE.2023.9310.1055

ناشر: دانشگاه رازی

© نویسندگان.

مقدمه

باتوجه‌به این‌که بیشتر مناطق ایران در قسمت خشک و نیمه‌خشک دنیا قرار گرفته و ازآنجایی‌که منابع تولید از جمله آب‌های شیرین، ناکافی و محدود هستند و نهاده‌ها (نیروی کار، منابع انرژی، مواد و کودهای شیمیایی) گران‌تر می‌شوند، لذا به‌کارگیری روش‌های مناسب باهدف بهبود و افزایش بهره‌وری مصرف آب، ضروری به نظر می‌رسد. یکی از راهکارهای افزایش بهره‌وری در سامانه‌های آبیاری، استفاده از سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار است. در تحقیقی انواع سامانه‌های آبیاری مانند آبیاری سطحی، آبیاری زیرسطحی، آبیاری قطره‌ای و آبیاری هوشمند ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که بین سامانه آبیاری خودکار و سامانه آبیاری دستی تفاوت بوده و سامانه آبیاری خودکار با استفاده از مقدار آب کمتری در مقایسه با سامانه آبیاری دستی، عملکرد بالاتری را برای محصولات می‌دهد و مزایای آن عبارت از استفاده آسان، نصب آسان، مشاهده و نگهداری آسان است (سابل و همکاران[1]، ۲۰۱۹). آبیاری هوشمند می‌تواند به دستیابی به استفاده بهینه از آب در کشاورزی با استفاده از فناوری دیجیتال در دسترس کمک کند (ناجی و همکاران[2]، ۲۰۲۱.، تویل و همکاران[3]، ۲۰۲۲). میزان آب موردنیاز گیاهان در دوره رشد متغیر است و به پارامترهای هواشناسی، خصوصیات گیاه، وضعیت رطوبتی خاک و مرحله رشد گیاه بستگی دارد. علی‌رغم اینکه در منابع علمی روش‌های مختلفی برای تعیین نیاز آبی گیاهان وجود دارد؛ ولی کشاورزان به‌عنوان بهره‌برداران سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار از این روابط اطلاع چندانی ندارند. یکی از راهکارهای جبران این ضعف، هوشمندسازی سامانه‌های آبیاری است. روش برآورد نیاز آبی و نحوه اعمال مقدار آب برآورد شده توسط سامانه آبیاری از جمله مواردی است که در بحث هوشمندسازی سامانه‌های آبیاری بایستی به آن توجه نمود. مقدار آب موردنیاز گیاه معمولاً بر اساس اندازه‌گیری رطوبت خاک در منطقه ریشه و یا بر اساس داده‌های هواشناسی تعیین می‌شود. نیاز آبی گیاه به مقدار آبی گفته می‌شود که باید از طریق آبیاری به زمین داده شود تا گیاه با حداکثر توان خود رشد نموده و تولید محصول نماید (علیزاده، ۱۳۸۴). این پارامتر توسط عوامل مختلفی از جمله اقلیم و متغیرهای هواشناسی، رطوبت خاک، نوع گیاه و سامانه آبیاری تحت‌تأثیر قرار می‌گیرد و پارامترهای آب‌وهوایی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر آن است (براتی و همکاران، ۱۳۹۷). تأثیر اقلیم بر نیاز آبی گیاهان به شکل تبخیر و تعرق بروز می‌کند؛ بنابراین اطلاع از میزان تبخیر و تعرق در یک منطقه جهت بهره‌برداری مطلوب از منابع آب موضوعی مهم است (سیلوا و همکاران[4]، ۲۰۱۰).

طراحی سامانه‌های آبیاری (تحت‌فشار) معمولاً بر اساس میانگین آمار طولانی‌مدت (۳۰ساله) هواشناسی و اطلاعات کلی در مورد گیاه، خاک و آب صورت می‌گیرد. این در حالی است که در دوران بهره‌برداری پارامترهای هواشناسی در سال‌های مختلف متفاوت بوده و این تفاوت، نیاز آبی متفاوتی را سبب می‌شود. رعایت‌نکردن اصول آبیاری که شناخت شرایط مزرعه از لحاظ میزان آب موردنیاز را می‌طلبد موجب بیش‌آبیاری و یا کم آبیاری و در نتیجه کاهش بهره‌وری مصرف آب می‌گردد (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۹). از طرف دیگر خطاهای انسانی ناشی از عملکرد اشتباه آبیار و یا تأخیر در انجام اقدامات لازم، از مواردی هستند که باعث کاهش بهره‌وری سامانه‌های آبیاری می‌شوند.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

نتایج کارهای پژوهشی محققان بیانگر کاهش مصرف آب و افزایش بهره‌وری مصرف آن در صورت برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس نیاز آبی (طبق داده‌های به هنگام در مزرعه) است. تحقیقات مربوط به تعیین نیاز آبی گیاهان بیش از یک قرن است که شروع شده و کماکان ادامه دارد. آلن و همکاران[5] (۱۹۹۱) ضمن مقایسه ۲۰ روش محاسبه تبخیر و تعرق، از روش پنمن مانتیث به‌عنوان روش برتر نام‌برده و متوسط خطای این روش را یک درصد اعلام نمودند. میرموسوی و همکاران (۱۳۹۱) در تحقیقات خود پنج روش محاسبه تبخیر و تعرق (پنمن مانتیث – فائو، ترنت وایت، بلانی کریدل اصلاح شده، هارگریوز و پنمن اصلاح شده) بر روی اطلاعات هواشناسی پنج ایستگاه منتخب در استان کرمانشاه مورد بررسی قرار دادند و نتایج آنها نشان داد از بین پنج روش مذکور، روش پنمن مانتیث – فائو برآورد دقیق‌تری ارائه داده است. رحمان و همکاران[6] (۲۰۱۴) گزارش کردند که در شرایط برآورد نیاز آبی با استفاده از داده‌های به هنگام هواشناسی مزرعه، کارایی مصرف آب در باغ‌های زردآلو افزایش یافته است. علیزاده و همکاران (۱۳۸۹) میزان مصرف آب آبیاری و تأثیر آن بر کارایی مصرف

[1] Sable et al
[2] Naji et al
[3] Touil et al
[4] Silva et al
[5] Allen et al
[6] Rehman et al

آب ذرت علوفه‌ای در منطقه کرج را در سه وضعیت که در آن‌ها میزان آبیاری بر اساس ۱) داده‌های به‌هنگام هواشناسی مزرعه، ۲) داده‌های به‌هنگام ایستگاه هواشناسی خارج از مزرعه و ۳) داده‌های میانگین هواشناسی منطقه محاسبه گردید بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که بین داده‌های هواشناسی (دما، رطوبت نسبی و سرعت باد) در سه شرایط مورد بررسی تفاوت وجود دارد. در وضعیتی که مقدار آب آبیاری بر اساس داده‌های هواشناسی به‌هنگام داخل مزرعه صورت گرفت، مصرف آب در هر هکتار ذرت ۶۸۳۸ مترمکعب و مقدار تولید ۷۸ تن و بنابراین کارایی مصرف آب ۱۱/۴ کیلوگرم بر مترمکعب بوده است. حال‌آنکه این ارقام در شرایطی که مقدار آبیاری بر اساس داده‌های به‌هنگام ایستگاه هواشناسی غیرکشاورزی خارج از مزرعه که در فاصله ۴ کیلومتری مزرعه آزمایشی واقع بود صورت گرفت، به ترتیب ۷۶۴۰، ۷۸/۲ و ۱۰/۲ و در شرایطی که از آمار میانگین ۲۰ساله هواشناسی برای آبیاری مزرعه استفاده گردید به ترتیب ۹۳۵۰، ۷۹/۹ و ۸/۵ به دست آمد. بر اساس نتایج این مطالعه، در صورت اندازه‌گیری داده‌های هواشناسی در مزرعه و انجام آبیاری بر اساس آن‌ها کارایی مصرف آب نسبت به وضعیتی که از داده‌های میانگین هواشناسی منطقه استفاده شود ۲۷٪ افزایش پیدا می‌کند. کمپ و همکاران [1] (۱۹۸۵) روش مناسب مدیریت آبیاری را کنترل نیم‌رخ رطوبتی خاک بیان کردند. ادیسون[2] (۲۰۱۱) سیستم کنترل هوشمند آبیاری را با استفاده از حسگر رطوبت‌سنج خاک طراحی نمود. این سیستم باتوجه‌به رطوبت حجمی خاک که توسط حسگر مربوطه اندازه‌گیری می‌شد نیاز آبی گیاه را مشخص و آبیاری را انجام می‌داد که نتایج حاکی از بازدهی بالای این سامانه بود. با اجرای این طرح بیش از ۵ درصد در مدیریت زمان و انرژی نسبت به شرایط دیگر افزایش راندمان ایجاد شد. کامپوس و همکاران [3] (۲۰۰۳) در آزمایشی که برای بهبود مقاومت به خشکی روی محصول ذرت انجام دادند به این نتیجه دست یافتند که ذرت در مرحله گل‌دهی و گرده‌افشانی بیشتر به خشکی حساس است. آن‌ها گزارش کردند که عملکرد در شرایط تنش در مرحله گل‌دهی، همبستگی بسیار قوی با تعداد دانه در هر بلال دارد که همه این نتایج ضرورت آبیاری به‌موقع و به‌هنگام را هم در کاهش مصرف آب و هم جلوگیری از آسیب به کشت بیان کردند. تورس و همکاران [4] (۲۰۱۰) اعلام کردند پیش‌بینی حجم بهینه آبیاری امری ضروری برای توسعه سامانه مدیریت توزیع و تحویل آبیاری است و مهم‌ترین بخش پیش‌بینی رژیم آبیاری این است که ساده، واقعی و نزدیک به نیاز آبی گیاه باشد. سعیدالذاکرین و همکاران (۱۳۹۸) ۱۵ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب فضای سبز پارک رازی واقع در منطقه ۱۱ تهران را در اثر استفاده از هوشمندسازی سامانه آبیاری گزارش کردند. ابول پور و همکاران (۱۴۰۰) عملکرد یک سامانه هوشمند آبیاری را با روش سنتی و روش مبتنی بر داده‌های هواشناسی در قالب یک طرح آزمایشی مقایسه کردند. نتایج این آزمایش که در زرقان استان فارس انجام گرفت بیانگر کاهش ۲۷ درصدی در مصرف آب چغندرقند نسبت به روش سنتی بود.

باتوجه‌به آنکه سهم عمده‌ای از منابع محدود آب کشور در بخش کشاورزی مصرف می‌گردد، لذا سیاست‌گذاری برای مدیریت بهینه مصرف آب امری ضروری بوده و به همین دلیل تحقیقات اخیر محققان به‌منظور صرفه‌جویی در مصرف آب، افزایش بازده آبیاری و بهره‌وری مصرف آب و به سمت هوشمندسازی (سامانه‌های خودکار آبیاری و آبیاری دقیق) سوق پیدا کرده است. علی‌رغم اهمیت موضوع تاکنون از این روش‌ها در کشور در سطح وسیع استفاده نشده و بیشتر در سطح پروژه‌های کوچک و تحقیقاتی بررسی شده‌اند (پورغلام آمیجی، ۱۳۹۹). آنچه از سامانه خودکار آبیاری نسبت به روش‌های سنتی آبیاری انتظار می‌رود، کاهش مصرف آب به‌شرط عدم کاهش راندمان تولید محصول است. این تحقیق در استان کرمانشاه که یکی از استان‌های مستعد کشاورزی بوده و در سالیان اخیر هم‌زمان با سایر استان‌های کشور سطح تحت پوشش سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار در این استان افزایش چشمگیری یافته است، انجام شده است. باتوجه‌به شرایط اقتصادی– اجتماعی موجود در منطقه، سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت – آبپاش متحرک رایج‌ترین سامانه آبیاری بارانی در استان هست. بررسی‌های میدانی انجام شده روی سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار استان بیانگر این است که عدم مدیریت و بهره‌برداری صحیح از این سامانه‌ها، از عوامل اصلی کاهش بازده این سامانه نسبت به اهداف مورد انتظار است. در یک سامانه آبیاری بهینه، گیاه باید به‌اندازه نیاز آبیاری شود، اما این‌که کشاورز متوجه شود که چه میزان و چه زمانی گیاه نیاز به آبیاری دارد همواره مورد سؤال است. ذرت یکی از گیاهان با مصرف نسبتاً زیاد آب است که باتوجه‌به درآمدزایی نسبتاً خوب آن در استان کرمانشاه و خیلی از مناطق کشور کشت می‌گردد. هدف از انجام مطالعه کنونی ارزیابی برخی از مدیریت‌های آبیاری قابل‌استفاده برای آبیاری هوشمند بوده است. در این پژوهش یک سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت – آبپاش متحرک تحت چهار مدیریت آبیاری که ترکیبی از دو روش برآورد نیاز آبی (کمبود رطوبتی خاک و داده‌های ایستگاه هواشناسی) و دو روش اعمال آبیاری (حجمی و زمانی) بود در مزرعه تحت کشت ذرت ارزیابی شد.

[1] Camp et al
[2] Edison
[3] Camposeo et al
[4] Torres et al

روش پژوهش

تحقیق حاضر بر روی یک سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت – آبپاش متحرک مجهز به وسایل اندازه‌گیری فشار و دبی، در مزرعه تحقیقاتی گروه مهندسی آب پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی، با موقعیت طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۱۹ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۳۲۰ متر از سطح دریا انجام گردید. این مزرعه که مساحت آن ۴/۸ هکتار است مجهز به سوئیچ فشاری، شیر برقی، کنتور آب و فشارسنج در ابتدای تعدادی از بال‌های آبیاری هست. در این مزرعه، فاصله بین بال‌های آبیاری و همچنین فاصله بین آبپاش‌ها ۲۱ متر، لوله‌های اصلی و بال‌های آبیاری از جنس پلی‌اتیلن و به ترتیب با قطرهای ۱۶۰ و ۶۳ میلی‌متر هست. در اوایل دوره رشد از رایزرهای یک‌متری و از اواسط دوره رشد از رایزرهای دو متری که روی یک پایه نگهدارنده قرار گرفتند، استفاده شد. البته در این تحقیق تنها یک قطعه از مزرعه به مساحت ۱/۶ هکتار (۱۲۶ در ۱۲۶ متر)، به‌صورت کنترل‌شده و باقی‌مانده آن توسط آبیار مزرعه به‌صورت معمول آبیاری گردید. به‌منظور آبیاری گیاه ذرت، آبپاش‌های موجود با استفاده از سامانه اتوماسیون مبتنی بر وب (مانشتی و همکاران[1]، ۲۰۱۳) که قادر است توسط سامانه وایرلسی (بی‌سیم) کنترل شود، فعال و غیرفعال (خاموش و روشن) می‌شدند.

در خروجی ایستگاه پمپاژ علاوه بر بای‌پس یک سوئیچ فشاری قرار داشت و به‌گونه‌ای تنظیم شده بود که اگر فشار از مقدار مشخصی بیشتر یا کمتر شود ایستگاه پمپاژ خاموش می‌شد. طبق برنامه‌ریزی‌های صورت‌گرفته در زمان اعمال تیمارهای موردمطالعه ۹ آبپاش به‌صورت هم‌زمان در حال کار بودند که ۶ آبپاش در تیمارهای مورد آزمایش و ۳ آبپاش اضافی در خطوط ۷، ۸ و ۹ (خارج از تیمارها) مستقر گردیدند. ضمناً در زمان جابه‌جایی آبپاش‌ها، جریان آب به ۳ آبپاشی که قرار بود جابه‌جا شوند قطع و موقتاً ۳ آبپاش اضافی بر روی خطوط ۷، ۸ و ۹ فعال می‌شدند (به‌منظور جلوگیری از بالارفتن فشار و خاموش‌شدن ایستگاه پمپاژ) و بعد از استقرار آبپاش‌ها در محل جدید، جریان در آبپاش‌های اضافی قطع گردید.

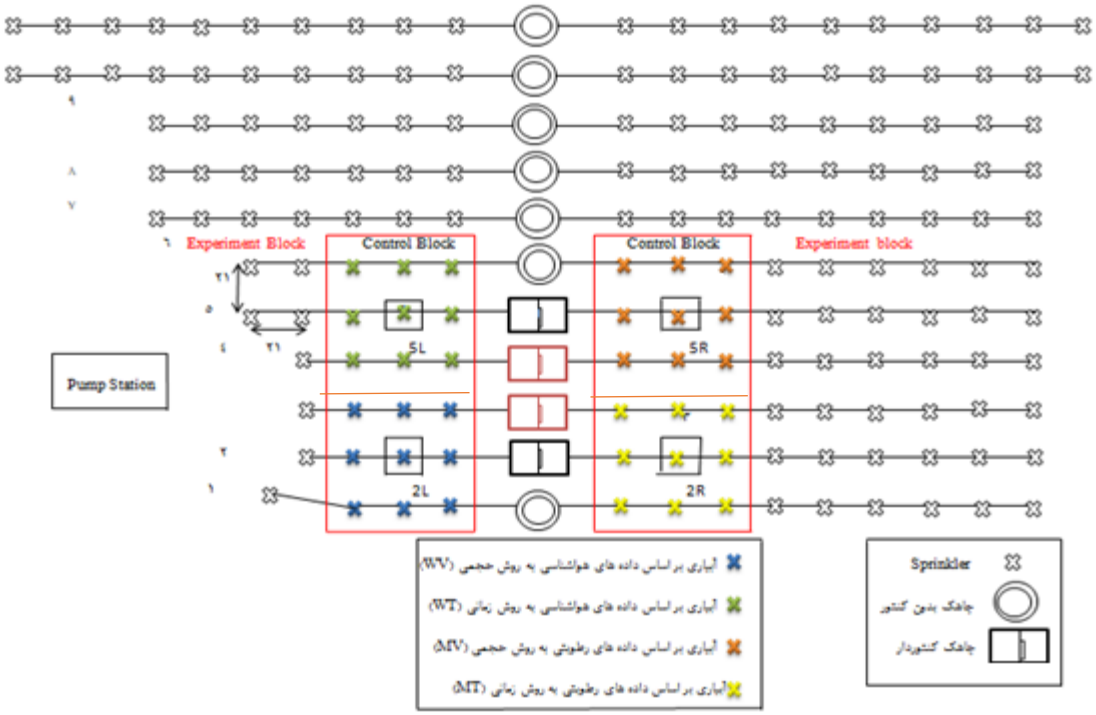
مشخصات طرح آزمایشی

بخشی از مزرعه که مجهز به وسایل اندازه‌گیری دبی و فشار بود، به چهار ناحیه تقسیم گردید و در شکل (۱) نشان داده شده است. در هر ناحیه یکی از تیمارهای آبیاری اعمال گردید. هر تیمار شامل محدوده تحت پوشش ۹ آبپاش بود. نیاز آبی در دو ناحیه بر اساس داده‌های هواشناسی (تیمارهای ۱ و ۲) و در دو ناحیه بر اساس داده‌های رطوبتی خاک (تیمارهای ۳ و ۴) تعیین شد. آبپاش‌های بکار رفته در این سامانه مدل Komet163 تنظیمی با قطر نازل ۱۲ بودند. بعد از تعیین نیاز آبی در دور آبیاری (نحوه محاسبه در ادامه توضیح داده شده است)، حجم آب مورد نیاز برای آبیاری محاسبه گردید. در تیمارهای ۱ و ۳ بعد از عبور حجم آب محاسبه شده، آبیاری قطع می شد اما در تیمارهای ۲ و ۴ زمان آبیاری از تقسیم حجم آب مورد نیاز بر دبی متوسط آبپاش‌ها (۳ لیتر درثانیه) محاسبه گردید و بعد از زمان مشخص شده آبیاری قطع شد. مشخصات تیمارهای آزمایشی در جدول (۱) ارائه‌شده است. پلان مزرعه به همراه جانمایی طرح آزمایشی در شکل (۱) نشان داده شده است. در بخش‌های دیگر مزرعه نیز ذرت کشت گردیده بود که آبیاری این بخش‌ها تحت مدیریت مزرعه بود و عملکرد آن به‌عنوان عملکرد شاهد جهت مقایسه با تیمارهای مورد مطالعه در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که عملیات کاشت در تاریخ ۲۰ اردیبهشت انجام گرفت و یک ماه اول دوره رشد تمام تیمارها همانند بقیه قسمت‌های مزرعه (خارج از طرح) و به طور یکسان آبیاری شدند. تیمارهای آبیاری در بازه زمانی ۲۳ خرداد تا ۱۶ شهریور اعمال گردیدند.

جدول ۱. مشخصات تیمارهای آزمایشی

تیمار	شماره بال	نماد	روش اعمال آبیاری	روش برآورد نیاز آبی
۱	2 L	WV	حجمی	هواشناسی
۲	5 L	WT	زمانی	هواشناسی
۳	5 R	MV	حجمی	رطوبت خاک
٤	2 R	MT	زمانی	رطوبت خاک

[1] Manashti et al



شکل ۱. موقعیت تیمارهای آزمایشی و آبپاش‌ها در مزرعه

خصوصیات خاک و آب منطقه موردمطالعه

برای اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی خاک نمونه‌هایی از خاک مزرعه از اعماق ۳۰-۰، ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتی‌متری روی مسیرهای ۲ و ۵ برداشت برداشت و به آزمایشگاه منتقل گردید. بافت خاک در آزمایشگاه به روش هیدرومتری تعیین گردید. با توجه به مقادیر رس، سیلت، شن و ماده آلی خاک مقادیر رطوبت حجمی خاک در نقاط ظرفیت زراعی و پژمردگی دایمی برآورد گردید و در جدول (۲) ارائه شده است. با توجه به جدول (۳) آب موردنیاز این سامانه از یک حلقه چاه تأمین گردید که از نظر کیفیت باتوجه‌به مشخصات شیمیایی در کلاس C3S1 قرار داشت.

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی خاک در مزرعه مورد مطالعه

شماره بال آبیاری	عمق (سانتی‌متر)	بافت	رطوبت حجمی در ظرفیت زراعی	رطوبت حجمی در نقطه پژمردگی دایمی
۲	۰ – ۳۰	سیلتی لومی	۳۵	۱۵
	۳۰ – ۶۰	لوم رسی شنی	۳۸	۲۲
	۶۰ – ۹۰	سیلتی لومی	۳۳	۱۷
۵	۰ – ۳۰	سیلتی لومی	۳۳	۱۴
	۳۰ – ۶۰	سیلتی رسی	۴۳	۳۰
	۶۰ – ۹۰	سیلتی رسی	۴۳	۳۰

جدول ۳ – خصوصیات کیفی آب مورد استفاده

هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	کل جامدات محلول (*ppm*)	اسیدیته	طبقه بندی	غلظت (میلی اکی والانت درلیتر)					
				کربنات	بی کربنات	کلر	سولفات	سدیم	مجموع منیزیم و کلسیم
۰/۹۸	۹۲۵	۷/۴	*C3-S1*	۰	۶/۶	۲/۹	۱/۱۱	۰/۸۱	۹/۸

محاسبه نیاز آبی بر اساس داده‌های هواشناسی

به‌منظور تخمین نیاز آبی گیاه (ETc) از داده‌های ایستگاه هواشناسی خودکار واقع در اراضی ایستگاه پردیس کشاورزی و منابع طبیعی استفاده شد. داده‌های این ایستگاه هواشناسی به‌صورت ساعتی در سامانه اینترنتی www.fieldclimate.com ذخیره می‌گردد. میانگین پارامترهای هواشناسی در ایستگاه هواشناسی دانشکده کشاورزی (نزدیک مزرعه مورد مطالعه) در جدول (۴) گزارش شده است. در این سامانه مقدار تبخیر – تعرق پتانسیل گیاه مرجع (ETo) به‌صورت روزانه بر اساس فرمول پنمن مانتیث (آلن و همکاران، [1] ۱۹۹۱) محاسبه می‌شود. جهت محاسبات مربوط به برآورد نیاز آبی در رابطه (۱) طول مراحل چهارگانه و ضرایب گیاهی ذرت از سند ملی آب کشور برای دشت کرمانشاه استخراج و در سامانه وارد شد.

$$ETc = Kc * ETo \quad (۱)$$

که در آن ETc: تبخیر– تعرق پتانسیل گیاه زراعی (میلی‌متر بر روز)، ETo: تبخیر– تعرق پتانسیل گیاه مرجع (میلی‌متر بر روز) و Kc: ضریب گیاهی هست. باتوجه‌به اینکه در زمان اعمال تیمارهای آبیاری بارندگی وجود نداشت مقدار نیاز آبی و ETc با هم برابر در نظر گرفته شد. حجم آب موردنیاز برای آبیاری توسط هر آبپاش در دور آبیاری با استفاده از رابطه (۲) محاسبه گردید.

$$V = \sum_{i=1}^{n} ETc_i * \frac{S_m * S_l}{e_a} \quad (۲)$$

که دراین‌رابطه، V حجم آب آبیاری، n شماره روز بعد از آبیاری قبلی، S_m و S_l فاصله بین بال‌های آبیاری و فاصله بین آبپاش‌ها روی بال آبیاری که در این پروژه ۲۱ متر بود و e_a راندمان کاربرد آبیاری بر مبنای دفترچه طرح ۸۰ درصد (۰/۸) در نظر گرفته شد.

جدول ۴ – میانگین پارامترهای هواشناسی در زمان انجام مطالعه

ماه	دمای متوسط (درجه سانتی‌گراد)	رطوبت نسبی (٪)	سرعت باد (متر بر ثانیه) در ارتفاع ۲ متری	تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع (میلیمتر در روز)
خرداد	۲۵/۶	۱۹/۷	۱/۴	۶/۴
تیر	۲۸/۰	۱۸/۳	۱/۲	۶/۱
مرداد	۲۸/۸	۱۸/۰	۱/۱	۵/۸
شهریور	۲۵/۴	۲۴/۹	۰/۹	۴/۷

[1] Allen et al

محاسبه نیاز آبی بر اساس رطوبت خاک

در این روش یک روز قبل از آبیاری رطوبت خاک بین آبپاش‌های ۲ و ۳ روی بال آبیاری (تیمارهای مبتنی بر رطوبت خاک) به روش وزنی در اعماق ۱۵، ۴۵ و ۷۵ سانتی‌متری اندازه‌گیری و کمبود رطوبتی خاک تا عمق ریشه طبق رابطه (۳) محاسبه گردید.

(۳)

$$d = \sum_{i=1}^{3} \left((FC - \theta) \times D \times A_s \right)_i$$

که در آن d: کمبود رطوبتی خاک، FC: رطوبت وزنی در حد ظرفیت زراعی، θ: رطوبت وزنی خاک، A_s: جرم مخصوص ظاهری خاک و D: عمق توسعه ریشه در هر لایه است. عمق ریشه در مرحله اولیه رشد برابر عمق بذرکاری به‌اضافه ۵ سانتی‌متر (علیزاده، ۱۳۸۴) و حداکثر عمق توسعه ریشه‌ها برابر ۹۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. حجم آب مورد نیاز برای آبیاری توسط هر آبپاش در این روش با استفاده از رابطه (۴) محاسبه گردید.

$$V = \frac{d * S_m * S_l}{e_a} \qquad (۴)$$

مدت‌زمان آبیاری

در تیمارهای ۱ و ۳ از روش حجمی و در تیمارهای ۲ و ۴ از روش زمانی برای اعمال آب موردنیاز استفاده گردید. در روش حجمی، حجم آب عبور کرده از ابتدای بال آبیاری توسط یک کنتور آب که دقت ۰/۱ لیتر داشت اندازه‌گیری و بعد از عبور مقدار آب تعیین شده، آبیاری قطع گردید. در روش زمانی، مدت‌زمان آبیاری از تقسیم حجم آب موردنیاز برای آبیاری بر دبی متوسط آبپاش‌ها (۳ لیتر در ثانیه) محاسبه و آبیاری بعد از مدت‌زمان محاسبه شده قطع گردید. لازم به ذکر است که در ابتدای هر دو بال آبیاری، کنتور جهت اندازه‌گیری حجم آب کاربردی وجود داشت و در هر ۴ تیمار حجم آب کاربردی در هر آبیاری اندازه‌گیری شد.

عملکرد گیاهی

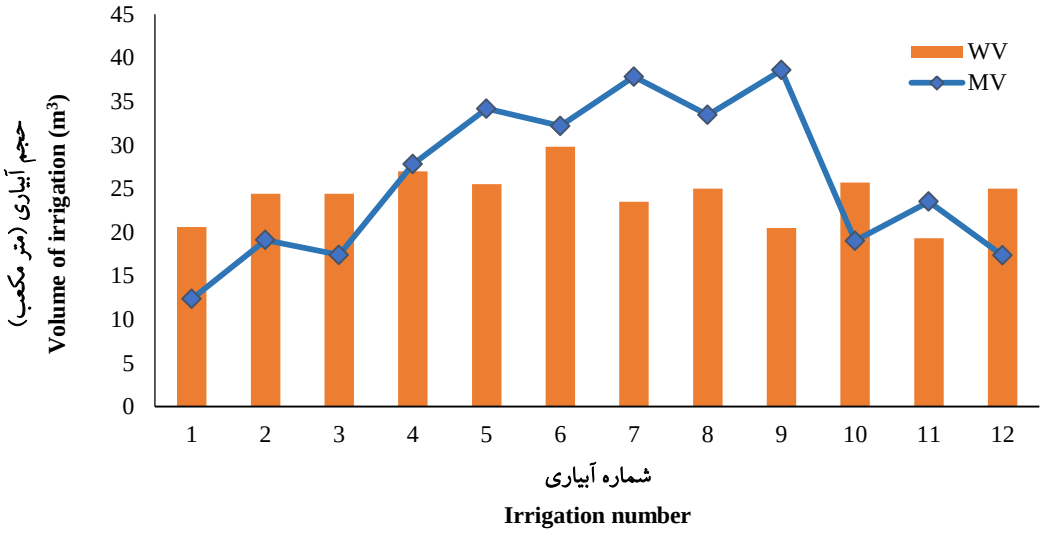
در زمان برداشت، عملکرد محصول در اطراف آبپاش مرکزی هر تیمار اندازه‌گیری گردید. برای این منظور در هر یک از تیمارها ۶۰ بوته در موقعیت‌های مشخصی در چهار طرف آبپاش مرکزی برداشت گردید. موقعیت مربع‌شکل روی شکل (۱) محدوده نمونه‌برداری گیاهی را نشان می‌دهد. در این شکل چهار ناحیه در اطراف هر آبپاش وجود دارد و از هر ناحیه ۱۵ نمونه (۵ نمونه روی سه خط در فواصل مختلف از بال آبیاری) برداشت گردید. موقعیت نمونه‌برداری‌ها در تمام تیمارها تقریباً یکسان بود. به‌منظور اندازه‌گیری عملکرد محصول در بخش‌هایی از مزرعه که تحت مدیریت مدیر مزرعه بود (عملکرد شاهد)، در دو سمت بال آبیاری شماره ۸ (شکل ۱) تعداد ۱۲۰ بوته ذرت در موقعیت-هایی متناظر با موقعیت نمونه‌های برداشت شده در تیمارهای موردمطالعه برداشت گردید. بعد از جداسازی دانه‌ها در آزمایشگاه، به مدت ۴ روز در داخل آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و نهایتاً وزن خشک دانه نیز اندازه‌گیری شد.

یافته ها

قبل از هر آبیاری مجموع آب مورد نیاز از آبیاری قبلی تا زمان آبیاری جدید محاسبه و بر اساس آن حجم آب مورد نیاز برای هر آبپاش (با فواصل ۲۱ متر در ۲۱ متر) محاسبه گردید. در طول دوره اعمال تیمارهای آبیاری جمعا ۱۲ نوبت آبیاری با حداکثر فاصله ۸ روز انجام شد. نتایج بیانگر این است که در منطقه مورد مطالعه حجم آب مورد نیاز محاسبه شده بر اساس داده‌های هواشناسی در اوایل و اواخر دوره رشد بیشتر از روش مبتنی بر رطوبت خاک می‌باشد. یکی از دلایل این موضوع می‌تواند عدم قطعیت در تخمین عمق ریشه‌گیاه که بر اساس آن کمبود رطوبتی خاک محاسبه شده است باشد. نکته دیگر اینکه ذخیره‌رطوبتی در ابتدای دوره اعمال تیمارها در روش مبتنی بر رطوبت خاک لحاظ می-شود حال آنکه در روش هواشناسی لحاظ نمی‌گردد. در اواسط دوره رشد (از آبیاری چهارم تا آبیاری نهم) نیاز آبی محاسبه شده بر اساس رطوبت خاک بیشتر از روش مبتنی بر داده‌های هواشناسی بوده است و در شکل (۲) آورده شده است. در کل حجم آب مورد نیاز برای هر آبپاش در روش مبتنی بر رطوبت خاک (۳۱۳ متر مکعب) ۸ درصد بیشتر از روش مبتنی بر داده‌های هواشناسی (۲۹۱ متر مکعب) تعیین گردید. مدت زمان لازم برای آبیاری توسط هر آبپاش بر اساس دبی طراحی (۳ لیتر در ثانیه) نیز محاسبه گردید که در جدول (۵) گزارش شده است.

جدول ۵ – حجم و زمان آبیاری محاسبه شده برای هر آبپاش بر اساس دبی طراحی آبپاش

شماره آبیاری	تاریخ آبیاری	دور آبیاری (روز)	زمان آبیاری (دقیقه)		حجم آبیاری (مترمکعب)	
			رطوبت خاک	هواشناسی	رطوبت خاک	هواشناسی
۱	۳۱ خرداد	–	٦۹	۱۱۵	۱۲/۳	۲۰/٦
۲	۷ تیر	۷	۱۰٦	۱۳٦	۱۹/۱	۲٤/٤
۳	۱۵ تیر	۸	۹۷	۱۳٦	۱۷/٤	۲٤/٤
٤	۲۳ تیر	۸	۱۵٤	۱۵۰	۲۷/۸	۲۷
۵	۳۰ تیر	۷	۱۹۰	۱٤۲	۳٤/۲	۲۵/۵
٦	٦ مرداد	۸	۱۷۹	۱٦٦	۳۲/۲	۲۹/۸
۷	۱۳ مرداد	۷	۲۱۰	۱۳۱	۳۷/۹	۲۳/۵
۸	۲۰ مرداد	۷	۱۸٦	۱۳۹	۳۳/۵	۲۵
۹	۲٦ مرداد	٦	۲۱٤	۱۱٤	۳۸/٦	۲۰/۵
۱۰	۲ شهریور	۷	۱۰٦	۱٤۳	۱۹	۲۵/۷
۱۱	۹ شهریور	۷	۱۳۱	۱۰۷	۲۳/۵	۱۹/۳
۱۲	۱٦ شهریور	۷	۹٦	۱۳۹	۱۷/۳	۲۵



شکل ۲. حجم آب موردنیاز برای یک آبپاش در آبیاری‌های مختلف

در تیمارهای رطوبتی- حجمی (MV) و هواشناسی- حجمی (WV) حجم آب آبیاری با توجه به مقادیر ذکر شده در جدول ۵ از طریق قرائت کنتورها اعمال گردید و هم‌زمان ساعت آبیاری نیز یادداشت گردید. در تیمارهای رطوبتی - زمانی (MT) و هواشناسی - زمانی (WT) ساعت آبیاری از تقسیم حجم آب مورد نیاز برای آبیاری طبق جدول (۵) بر دبی طراحی آبپاش‌ها (۳ لیتر در ثانیه) محاسبه گردید. علیرغم اینکه انتظار این است که حجم آب اعمال شده توسط سه آبپاش روی هر کدام از بال‌های آبیاری سه برابر مقادیر ذکر شده در جدول (۵) باشد، اما در عمل به دلیل تفاوت دبی آبپاش‌ها نسبت به دبی طراحی و برخی مشکلات اجرایی در حین آبیاری (به عنوان مثال فراموش کردن زمان قطع جریان در آبیاری اول) تفاوت‌هایی با این مقادیر وجود دارد. در ادامه حجم آب اعمال شده برای سه آبپاش در تیمارهای مختلف در جدول (۶) گزارش شده است. حجم کل آب اعمال شده در تیمارهای مبتنی بر رطوبت خاک بیشتر از هواشناسی بود. ضمنا در شرایط مزرعه مورد مطالعه، حجم آب در تیمارهایی که مقدارآب با کنتور اعمال می‌شد (حجمی) کمتر از تیمارهایی بود که بر اساس زمان انجام می‌گرفت. حجم آب اعمال شده در تیمارهای MT و WT به ترتیب ۱۴ و ۸ درصد بیشتر از تیمارهای MV و WV بود.

جدول ٦. حجم آب پخش شده توسط سه آبپاش در هر تیمار (مترمکعب)

شماره آبیاری	WV	WT	MV	MT
۱	۷۳/۱	۸۰	۷۳/۳	۸۸/٤
۲	۷۵/۱	٦۹	۵۳/٦	۹٤/۱
۳	۸۵	۱۰۳	۵۵/۱	۱۰٤/٦
٤	۷٦/۵	۷۰	۸۲/۵	۷۰/۲
۵	۹۷	۱۰٤	۱۰۰	۱۲۰/۵
٦	٦۱	٦۳/۵	۹٦/۵	۱۳٤/۵
۷	۷٦	۹۹	۱۱۳	۹۲
۸	٦۵	۷۵	۱۰۰	٦۰
۹	۷۸/۵	۸۲	۱۱٦	۹۵
۱۰	٦۱/۵	٦۱	۵٦/۵	۷۷
۱۱	۷۳	۸۰/۵	۷۱/۵	۱۱٦/۵
۱۲	٤۳/۵	۵۰	۵۱/۵	٤۹/۵
کل	۸٦۵/۲	۹۳۷	۹٦۹	۱۱۰۲

در تیمارهای مبتنی بر زمان (WT و MT) سعی بر این بود که مدت‌زمان آبیاری هر آبپاش برابر با مدت‌زمان محاسبه‌شده با دبی ۳ لیتر در ثانیه باشد، اما در عمل به دلیل محدودیت‌های اجرایی کمی بیشتر از این زمان اعمال شد. مدت‌زمان آبیاری تیمارهای مختلف برای سه آبپاش روی بال در جدول (۷) گزارش شده است. همان گونه که مشاهده می‌گردد تفاوت مدت‌زمان آبیاری در تیمارهای مختلف نسبتاً زیاد هست که علت آن علاوه بر تفاوت مقادیر نیاز آبی برآورد شده با روش‌های موردمطالعه، به اختلاف نسبتاً زیاد دبی آبپاش‌ها در شرایط کار مرتبط بود. حجم و زمان آبیاری در تیمارهای مبتنی بر زمان بیشتر از روش حجمی بود که علت این امر نیز محاسبه زمان آبیاری بر اساس دبی طراحی ۳ لیتر در ثانیه بدون کنترل حجم آبیاری است. باتوجه‌به اینکه حجم کل آب اعمال شده در تیمارهای مبتنی بر رطوبت خاک بیشتر از هواشناسی بود، مدت‌زمان آبیاری در این تیمارها نیز بیشتر بود. مدت‌زمان آبیاری در تیمارهای MT و MV به ترتیب ۱۰ و ۱۸ درصد بیشتر از تیمارهای WT و WV بود.

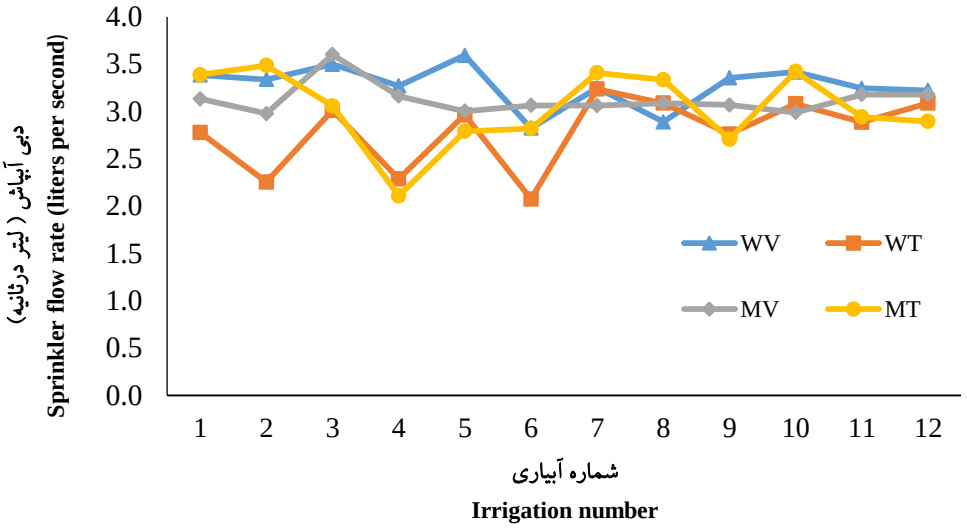
جدول ۷. مدت‌زمان آبیاری سه آپاش در هر تیمار و نوبت آبیاری (دقیقه)

شماره آبیاری	WV	WT	MV	MT
۱	۳۶۰	۴۸۰	۳۹۰	۴۳۵
۲	۳۷۵	۵۱۰	۳۰۰	۴۵۰
۳	۴۰۵	۵۷۰	۲۵۵	۵۷۰
۴	۳۹۰	۵۱۰	۴۳۵	۵۵۵
۵	۴۵۰	۵۸۵	۵۵۵	۷۲۰
۶	۳۶۰	۵۱۰	۵۲۵	۷۹۵
۷	۳۹۰	۵۱۰	۶۱۵	۴۵۰
۸	۳۷۵	۴۰۵	۵۴۰	۳۰۰
۹	۳۹۰	۴۹۵	۶۳۰	۵۸۵
۱۰	۳۰۰	۳۳۰	۳۱۵	۳۷۵
۱۱	۳۷۵	۴۶۵	۳۷۵	۶۶۰
۱۲	۲۲۵	۲۷۰	۲۷۰	۲۸۵
کل	۴۳۹۵	۵۶۴۰	۵۲۰۵	۶۱۸۰

باتوجه‌به وجود اختلاف فشار در نقاط مختلف مزرعه، دبی آپاش‌ها در شرایط واقعی بهره‌برداری با دبی طراحی متفاوت بود. دبی آپاش‌ها از تقسیم حجم آبیاری بر ساعت آبیاری محاسبه گردید که نتایج برای هر کدام از تیمارهای آبیاری در جدول (۸) گزارش شده است. با توجه به اینکه دبی آپاش‌ها تابعی از وضعیت آبیاری در سایر بخش های مزرعه هست، در تاریخ‌های مختلف آبیاری و در نقاط مختلف (تیمارهای مختلف) مقدار دبی آپاش‌ها دارای تغییرات نسبتا زیادی بود. حداکثر و حداقل دبی آپاش در طول دوره مورد مطالعه ۲.۰۸ و ۳.۶ لیتر در ثانیه محاسبه گردید. میانگین دبی آپاش‌ها در تیمارهای WT و MT به ترتیب ۲/۷۹ و ۳/۰۳ لیتر درثانیه بود. درصد تغییرات دبی آپاش‌ها در این تیمارها نسبت به دو تیمار دیگر بالاتر بود. البته نوسانات دبی آپاش‌ها در این مزرعه در اواخر دوره رشد کمتر از نیمه اول دوره رشد گیاه بوده است (شکل ۳). دلیل این موضوع می‌تواند به نوسانات فشار سامانه در اثر مدیریت آبیاری خصوصاً در بخش‌های خارج از محدوده طرح باشد. به نظر می‌رسد در نیمه دوم دوره رشد که نیاز آبی بالاتر بود مدیریت بهتری در بخش‌های خارج از طرح اعمال شده است. میانگین دبی آپاش‌ها در تیمارهای WV و MV با مقادیر ۳/۲۷ و ۳/۱۲ لیتر در ثانیه بالاتر از دبی طراحی بود. تغییرات نسبتاً زیاد دبی آپاش‌ها می‌تواند عامل محدودکننده‌ای در استفاده از مدیریت آبیاری مبتنی بر زمان باشد.

جدول ۸. دبی متوسط آبپاش در هر یک از تیمارهای موردمطالعه در شرایط بهره‌برداری (لیتر بر ثانیه)

شماره آبیاری	WV	WT	MV	MT
۱	۳/۳۸	۲/۷۸	۳/۱۳	۳/۳۹
۲	۳/۳٤	۲/۲٥	۲/۹۸	۳/٤۹
۳	۳/٥۰	۳/۰۱	۳/٦۰	۳/۰٦
٤	۳/۲۷	۲/۲۹	۳/۱٦	۲/۱۱
٥	۳/٥۹	۲/۹٦	۳/۰۰	۲/۷۹
٦	۲/۸۲	۲/۰۸	۳/۰٦	۲/۸۲
۷	۳/۲٥	۳/۲٤	۳/۰٦	۳/٤۱
۸	۲/۸۹	۳/۰۹	۳/۰۹	۳/۳۳
۹	۳/۳٥	۲/۷٦	۳/۰۷	۲/۷۱
۱۰	۳/٤۲	۳/۰۸	۲/۹۹	۳/٤۲
۱۱	۳/۲٤	۳/۸۹	۳/۱۸	۲/۹٤
۱۲	۳/۲۲	۳/۰۹	۳/۱۸	۲/۸۹
میانگین	۳/۲۷	۲/۷۹	۳/۱۲	۳/۰۳
حداکثر	۳/٥۹	۳/۲٤	۳/٦۰	۳/٤۹
حداقل	۲/۸۲	۲/۰۸	۲/۹۸	۲/۱۱
انحراف از معیار	۰/۲۲	۰/۳۸	۰/۱۷	۰/٤۱
ضریب تغییرات (درصد)	٦/۸	۱۳/۸	٥/۳	۱۳/٦



شکل ۳. دبی متوسط آبپاش در هر تیمار در شرایط بهره‌برداری (لیتر بر ثانیه)

دبی آبپاش‌ها از نظر آماری نیز مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور هر تاریخ آبیاری به‌عنوان یک تکرار در نظر گرفته شد. نتایج تجزیه واریانس مطابق جدول (۹) بیانگر تفاوت معنی دار دبی آبپاش‌ها در تیمارهای مورد مطالعه در سطح یک درصد می‌باشد. بر اساس همین آنالیز مشاهده می‌گردد که تفاوت دبی آبپاش‌ها در تکرار های مختلف (تاریخ های مختلف آبیاری) معنی دار نبوده است. مطابق جدول (۱۰) مقایسه میانگین دبی آبپاش‌ها نیز تفاوت معنی‌دار بین دبی آبپاش‌ها را در تیمارهای مورد مطالعه نشان داد.

جدول ۹ . تجزیه واریانس تیمارهای مورد بررسی از نظر دبی آبپاش

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	احتمال معنی‌داری
تکرار	۱۱	۰/۱٤٤ns	۰/۰۹۸
تیمار	۳	۰/٤۸۵ **	۰/۰۰۲۲
خطای آزمایشی	۳۳	۰/۰۸۱	
ضریب تغییرات		۹/۳۱	

ns و **: به ترتیب نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد است.

جدول ۱۰. مقایسه میانگین تیمارهای مورد بررسی از نظر دبی آبپاش

تیمار	دبی آبپاش	انحراف از معیار
WV	۳/۲۷ a	۰/۲۲
MV	۳/۱۲ ab	۰/۱۷
MT	۳/۰۳b	۰/۴۱
WT	۲/۷۹ c	۰/۳۸

حروف مشابه نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌ها است ($LSD \leq 0.05$)

بعد از جداسازی دانه‌ها در آزمایشگاه، وزن خشک اندازه‌گیری و نهایتاً عملکرد محصول محاسبه شد که در جدول (۱۱) گزارش شده است.

جدول ۱۱. عملکرد دانه، حجم آب کاربردی و کارایی مصرف آب در تیمارهای موردمطالعه

پارامتر	واحد	تیمار				
		شاهد	WV	WT	MV	MT
عملکرد دانه	$Kg.ha^{-1}$	۷۸۲۸	۸۶۱۵	۱۰۰۳۶	۱۰۶۵۴	۱۰۷۷۰
حجم آب مصرفی در دوره اعمال تیمار	$m^3.ha^{-1}$	*	۶۵۴۰	۷۰۸۲	۷۳۲۸	۸۳۳۲
کارایی مصرف آب	$Kg.m^{-3}$	*	۱/۳۲	۱/۴۲	۱/۴۵	۱/۲۹

*- اندازه‌گیری نشده است

لازم به ذکر است که حجم آب مصرفی در کل دوره رشد بیشتر از دوره اعمال تیمارها بوده است (به دلیل مشکلات اجرایی داده‌های مربوط به مصرف آب در یک ماه اول دوره رشد اندازه‌گیری نشده بود. البته مقدار آن برای کلیه تیمارها یکسان بود). بنابراین کارآیی مصرف آب محاسبه شده کمتر از مقدار گزارش شده در جدول (۱۱) می‌باشد. با توجه به اینکه هدف از این مطالعه مقایسه تیمارهای مختلف بوده است، این موضوع تاثیر چندانی روی نتایج ندارد. تحلیل نتایج جدول (۱۱) نشان می‌دهد که بیشترین عملکرد دانه به ترتیب مربوط به تیمارهای رطوبتی - زمانی (MT)، رطوبتی - حجمی (MV)، هواشناسی - حجمی (WV) و هواشناسی - زمانی (WT) می‌باشد.

بحث

تحقیق حاضر بر روی یک سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت - آبپاش متحرک مجهز به وسایل اندازه‌گیری فشار و دبی، در مزرعه تحقیقاتی گروه مهندسی آب پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی، با موقعیت طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۱۹ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۳۲۰ متر از سطح دریا انجام گردید. این مزرعه که مساحت آن ۴/۸ هکتار است مجهز به سوئیچ فشاری، شیر برقی، کنتور آب و فشارسنج در ابتدای تعدادی از بال‌های آبیاری هست. در این مزرعه، فاصله بین بال‌های آبیاری و

همچنین فاصله بین آبپاش‌ها ۲۱ متر، لوله‌های اصلی و بال‌های آبیاری از جنس پلی‌اتیلن و به ترتیب با قطرهای ۱۶۰ و ۶۳ میلی‌متر هست. به‌منظور انتخاب روش مناسب برای هوشمندسازی سامانه‌های آبیاری بارانی، چهار نوع مدیریت آبیاری شامل ترکیبی از دو روش تعیین نیاز آبی (بر اساس اندازه‌گیری کمبود رطوبتی خاک و داده‌های هواشناسی) و دو روش اعمال آبیاری (زمانی و حجمی) مقایسه گردید.

نتیجه‌گیری

نتایج بیانگر این بود که نیاز آبی برآورد شده با روش‌های مورد بررسی در زمان‌های مختلف با هم متفاوت هست. علی‌رغم اینکه در مجموع نیاز آبی برآورد شده با روش کمبود رطوبتی خاک ۸ درصد بیشتر از روش مبتنی بر داده‌های هواشناسی بود؛ اما این درصد تفاوت برای برخی از آبیاری‌ها از قبیل آبیاری‌های شماره ۷ تا ۹ بسیار بیشتر بود. نتایج تیمارهای آزمایشی بیانگر این بود که مقدار آبیاری اعمال شده در تیمارهای موردمطالعه با هم متفاوت بود. میانگین بیشترین و کمترین حجم آب مصرفی به ترتیب مربوط به تیمارهای زمانی – رطوبتی (WT) و حجمی– هواشناسی (WV) بود. نکته دیگری که در این مطالعه مشاهده شد اختلاف نسبتاً زیاد دبی آبپاش‌ها با دبی آبپاش‌ها در دفترچه طراحی بود. باتوجه‌به غیر یکنواختی دبی آبپاش‌ها اعمال آبیاری به روش حجمی نسبت به روش زمانی برتری دارد. میانگین بیشترین و کمترین زمان آبیاری به ترتیب مربوط به تیمارهای زمانی – رطوبتی (MT) و حجمی– هواشناسی (WV) بود. عملکرد محصول در تیمارهای مبتنی بر روش کمبود رطوبتی خاک بیشتر از تیمارهای مبتنی بر روش هواشناسی بوده و بیشترین عملکرد در تیمار (MT) گزارش شد. از دیدگاه افزایش بهره‌وری مصرف آب، تیمار حجمی – رطوبتی (MV) که در آن میزان آبیاری بر اساس کمبود رطوبتی خاک تعیین و با روش حجمی اعمال شده بود به‌عنوان روش مناسب جهت هوشمندسازی سامانه آبیاری پیشنهاد گردید. البته برای انتخاب تیمار برتر نیاز به انجام مطالعات اقتصادی نیز هست که جزو اهداف این مطالعه نبوده است.

منابع

ابول پور، بهروز.، شریفی، مستانه.، بذرافشان، محسن.، و جرعه نوش، محمد هادی. (۱۴۰۰). مدیریت هوشمند برنامه‌ریزی آبیاری به‌منظور افزایش بهره‌وری مصرف آب در گیاه چغندرقند. مهندسی آبیاری و آب ایران، ۱۲(۲)، ۱۷۰-۱۵۶. https://dx.doi: 10.22125/iwe.2021.14203

براتی، خدیجه.، عابدی کوپایی، جهانگیر.، درویشی، الهام.، آذری، آرش.، و یوسفی، علی. (۱۳۹۷). برآورد نیاز خالص آبیاری گیاهان الگوی کشت دشت کرمانشاه و مقایسه آن با داده‌های سند ملی آب. پژوهش آب در کشاورزی، ۳۲ (۴)، ۵۵۳- ۵۴۳. https://dx.doi: 10.22092/jwra.2019.118523

پورغلام آمیجی، مسعود. (۱۳۹۹). مزایا، کاربردها و چالش‌های مربوط به اینترنت اشیاء در آبیاری. مدیریت آب در کشاورزی، ۷(۲)،۶۶-۴۷. https://wmaj. aid.ir/article_128249.html

سعیدالذاکرین، امیرناصر.، نظری، بیژن.، و رمضانی اعتدالی، هادی. (۱۳۹۸). میزان اثربخشی هوشمندسازی سامانه‌های آبیاری فضای سبز در کاهش مصرف مطالعه موردی: پارک رازی تهران. آب و توسعه پایدار، ۶ (۱)، ۲۸-۲۳. https://dx.doi: 10. 2067/jwsd.v6i1.71208.

علیزاده، امین. (۱۳۸۴). اصول و عملیات آبیاری قطره‌ای. آستان قدس رضوی. انتشارات دانشگاه امام رضا (ع).

علیزاده، امین.، دهقانی سانیج، حسین.، و موسوی، مریم. (۱۳۸۹). تأثیر استفاده از داده‌های بهنگام هواشناسی مزرعه در محاسبه نیاز آبیاری بر افزایش کارایی مصرف آب در ذرت علوفه‌ای. مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۴ (۲)، ۳۱۸-۳۰۸. https://sid.ir/paper/131546/fa

میرموسوی، سید حسین.، پناهی، حمید.، اکبری، حمید.، اکبرزاده، یونس. (۱۳۹۱). واسنجی روش‌های برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع (ET0)و محاسبهٔ نیاز آبی گیاه (ETC) زیتون در استان کرمانشاه. جغرافیا و پایداری محیط، ۲(۲)، ۶۴-۴۵. https://ges.razi.ac.ir/article_166_en.html?lang=fa

References

Abolpour, B., Sharifi, M., Bazrafshan, M., & Jorenush, M. H. (2021). Intelligent management of Irrigation Planning on Increasing the Water Use Productivity in Sugar Beet (Beta vulgaris L.). Irrigation and Water Engineering, 12(2), 156-170. http://dx.doi: 10.22125/iwe.2021.142031. [in Persian]

Allen, R. G., Monteith, J. L., Perrier, A., Pereira, L. S., & Segeren, A. (1991). Report of the Expert Consultation on Procedures for Revision of FAO Guidelines for Prediction of Crop Water Requirements. Land and water development division. FAO. Roma (Italia). https://www.fao.org/publications/card/en/c/cb7185en.

Alizadeh, A. (2005). Principles and Operations of Drip Irrigation. Astan Qods Razavi. Imam Reza University (AS) Publishers. [in Persian]

Alizadeh, A., Dehghani Sanij, H., & Mousavi, M. (2010). The Effect of Using Real-time Field Meteorological Data in Calculating the Irrigation Requirement on Increasing the Efficiency of Water Consumption in Fodder Corn. Irrigation and Drainage Journal 2(4), 308-318. https://www.sid.ir/paper/131546/fa. [in Persian]

Barati, K., Abedikoupaee, J., Darvishi, E., Azari, A., & Yousefi, A. (2018). Estimation of Net Irrigation Requirement of the Crop Pattern in Kermanshah Plain and Comparison with the Data in the National Water Document. Journal of Water Research in Agriculture, 32(4), 543-553.
http://dx.doi: 10.22092/jwra.2019.118523. [in Persian]

Camp, C.R., Karlen, D. L. & Lambert, J.R. (1985). Irrigation Scheduling and Row Configurations for Corn in the Southeastern Coastal Plain. Trans. ASAE. 28(4), 59-65. https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/60820000/Manuscripts/1985-1990/Man138.pdf.

Camposeo, S. & Rubino, P. (2003). Effect of Irrigation Frequency on Root Water Uptake in sugar Beet. Plant and Soil 253, 301–309. https://doi.org/10.1023/A:1024801312711.

Edison, SSR. (2011). Smart Irrigation Control System. Thesis at Bethlahem Institute of Engineering, Karungal. Available online at: www.worldcolleges. info.pdf.

Manashti, M. J., Farhadi Bansouleh, B., Amirian, S., Sadeghi, G. H., Kermajani, M. Mohammadnezhad, R., Amjadian, E. & Rezaei, S. (2013). Design and Implementation of a Web Based Automation System for Sprinkler Irrigation System. The Second International Conference on Agriculture and Natural Resources,Razi Univercity, Kermanshah, Iran, 1134-1136. https://www.researchgate.net/publication/261098083

Mirmousavi, H., Panahi, H., Akbari, H., & Akbarzadeh, Y. (2012). Calibration Methods to Estimate Reference Crop Evapotranspiration and Calculated Potential Water Requirements of Olive Plant in Kermanshah Province. Geography and Environmental Sustainability, 2(2), 45-64. https://ges.razi.ac.ir/article_166_en.html?lang=fa. [In Persian]

Al-Naji, A., Fakhri, A.B., Gharghan, S.K. & Chahl, J. (2021) .Soil color analysis based on a RGB camera and an artificial neural network towards smart irrigation: A pilot study. Heliyon, 7(1), e06078. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06078

Pourgholam Amiji, M. (2021). The Benefits, Applications, and Challenges of the IoT in Irrigation. Water Management in Agriculture, 7(2), 47-66. https://wmaj.iaid.ir/article_128249.html. [In Persian]

Rehman, A.U., Abbasi, A. Z., Islam, N., & Shaikh, Z. A. (2014). A Review of Wireless Sensors and Networks' Applications in Agriculture. Computer standards and interfaces 36(2), 263-270. https://doi.org/ 10.1016/j.csi.2011.03.004.

Sable, R., Kolekar, S., Gawde, A., Takle, S., & Pednekar1, A. (2019). A Review on Different Irrigation Methods. International Journal of Applied Agricultural Research, 14(1), 49-60. https://www.ripublication.com/ijaar19/ijaarv14n1_06.pdf

Saeedolzakerin, A. N., Nazari, B., & Etedali, H. R. (2019). Effectiveness of smart landscape irrigation systems in reducing water usage (Case study: Razi Park, Tehran). Journal of Water and Sustainable Development 6 (1), 23-28. https://doi.org/10.22067/jwsd.v6i1.71208. [In Persian]

Silva, D., Meza, F. J., & Varas, E. (2010). Estimating Reference Evapotranspiration (ETo) Using Numerical Weather Forecast Data in Central Chile. Journal of hydrology 382(1), 64-71. https://doi.org: 10.1016/j.jhydrol.2009.12.018.

Torres, A. F., Walker, W.R., & McKee, M. (2010). Forecasting Daily Potential Evapotranspiration Using Machine Learning and Limited Climatic Data. Agricultural Water Management, 98(4), 553-562. https://doi.org: 10.1016/j.agwat.2010.10.012.

Touil, S., Richa, A., Fizir, M., Argente García, J.A., & Skarmeta Gómez, A.F.(2022). A review on smart irrigation management strategies and their effect on water savings and crop yield.Irrigation and Drainage. 71 (5), 1396-1416. https://doi.org/10.1002/ird.2735