



Evaluation and Determination of Water Productivity of Alfalfa in the Darbasti Irrigation System with Different Sprinkler Placement Patterns

Mohammad Mehdi Doustmohammadi¹ , Mohammad Ali Gholami Sefidkouhi^{2✉} ,
Abdolmajid Liaghat³ , Reza Norooz Valashedi⁴ 

1. Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: dustmohammadimahdi@gmail.com

2. Corresponding Author, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: ma.gholami@sanru.ac.ir

3. Department of Irrigation & Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: aliaghat@ut.ac.ir

4. Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: rezanorooz@yahoo.com

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Nov. 31, 2023

Revised: Dec. 16, 2023

Accepted: Dec. 31, 2023

Published online: April. 2024

Keywords:

WP,
CU,
DU,
AELQ.

ABSTRACT

The Water Productivity (WP) of the Darbasti Irrigation System (DIS) was evaluated in Alfalfa cultivation in the Markazi Province. The evaluation included three patterns of sprinkler placement: 8x8 meter (SS-88), 8x10 meter (SS-810), and 8x12 meter (SS-812). The Distribution Uniformity (DU), Coefficient of Uniformity (CU), Application Efficiency of Low Quarter (AELQ), and WP were determined in the years 2018 and 2019, after the third (HA-3), fourth (HA-4), and fifth (HA-5) yield harvests. The results showed that the average CU in the SS-88 pattern was 84.76% in the first year and 86.34% in the second year. This pattern had the highest CU compared to the other two patterns. The DU in SS-88, SS-810, and SS-812 patterns in the first and second year was 77.3%, 79.31%, and 75.38%, 77.66%, and 70.11%, 70.88%, respectively. These results indicate very good, good, and relatively good performance in each of the patterns, respectively. Moreover, there was a significant difference at the one percent level in the AELQ between the first and second year for all three patterns. The results showed a significant difference at the level of one percent between the SS-812 model and the other two models. The WP of alfalfa was 1.84 kg/m³, 1.87 kg/m³, and 2.28 kg/m³ for SS-88, SS-810, and SS-812 patterns, respectively, in the first year. In the second year, this index was 2.43 kg/m³, 2.3 kg/m³, and 2.4 kg/m³ for the same patterns, respectively. Generally, the SS-810 pattern of sprinkler placement is a suitable choice based on performance indicators.

Cite this article: Doustmohammadi, M. M., Gholami Sefidkouhi, M. A., Liaghat, A., & Norooz Valashedi, R., (2024) Evaluation and Determination of Water Productivity of Alfalfa in the Darbasti Irrigation System with Different Sprinkler Placement Patterns, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 55 (2), 163-177. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.367987.669604>

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.



DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.367987.669604>

ارزیابی عملکرد سیستم آبیاری داربستی و تعیین بهره‌وری مصرف آب یونجه در الگوهای مختلف قرارگیری آبپاش

محمد مهدی دوست محمدی^۱، محمد علی غلامی سفیدکوهی^۲✉، عبدالمجید لیاقت^۳ و رضا نوروز ولاشیدی^۴

۱. گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: dustmohammadimahdi@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: ma.gholami@sanru.ac.ir

۳. گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. aliaghat@ut.ac.ir

۴. گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: rezanorooz@yahoo.com

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

کارایی سامانه آبیاری داربستی به‌عنوان سامانه آبیاری بارانی جدید، با سه الگوی قرارگیری آبپاش شامل ۸*۸ متر (SS-88)، ۸*۱۰ متر (SS-810) و ۸*۱۲ متر (SS-812)، در کشت یونجه در استان مرکزی مورد ارزیابی قرار گرفت. شاخص‌های یکنواختی توزیع (DU)، ضریب یکنواختی (CU)، راندمان کاربرد آب در ربع پایین (AELQ) و بهره‌وری مصرف آب (WP) در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ و پس از برداشت‌های سوم (HA-3)، چهارم (HA-4) و پنجم (HA-5) محصول تعیین شد. نتایج نشان داد که میانگین ضریب یکنواختی در الگوی SS-88 در سال اول و دوم به ترتیب ۸۴/۷۶ و ۸۶/۳۴ درصد بوده و بیشترین میزان ضریب یکنواختی را نسبت به دو الگوی دیگر داشته است. یکنواختی توزیع آب در الگوی SS-88، SS-810 و SS-812 در سال اول و دوم به ترتیب برابر با ۷۷/۳، ۷۹/۳۱ و ۷۵/۳۸، ۷۷/۶۶ و ۷۰/۱۱ و ۷۰/۸۸ درصد بود که به ترتیب بیانگر عملکرد بسیار خوب، بسیار خوب و نسبتاً خوب در هر یک از این الگوها بود. همچنین شاخص AELQ در سال اول و دوم در هر سه الگو در سطح یک درصد تفاوت معنادار داشته است. بررسی آماری نیز بیانگر اختلاف معنادار در سطح یک درصد بین الگوی SS-812 با دو الگوی دیگر بود. بهره‌وری مصرف آب یونجه در الگوی SS-88، SS-810 و SS-812 در سال اول و دوم به ترتیب ۱/۸۴، ۱/۸۷ و ۲/۲۸، ۲/۴۳ و ۲/۳ کیلوگرم بر مترمکعب بود. بطور کلی الگوی SS-810 با توجه به شاخص‌های مورد بررسی الگوی مناسب‌تری می‌باشد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۸/۲۲

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۹/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۱۰

تاریخ انتشار: اردیبهشت ۱۴۰۳

واژه‌های کلیدی:

بهره‌وری آب،

ضریب یکنواختی،

یکنواختی توزیع،

پتانسیل کاربرد آب در چارک پایین.

استناد: دوست محمدی؛ محمد مهدی، غلامی سفیدکوهی؛ محمد علی، لیاقت؛ عبدالمجید، نوروز ولاشیدی، رضا، (۱۴۰۳) ارزیابی عملکرد سیستم آبیاری داربستی و تعیین بهره‌وری مصرف آب یونجه در الگوهای مختلف قرارگیری آبپاش، *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۵ (۲)، ۱۷۷-۱۶۳.



<https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.367987.669604>

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.367987.669604>

مقدمه

افزایش روز افزون جمعیت سبب شده تا تقاضا جهت افزایش غذا و تولیدات کشاورزی به شکل چشم‌گیری افزایش یابد (Masoudi et al., 2018). یونجه یکی از این تولیدات پر مصرف و بسیار با اهمیت کشاورزی است که متناسب با افزایش جمعیت، نیاز به تولید آن بیش از پیش احساس می‌شود (Montazar & Sadeghi, 2008). این در حالی است که منابع آبی در دسترس به دلیل خشک‌سالی‌های پی‌درپی و تغییرات اقلیم کاهش یافته است (Haghverdi et al., 2016). لذا تلاش برای افزایش راندمان آبیاری و بهره‌وری مصرف آب در این محصول ارزشمند، امری ضروری به نظر می‌رسد. طی چند دهه اخیر سامانه‌های آبیاری مختلفی به‌منظور توزیع بهینه آب در مزرعه و کاهش تلفات آن توسعه یافته‌اند. که از این میان، برای آبیاری محصولات متراکمی نظیر یونجه، غالباً از سامانه‌های مختلف آبیاری بارانی استفاده می‌شود (Cavero et al., 2016; Isla & Aragüés, 2009; A. Li et al., 2021; Y. Li & Su, 2017; Urrego-Pereira et al., 2013; Wang et al., 2020). برای تشخیص سامانه آبیاری مناسب با محصول، ابتدا باید کارایی و عملکرد سامانه آبیاری در شرایط مشابه مورد ارزیابی قرار گیرد. معمولاً کارایی یک سامانه آبیاری با شاخص‌های یکنواختی توزیع (DU)، ضریب یکنواختی (CU)، راندمان کاربرد آب در ربع پایین (AELQ) و راندمان پتانسیل کاربرد آب در ربع پایین (PELQ) مورد ارزیابی قرار می‌گیرد (Merriam & Keller, 1978).

پیشینه

شاخص‌های مختلف عملکرد سامانه‌های آبیاری، به دلیل اهمیتی که دارند در شرایط متنوع توسط محققین مورد بررسی قرار گرفته‌اند (Abedinpour, 2017; Farg et al., 2017; Hashim et al., 2021; Jobbágy et al., 2021; Kazemi & Izadpanah, 2019; Maroufpoor et al., 2010; Merriam & Keller, 1978; Ngasoh et al., 2018; Saretta et al., 2018; عباسی و همکاران ۱۳۹۵؛ فاریابی و همکاران ۱۳۸۹)، اما این شاخص‌ها تأثیر سامانه آبیاری بر میزان عملکرد محصول را ارائه نمی‌دهند. لذا لازم است تا علاوه بر این شاخص‌ها، مقدار بهره‌وری مصرف آب نیز مورد توجه قرار گیرد. قدمی فیروزآبادی و سیدان (۱۳۹۸) در پژوهشی به بررسی بهره‌وری مصرف آب آبیاری و تحلیل اقتصادی تولید محصول یونجه در سامانه‌های آبیاری بارانی و سطحی در شهرستان همدان پرداختند و میزان میانگین بهره‌وری مصرف آب یونجه را در سامانه آبیاری سطحی و بارانی به ترتیب ۱/۶ و ۲/۷ کیلوگرم در هکتار برآورد نمودند. غلامی و همکاران (۱۳۹۵) میانگین بهره‌وری مصرف آب آبیاری را در چهار محصول جو، یونجه، ذرت و گندم در دشت قزوین و در سامانه آبیاری سطحی و بارانی مورد مقایسه قرار دادند. مقدار این شاخص در سامانه آبیاری بارانی برای محصول جو، یونجه، گندم و ذرت به ترتیب بین ۰/۷۵ تا ۲/۵، ۰/۲ تا ۱/۷۶، ۰/۳ تا ۲/۷۸ و ۰/۶۱ تا ۲/۲ کیلوگرم بر مترمکعب تعیین گردید. Grimes et al. (1992) بهره‌وری مصرف آب یونجه را در بخش غربی ایالات متحده آمریکا با آب و هوای خشک و نیمه‌خشک محاسبه نمودند. در این تحقیق سامانه آبیاری کلاسیک مورد استفاده قرار گرفت و مقدار بهره‌وری مصرف آب یونجه برابر با ۲/۶۳ کیلوگرم بر هکتار تعیین گردید. (Montazar & Sadeghi (2008) برای بررسی میزان رشد و عملکرد یونجه، عمق آب تحویلی و مقدار ضریب یکنواختی در آبیاری بارانی را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که ضریب یکنواختی سامانه آبیاری و یکنواختی توزیع رطوبت در خاک به ترتیب بین ۶۶ تا ۷۷ و ۸۸ تا ۹۱ درصد متغیر بوده است. در این تحقیق مقدار بهره‌وری مصرف آب یونجه ۲/۴۱ کیلوگرم در هکتار تعیین گردید و بیان شد که استفاده از سامانه‌های آبیاری بارانی (نسبت به روش‌های سطحی) می‌تواند منجر به کاهش مصرف آب و افزایش بهره‌وری مصرف آب یونجه گردد. (Ebrahimian & Gholami (2019) به بررسی بهره‌وری مصرف آب ذرت و یونجه در دشت قزوین پرداختند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که مقدار این شاخص در یونجه و ذرت به ترتیب بین ۰/۲۲ تا ۱/۷۶ و ۰/۳۱ تا ۲/۷۸ و به طور متوسط ۰/۸۶ و ۰/۸۷ کیلوگرم بر هکتار بوده است. با بررسی مقدار بهره‌وری ارائه شده در سایر تحقیقات می‌توان دریافت که بهره‌وری مصرف آب در شرایط آبیاری کامل و تحت سامانه آبیاری بارانی به طور متوسط بین ۰/۸۶ تا ۲/۵۱ کیلوگرم بر مترمکعب متغیر بوده است (Ebrahimian & Gholami, 2019; Grimes et al., 1992; M. Li et al., 2016; Y. Li & Su, 2017; Mobtaker et al., 2011; Montazar & Sadeghi, 2011; Naroua et al., 2014; Salvador et al., 2008). اهمیت بررسی‌های بیشتر برای افزایش راندمان را نشان می‌دهد.

با توجه به آنچه بیان شد لازم است تا در مناطق مختلف که اقلیم‌های متفاوتی دارند، کارایی سامانه‌های آبیاری بارانی در کشت یونجه مورد ارزیابی قرار گیرد تا بتوان با استفاده از کاراترین سامانه و الگو، عملکرد و بهره‌وری مصرف آب یونجه را افزایش داد. با این هدف، در این تحقیق کارایی سامانه آبیاری داربستی به‌عنوان یک سامانه آبیاری بارانی نوین در دشت ساوه استان مرکزی مورد بررسی قرار

گرفت. بدین منظور عملکرد سامانه آبیاری داربستی در آبیاری محصول یونجه با الگوهای مختلف قرارگیری با استفاده از شاخص های CU، DU، AELQ و WP مورد ارزیابی قرار گرفت تا بهترین الگوی قرارگیری آبپاش در این سامانه آبیاری تعیین گردد.

مواد و روش ها

منطقه پژوهش

این تحقیق در سال های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ در قطعه ای ۰/۷ هکتاری از مزرعه ای به وسعت ۱۱۵ هکتار و با مختصات جغرافیایی ۵۰ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳ دقیقه عرض شمالی صورت پذیرفت. این قطعه تحت کشت یونجه بود و با سامانه آبیاری داربستی آبیاری می شد (شکل ۱). مشخصات خاک مزرعه در اعماق مختلف در جدول (۱) ارائه شده است. میانگین دمای سالانه ۱۸/۱ درجه سانتی گراد، میانگین سرعت وزش باد در ارتفاع دو متری از سطح زمین ۱/۲ متر بر ثانیه و میانگین رطوبت نسبی ۳۷ درصد می باشد (جدول ۲).



شکل ۱- موقعیت قرار گرفتن سامانه آبیاری داربستی

جدول ۱. ویژگی های خاک مزرعه مورد مطالعه

عمق (cm)	بافت خاک	EC _e (dS/m)	pH	FC (درصد حجمی)	PWP (درصد حجمی)	چگالی ظاهری (gr/cm ³)
۳۰-۰	لومی رسی	۱۰/۲۹	۷/۸	۲۱/۵	۱۰/۳	۱/۳۵
۶۰-۳۰	لومی رسی	۱۳/۹۱	۷/۸	۲۱/۵	۱۰/۳	۱/۳۴
۹۰-۶۰	لومی رسی	۶/۹۹	۸/۱	۲۱/۵	۱۰/۳	۱/۳۷

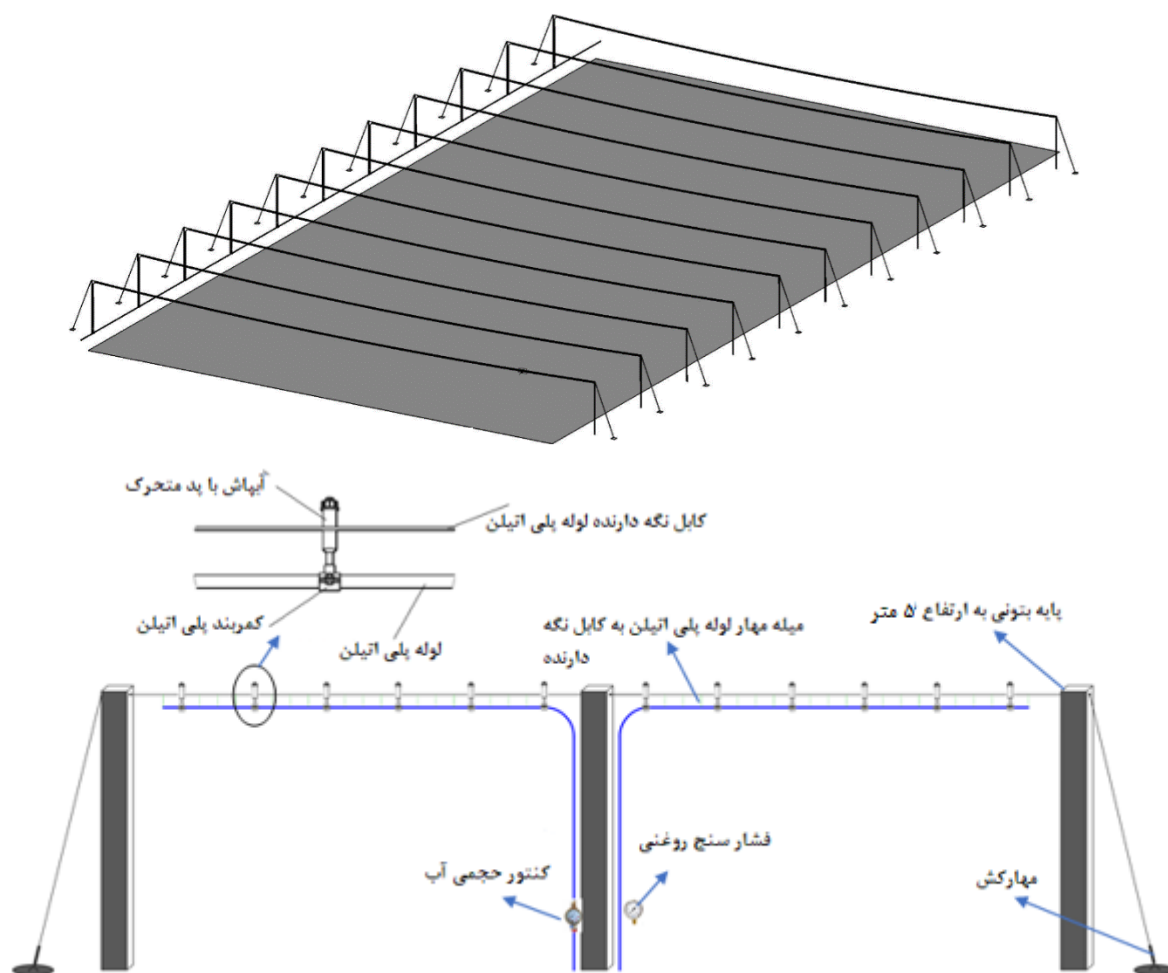
جدول ۲. اطلاعات هواشناسی مزرعه مورد مطالعه

سالانه	اسفند	فروردین	اردیبهشت	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر
۱۸/۱	۱۱/۹	۷	۴/۴	۶/۳	۱۱/۶	۱۹/۸	۲۶	۳۰/۷	۳۱/۴	۳۷/۵	۲۲/۹	۱۷/۵	میانگین دما (سانتی گراد)
۱۹۶	۳۱/۱	۲۲/۳	۳۰	۲۸/۸	۲۹/۵	۸/۶	۰/۶	۰/۵	۱/۳	۱/۵	۱۳/۱	۲۸/۵	بارش (میلی متر)
۳۷	۳۸	۴۷	۵۶	۵۷	۴۵	۳۳	۲۶	۲۴	۲۵	۲۴	۲۸	۳۶	رطوبت نسبی (درصد)
۱/۲	۱/۱	۱/۲	۱/۴	۱/۴	۱/۵	۱/۵	۱/۴	۱/۲	۰/۹	۰/۷	۰/۹	۱/۱	سرعت باد (متر بر ثانیه)

تیمارها و داده برداری

سامانه آبیاری داربستی، نوعی سامانه آبیاری بارانی است که برای اولین بار در ایران سال ۱۳۹۸ در شهرستان ساوه توسط دوست محمدی و رحیمی (۱۳۹۸) توسعه یافته است. این سامانه آبیاری در بخشی از مزرعه مورد مطالعه به ابعاد ۱۲۵ در ۵۰ متر به اجرا در آمده است. در این روش آبیاری با استفاده از تعدادی ستون، شبکه فلزی و لوله‌های پلی اتیلن و همچنین آبیازهای مخصوص (Hunter MP 3000) (360) در مساحت زیاد یک ابر شبیه‌سازی می‌گردد و با شروع آبیاری چیزی شبیه به یک باران مصنوعی ساخته می‌شود. شدت بارش این روش آبیاری ملایم است و به همین خاطر برای بسیاری از محصولات مناسب می‌باشد. ارتفاع ستون‌ها بسته به نوع محصول بین پنج تا شش متر در نظر گرفته می‌شود تا بیشتر ادوات قادر به انجام عملیات کشاورزی باشند.

این سامانه آبیاری از مجموعه‌ای از ستون‌ها، لوله‌های لترال آبیاری از جنس پلی اتیلن با دانسیته کم، کابل، آبیاز ام پی روتیتور هانتز و تعدادی اتصالات مربوطه تشکیل شده است (شکل ۲) که با استفاده از فشار هیدرولیکی آب فعال شده و آبیاری می‌نماید. در این مزرعه، ارتفاع ستون‌ها از سطح زمین ۵ متر و فاصله آن‌ها از یکدیگر در عرض زمین ۵۰ متر در نظر گرفته شد.



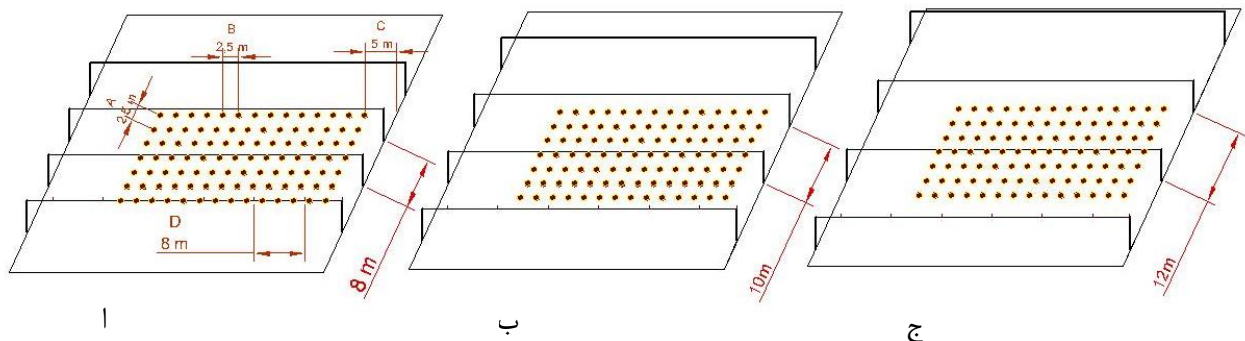
شکل ۲. نقشه و پلان آبیاری داربستی

برای بررسی و تعیین الگوی مناسب قرارگیری آبیازها، سه تیمار الگوی قرارگیری آبیاز شامل ۸ در ۸ متر (SS-88)، ۸ در ۱۰ متر (SS-810) و ۸ در ۱۲ متر (SS-812) در نظر گرفته شد. بدین منظور فاصله آبیازها روی لترال آبیاری (در عرض زمین) با توجه به شعاع پاشش آبیازها در فشار کاربردی در مزرعه (فشار کارکرد ۲/۱ بار)، به طور ثابت ۸ متر در نظر گرفته شد (شعاع پاشش آبیازها در این فشار کارکرد ۸ متر می‌باشد) و فواصل بین ستون‌ها در طول زمین ۸، ۱۰ و ۱۲ متر انتخاب گردید. در هر لترال (طول لترال‌ها ۵۰ متر بود) آبیاز اول (Hunter MP 3000 360) (Hunter MP 3000, Hunter Industries, San Marco, CA, USA) به فاصله ۴ متر از

ابتدا و سایر آبیاش‌ها به فاصله ۸ متر از یکدیگر نصب شد. آبیاش انتهایی نیز (Hunter MP2000-180) در فاصله ۶ متر از آبیاش قبلی و چسبیده به ستون نصب گردید (شکل ۳). میزان فشار و دبی آب ورودی به ابتدای این سامانه آبیاری نیز به ترتیب با استفاده از فشارسنج و کنتور اندازه‌گیری شد.

شاخص‌های کارایی سامانه‌های آبیاری شامل ضریب یکنواختی (CU)، یکنواختی توزیع (DU)، راندمان واقعی کاربرد آب در ربع پایین (AELQ) با استفاده از ارتفاع آب جمع شده در ظروف نمونه‌گیری استوانه‌ای شکل به قطر ۱۴/۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۷ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. بدین منظور ظروف نمونه‌برداری با الگوی مربعی و به فاصله ۲/۵ متر از یکدیگر در زیر سامانه آبیاری قرار داده شد (شکل ۳) و عمق آب رسیده به زمین در مستطیلی به ابعاد ۳۰ در ۱۲۵ متر و طی یک آبیاری ۲ ساعته اندازه‌گیری شد. داده‌برداری‌ها برای هر سه تیمار الگوهای مختلف قرارگیری آبیاش‌ها، بعد از برداشت سوم، چهارم و پنجم یونجه (سه تکرار) انجام شد و شاخص‌های کارایی سامانه‌های آبیاری محاسبه گردید.

با هدف بررسی اثر سامانه آبیاری بر عملکرد یونجه، بهره‌وری مصرف آب در تیمارها و تکرارهای مختلف محاسبه شد. بدین منظور، عملکرد یونجه در برداشت‌های سوم (HA-3)، چهارم (HA-4) و پنجم (HA-5) (از مجموع ۸ چین برداشت شده) در هر سال اندازه‌گیری شد. در هر یک از این برداشت‌ها چهار نوبت آبیاری صورت گرفت و مجموع حجم آب آبیاری که با استفاده از کنتور اندازه‌گیری شده بود، مد نظر قرار گرفت. برای بررسی اختلاف بین مقادیر شاخص‌های ذکر شده در تیمارها و تکرارهای مختلف، از آزمون آماری تحلیل واریانس یک طرفه (One way ANOVA) که به مقایسه یک کمیت وابسته Dependent Variable در بین گروه‌های مستقل یک فاکتور Factor می‌پردازد، استفاده شد. پس از تعیین وجود یا عدم وجود اختلاف معنادار بین گروه‌های آزمون، معناداری تفاوت میانگین‌ها بین جفت گروه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. در همین راستا از آزمون مقایسه جفتی LSD (که در صورتی که تعداد میانگین‌ها از سه تا بیشتر نباشد، مورد استفاده قرار می‌گیرد) بهره گرفته شد.



شکل ۳. محل قرارگیری قوطی‌های نمونه‌گیری در آبیاری داربستی (الف): الگوی ۸ در ۸، ب: الگوی ۸ در ۱۰ و ج: الگوی ۸ در ۱۲؛ فاصله ظروف اندازه‌گیری بر روی ستون ۲/۵ متر، B: فاصله ظروف اندازه‌گیری بر روی ردیف ۲/۵ متر، C: فاصله ظرف اول تا ابتدای مزرعه ۵ متر و D: فاصله آبیاش ۸ متر

پارامترهای ارزیابی عملکرد سامانه آبیاری

ارزیابی عملکرد، همواره جز جدایی‌ناپذیر سامانه‌های آبیاری می‌باشد (Ngasoh et al., 2018) و محققان همواره در تلاش بوده‌اند تا عملکرد سامانه‌های آبیاری را ارتقا بخشند (Hashim et al., 2021). بدین منظور در این تحقیق از شاخص‌های CU، DU، AELQ و WP استفاده شد.

یکنواختی توزیع (DU)

کلر و بلیسنر (۱۹۹۰) یکنواختی توزیع و پخش آب را معادل میانگین چارک پایین عمق آب جمع شده در قوطی‌ها به میانگین کل عمق آب جمع شده تعریف کردند. این شاخص که با DU نشان داده می‌شود به صورت فرمول زیر بیان می‌شود:

$$DU = \frac{\bar{x}_{Low\ quarter}}{\bar{X}} \times 100 \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن، DU: یکنواختی توزیع آب (درصد)، $\bar{x}_{Low\ quarter}$: میانگین یک چهارم پایین‌ترین عمق‌های جمع شده در ظروف

نمونه برداری (میلی متر)، \bar{X} : میانگین کل عمق آب جمع شده در ظروف نمونه برداری می باشد.

کلر و بلیسنر (۲۰۰۱) کارایی سامانه‌ای با یکنواختی توزیع $Du > 85$ ، $75 < DU < 85$ ، $70 < DU < 75$ ، $65 < DU < 70$ و $DU < 65$ درصد را به ترتیب عالی، بسیار خوب، خوب، نسبتاً خوب و ضعیف بیان کردند.

ضریب یکنواختی (CU)

ضریب یکنواختی کریستیانسن برای اولین بار به منظور تعیین یکنواختی سیستم آبیاری بارانی مورد استفاده قرار گرفت (Christiansen, 1942). این ضریب اکنون به عنوان روشی شناخته شده و پر کاربرد به منظور ارزیابی یکنواختی آب در یک سیستم آبیاری بارانی مورد استفاده قرار می گیرد (Maroufpoor et al., 2010). این شاخص که توسط عبارت CU نشان داده می شود، به وسیله رابطه زیر اندازه گیری می شود.

$$CU = 100 \times \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{\sum_{i=1}^n x_i}\right) \quad \text{رابطه ۲}$$

که در آن، CU: ضریب یکنواختی کریستیانسن (درصد)، x_i : عمق آب جمع شده در هر یک از قوطی‌ها (میلی متر)، \bar{x} : میانگین عمق آب جمع شده در همه قوطی‌ها می باشد.

کلر و بلیسنر (۲۰۰۱) کارایی یک سامانه آبیاری بارانی با ضریب یکنواختی بیش از ۸۴ درصد را عالی، بین ۷۵ تا ۸۴ درصد را خوب و کمتر از ۷۵ درصد را ضعیف ارزیابی نمودند.

راندمان واقعی کاربرد آب در ربع پایین (AELQ)

شاخص AELQ چگونگی بهره برداری از یک سامانه آبیاری را نشان می دهد (Merriam & Keller, 1978). این شاخص به صورت زیر محاسبه می شود:

$$AELQ = \frac{D_q}{D_r} \times 100 \quad \text{رابطه ۳}$$

که در آن، AELQ: راندمان واقعی کاربرد آب در ربع پایین (درصد)، D_q : میانگین یک چهارم پایین ترین عمق‌های اندازه گیری شده (میلی متر) و D_r : متوسط عمق آب خارج شده از آبپاش (میلی متر) می باشد.

بهره‌وری مصرف آب (WP)

بهره‌وری مصرف آب (WP) متناسب با هدف هر تحقیق، با استفاده از روابط مختلفی محاسبه می شود (Carracelas et al., 2019; Wakchaure et al., 2020; Wang et al., 2010, 2016; Zhang et al., 2021). در این تحقیق، بهره‌وری مصرف آب با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید:

$$WP = \frac{D_m}{I} \quad \text{رابطه ۴}$$

که در آن، WP: بهره‌وری مصرف آب ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)، D_m : وزن یونجه خشک (رطوبت ۱۴ درصد) و I: حجم آب آبیاری می باشد.

نتایج و بحث

ضریب یکنواختی (CU)

جدول (۳) مقادیر شاخص‌های عملکرد سامانه آبیاری داربستی را در تیمارها و تکرارهای مختلف طی دو سال تحقیق نشان می دهد. نتایج نشان داد که میانگین ضریب یکنواختی الگوی SS-88 در سال اول و دوم به ترتیب ۸۴/۷۶ و ۸۶/۳۴ و به طور میانگین ۸۵/۵۵ درصد بوده است که بیشترین میزان ضریب یکنواختی را نسبت به دیگر تیمارها داشته است. الگوی SS-810 متر هم با میانگین ضریب یکنواختی ۸۲/۳۹ و ۸۴/۷۵ درصد به ترتیب در سال اول و دوم، عملکردی مناسبی از خود نشان داد. در تحقیقات مختلف مقدار شاخص CU در سامانه‌های آبیاری گان، ستر-پیوت و لینیر بین ۶۰ تا ۹۲ درصد گزارش شده است (Al-ghobari & Dewidar, 2021; Jobbágy et al., 2019, 2021; Jobbágy & Krištof, 2018; Menezes et al., 2015). با مقایسه این مقادیر با مقدار CU در سامانه آبیاری داربستی می توان به کارایی بسیار خوب این سامانه آبیاری با الگوی SS-88 و SS-810 متر پی برد. نتایج آزمون تحلیل واریانس یک طرفه در سال اول و دوم نشان داد که مقدار ضریب یکنواختی در سه تیمار مورد بررسی با یکدیگر تفاوتی معنادار در سطح ۱ درصد دارند (جدول



۴). بررسی نتایج آزمون LSD هم نشان داد که از بین الگوهای مختلف قرارگیری آبپاش، مقادیر ضریب یکنواختی در تیمار SS-88 و SS-812 به لحاظ آماری تفاوت معناداری در سطح ۱ درصد از خود نشان نداده است اما تفاوت این شاخص بین الگوی SS-812 با دو الگوی دیگر در سطح ۱ درصد معنادار بود (جدول ۵).

جدول ۳- شاخص‌های CU، DU و AELQ در سامانه‌های آبیاری داربستی در الگوهای مختلف

SS-812			SS-810			SS-88			تکرار	سال
AELQ	DU	CU	AELQ	DU	CU	AELQ	DU	CU		
۶۱/۴۷	۷۲/۹۸	۸۰/۵۲	۷۱/۰۱	۷۶/۱۵	۸۱/۹۴	۷۵/۱۰	۷۷/۶۱	۸۵/۱۹	HA-3	اول
۵۶/۱۴	۷۰/۵۵	۷۶/۸۳	۶۶/۳۶	۷۴/۳۰	۸۱/۳۱	۷۳/۲۷	۷۷/۷۹	۸۴/۷۹	HA-4	
۵۹/۲۶	۶۶/۷۸	۷۷/۱۴	۷۱/۲۸	۷۵/۷۱	۸۳/۹۳	۷۱/۹۴	۷۶/۵۰	۸۴/۳۱	HA-5	
۵۸/۹۶	۷۰/۱۱	۷۸/۱۶	۶۹/۵۵	۷۵/۳۸	۸۲/۳۹	۷۳/۴۴	۷۷/۳۰	۸۴/۷۶	میانگین	
خ ن خ			خ ب خ			ع ب خ			ارزیابی	
۵۸/۳۴	۶۹/۵۶	۷۹/۳۳	۷۲/۲۷	۷۷/۷۷	۸۴/۸۵	۷۶/۰۲	۸۱/۳۳	۸۶/۷۳	HA-3	دوم
۵۹/۹۱	۷۰/۶۲	۷۸/۰۷	۷۱/۱۰	۷۸/۱۲	۸۵/۰۱	۷۶/۸۸	۷۹/۳۸	۸۶/۵۹	HA-4	
۶۰/۰۵	۷۲/۴۷	۷۷/۴۹	۷۰/۲۹	۷۷/۱۰	۸۴/۳۹	۷۲/۲۴	۷۷/۲۱	۸۵/۶۹	HA-5	
۵۹/۴۳	۷۰/۸۸	۷۸/۲۹	۷۱/۲۲	۷۷/۶۶	۸۴/۷۵	۷۵/۰۵	۷۹/۳۱	۸۶/۳۴	میانگین	
خ ن خ			ع ب خ			ع ب خ			ارزیابی	

ع: عالی، ب: خ: بسیار خوب، خ: خوب، ن: خ: نسبتاً خوب.

جدول ۴) نتایج آزمون تحلیل واریانس برای مقایسه میانگین شاخص‌های CU، DU، AELQ و WP در بین الگوهای مختلف

شاخص	سال	منابع تغییر	مجموع مربعات	درجه آزادی	مربعات میانگین	آماره F	سطح معنی داری
CU	اول	بین تیماری	۱۰۰۲/۱۲۰	۲	۲۵۰/۷۸	۱۹۰/۴۱۶	. / . . **
		درون تیماری	۱۳/۱۷۰	۶	۱/۳۱۷		
		کل	۱۰۱۶/۲۹۰	۸			
CU	دوم	بین تیماری	۱۰۲۰/۵۱	۲	۱۳,۲۵۵	۲۵۱/۵۶	. / . . **
		درون تیماری	۱۰/۱۴	۶	۱/۰۱۴		
		کل	۱۰۳۰/۶۶	۸			
DU	اول	بین تیماری	۴۷۶۸/۲۳۵	۲	۱۱۹۲/۰۵۹	۳۴۸/۷۹۸	. / . . **
		درون تیماری	۳۴/۱۷۶	۶	۳/۴۱۸		
		کل	۴۸۰۲/۴۱۱	۸			
DU	دوم	بین تیماری	۵۴۴۴/۰۷	۲	۱۳۶۱/۰۱	۳۱۹/۲۰	. / . . **
		درون تیماری	۴۲/۶۳	۶	۴/۲۶		
		کل	۵۴۸۶/۷۰	۸			
AELQ	اول	بین تیماری	۴۶۰۴/۲۶	۲	۱۱۵۱/۰۶	۲۸۵/۱۲	. / . . **
		درون تیماری	۴۰/۳۷	۶	۴/۰۲۷		
		کل	۴۶۴۴/۶۳	۸			
AELQ	دوم	بین تیماری	۵۱۰۰/۶۲	۲	۱۲۷۵/۱۵	۷۲/۰۳	. / . . **
		درون تیماری	۱۷۷/۰۲	۶	۱۷/۷۰		
		کل	۵۲۷۷/۶۴	۸			
WP	سال اول	بین تیماری	۳/۳۳	۲	۰/۸۳۲	۵۰۷/۵۸	. / . . **
		درون تیماری	۰/۰۱۶	۶	۰/۰۰۲		
		تغییرات کل	۳/۳۴	۸			
WP	سال دوم	تغییرات بین تیماری	۳/۴۶	۲	۰/۸۶۷	۲۲۸/۹۶	. / . . **
		تغییرات درون تیماری	۰/۰۳۸	۶	۰/۰۰۴		
		تغییرات کل	۳/۵۰	۸			

*** معناداری در سطح ۱ درصد

با مقایسه مقادیر ضریب یکنواختی در تیمارهای مورد بررسی با مقادیر ارائه شده توسط کلر و بلینسلر (۲۰۰۱) می‌توان دریافت که مقدار CU در سال اول و دوم در الگوی SS-88 در بازه عملکردی عالی، الگوی SS-810 در سال اول و دوم به ترتیب در بازه خوب و عالی و الگوی SS-812 در سال اول و دوم در بازه نسبتاً خوب قرار داشته است. با این وجود الگوی SS-812 متر به وضوح، نسبت به دو الگوی دیگر ضریب یکنواختی پایینی تری داشت.

در سامانه آبیاری داربستی که ارتفاع آبپاش از سطح زمین زیاد است، انتظار می‌رود که تلفات تبخیر و باد بردگی به دلیل ارتفاع زیاد آبپاش‌ها از سطح زمین افزایش یابد (Mengistu Debela, 2017; Tarjuelo et al., 1999, 2000) و در نتیجه ضریب یکنواختی کاهش یابد اما همپوشانی بالا، کیفیت بالای آبپاش‌ها، ایجاد یک میکرو اقلیم با رطوبت نسبی بالاتر و دمای پایین‌تر (به دلیل استفاده هم‌زمان از بیش از ۱۰۰ آبپاش در هر هکتار) در کنار دیگر عوامل، سبب شده تا ضریب یکنواختی مناسبی در این سامانه آبیاری حاصل شود.

جدول ۵. نتایج آزمون LSD برای مقایسه شاخص CU در سامانه‌های آبیاری مورد بررسی

شاخص	تیمار ۱	تیمار ۲	سال اول		سال دوم	
			تفاوت میانگین	سطح معنی‌داری	تفاوت میانگین	سطح معنی‌داری
CU	SS-88	SS-810	۱/۳۷	-۰/۱۷۴	۲/۴۸	-۰/۰۱۳
	SS-812	SS-812	۶/۶	-۰/۰۰۰	۸/۴۵	-۰/۰۰
	SS-810	SS-88	-۱/۳۷	-۰/۱۷۴	-۲/۴۸	-۰/۰۱۳
	SS-812	SS-812	۵/۲۳	-۰/۰۰۰	۵/۹۶	-۰/۰۰
DU	SS-88	SS-810	۱/۹۱	-۰/۲۳۴	-۴/۰۴	-۰/۰۳۸
	SS-812	SS-812	۷/۱۹	-۰/۰۰۱	۱۰/۲۴	-۰/۰۰
	SS-810	SS-88	-۱/۹۱	-۰/۲۳۴	۴/۰۴	-۰/۰۳۸
	SS-812	SS-812	۵/۲۸	-۰/۰۰۶	۱۴/۲۸	-۰/۰۰
AELQ	SS-88	SS-810	۳/۸۸	-۰/۰۳۹	۶/۴۸	-۰/۰۸۸
	SS-812	SS-812	۱۴/۴۸	-۰/۰۰	۸/۶۸	-۰/۰۳۰
	SS-810	SS-88	-۳/۸۸	-۰/۰۳۹	-۶/۴۸	-۰/۰۸۸
	SS-812	SS-812	۱۰/۵۹	-۰/۰۰	۶/۱۹	-۰/۵۳۷
WP	SS-88	SS-810	-۰/۴۳۶۶	-۰/۰۰	-۰/۵۴۶	-۰/۰۰
	SS-812	SS-812	-۰/۴۵۶۶	-۰/۰۰	-۰/۵۰۳	-۰/۰۰
	SS-810	SS-88	۰/۴۳۶۶	-۰/۰۰	۰/۵۴۶	-۰/۰۰
	SS-812	SS-810	-۰/۰۲	-۰/۵۵۹	۰/۰۴۳	-۰/۴۰۹

*. معناداری در سطح ۵ درصد

**. معناداری در سطح ۱ درصد

DU

براساس داده‌های جمع‌آوری شده، یکنواختی توزیع آب در سامانه آبیاری داربستی با الگوی SS-88، SS-810 و SS-812 به ترتیب برابر ۷۷/۳، ۷۵/۳۸ و ۷۰/۱۱ و ۷۵/۳۸، ۷۷/۶۶ و ۷۰/۸۸ درصد در سال دوم برآورد شد. مطابق پیشنهاد (کلر و بلینسلر، ۲۰۰۱)، میانگین این شاخص در دو سال به ترتیب در محدوده عالی، خوب و خوب برای تیمارهای SS-88، SS-810 و SS-812 قرار گرفت (جدول ۳). (Pitts et al., 1996) به بررسی عملکرد ۱۵۹ سامانه آبیاری بارانی پرداختند و میانگین یکنواختی توزیع (DU) را ۶۵ درصد اعلام نمودند. مقدار این شاخص در تحقیق (Ascough & Kiker (2002) در سامانه آبیاری سنتر-پیوت به طور متوسط ۸۱/۴ درصد و در سامانه آبیاری بارانی نیمه ثابت ۵۶/۹ درصد گزارش گردید. (Al-ghobari & Dewidar (2021) میانگین این شاخص را در سامانه‌های آبیاری سنتر-پیوت بین ۶۰ تا ۸۰ درصد اعلام کردند. عباسی و همکاران (۱۳۹۵) به بررسی میانگین راندمان آبیاری و یکنواختی توزیع آب در ایران بین سال ۱۳۷۱ تا ۱۳۹۵ پرداختند و میانگین یکنواختی توزیع (DU) را در سامانه‌های آبیاری عقربه‌ای، کلاسیک ثابت، قرقه‌ای و آبفشان غلطان به ترتیب ۷۷/۷، ۶۶/۳، ۶۵/۱ و ۶۲/۷ درصد اعلام کردند. با دقت در نتایج تحقیقات ذکر شده، می‌توان دریافت که سامانه آبیاری داربستی در الگوهای SS-88 و SS-810 بر خلاف الگوی SS-812 عملکرد بسیار مناسبی داشته است. در بررسی علت تغییرات ضریب یکنواختی در مزارع و شرایط مختلف می‌توان به اثر عواملی مثل: همپوشانی ناکافی، آبپاش‌های فرسوده، استفاده از نازل‌های با قطر متفاوت و نامناسب، بالا یا پایین بودن فشار و تغییرات آن در سامانه آبیاری اشاره نمود که می‌توانند منجر به کاهش یکنواختی پخش گردند (Hashim et al., 2021; Pitts et al., 1996) در این تحقیق سامانه آبیاری داربستی با الگوهای SS-88 و SS-810 یکنواختی پخش



مناسبتی دارند که نشان از طراحی صحیح و عملکرد نسبتاً مناسب این سامانه در پخش آب دارد. در حالی که الگوی SS-812 به دلیل هم‌پوشانی پایین و ناکافی عملکرد مناسبی نداشته است.

نتایج آزمون‌های آماری تحلیل واریانس یک‌طرفه در سال اول و دوم بیانگر وجود اختلاف معنادار در سطح ۱ درصد در شاخص DU بین سامانه‌های آبیاری مختلف بود (جدول ۴). آزمون LSD نشان داد که در سال اول ضریب یکنواختی سامانه آبیاری داربستی با الگوی SS-88 نسبت به الگوی SS-810 متر تفاوت معناداری در سطح یک درصد نداشته است اما تفاوت این دو تیمار با تیمار SS-812 در سطح یک درصد معنی‌دار بود. در سال دوم اختلاف بین الگوی SS-88 و SS-810 در سطح ۵ درصد و سایر تیمارها در سطح ۱ درصد معنادار بود (جدول ۵).

AELQ

میانگین راندمان واقعی کاربرد آب در ربع پایین در سال اول و دوم در الگوی SS-88 ۷۴/۲۴ درصد، در الگوی SS-810 ۷۰/۳۸ درصد و در الگوی SS-812 ۵۹/۱۹ متر درصد بود. مقدار این شاخص در الگوی SS-812 همانند سایر شاخص‌ها، بسیار پایین‌تر بود. با دقت در نتایج حاصله می‌توان دریافت که با افزایش فاصله آبیاش و کاهش همپوشانی، مقدار این شاخص کاهش یافته است. که از این بین الگوی SS-88 و SS-810 در سال اول در سطح ۵ درصد تفاوت معناداری از خود نشان داده و در سال دوم اختلاف بین این دو تیمار معنادار نبوده است. این در حالی است که مطابق نتایج آزمون‌های تحلیل واریانس یک طرفه و LSD، مقدار شاخص مورد بررسی در تیمار SS-812 نسبت به دو تیمار دیگر در سطح ۱ درصد در سال اول و دوم تفاوت معناداری داشته است (جدول ۴ و ۵). با توجه محدوده مطلوب این شاخص که بین ۶۵ تا ۸۸ درصد می‌باشد (Merriam & Keller, 1978)، دو الگوی SS-88 و SS-810 بر خلاف الگوی SS-812 در وضعیت مطلوبی قرار داشتند. آن‌طور که مشخص است الگوی SS-812 نتوانسته است نیاز آبی مورد نیاز گیاه را در بخش‌های مختلف زمین تأمین نماید. لذا به نظر می‌رسد که لازم است تا با مجموعه‌ای از اقدامات مدیریتی نظیر افزایش زمان آبیاری و غیره تلاش نمود تا مقدار این شاخص را افزایش داد. چراکه غالباً مقدار کم این شاخص نشان دهنده مشکلات مدیریتی در سامانه آبیاری می‌باشد (Hashim et al., 2021; Mengistu Debela, 2017). در نتیجه به نظر می‌رسد که بهترین گزینه برای افزایش این شاخص، تنظیم زمان آبیاری بر مبنای دبی خروجی از آبیاش و نیاز آبی یونجه می‌باشد.

WP

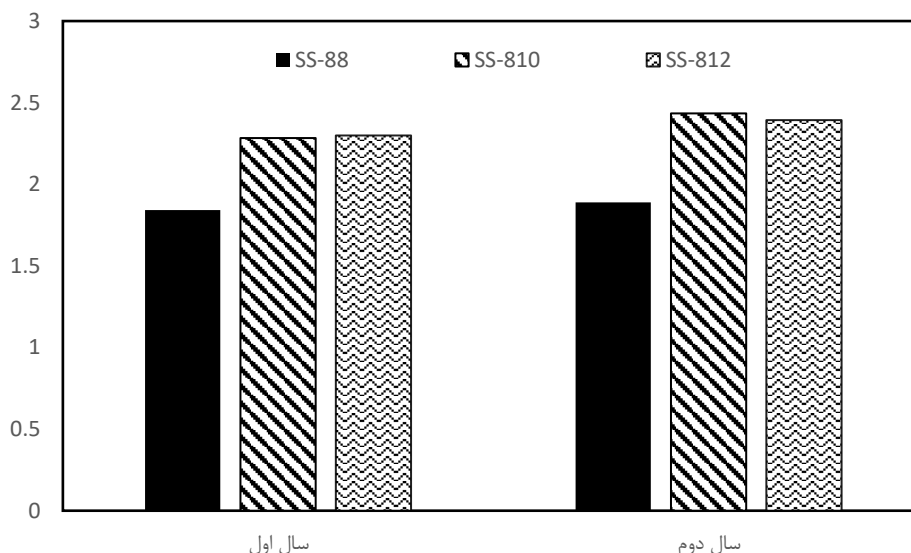
جدول (۶) مقادیر عملکرد، میزان آب مصرفی و بهره‌وری مصرف آب یونجه را در سامانه‌های آبیاری مختلف نشان می‌دهد. با دقت در این جدول می‌توان دریافت که میانگین عملکرد یونجه در الگوی SS-88 در سال اول و دوم به ترتیب ۳۵۶۱/۰۱ و ۳۶۲۰/۷ کیلوگرم در هکتار بوده است. این مقادیر در الگوی SS-810 به ترتیب ۳۳۹۴/۳ و ۳۶۲۰/۷ و در الگوی SS-812 ۲۷۳۳/۸ و ۲۸۴۶/۱ کیلوگرم بر هکتار بود. نتایج آزمون‌های آماری نشان داد که عملکرد یونجه در سال اول در الگوی SS-88 و SS-810 تفاوت معناداری در سطح ۵ درصد داشتند و سایر مقایسات بیانگر وجود تفاوت معنادار در سطح ۱ درصد بود. در سال دوم میزان عملکرد در کلیه الگوها در سطح ۱ درصد تفاوت معناداری داشتند. میانگین میزان آب مصرفی در سال اول و دوم در الگوی SS-88، SS-810 و SS-812 به ترتیب ۱۹۳۳/۱، ۱۴۸۷ و ۱۱۸۹/۶ مترمکعب در هر سطح زیر کشت و در هر چین بود. همان‌طور که مشخص است، یونجه تحت کشت سامانه آبیاری داربستی با الگوی SS-88 ۳۰ و با الگوی SS-812 ۲۰ درصد به ترتیب بیشتر و کمتر از الگوی SS-810 آب مصرف کرده‌اند. این در حالی است که بررسی میانگین عملکرد در سال اول و دوم نشان می‌دهد که الگوی SS-88 فقط ۲/۳ درصد بیشتر و الگوی SS-812 ۲۰/۴ درصد نسبت به الگوی SS-812 تغییر عملکرد داشته‌اند. این‌گونه انتظار می‌رفت که با افزایش مقدار آب آبیاری عملکرد یونجه افزایش یابد (Ismail et al., 2011; Y. Li & Su, 2017; Lamm et al., 2012; Almarshadi, 2013). اما نتایج در الگوی SS-88 خلاف این موضوع را نشان داد. در واقع در الگوی SS-88 احتمالاً به دلیل بیش آبیاری و وقوع نفوذ عمقی میزان عملکرد متناسب با افزایش میزان آب مصرفی افزایش نیافت. اما نتایج در الگوی SS-812 متر مؤید کاهش میزان عملکرد یونجه در از کاهش میزان آب مصرفی با نسبتی نسبتاً یکسان بود.

میانگین بهره‌وری مصرف آب یونجه در سامانه آبیاری داربستی با الگوی SS-88، SS-810 و SS-812 در سال اول و دوم به ترتیب ۱/۸۴، ۱/۸۷ و ۲/۲۸، ۲/۴۳ و ۲/۳، ۲/۳۹ کیلوگرم بر مترمکعب بود (شکل ۶). نتایج آزمون‌های آماری بیانگر عدم وجود اختلاف معنادار در سطح ۱ درصد بین مقادیر این شاخص در الگوهای SS-810 و SS-812 و وجود تفاوت معنادار در الگوی SS-88 بود (جدول ۴ و ۵). در واقع سامانه آبیاری داربستی در الگوی SS-812 متر با وجود مصرف آب کمتر نسبت به دیگر الگوها، بهره‌وری مصرف آب نسبتاً یکسانی

با الگوی SS-810 داشته است. به بیان دیگر در این الگو سامانه آبیاری داربستی توانسته است ۲۰ درصد نسبت به الگوی SS-810 متر و ۳۸/۵ درصد نسبت به الگوی SS-88 در مصرف آب صرفه‌جویی کند و بهره‌وری مصرف آب مشابهی با الگوی SS-88 ایجاد نماید.

جدول ۶. مقادیر مصرف آب، عملکرد و بهره‌وری یونجه (kg/m³) در الگوهای مختلف قرارگیری آبپاش در سامانه آبیاری داربستی

الگوی SS-812		الگوی SS-810		الگوی SS-88		مقدار پارامتر	تکرار
سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم		
۱۱۸۷/۹۴	۱۱۹۲/۸۹	۱۴۸۴/۹۲	۱۴۹۱/۱۱	۱۹۳۰/۴۱	۱۹۳۸/۴۵	مصرف آب (m ³)	HA-3
۲۸۴۴	۲۸۰۴	۳۵۶۰	۳۴۵۰	۳۵۶۰	۳۵۹۸	عملکرد (kg)	
۲/۳۹	۲/۳۵	۲/۴۰	۲/۳۱	۱/۸۴	۱/۸۶	بهره‌وری (kg/m ³)	
۱۱۹۷/۸۴	۱۱۸۷/۹۴	۱۴۹۷/۳۰	۱۴۸۴/۹۲	۱۹۴۶/۴۹	۱۹۳۰/۴۱	مصرف آب (m ³)	HA-4
۲۹۴۹	۲۷۱۶	۳۷۴۷	۳۳۷۶	۳۷۴۷	۳۵۴۲	عملکرد (kg)	
۲/۴۶	۲/۲۹	۲/۵۰	۲/۲۷	۱/۹۳	۱/۸۳	بهره‌وری (kg/m ³)	
۱۱۸۲/۹۹	۱۱۸۷/۹۴	۱۴۷۸/۷۴	۱۴۸۴/۹۲	۱۹۲۲/۳۶	۱۹۳۰/۴۱	مصرف آب (m ³)	HA-5
۲۷۴۵	۲۶۸۱	۳۵۵۵	۳۳۵۶	۳۵۵۵	۳۵۴۴	عملکرد (kg)	
۲/۳۲	۲/۲۶	۲/۴۰	۲/۲۶	۱/۸۵	۱/۸۴	بهره‌وری (kg/m ³)	



شکل ۹- میانگین مقادیر بهره‌وری مصرف آب یونجه در سامانه‌های آبیاری داربستی، کلاسیک ثابت و سنتر-پیوت در سال اول و دوم (حروف متفاوت در هر سال نشان دهنده وجود تفاوت معنادار بی سامانه‌های آبیاری می‌باشد)

نتیجه‌گیری

انتخاب مناسب‌ترین سامانه آبیاری متناسب با نوع محصول، نوع اقلیم و غیره از اهمیت فراوانی برخوردار است. اگر این انتخاب به خوبی صورت پذیرد، تلفات آبیاری افزایش و کارایی سیستم کاهش می‌یابد. این انتخاب معمولاً بر اساس مقادیر شاخص‌های CU، DU و AELQ صورت می‌پذیرد. آن چیز که مشخص است مقادیر این شاخص‌ها نیاز به بهبود دارد تا تلفات آبیاری به حداقل ممکن برسد. در همین راستا کارایی یک سامانه آبیاری بارانی جدید تحت عنوان سامانه آبیاری داربستی که توسط دوست محمدی و رحیمی (۱۳۹۸) توسعه یافته است مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور سه الگوی قرارگیری آبپاش در نظر گرفته شد و شاخص‌های CU، DU، AELQ و بهره‌وری مصرف آب یونجه در هر یک از این الگوها بررسی شد. دقت در شاخص‌های عملکردی CU، DU و AELQ نشان داد که الگوی SS-88 نسبت به دو الگوی دیگر آب را با یکنواختی بیشتری در مزرعه توزیع نموده است. نتایج همچنین بیانگر کارایی پایین الگوی SS-812 نسبت به دیگر الگوها بود.

میزان مصرف آب در الگوی SS-812 با توجه به کم شدن تعداد آبپاش‌ها نسبت به دو الگوی دیگر پایین‌تر بود و به تبع آن عملکرد پایین‌تری نیز داشت. همچنین بیش‌ترین مصرف آب و بیش‌ترین عملکرد در الگوی SS-88 مشاهده شد. این در حالی بود که شاخص



بهره‌وری مصرف آب نشان داد که در این الگو میزان عملکرد متناسب با افزایش میزان مصرف آب نسبت به دو الگوی دیگر، رشد نموده است و بهره‌وری مصرف آب در دو الگوی دیگر مقدار بیش‌تری داشت. از بین دو الگوی SS-10 و SS-812 که به لحاظ آماری بهره‌وری یکسانی داشتند، الگوی SS-810 متر الگوی مناسب‌تری به نظر می‌رسد. در این الگو مصرف آب نسبت به الگوی SS-812 متر حدوداً ۲۰ درصد بیش‌تر بود اما از آنجا که شاخص‌های عملکردی سامانه آبیاری (CU، DU و AELQ) مقادیر بالاتری داشتند و از طرف دیگر عملکرد یونجه نیز بالاتر بود، این الگو به‌عنوان الگوی بهینه توصیه شد.

با توجه به اینکه شاخص‌های مورد بررسی در این تحقیق به‌تنهایی نمی‌تواند برتری مطلق الگوهای در نظر گرفته شده را نشان دهند و لازم است تا در تحقیقات آتی این الگوها به لحاظ میزان هزینه اجرا، بهره‌برداری و نگهداری نیز با یکدیگر مورد مقایسه قرار گیرند. همچنین توصیه می‌شود این الگوها در شرایط اقلیمی مختلف و در بافت و ساختمان خاک متفاوت نیز مورد ارزیابی قرار گیرد تا تحلیل دقیق‌تر و جامع‌تری از کارایی هر یک از این الگو حاصل شود.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

منابع

- اشرف، نگین، میرزایی، فرهاد، و محمدیگی، آرش (۱۳۹۴). ارزیابی هیدرولیکی سیستم آبیاری بارانی دوار و کلاسیک ثابت با آبیاش متحرک (مطالعه موردی: مزرعه آموزشی و پژوهشی دانشگاه تهران). *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۴۶(۲)، ۳۵۳-۳۶۱.
- دوست محمدی، محمدمهدی، و رحیمی، هاشم (۱۳۹۹). سامانه آبیاری شبیه ساز باران سیستم آبیاری داربستی (۱۰۳۲۸۹).
- عباسی، فریبرز، سهراب، فرحناز، و عباسی، نادر (۱۳۹۵). ارزیابی وضعیت راندمان آب آبیاری در ایران. *تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی*، ۱۷(۶۷)، ۱۱۳-۱۲۸.
- غلامی، زینب، ابراهیمیان، حامد، و نوری، حمیده (۱۳۹۵). بررسی بهره‌وری آب آبیاری در سیستم‌های آبیاری بارانی و سطحی (مطالعه موردی: دشت قزوین). *علوم و مهندسی آبیاری*، ۳۹(۳)، ۱۳۵-۱۴۶.
- فاریابی، ارسلان، معروف‌پور، عیسی، و قمرنیا، هوشنگ (۱۳۸۹). بررسی و ارزیابی سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت دشت دهگلان کردستان. *مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک*، ۱۴(۵۴)، ۱-۱۷.
- قدمی قیروآبادی، علی، و سیدان، سید محسن (۱۳۹۸). بررسی بهره‌وری مصرف آب آبیاری و تحلیل اقتصادی تولید محصول یونجه در سامانه‌های آبیاری بارانی و سطحی. *مهندسی آبیاری و آب ایران*، ۱۰(۳۷)، ۱۳۶-۱۴۵.

REFERENCES

- Abbasi, F., Sohrab, F., and Abbasi, N. (2015). Evaluation of Irrigation Efficiencies in Iran. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, 17(67), 113-128. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.22092/aridse.2017.109617> 1 (In Persian).
- Abedinpour, M. (2017). Field evaluation of centre pivot sprinkler irrigation system in the North-East of Iran. *Journal of Water and Land Development*, 34(1), 3-9. <https://doi.org/10.1515/jwld-2017-0033>.
- Al-ghobari, H., & Dewidar, A. Z. (2021). A Comparative Study of Standard Center Pivot and Growers-Based Modified Center Pivot for Evaluating Uniformity Coefficient and Water Distribution.
- Ascough, G. W., & Kiker, G. a. (2002). The effect of irrigation uniformity on irrigation water requirements. *Water South African*, 28(2), 235-242.
- Ashraf, N., Mirzaei, F., and Mohammad-beigi, A. (2014). Hydraulic evaluation of Center pivot and classic fixed sprinkler irrigation system with movable sprinkler (case study: University of Tehran educational and research farm). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 46(2), 353-361 (In Persian).
- Carracelas, G., Hornbuckle, J., Rosas, J., & Roel, A. (2019). Irrigation management strategies to increase water productivity in *Oryza sativa* (rice) in Uruguay. *Agricultural Water Management*, 222(June), 161-172. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.05.049>.
- Cavero, J., Faci, J. M., & Martínez-Cob, A. (2016). Relevance of sprinkler irrigation time of the day on alfalfa forage production. *Agricultural Water Management*, 178, 304-313. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.10.008>.
- Christiansen, J. E. (1942). Agricultural Experiment Station Irrigation By Sprinkling.
- Dost Mohammadi, M., and Rahimi, H. (2019). Irrigation system rain simulator scaffold irrigation system (103289) (In Persian).
- Ebrahimian, H., & Gholami, Z. (2019). Water Productivity of Maize and Alfalfa in Sprinkler Irrigation

- Systems. *International Conference on Food, Nutrition and Agriculture*, 1–5.
- Farg, E., Arafat, S., El-wahed, M. S. A., & El-gindy, A. (2017). The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences Evaluation of water distribution under pivot irrigation systems using remote sensing imagery in eastern Nile delta. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 20, S13–S19. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2016.12.001>.
- Faryabi, A., Marufpour, A., and Qamarnia, H. (2010). Investigation and evaluation of the fixed classical sprinkler irrigation system of Dehgolan plain of Kurdistan. *Journal of Agricultural Sciences and Techniques and Natural Resources, Water and Soil Sciences*, 14(54), 1-17 (In Persian).
- Gadami Firoozabadi, A., and Seidan, S. M. (2018). Evaluation of irrigation water productivity and economic analysis of alfalfa production in sprinkler and surface irrigation systems. *Irrigation and Water Engineering of Iran*, 10(37), 136-145 (In Persian).
- Gholami, Z., Ebrahimian, H., and Nouri, H. (2015). Investigation of Irrigation Water Productivity in Sprinkler and Surface Irrigation Systems (Case study: Qazvin Plain). *Irrigation Science and Engineering*, 39(3), 135–146 (In Persian).
- Grimes, D. W., Wiley, P. L., & Sheesley, W. R. (1992). Alfalfa Yield and Plant Water Relations with Variable Irrigation. *Crop Science*, 32(6), 1381–1387. <https://doi.org/10.2135/cropsci1992.0011183x003200060015x>.
- Haghverdi, A., Leib, B. G., Washington-Allen, R. A., Buschermohle, M. J., & Ayers, P. D. (2016). Studying uniform and variable rate center pivot irrigation strategies with the aid of site-specific water production functions. *Computers and Electronics in Agriculture*, 123, 327–340. <https://doi.org/10.1016/J.COMPAG.2016.03.010>.
- Hashim, S., Khan, A. A., Ikram, R. M., Mehvish, F., Saifullah, M., Ali, M., Rehman, H., Hussain, A., Ashraf, A., Waqas, M., Hedfi, A., & Almalki, M. (2021). Performance evaluation of indigenous floppy sprinkler irrigation system for various crops water management. *Journal of King Saud University - Science*, 33(8), 101636. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101636>.
- Isla, R., & Aragüés, R. (2009). Response of alfalfa (*Medicago sativa* L.) to diurnal and nocturnal saline sprinkler irrigations. I: Total dry matter and hay quality. *Irrigation Science*, 27(6), 497–505. <https://doi.org/10.1007/s00271-009-0167-y>.
- Ismail, S. M., & Almarshadi, M. H. (2013). Maximizing productivity and water use efficiency of alfalfa under precise subsurface drip irrigation in arid regions †. 66(January), 57–66.
- Jobbágy, J., Dančanin, P., Krištof, K., Maga, J., & Slaný, V. (2021). Evaluation of the Quality of Irrigation Machinery by Monitoring Changes in the Coefficients of Uniformity and Non-Uniformity of Irrigation. *Agronomy*, 11(8), 1499. <https://doi.org/10.3390/agronomy11081499>.
- Jobbágy, J., & Krištof, K. (2018). Evaluation of the coefficient of uniformity and nonuniformity of irrigation for wide-range irrigators in various field conditions. *Research in Agricultural Engineering*, 64(2), 55–62. <https://doi.org/10.17221/8/2017-RAE>.
- Jobbágy, J., Michlian, N., Dačanin, P., & Rigó, I. (2019). Application and Evaluation of Performance Quality of Hose-Reel Irrigation Machine. *Acta Technologica Agriculturae*, 22(4), 109–114. <https://doi.org/10.2478/ata-2019-0020>.
- Kazemi, S., & Izadpanah, Z. (2019). Technical Evaluation of Classic Stationary Sprinkler Irrigation Systems with Travelling Sprinklers in Eghlid , Fars Province. 42(2), 181–196. <https://doi.org/10.22055/jise.2017.21215.1525>.
- Lamm, F. R., Harmony, K. R., Aboukheira, A. A., & Johnson, S. K. (2012). Alfalfa production with subsurface drip irrigation in the Central Great Plains. *Transactions of the ASABE*, 55(4), 1203-1212.
- Li, A., Mu, X., Zhao, X., Xu, J., Khayatnezhad, M., & Lalehzari, R. (2021). Developing the non-dimensional framework for water distribution formulation to evaluate sprinkler irrigation*. *Irrigation and Drainage*, 70(4), 659–667. <https://doi.org/10.1002/ird.2568>.
- Li, M., Yan, H., Wang, Y., & Sui, R. (2016). Effect of irrigation amount and uniformity on alfalfa yield and quality under center pivot system. *2016 American Society of Agricultural and Biological Engineers Annual International Meeting, ASABE 2016, 7004*, 3–14. <https://doi.org/10.13031/aim.20162460633>.
- Li, Y., & Su, D. (2017). Alfalfa water use and yield under different sprinkler irrigation regimes in North arid regions of China. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 9, Issue 8). <https://doi.org/10.3390/su9081380>.
- Maroufpoor, E., Faryabi, A., Ghamarnia, H., & Moshrefi, G. Y. (2010). Evaluation of uniformity coefficients for sprinkler irrigation systems under different field conditions in Kurdistan Province (northwest of Iran). *Soil and Water Research*, 5(4), 139–145. <https://doi.org/10.17221/42/2009-swr>.
- Masoudi, M., Ebrahimi, A., & Jokar, P. (2018). Comparison of different irrigation methods based on the parametric evaluation approach in the Hendijan plain. *International Journal of Agricultural Management and Development*, 8(3), 355–364.
- Menezes, P. L. de, Azevedo, C. A. V. de, Eyng, E., Dantas Neto, J., & Lima, V. L. A. de. (2015). Artificial neural network model for simulation of water distribution in sprinkle irrigation. *Revista Brasileira de*



- Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19(9), 817–822. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n9p817-822>.
- Mengistu Debela, A. (2017). Evaluating the Effect of Dragline Sprinkler Operating Pressure, Riser Height, Nozzle Size and Wind Velocity on Irrigation Water Application under Different Wind Speed Conditions; The case of Tedecha Large Scale Irrigation Scheme. Adama Science and Technology University.
- Merriam, J. L., & Keller, J. (1978). Farm irrigation system evaluation: a guide for management. In *Farm irrigation system evaluation: a guide for management*. Utah State University.
- Mobtaker, H. G., Akram, A., Keyhani, A., & Mohammadi, A. (2011). Energy consumption in alfalfa production: A comparison between two irrigation systems in Iran. *African Journal of Plant Science*, 5(1), 47–51.
- Montazar, A., & Sadeghi, M. (2008). Effects of applied water and sprinkler irrigation uniformity on alfalfa growth and hay yield. *Agricultural Water Management*, 95(11), 1279–1287. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.05.005>.
- Naroua, I., Sinobas, L. R., & Calvo, R. S. (2014). Water use efficiency and water productivity in the Spanish irrigation district “Río Adaja”. *International Journal of Agricultural Policy and Research*, 2(12), 484–491. <http://www.journalissues.org/IJAPR/%5Cnhttp://dx.doi.org/10.15739/IJAPR.021>.
- Ngasoh, F. G., Anyadike, C. C., Mbajiorgu, C. C., & Usman, M. N. (2018). Performance evaluation of sprinkler irrigation system at Mambilla beverage limited, Kakara-Gembu, Taraba state-Nigeria. *Nigerian Journal of Technology*, 37(1), 268. <https://doi.org/10.4314/njt.v37i1.35>.
- Pitts, D., Peterson, K., Gilbert, G., & Fastenau, R. (1996). Field assessment of irrigation system performance. *Applied Engineering in Agriculture*, 12(3), 307–313.
- Salvador, R., Martínez-Cob, A., Cavero, J., & Playán, E. (2011). Seasonal on-farm irrigation performance in the Ebro basin (Spain): Crops and irrigation systems. *Agricultural Water Management*, 98(4), 577–587. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.10.003>.
- Saretta, E., de Camargo, A. P., Botrel, T. A., Frizzone, J. A., Koech, R., & Molle, B. (2018). Test methods for characterising the water distribution from irrigation sprinklers: Design, evaluation and uncertainty analysis of an automated system. *Biosystems Engineering*, 169, 42–56. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.01.011>.
- Tarjuelo, J. M., Montero, J., Honrubia, F. T., & Calvo, M. A. (1999). *I u m s p ii: i w o f w d*. 42(3), 677–689.
- Tarjuelo, J. M., Ortega, J. F., Montero, J., & De Juan, J. A. (2000). Modelling evaporation and drift losses in irrigation with medium size impact sprinklers under semi-arid conditions. *Agricultural Water Management*, 43(3), 263–284. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(99\)00066-9](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(99)00066-9).
- Testa, G., Gresta, F., & Cosentino, S. L. (2011). Dry matter and qualitative characteristics of alfalfa as affected by harvest times and soil water content. *European Journal of Agronomy*, 34(3), 144–152. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2010.12.001>.
- Urrego-Pereira, Y. F., Martínez-Cob, A., Fernández, V., & Cavero, J. (2013). Daytime sprinkler irrigation effects on net photosynthesis of maize and alfalfa. *Agronomy Journal*, 105(6), 1515–1528. <https://doi.org/10.2134/agronj2013.0119>.
- Wakchaure, G. C., Minhas, P. S., Meena, K. K., Kumar, S., & Rane, J. (2020). Effect of plant growth regulators and deficit irrigation on canopy traits, yield, water productivity and fruit quality of eggplant (*Solanum melongena* L.) grown in the water scarce environment. *Journal of Environmental Management*, 262(October 2019), 110320. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110320>.
- Wang, Y., Janz, B., Engedal, T., & Neergaard, A. De. (2016). Effect of irrigation regimes and nitrogen rates on water use efficiency and nitrogen uptake in maize. *Agricultural Water Management*. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.06.007>.
- Wang, Y., Li, M., Hui, X., Meng, Y., & Yan, H. (2020). Alfalfa canopy water interception under low-pressure sprinklers. *Agricultural Water Management*, 230(April). <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105919>.
- Wang, Y., Liu, F., Andersen, M. N., & Jensen, C. R. (2010). Improved plant nitrogen nutrition contributes to higher water use efficiency in tomatoes under alternate partial root-zone irrigation. *Functional Plant Biology*, 37(2), 175. <https://doi.org/10.1071/FP09181>.
- Zhang, J., Wang, Q., Pang, X. P., Xu, H. P., Wang, J., Zhang, W. N., & Guo, Z. G. (2021). Effect of partial root-zone drying irrigation (PRDI) on the biomass, water productivity and carbon, nitrogen and phosphorus allocations in different organs of alfalfa. *Agricultural Water Management*, 243(July 2020). <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106525>.

Evaluation and Determination of Water Productivity of Alfalfa in the Darbasti Irrigation System with Different Sprinkler Placement Patterns

EXTENDED ABSTRACT

Introduction:

The escalating global population has created an unprecedented demand for food and agricultural products. Alfalfa stands as one of these crucial agricultural products, with its demand intensifying alongside population growth. Countries like Iran, with dry and semi-arid climate, are facing severe water shortages. Therefore, Water Productivity (WP) should be improved as much as possible. Over recent decades, various irrigation systems have evolved to optimize water distribution in fields while minimizing losses. Among these methods, various sprinkler irrigation systems have been employed for densely planted crops like Alfalfa.

Purpose:

Selecting the suitable irrigation method is one way to improve WP. Hence, the WP of the Darbasti Irrigation System (DIS), a new sprinkler irrigation system, was evaluated and compared in Alfalfa cultivation in the Markazi Province.

Research method:

This system was implemented in an area of 0.7 ha and consists of a set of columns, lateral irrigation pipes made of low-density polyethylene, cable, MP Rotator Hunter sprinkler and a number of related connections, which is activated and irrigates using hydraulic water pressure. The height of the columns from the ground level was 5 m and their distance from each other in the width of the land was considered 50 meters. The evaluation included three patterns of sprinkler placement: 8x8 meter (SS-88), 8x10 meter (SS-810), and 8x12 meter (SS-812). In this study, the Distribution Uniformity (DU), Coefficient of Uniformity (CU), Application Efficiency of Low Quarter (AELQ), and WP were determined in the years 2018 and 2019, after the third (HA-3), fourth (HA-4), and fifth (HA-5) yield harvests.

Results:

The results showed that the average CU in the SS-88 pattern was 84.76% in the first year and 86.34% in the second year. This pattern had the highest CU compared to the other two patterns. The water DU in SS-88, SS-810, and SS-812 patterns in the first and second year was 77.3%, 79.31%, and 75.38%, 77.66%, and 70.11%, 70.88%, respectively. These results indicate very good, good, and relatively good performance in each of the patterns, respectively. Moreover, the results showed that there was a significant difference at the one percent level in the AELQ between the first and second year for all three patterns. According to the results, the WP of alfalfa was 1.84 kg/m³, 1.87 kg/m³, and 2.28 kg/m³ for SS-88, SS-810, and SS-812 patterns, respectively, in the first year. In the second year, this index was 2.43 kg/m³, 2.3 kg/m³, and 2.4 kg/m³ for the same patterns, respectively. Investigations showed that the SS-810 pattern of sprinkler placement is a suitable choice based on performance indicators such as WP.

Conclusion:

To conclude, it can be stated that the indicators cannot solely demonstrate the absolute superiority of the patterns. It is suggested that future studies compare these patterns with each other in terms of energy consumption, implementation and operating costs, suitability for fields with irregular shapes and slopes, and more. Additionally, it is recommended to evaluate the DIS under various climatic conditions, soil textures, structures, and with different sprinkler placement patterns.

Keywords: WP, CU, DU, AELQ.