

Research Article

Vol. 39, No. 5, Dec. 2025-Jan. 2026, p. 431-448

Comparison of Continuous and Pulsed Drip Irrigation Effects on the Quantitative and Qualitative Yield of Forage Quinoa under Salinity and Water Stress Conditions

H. Piri^{1*}, J. Gharibvandnotorki¹, P. Haghighatjoo¹

1- Department of Water Engineering, College of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran

(*- Corresponding Author Email: h_piri2880@uoz.ac.ir)

Received: 18 May 2025

Revised: 01 November 2025

Accepted: 11 November 2025

Available Online: 02 November 2025

How to cite this article:Piri, H., Gharibvandnotorki, J., & Haghighatjoo, P. (2026). Comparison of continuous and pulsed drip irrigation effects on the quantitative and qualitative yield of forage Quinoa under salinity and water stress conditions. *Journal of Water and Soil*, 39(5), 431-448. (In Persian with English abstract).<https://doi.org/10.22067/jsw.2025.93595.1482>

Introduction

Due to Iran's geographical location and climatic conditions, the quantity and quality of water resources are considered one of the limiting factors for agriculture in this country. Droughts in the last two decades, on the one hand, and lack of attention to the optimal use and proper exploitation of water, on the other hand, have exacerbated the water crisis in Iran. For this reason, the agricultural sector has witnessed serious developments and new perspectives on the rational exploitation of water resources, limited irrigation shortages, the use of saline water resources in agriculture, changing irrigation systems, and cultivating water-intensive plants over the same period. Quinoa has been introduced as a forage crop for ensuring food security in the world, which can tolerate drought stress conditions to some extent. However, the development of its cultivation under drought stress conditions in Khuzestan Province should be based on determining the limits of irrigation water quantities and determining its tolerance to salinity.

Material and Methods

The present study was conducted to investigate the effect of different amounts of irrigation water and different levels of salinity on quantitative and qualitative parameters of quinoa. To carry out the work, quinoa was cultivated under drip and pulsed drip irrigation. The treatments studied included irrigation water quantity (I1: 60, I2: 80 and I3: 100% of field capacity), water quality (F (fresh): 0.5 and S (saline): 6 dS/m), and two irrigation managements: continuous drip (C) and pulsed drip (P). At the end of the growing season, sampling was performed to determine quantitative plant characteristics such as height, stem diameter, leaf area index, root length, root volume, fresh and dry root weight, and fresh and dry forage yield. Also, to investigate the effect of treatments on quinoa forage quality, qualitative parameters including leaf chlorophyll a and b content, leaf proline content, total digestible nutrients (TDN), crude protein (CP), Neutral detergent fiber (hemicellulose and lignin) (NDF), and Acid detergent fiber (hemicellulose-free cell wall) (ADF) percentage were measured. To investigate the distribution of salinity in the soil profile during and at the end of the growing season compared to its beginning, soil samples were taken from dug profiles in the center of all experimental plots at depths of 0-30 cm and 30-60 cm. These samples were transferred to the laboratory and saturated extraction was prepared from them. Then, the electrical conductivity of these samples was determined using an EC meter. All data collected from the experiment were entered into EXCEL 2019 software. After categorizing the data, SAS 9.1 software was used to analyze them. Data analysis of variance was performed at the 5% and 1% significance levels, and then means were compared using Duncan's multiple

Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).<https://doi.org/10.22067/jsw.2025.93595.1482>

range test.

Result

The results showed that the treatments of continuous drip irrigation with fresh water at 100% depth, and pulsed drip irrigation at 100% depth (first, second and, third pulses of fresh water) had the highest quantitative traits. Continuous drip irrigation with fresh water at 80% depth, and pulsed drip irrigation at 80% depth (first, second and, third pulses of fresh water) also had high quantitative traits. The highest values of plant height, stem diameter, leaf area index, fresh biomass, and dry biomass were 94 cm, 1.10 mm, 23.152 cm², 25.31420, and 14.8256 tons per hectare, respectively, which were obtained from the continuous drip irrigation treatment at 100% of the plant's water requirement using fresh water. In these treatments, the final soil salinity was close to the initial salinity at the time of the experiment, and the highest amounts of chlorophyll a and b and carotenoids were also observed. The TDN and ADF values were high in two treatments: continuous drip irrigation with fresh water and 100% depth, and pulsed drip irrigation and 100% depth (first, second and, third pulse of fresh water). However, these treatments had low soluble sugar, proline, and protein levels. Applying saline water alone or in combination with sweet pulses and water stress in treatments 2, 4, and 12- 30 increased the quality of the produced forage (due to high soluble sugar, proline, and protein). The highest water use efficiency was obtained from treatment 26, which included pulsed drip irrigation and a depth of 60% (first pulse of fresh water, second pulse of saline water, third pulse of fresh water).

Conclusion

Therefore, considering that both water use efficiency and quality are important in forage production, it is recommended to use this treatment under conditions of saline water and pulsed drip irrigation.

Keywords: Chlorophyll a and b, Crude protein, Total digestible nutrients, Water productivity

مقایسه اثر آبیاری قطره‌ای پیوسته و پالسی بر عملکرد، اجزای عملکرد و پارامترهای کیفی کینوای علوفه‌ای در شرایط تنش شوری و آبی

حلیمه پیری^{۱*} - جلال غریبوند نوترکی^۱ - پرویز حقیقت جو^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۲۰

چکیده

کینوا یکی از گیاهان زراعی علوفه‌ای برای تأمین امنیت غذایی در جهان معرفی شده است که شرایط تنش آبی و خشکی را تا حدودی می‌تواند تحمل کند. لیکن، توسعه کشت آن در شرایط تنش آبی و خشکی در استان خوزستان می‌بایست براساس تعیین حدود مقادیر آب آبیاری و تعیین تحمل آن به مقدار شوری باشد. پژوهش حاضر به منظور بررسی اثر مقادیر مختلف آب آبیاری و سطوح مختلف شوری بر پارامترهای کمی و کیفی گیاه کینوا، انجام شد. برای انجام کار، گیاه کینوا تحت آبیاری قطره‌ای و به صورت پالسی کشت گردید. تیمارهای مورد پژوهش شامل مقدار آب آبیاری (I1: ۶۰، I2: ۸۰ و I3: ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی)، کیفیت آب (F (شیرین): ۰/۵ و S (شور): ۶ دسی‌زیمنس بر متر) و دو مدیریت آبیاری قطره‌ای پیوسته (C) و قطره‌ای پالسی (P) بود. در پایان فصل رشد به منظور تعیین خصوصیات کمی گیاه همچون ارتفاع، قطر ساقه، شاخص سطح برگ، طول ریشه، حجم ریشه، وزن تر و خشک ریشه و عملکرد تر و خشک علوفه نمونه برداری انجام شد. همچنین جهت بررسی تأثیر تیمارها بر کیفیت علوفه‌ای کینوا، پارامترهای کیفی شامل مقدار کلروفیل a و b برگ، محتوای پروتئین برگ، کل مواد مغذی قابل هضم (TDN)، درصد پروتئین خام (CP)، درصد دیواره سلولی (همی سلولز و لیگنین) (NDF) و درصد دیواره سلولی عاری از همی سلولز (ADF) اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد تیمارهای آبیاری قطره‌ای پیوسته با آب شیرین و عمق ۱۰۰ درصد، آبیاری قطره‌ای پالسی و عمق ۱۰۰ درصد (پالس اول آب شیرین، پالس دوم آب شیرین، پالس سوم آب شیرین)، آبیاری قطره‌ای پیوسته با آب شیرین و عمق ۸۰ درصد و آبیاری قطره‌ای پالسی و عمق ۸۰ درصد (پالس اول آب شیرین، پالس دوم آب شیرین، پالس سوم آب شیرین) بالاترین صفات کمی را داشتند. بیشترین مقدار ارتفاع، قطر ساقه، شاخص سطح برگ، وزن علوفه تر و خشک به ترتیب ۹۴ سانتی‌متر، ۱۰/۱ میلی‌متر، ۱۵۲/۲۳ سانتی‌متر مربع، ۳۱۴۲۰/۲۵ و ۸۲۵۶/۱۴ کیلوگرم در هکتار از تیمار آبیاری قطره‌ای پیوسته با ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه و آبیاری با آب شیرین به دست آمد. در این تیمارها، شوری نهایی خاک نزدیک به شوری اولیه در زمان آزمایش بود و بیشترین مقدار کلروفیل a و b و کارتنوئید نیز مشاهده گردید. مقدار TDN و ADF در دو تیمار آبیاری قطره‌ای پیوسته با آب شیرین و عمق ۱۰۰ درصد، آبیاری قطره‌ای پالسی و عمق ۱۰۰ درصد (پالس اول آب شیرین، پالس دوم آب شیرین، پالس سوم آب شیرین) دارای مقادیر بالایی بود. با این وجود این تیمارها میزان قند محلول، پروتئین و پروتئین پایینی داشتند. اعمال آب شور به تنهایی یا ترکیب با پالس‌های شیرین و تنش آبی در تیمارهای شماره ۲، ۴ و ۱۲ الی ۳۰ سبب افزایش کیفیت علوفه تولیدی (به دلیل قند محلول، پروتئین و پروتئین بالا) شد. بالاترین مقدار بهره‌وری مصرف آب از تیمار ۲۶ که شامل آبیاری قطره‌ای پالسی و عمق ۶۰ درصد (پالس اول آب شیرین، پالس دوم آب شور، پالس سوم آب شیرین) به دست آمد. همچنین با توجه به اعمال آب شور در این تیمار کیفیت علوفه نیز بالا بود. لذا با توجه به این که در تولید محصولات علوفه‌ای هم بهره‌وری مصرف آب و هم کیفیت مورد توجه است، توصیه می‌شود در شرایط استفاده از آب شور و آبیاری قطره‌ای پالسی از این تیمار استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری مصرف آب، پروتئین خام، کلروفیل a و b، کل مواد مغذی قابل هضم

۱- گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران

(*)- نویسنده مسئول: h_piri2880@uoz.ac.ir (Email:)

مقدمه

کینوا (*Chenopodium quinoa*) گیاهی یک‌ساله و بومی آمریکای جنوبی است که در سال‌های اخیر در سایر کشورها نظیر ایران نیز به‌عنوان یک گیاه جدید کشت می‌شود. اهمیت این گیاه زراعی از نظر آبیاری کم و ارزش غذایی آن، سبب شده است کاشت آن در ایران مورد توجه قرار گیرد (Bagheri, 2018). کینوا به‌عنوان گیاهی متحمل به شوری و خشکی می‌تواند کمک شایانی به امنیت غذایی کند و تولید مواد غذایی و کشاورزی پایدار را در شرایط اقلیمی خاص ایران فراهم سازد. برخی محققان کشت کینوا در شرایطی که تنش شوری اعمال می‌شود را پیشنهاد کرده‌اند. زیرا این گیاه پایدار به شوری سبب تولید پایدار و افزایش درآمد کشاورزان در این مناطق می‌شود (Afsharmanesh et al., 2020). علی‌رغم اینکه گیاه کینوا نسبتاً به کم‌آبی و شوری مقاوم است، لیکن مدیریت زراعی مطلوب از جمله آبیاری به موقع و کافی و کیفیت آب آبیاری رابطه مستقیمی با عملکرد مطلوب و کیفیت محصول آن دارد (Jamali & Ansari, 2020). این گیاه زراعی در مرحله جوانه‌زنی و سبز شدن شدیداً به رطوبت خاک حساس است و برای حصول عملکرد مطلوب ضروری است که حتماً سطح مزرعه در این مدت مرطوب باشد. پس از جوانه‌زنی و سبز شدن، میزان نیاز آبی براساس تعیین رطوبت خاک برای در هر منطقه باید تعیین گردد (Bagheri, 2018). پس از استقرار گیاه، می‌توان تیمارهای کم‌آبی و شوری را در زراعت این گیاه اعمال کرد. تحقیقات انجام شده در ایران نشان داده است که برخی مناطق ایران برای کشت گیاه کینوا مناسب است و در آینده جایگاه قابل توجهی در زراعت کشور خواهد داشت (Afzalinejad et al., 2019) و می‌تواند جایگزینی مناسب برای گیاه پراپر و حساس به شوری مثل برنج شود (Telahigue et al., 2010). محققین در تحقیق خود نشان دادند کینوا در شرایط گلخانه‌ای در منطقه سیستان شوری آب آبیاری ۴ دسی‌زیمنس بر متر و کم‌آبیاری تا سطح ۷۵ درصد را تحمل می‌کند بدون آن‌که تأثیر معنی‌داری بر عملکرد آن داشته باشد (Tourajzadeh et al., 2024). علی و همکاران (Aly et al., 2018) در تحقیق خود بیان داشتند کاربرد شوری و کم‌آبی باعث کاهش معنی‌دار عملکرد، ریشه و وزن اندام هوایی کینوا در شرایط اقلیمی عربستان شد. در بررسی اثر تنش کم‌آبی دوره‌ای بر عملکرد گیاه کینوا در خوزستان نتایج نشان داد که روند افزایش عملکرد به ازاء آب مصرفی تا ۳۲۰۰ متر مکعب در هکتار صعودی بود. از ۳۲۰۰ تا ۴۰۰۰ متر مکعب در هکتار مصرف آب، عملکرد تقریباً ثابت و بیشینه بود (۳۶۵ کیلوگرم در هکتار). بیشترین کارایی مصرف آب (۱/۲۲) کیلوگرم در متر مکعب) با مصرف آب حدود ۲۴۰۰ متر مکعب در هکتار به‌دست آمد. از ۲۴۰۰ تا ۳۰۰۰ متر مکعب در هکتار مصرف آب، میزان کارایی مصرف آب ۱/۱۲ کیلوگرم در متر مکعب بود. این محققان بیان کردند که مصرف بیشتر آب موجب کاهش کارایی مصرف

آب شد. با وجود اینکه تنش کم‌آبی موجب افزایش کارایی مصرف آب در کشت کینوا شد اما در مدیریت کم‌آبیاری برای دستیابی به کارایی مناسب، علاوه بر حجم آب مصرفی باید به مرحله رشد گیاه نیز توجه نمود. در نهایت، نتایج نشان داد که در شرایط اقلیم استان خوزستان، دوره رشد اولیه و میانی حساس‌ترین دوره‌های رشد کینوا نسبت به تنش کم‌آبی بودند (Meskini Vishkaei et al., 2021). محققین به بررسی اثر اختلاط آب دریا و چاه بر عملکرد گیاه کینوا پرداختند. در تحقیق پنج سطح شوری ۰/۵، ۴/۳، ۸/۰، ۱۱/۸ و ۱۵/۵ دسی‌زیمنس مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که بیشترین وزن هزاردانه، عملکرد دانه و سنبله در تیمار ۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد. در واقع افزایش شوری سبب کاهش برخی صفات رشد و عملکرد کینوا مانند وزن تر ساقه، برگ و سنبله، عملکرد دانه و سنبله، وزن هزار دانه، تعداد شاخه فرعی و سنبله شد. با این وجود این محققان دو تیمار ۴/۳ و ۸/۰ دسی‌زیمنس بر متر را به‌عنوان تیمارهای مناسب برای زراعت کینوا معرفی کردند زیرا کاهش وزن هزار دانه در این دو تیمار به‌ترتیب ۲۲/۹ و ۲۷/۱ درصد بود (Ghorbani & Jamali, 2021).

از آن‌جا که توسعه کشت محصولات زراعی و میزان عملکرد آن به آبیاری وابسته است و با توجه به این‌که خشکی از ویژگی‌های بارز کشور ما به‌حساب می‌آید، یکی از راهکارهای مقابله با این مشکلات، اجرای تحقیقات کاربردی در زمینه استفاده از منابع آبی نامتعارف (آب شور) است. در مناطق خشک و نیمه‌خشک، استفاده از آب شور برای آبیاری رواج دارد و هر ساله به‌علت مدیریت نامناسب آبیاری با آب شور، بین یک یا دو درصد از زمین‌های فاریاب از بین می‌روند. البته استفاده از آب‌های شور و لب‌شور، مستلزم رعایت مدیریت‌های خاص در مزرعه می‌باشد. لذا توجه به راهکارهای استفاده بهینه از منابع آب شور و تلفیق آن‌ها با آب شیرین در سالیان اخیر مورد توجه قرار گرفته است (Ghaedi et al., 2015). یکی از این روش‌ها آبیاری پالسی است. در این روش تیمارهای آب شور به‌صورت مقطع یا در ترکیب با تیمارهای آب شیرین می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. اصول آبیاری پالسی نخستین بار توسط کارملی و پری (Karmeli & Peri, 1974) مطرح شد. تناوب یا پالس شامل یک سری چرخه‌های آبیاری است که هر چرخه شامل یک مرحله آبیاری (وصل جریان) و یک مرحله استراحت (قطع جریان) است. استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای پالسی می‌تواند توزیع رطوبت در خاک را بهبود بخشد زیرا کاربرد متناوب آب اجازه توزیع مجدد رطوبت در خاک پیش از آغاز تناوب بعدی آبیاری را می‌دهد که می‌تواند باعث تسریع حرکت افقی و رو به بالای آب در خاک گردد. از این رو، برخی نتایج نشان داده است که توزیع رطوبت در شرایط پالسی با آبیاری پیوسته متفاوت است (Levin et al., 1979; Arabfard et al., 2019)؛ بنابراین می‌توان انتظار داشت در شرایط تنش‌های خشکی و شوری بتوان توزیع رطوبت مناسبی با این روش در منطقه ریشه ایجاد کرد. این عمل سبب افزایش

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر در یک مزرعه تحقیقاتی واقع در شهرستان باغملک، در شرق استان خوزستان، در طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۵۱ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۴۱ دقیقه شمالی در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ و به صورت طرح فاکتوریل در قالب بلوک کامل تصادفی در زمینی با وسعت ۱۸۰۰ متر مربع با ۳۰ تیمار و ۳ تکرار انجام شد. این منطقه، در ارتفاع ۸۵۵ متری از سطح دریا قرار دارد. بیش‌ترین درجه حرارت این منطقه در تابستان‌ها به ۴۲ درجه و کم‌ترین درجه حرارت در زمستان‌ها به صفر درجه سانتی‌گراد می‌رسد. میزان بارش سالیانه در این منطقه به‌طور متوسط ۵۰۰ میلی‌متر است.

تیمارهای مورد پژوهش شامل مقدار آب آبیاری (I1: ۶۰، I2: ۸۰ و I3: ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) و کیفیت آب (F (شیرین): ۰/۵ و S (شور): ۶ دسی‌زیمنس بر متر) و دو مدیریت آبیاری قطره‌ای پیوسته (C) و قطره‌ای پالسی (P) بود. فاکتور اول مقدار آب آبیاری، فاکتور دوم کیفیت آب آبیاری و فاکتور سوم مدیریت آبیاری می‌باشد.

در ابتدای بهمن ۱۴۰۱، زمین شخم و دیسک زده شد. سپس با استفاده از دستگاه خطی‌کار، بذر کینوای علوفه‌ای در عمق ۵ سانتی‌متری خاک کاشته شد. هر کرت آزمایشی به مساحت ۱۲ متر مربع (۴ متر × ۳ متر) در نظر گرفته شد. در هر کرت پنج ردیف کینوا کشت گردید و دو کرت کناری به‌عنوان حاشیه در طول آزمایش در نظر گرفته شد. در انتهای فصل کشت، برداشت نمونه از ردیف‌های میانی صورت گرفت.

آبیاری گیاه در طول آزمایش با اجرای سیستم آبیاری قطره‌ای انجام شد. براساس تجربه محلی، دور آبیاری به‌صورت دو روز در میان و با هدف تأمین کمبود رطوبت خاک در تیمار آبیاری کامل و رساندن به حد ظرفیت زراعی خاک در نظر گرفته شد. سایر تیمارهای آبیاری بر اساس ۸۰ و ۶۰ درصد، مقدار آب آبیاری کامل صورت گرفت. اندازه‌گیری رطوبت خاک در محدوده مورد نظر برای تعیین نیاز آبی گیاه، با استفاده از دستگاه TDR 150 انجام شد. سپس مقدار عمق آب آبیاری با استفاده از رابطه (۱) محاسبه گردید (Rashki et al., 2022):

$$d = (\theta_{fc} - \theta_i) \times \Delta z \quad (1)$$

در معادله فوق d عمق آبیاری (متر)، θ_{fc} و θ_i به‌ترتیب رطوبت حجمی خاک ($m^3.m^{-3}$) در حالت ظرفیت زراعی و قبل از آبیاری در است. همچنین Δz ضخامت لایه خاک برحسب متر (۰/۳ متر) می‌باشد. چون آبیاری به روش پالسی در برخی تیمارها انجام می‌شد، عمق آب آبیاری براساس تیمار مورد نظر محاسبه شده و در هر نوبت آبیاری به سه بخش مساوی تقسیم گردید. سپس طی سه مرحله (با مدت زمان روشن و خاموش بودن یکسان سیستم آبیاری) در اختیار گیاه قرار گرفت

عملکرد گیاه و راندمان آبیاری می‌شود (Karimi & Karimi, 2020). المیدا و همکاران (Almeida et al., 2018) به بررسی اثر آبیاری پالسی شور بر عملکرد نخودفرنگی پرداختند. این محققان گزارش کردند که مدیریت آبیاری پالسی اثر منفی شوری آب بر عملکرد نخودفرنگی را کاهش داده و باعث افزایش بهره‌وری آب گردید (Almeida et al., 2018). مادان و همکاران (Madane et al., 2018) در تحقیقی تأثیر سطوح مختلف آبیاری قطره‌ای پالسی را بر پارامترهای رشد و عملکرد پیاز سفید مورد استفاده قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که بیش‌ترین عملکرد محصول و بهره‌وری آب مربوط به تیمار آبیاری کامل با تعداد چهار پالس بود (Madane et al., 2018). مطالعات انجام شده در خصوص آبیاری پالسی در منابع داخلی محدود است. در یکی از این منابع، با کاربرد آبیاری پالسی به بررسی عملکرد و اجزای عملکرد و بهره‌وری آب ذرت علوفه‌ای پرداخته شد. نتایج نشان داد بیش‌ترین عملکرد خشک و بهره‌وری آب با به کارگیری چهار پالس آبیاری به دست آمد. به همین دلیل این محققان پیشنهاد کردند که از این روش برای بهبود عملکرد و اجزای عملکرد گیاهان استفاده شود (Mohammadi et al., 2019). در تحقیقی دیگر به ارزیابی الگوی جبهه پیشروی رطوبت در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با جریان پیوسته و پالسی پرداخته شد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با جریان پالسی با افزایش زمان استراحت در هر چرخه، پیاز رطوبتی پهن‌تر و جبهه پیشروی بیشتر به سمت افق حرکت می‌کند. همچنین در این سیستم با کاربردهای پیوسته و پالسی به ازای یک حجم آب مساوی در انتهای آبیاری، توزیع افقی جبهه پیشروی رطوبت در دبی‌های کم نسبت به دبی زیاد بیشتر است و بیش‌ترین عمق خیس‌شدگی در بافت سبک مربوط به دبی زیاد و در بافت سنگین مربوط به دبی کم است (Karimi & Karimi, 2019).

با توجه به کاهش بارندگی در کشور ایران و کاهش کیفیت آب آبیاری، مدیریت آبیاری به روش پالسی می‌تواند کمک شایانی به بهبود وضعیت رطوبت در خاک به خصوص در کم‌آبیاری و شوری آب آبیاری گردد. این عمل می‌تواند عملکرد و شاخص‌های عملکرد گیاهان زراعی مانند کینوا را نیز بهبود بخشد. سیستم آبیاری پالسی به‌دلیل وجود مرحله استراحت و مرحله آبیاری (به‌صورت متناوب) از لحاظ اجرایی و کاربردی کمتر مورد توجه قرار گرفته است و علی‌رغم تأثیر مثبت آبیاری پالسی بر افزایش قابلیت نگهداشت آب در خاک و اهمیت حفظ تعادل رطوبتی در خاک، تأثیر مدیریت این روش آبیاری در شرایط شوری و کم‌آبی بر گیاهان دارویی همچون کینوا مورد تحقیق قرار نگرفته است. از طرفی دیگر با توجه به این‌که گیاه کشت شده کینوای علوفه‌ای می‌باشد، باید تأثیر این تیمارها بر کیفیت علوفه نیز مورد بررسی قرار گیرد. لذا در پژوهش حاضر به بررسی اثر مدیریت مقدار، کیفیت و مدیریت آب آبیاری به روش آبیاری قطره‌ای پالسی بر پارامترهای کمی و کیفی کینوا و مقایسه آن با روش آبیاری قطره‌ای پیوسته پرداخته شد.

کرت با رعایت اثر حاشیه و حذف دو بوته از ابتدا و انتهای کرت به صورت دستی اندازه گیری شد. به منظور تعیین وزن علوفه خشک، علوفه های تر برداشت شده به مدت دو هفته در هوای آزاد قرار داده شدند و بعد از اینکه به طور کامل خشک شدند با استفاده از ترازو توزین شدند.

مقدار پروتئین از روش استون و گیفورد (Stone & Gifford, 1997)، مقدار کربوهیدرات از روش فنل-اسیدسولفوریک (Dubois et al., 1956)، مقدار پرولین از روش بیتس و همکاران (Bates et al., 1973)، کلروفیل و کارتنوئید از روش های لتچندرال (Lichtenthaler & Welburn, 1983) و ارنون (Arnon, 1949)، کل مواد مغذی قابل هضم (TDN) از روش لین و همکاران (Linn & Martin, 1999)، درصد پروتئین خام (CP) از روش کجداال (AOAC, 1990)، درصد دیواره سلولی (همی سلولز و لیگنین) (NDF) و درصد دیواره سلولی عاری از همی سلولز (ADF) با روش ون سست و همکاران (Van Soest et al., 1991) تعیین شد.

به منظور تعیین پارامترهای مربوط به ریشه، ریشه گیاه از خاک در آورده و اندازه بزرگترین ریشه به عنوان طول ریشه گیاه در نظر گرفته شد. به منظور تعیین حجم ریشه از قانون ارشمیدس استفاده گردید. بدین منظور با قرار دادن ریشه ها در استوانه های مدرج و تعیین میزان تغییر سطح آب، حجم ریشه اندازه گیری شد. وزن مرطوب ریشه ها پس از نمونه برداری با استفاده از ترازو اندازه گیری گردید. وزن خشک ریشه پس از قرار دادن نمونه ها در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی گراد به مدت ۴۸ ساعت اندازه گیری شد.

شکل ۱ نمونه ای از کرت ها و آزمایش های انجام شده را نشان می دهد.

و تیمارهای کیفیت آب (S1 و S2) در هر پالس به طور چرخشی اعمال گردیدند. با توجه به بافت لوم سیلتی خاک، زهکشی به صورت طبیعی و آرام وجود داشت. حجم آب مورد استفاده در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- حجم آب مورد استفاده در تیمارها
Table 1- Volume of the used water in treatment

تیمار	حجم آب
Treatment	Volume of water (m3.ha ⁻¹)
100	5670
75	4536
50	3402

خصوصیات منابع آب و خاک مورد استفاده به ترتیب در جدول های ۲ و ۳ نشان داده شده است. سیستم آبیاری مورد استفاده شامل لوله های آبیاری قطره ای تیپ شرکت اصفهان پلاست با فواصل قطره چکان ۲۰ سانتی متر بود که با طول ۴ متر در هر کرت استفاده گردید. برای آبیاری، آب در مخزن هایی در کنار مزرعه ذخیره شد. سپس با استفاده از پمپ، آب از درون مخازن به لوله های اصلی و پس از آن به نوارهای تیپ منتقل می گردید. مقدار آب آبیاری تمامی تیمارها تا زمان سبز شدن کامل مزرعه (مرحله شش برگ) یکسان بود. همچنین تیمار شوری تا این مرحله اعمال نگردید. آب شیرین (S1) از آب چاه موجود در مزرعه و آب شور (S2) از چاه های شهرستان مجاور تأمین شد. برای تأمین مداوم آب شور، به صورت مکرر آب از شهرستان مجاور با تانکر به مزرعه منتقل و در مخازن مجزا ذخیره می گردید.

نمونه برداری گیاهی

در پایان فصل رشد به منظور تعیین خصوصیات کمی گیاه همچون ارتفاع، قطر ساقه، شاخص سطح برگ، طول ریشه، حجم ریشه، وزن تر و خشک ریشه و عملکرد تر و خشک علوفه نمونه برداری انجام شد. همچنین جهت بررسی تأثیر تیمارها بر کیفیت علوفه ی کینوا، پارامترهای کیفی شامل مقدار کلروفیل a و b برگ، محتوای پرولین برگ، کل مواد مغذی قابل هضم (TDN)^۱، درصد پروتئین خام (CP)^۲، درصد دیواره سلولی (همی سلولز و لیگنین) (NDF)^۳ و درصد دیواره سلولی عاری از همی سلولز (ADF)^۴ اندازه گیری شد.

برای اندازه گیری صفاتی مانند ارتفاع بوته و قطر ساقه از وسایل اندازه گیری طول (خط کش و متر و کولیس) استفاده شد. شاخص سطح برگ با استفاده از دستگاه سطح سنج برگ^۵ (ΔT- Leaf Area Meter) اندازه گیری شد.

عملکرد علوفه تازه در ۳۱ خرداد ۱۴۰۲ با برداشت دو خط وسط هر

4- Acid detergent fiber

5- Leaf Area Index

1- Total digestible nutrient (TDN)

2- Crude protein

3- Neutral detergent fiber

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی آب مورد استفاده

Table 2- Chemical characteristics of the used water

SAR	سدیم Sodium	منیزیم Magnesium	کلسیم Calcium	کلر Cl ⁻¹	پتاسیم Potassium	بی کربنات Hco ₃ ⁻¹	pH	EC (dS/m)	نمونه Samples
			meq/lit						
3.63	6.5	2.3	4.1	6.3	0.32	3.2	7.31	0.5	F
17.69	36.7	4.2	4.5	31.4	0.61	4.8	7.12	6	S

نکته: در جدول S نشان دهنده‌ی آب شور و F آب شیرین

Note: In this table, S represents saline water, F represents freshwater

جدول ۳- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مزرعه

Table 3- Physicochemical properties of farm soil

SAR	سدیم Sodium	منیزیم Magnesium	کلسیم Calcium	کلر Cl ⁻¹	بی کربنات Hco ₃ ⁻¹	کربنات CO ₃ ⁻²	pH	EC (dS/m)	بافت Texture	عمق Depth (cm)
			meq/lit							
1.5	3.8	3.2	8.2	4.5	3.0	0	8.1 9	0.76	سیلتی لوم Loam Silt	0-30



شکل ۱- مزرعه تحقیقاتی و بررسی کرت‌ها در طول آزمایش

Figure 1- Research farm and plot inspection during the experiment

$$WP = \frac{Y}{IR} \quad (2)$$

در این رابطه، WP: بهره‌وری آب (کیلوگرم بر متر مکعب)، Y:

بهره‌وری آب (WP)

برای محاسبه بهره‌وری آب از رابطه (۲) استفاده گردید (Payero)

(et al., 2009):

مقدار محصول برداشت شده (کیلوگرم در هکتار) و IR: مقدار آب آبیاری (متر مکعب) است.

شوری خاک

برای بررسی چگونگی توزیع شوری در پروفیل خاک در طول و انتهای فصل رشد نسبت به ابتدای آن، با حفر پروفیل در مرکز کلیه کرت‌های آزمایشی، از هر یک از پروفیل‌ها دو نمونه خاک از عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متر برداشت شد. این نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و عملیات عصاره‌گیری اشباع بر روی آن‌ها انجام گردید. سپس با استفاده از دستگاه EC سنج، هدایت الکتریکی این نمونه‌ها تعیین شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

همه داده‌های برداشت شده از آزمایش، در نرم‌افزار EXCEL 2019 وارد شدند. پس از دسته‌بندی داده‌ها، برای تجزیه و تحلیل آن‌ها، از نرم‌افزار SAS 9.1 استفاده گردید. تجزیه واریانس داده‌ها در سطوح ۵ و ۱ درصد انجام گردید و پس از آن مقایسه میانگین با استفاده از آزمون دانکن انجام شد.

نتایج و بحث

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات و درجه آزادی) صفات کمی اندازه‌گیری شده

Table 4- Results of variance analysis (mean square and degrees of freedom) of measured quantitative traits

منابع تغییرات Sources of changes	درجه آزادی Degrees of freedom	بهره‌وری آب آبیاری Irrigation water productivity (kg/m ³)	عملکرد علوفه خشک Dry forage yield (kg/ha)	وزن علوفه تر Fresh forage weight (kg/ha)	شاخص سطح برگ Leaf area index (cm ²)	قطر ساقه Stem diameter (cm)	ارتفاع Height (cm)
Y	1	32.82 ^{ns}	167.75 ^{ns}	453.41 ^{ns}	32.41 ^{ns}	0.69 ^{ns}	8.47 ^{ns}
R	2	17.25 ^{ns}	126.14 ^{ns}	357.25 ^{ns}	25.43 ^{ns}	0.54 ^{ns}	3.25 ^{ns}
Y*R	2	59.38 ^{ns}	197.52 ^{ns}	561.58 ^{ns}	42.94 ^{ns}	1.05 ^{ns}	10.53 ^{ns}
I (مقدار آبیاری)	2	25.36*	486.32*	1487.54*	237.61*	2.25*	456.31*
Y*I	2	62.81 ^{ns}	271.54 ^{ns}	784.62 ^{ns}	71.58 ^{ns}	0.67 ^{ns}	12.24 ^{ns}
S (شوری آب)	1	16.52*	864.85*	1543.45*	614.37*	3.41*	357.85*
I*S	2	18.92*	721.54*	1682.74*	559.82*	3.76*	867.63*
S*Y	1	32.56 ^{ns}	962.47 ^{ns}	1854.31 ^{ns}	657.42 ^{ns}	7.86 ^{ns}	674.52 ^{ns}
I*S*Y	2	51.19 ^{ns}	201.38 ^{ns}	1546.91 ^{ns}	251.62 ^{ns}	4.27 ^{ns}	276.59 ^{ns}
Y*I(S)	4	10.42	324.41	928.69	68.05	1.15	263.41
M (روش آبیاری)	1	13.71*	261.75*	2371.29*	613.72*	1.32*	574.15**
I*M	2	15.23*	674.62*	2483.24**	782.25**	2.52*	384.26*
S*M	1	26.15*	472.86*	2849.61*	638.14**	3.16*	946.82**
Y*M	1	15.81*	326.51 ^{ns}	2345.71 ^{ns}	715.36 ^{ns}	5.48 ^{ns}	641.25 ^{ns}
I*S*M	2	18.61*	845.69*	3547.21*	753.28*	4.14*	1034.21*
I*S*M*Y	2	19.47*	829.73 ^{ns}	2684.55 ^{ns}	672.84 ^{ns}	6.35 ^{ns}	984.42 ^{ns}
Y*M(I*S)	8	10.28	376.19	1425.32	88.19	0.81	69.27
ضریب تغییرات (%)		7.45	8.41	12.56	8.29	8.54	10.42

* و ** معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد، ns عدم معنی‌داری.

*and **significance at the five percent and one percent probability levels, ns non-significance.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سال بر هیچکدام از صفات کمی گیاه کینوا اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۴). در واقع، تغییرات زمانی سبب ایجاد تغییر معنی‌دار در هیچکدام از این صفات نگردید. مقدار آبیاری بر صفات ارتفاع گیاه، قطر ساقه، شاخص سطح برگ، وزن علوفه تر، عملکرد علوفه خشک و بهره‌وری آبیاری در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. این نتایج با مشاهدات صابری و کیانی (Saberi & Kiani, 2024) مطابقت داشت. این محققان نیز اثر مقدار آب آبیاری را بر صفت وزن تر گیاه گزارش کردند. شیخی‌سندجی و همکاران (Sheikhi-Sanandji et al., 2022) گزارش کردند که مقدار آب آبیاری بر ارتفاع گیاه، وزن علوفه و بهره‌وری آب اثر معنی‌دار داشت. شوری آب آبیاری نیز بر کلیه صفات کمی اشاره شده در سطح پنج درصد اثر معنی‌دار داشت. این نتایج با مطالعات جمالی و انصاری (Jamali & Ansari, 2020) مطابقت داشت. این محققان با بررسی اثر رژیم‌های مختلف آب شور بر خصوصیات رشد کینوا نشان دادند که در نظر گرفتن تیمار شوری بر صفاتی مانند وزن تر، ارتفاع گیاه، وزن خشک، شاخص سطح برگ و بهره‌وری آب اثر معنی‌دار داشت. همچنین مطالعه مقادیر مختلف از تلفیق آب چاه شور و شیرین بر صفات کمی اشاره شده گیاه کینوا اثر معنی‌دار داشت (Jamali & Ansari, 2019).

متقابل روش آبیاری و شوری و همچنین روش آبیاری و مقدار آبیاری بر صفات مورد مطالعه معنی‌دار بود. اثر متقابل کلیه منابع تغییرات (سال، مقدار آبیاری، شوری و روش آبیاری) نیز بر کلیه صفات کمی معنی‌دار شد.

نتایج تجزیه واریانس صفات کیفی گیاه کینوا در جدول ۵ نشان داده شده است. اثر سال بر هیچکدام از صفات کیفی معنی‌دار نشد. مقدار آبیاری بر پروتئین برگ، کارتنوئید، TDN، NDF، ADF، پروتئین، قندهای محلول و فیبر در سطح پنج درصد و بر کلروفیل a و b در سطح یک درصد معنی‌دار شد. مشاهدات صابری و کیانی (Saberi & Kiani, 2024) نیز نشان داد که مقدار آبیاری بر صفات کلروفیل و پروتئین کینوا اثر معنی‌دار داشت. شوری آب بر کلروفیل a و b و پروتئین در سطح یک درصد و بر سایر صفات کیفی در سطح پنج درصد اثر معنی‌دار داشت. روش آبیاری بر کلیه صفات کیفی در سطح پنج درصد اثر معنی‌دار نشان داد. با توجه به اثرات معنی‌دار کلیه فاکتورهای مورد بررسی بر صفات کیفی، اثرات متقابل کلیه فاکتورها نیز بر صفات کیفی معنی‌دار بود.

روش آبیاری بر ارتفاع گیاه اثر معنی‌دار در سطح یک درصد و بر سایر صفات کمی اشاره شده اثر معنی‌دار در سطح پنج درصد داشت. گرچه روش آبیاری پالسی روی گیاه کینوا تاکنون بررسی نشده است؛ ولی برخی مطالعات از تلفیق روش‌های آبیاری با آب شیرین و نامتعارف نشان داده است که کاربرد این روش بر صفاتی مانند وزن تر و خشک، ارتفاع گیاه و شاخص سطح برگ اثر معنی‌دار داشت (Jamali & Ansari, 2020). آبیاری قطره‌ای پالسی با توزیع یکنواخت‌تر رطوبت در ناحیه ریشه، می‌تواند از تجمع نمک در خاک جلوگیری کند و اثرات منفی شوری را کاهش دهد. این امر به‌ویژه در خاک‌های با شوری بالا اهمیت دارد (Carroll et al., 2024). آبیاری پالسی با تأمین آب به‌صورت منظم و نزدیک به نیاز گیاه، می‌تواند جذب آب و مواد مغذی را بهبود بخشد و در نتیجه رشد و توسعه گیاه را افزایش دهد (Phogat et al., 2013).

اثر متقابل سال و مقدار آبیاری اثر معنی‌داری بر صفات کمی نداشت. اثر متقابل سال و شوری آب نیز اثر معنی‌داری بر صفات کمی مورد مطالعه نشان نداد. لیکن، اثر شوری و مقدار آبیاری بر کلیه صفات معنی‌دار بود و زمانی که این دو پارامتر در کنار سال قرار گرفتند، اثر هر سه پارامتر بر صفات مورد مطالعه اثر معنی‌دار نشان داد. همچنین، اثر

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات و درجه آزادی) صفات کیفی اندازه‌گیری شده

Table 5- Results of variance analysis (mean square and degrees of freedom) of measured qualitative traits

منابع تغییرات Sources of changes	درجه آزادی Degrees of freedom	فیبر Fiber	قندهای محلول Soluble sugars	پروتئین Protein	ADF	NDF	TDN	کارتنوئید Carotenoid	پروتئین برگ Proline leaf	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل a Chlorophyll a
Y	1	82.33 ^{ns}	0.75 ^{ns}	0.88 ^{ns}	29.32 ^{ns}	44.51 ^{ns}	39.38 ^{ns}	0.35 ^{ns}	71.69 ^{ns}	0.78 ^{ns}	0.56 ^{ns}
R	2	76.41 ^{ns}	0.45 ^{ns}	0.65 ^{ns}	16.31 ^{ns}	34.26 ^{ns}	21.14 ^{ns}	0.21 ^{ns}	81.26 ^{ns}	0.86 ^{ns}	0.49 ^{ns}
Y*R	2	92.69 ^{ns}	0.85 ^{ns}	1.14 ^{ns}	35.42 ^{ns}	76.85 ^{ns}	56.69 ^{ns}	0.86 ^{ns}	101.25 ^{ns}	1.16 ^{ns}	0.89 ^{ns}
I (مقدار آبیاری)	2	98.25*	35.12*	58.26*	126.95*	198.41*	157.35*	25.68*	87.54*	62.18**	63.46**
Y*I	2	34.15	9.95	9.31	13.86	18.63	16.24	3.26	23.12	8.52	5.16
S (شوری آب)	1	362.51*	32.61*	18.25**	176.28*	213.12*	241.59*	15.24*	241.25*	14.41**	19.04**
I*S	2	125.62*	18.46*	28.43**	202.49*	165.57*	198.43*	9.46*	106.78*	18.33**	12.34*
S*Y	1	285.93 ^{ns}	41.57 ^{ns}	25.54 ^{ns}	189.92 ^{ns}	210.47 ^{ns}	231.92 ^{ns}	16.84 ^{ns}	167.25 ^{ns}	12.64 ^{ns}	24.16 ^{ns}
I*S*Y	2	231.36 ^{ns}	51.82 ^{ns}	23.92 ^{ns}	203.61 ^{ns}	271.28 ^{ns}	256.23 ^{ns}	17.32 ^{ns}	175.34 ^{ns}	18.82 ^{ns}	36.45 ^{ns}
Y*I(S)	4	30.19	10.25	7.335	28.09	41.05	36.28	5.37	22.45	5.02	1.58
M (روش آبیاری)	1	75.72*	27.91*	15.42*	183.27*	214.36*	245.71*	16.52*	64.42*	11.67*	19.26*
I*M	2	64.18*	38.42*	21.34*	246.52*	268.19*	281.66*	19.31*	51.34*	17.16*	21.16*
S*M	1	58.86*	41.18*	38.12*	281.43*	284.16*	314.46*	27.08*	43.21*	28.51*	32.28*
Y*M	1	72.49 ^{ns}	30.29 ^{ns}	20.12 ^{ns}	166.41 ^{ns}	205.55 ^{ns}	184.83 ^{ns}	19.35 ^{ns}	53.76 ^{ns}	17.58 ^{ns}	11.61 ^{ns}
I*S*M	2	69.27*	20.84*	19.62*	276.49*	321.48*	362.25*	13.52*	78.69*	11.27*	15.41*
I*S*M*Y	2	82.27 ^{ns}	32.83 ^{ns}	18.43 ^{ns}	176.51 ^{ns}	185.34 ^{ns}	162.32 ^{ns}	26.47 ^{ns}	64.16 ^{ns}	26.48 ^{ns}	16.56 ^{ns}
Y*M(I)	8	16.94	12.53	9.14	78.331	52.63	69.57	6.72	19.51	6.34	8.54
ضریب تغییرات (CV) (%)	-	10.26	9.21	7.45	11.63	11.71	12.25	8.16	11.42	8.63	7.32

* و ** معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد، ns عدم معنی‌داری.

*and **significance at the five percent and one percent probability levels, ns non-significance.

داشت. در این حالت، گیاه برای همزیستی با شرایط اعمال شده، توسعه برگ‌ها و رشد را کنترل می‌کند و همین عامل سبب تغییر در صفات کمی شد. در پژوهشی گیاه کینوا تحت تیمارهای مختلف شوری (۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار NaCl) کشت شد تا واکنش‌های فیزیولوژیکی و رشدی آن بررسی شود. نتایج نشان داد شوری بالا منجر به کاهش رشد، کاهش حدود ۵۰ تا ۶۰ درصدی وزن خشک بوته، کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی، افزایش پراکسیداسیون غشا، و اختلال در تعادل یونی (Na^+/K^+) شد. این نتایج تأیید می‌کند که اگرچه کینوا گیاهی نسبتاً مقاوم به شوری است، اما در غلظت‌های بالای NaCl (بیش از ۲۰۰ میلی‌مولار) دچار تنش شدید فیزیولوژیکی و افت عملکرد می‌شود (Derbali et al., 2023). از علل کاهش عملکرد می‌توان به کاهش هدایت مزوفیلی، کاهش فضای بین سلولی به علت ضخیم‌تر شدن دیواره‌های سلولی ناشی از شوری، و محدود شدن تبادل گازهای فتوسنتزی اشاره کرد (Razzaghi et al., 2015).

بالا ترین بهره‌وری آب در تیمارهای شماره ۲۱، ۲۳ و ۲۶ مشاهده شد. این تیمارها به ترتیب آبیاری قطره‌ای پیوسته با آب شیرین و عمق ۶۰ درصد نیاز آبی، آبیاری قطره‌ای پالسی و عمق ۶۰ درصد نیاز آبی (پالس اول آب شیرین، پالس دوم آب شیرین، پالس سوم آب شیرین) و آبیاری قطره‌ای پالسی و عمق ۶۰ درصد نیاز آبی (پالس اول آب شیرین، پالس دوم آب شور، پالس سوم آب شیرین) بودند. علت بالا بودن بهره‌وری آب در این تیمارها به کاهش مقدار آب آبیاری و شیرین بودن آن مرتبط است. در نتیجه، حتی با اعمال آبیاری کامل با آب شور یا ترکیب آب شور و شیرین در تنش‌های آبی ۸۰ و ۶۰ درصد، بهره‌وری آب افزایش نیافت. علت بالا بودن بهره‌وری آب در تیمار شماره ۲۶، اعمال دو پالس آبیاری شیرین در نوبت‌های اول و سوم بود. این امر به افزایش قطر ساقه و در نتیجه بهبود عملکرد علوفه کمک کرد. پایین‌ترین بهره‌وری آب به تیمارهای شماره ۲، ۴، ۹، ۱۰، ۱۲ و ۱۴ اختصاص داشت. در این تیمارها، عمدتاً آبیاری کامل یا اعمال سه پالس شوری در نظر گرفته شده بود.

نتایج مقایسه میانگین صفات کیفی گیاه کینوا در جدول ۷ نشان داده شده است. در این جدول صفات کلروفیل و کارتنوئید به میزان رنگدانه‌های تولید شده در برگ اشاره دارد. قندهای محلول، پرولین و پروتئین میزان ارزش غذایی علوفه تولید شده را بیان می‌کند. صفات ADF، NDF و TDN نیز به کیفیت علوفه از نظر قابلیت هضم برای دام اشاره دارند. NDF دیواره‌ی سلولی و ADF دیواره‌ی سلولی بدون همی سلولز به ترتیب نشان‌دهنده‌ی پتانسیل مصرف علوفه توسط دام و قابلیت هضم می‌باشند و TDN کل مواد مغذی قابل هضم گیاه است (Piri et al., 2018).

مقایسه میانگین صفات کمی اندازه‌گیری شده در جدول ۶ نشان داده شده است. بلندترین ارتفاع گیاه در تیمارهای شماره ۱، ۳، ۱۱ و ۱۳ به دست آمد. این تیمارها به ترتیب آبیاری قطره‌ای پیوسته با آب شیرین و عمق ۱۰۰ درصد نیاز آبی (CI3F)، آبیاری قطره‌ای پالسی و عمق ۱۰۰ درصد نیاز آبی (PI3FFF)، آبیاری قطره‌ای پیوسته با آب شیرین و عمق ۸۰ درصد نیاز آبی (CI2F) و آبیاری قطره‌ای پالسی و عمق ۸۰ درصد نیاز آبی (PI2FFF) بودند. علت افزایش ارتفاع گیاه در این تیمارها، عدم کاربرد تیمار شوری و دسترسی کافی به مقدار آب آبیاری بود. این نتایج با مشاهدات جمالی و همکاران (Jamali, 2019) مطابقت داشت. این محققان نیز بلندترین ارتفاع گیاه کینوا را در تیمارهای شامل آبیاری کامل با هدایت الکتریکی ۱/۲ دسی‌زیمنس بر متر گزارش کردند. در شرایطی که رطوبت کافی در اختیار گیاه قرار می‌گیرد، عامل محدودیت برای بسته شدن روزنه‌ها و تغییر در میزان شیره پرورده وجود ندارد. در نتیجه، گیاه بیشترین رشد را نسبت به سایر تیمارها، که دچار تنش آبی بودند، داشت. به همین دلیل، در تیمارهای ۱، ۳، ۱۱ و ۱۳، سایر صفات کمی از جمله قطر ساقه، شاخص سطح برگ، وزن علوفه تر و عملکرد علوفه خشک نیز بالاترین مقادیر را داشتند. به دلیل افزایش ارتفاع گیاه در این تیمارها، وزن تر و خشک علوفه نیز در آن‌ها افزایش یافت. البته بالا بودن شاخص سطح برگ نیز بر افزایش وزن تر و خشک علوفه مؤثر بود. گرچه به دلیل بالا بودن مصرف آب در تیمارهای اشاره شده، بهره‌وری آب آن‌ها پایین بود. در تحقیقی، اثر کم آبیاری بر رشد و عملکرد کینوا در منطقه‌ی خشک چین بررسی شد. نتایج نشان داد کاهش آبیاری تا سطح ۸۰ درصد نیاز آبی تأثیر منفی قابل توجهی بر عملکرد نداشت و حتی در برخی صفات رشد (ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ، و عملکرد دانه) بهبود مشاهده شد. از نظر ویژگی‌های فیزیولوژیکی نیز، گیاهان تحت کم آبی متوسط با افزایش محتوای کلروفیل، فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان و کاهش جزئی تبخیر-تعرق، سازگاری مناسبی نشان دادند (Awa et al., 2024).

کمترین صفات کمی، به جز بهره‌وری آب، به تیمارهای شماره ۲۲ (CI1S) و ۲۴ (PI1SSS) اختصاص داشت. این تیمارها به ترتیب آبیاری قطره‌ای پیوسته با آب شور و عمق ۶۰ درصد نیاز آبی و آبیاری قطره‌ای پالسی و عمق ۶۰ درصد نیاز آبی (پالس اول آب شور، پالس دوم آب شور، پالس سوم آب شور) بودند. این نتایج مبرهن است زیرا با کاهش مقدار آب آبیاری و افزایش شوری آن، صفات کمی تحت تأثیر همزمان دو تنش کم آبی و شوری قرار گرفتند. به همین دلیل، کلیه صفات کمی کاهش یافت. در واقع، افزایش تنش آبی به ۶۰ درصد، و اعمال تنش شوری، بیشترین اثر را بر بسته شدن روزنه‌ها و کاهش رشد گیاه کینوا

جدول ۶- مقایسه میانگین صفات کمی اندازه‌گیری شده
Table 6- Comparison of the averages of measured quantitative traits

شماره تیمار Treatment number	تیمارهای آزمایشی Experimental treatments	بهره‌وری آب آبیاری Irrigation water productivity (kg/m ³)	عملکرد علوفه خشک Dry forage yield (kg/ha)	وزن علوفه تر Fresh forage weight (kg/ha)	شاخص سطح برگ Leaf area index (cm ²)	قطر ساقه Stem diameter (cm)	ارتفاع Height (cm)
1	FCI3	5.54c	8256.14a	31420.25a	152.23a	10.1a	94a
2	C I3S	2.17f	3126.52d	12326.54g	124.41d	6.4c	64d
3	PI3FFF	5.61c	8587.45a	31782.57a	156.42a	10.5a	95a
4	PI3SSS	2.21f	3179.41d	12578.26g	124.55d	6.4c	65d
5	PI3FFS	3.82e	5532.27bc	21705.62d	133.15c	7.1b	72c
6	PI3FSF	4.69d	6890.84b	26598.62b	1336.56bc	7.6b	77bc
7	PI3SFF	3.64e	5217.63bc	20655.18d	131.87c	6.9bc	71c
8	PI3SSF	2.91ef	4325.54c	16482.25f	123.85d	6.3c	64d
9	PI3FSS	2.79f	3864.12dc	15864.53f	122.45d	6.2c	62d
10	PI3SFS	2.84f	4120.55c	16122.48f	122.36d	6.3c	63d
11	CI2F	6.61b	7781.65a	29985.45a	148.14a	9.2a	90a
12	CI2S	2.58f	3146.35d	11743.84h	123.94d	6.3c	63d
13	PI2FFF	6.64b	8016.81a	30123.18a	148.36a	9.4a	91a
14	PI2SSS	2.47f	3112.57d	11226.57h	124.54d	6.3c	64d
15	PI2FFS	4.59d	5085.14bc	20849.38d	131.58c	6.9bc	71c
16	PI2FSF	5.61c	6347.25b	25415.37b	135.16bc	7.3b	74c
17	PI2SFF	4.37d	4957.68c	19842.76de	130.62c	6.8bc	70c
18	PI2SSF	3.53e	4002.18c	16041.52f	121.85d	6.2c	61d
19	PI2FSS	3.25e	3362.58d	14760.85fg	120.69d	6.1c	58e
20	PI2SFS	3.36e	3443.24d	15247.12f	116.47de	6.1c	60d
21	CI1F	7.89a	6945.38b	26864.63b	140.74b	8.3ab	80b
22	CI1S	3.07e	2876.51b	10467.85h	114.38e	5.8d	56e
23	PI1FFF	7.91a	6941.46b	26942.75b	142.25b	8.4ab	82b
24	PI1SSS	3.15e	3002.25d	10732.64h	113.21e	5.8d	56e
25	PI1FFS	5.35c	4275.52c	18231.71e	128.64c	6.7bc	68dc
26	PI1FSF	7.29a	6845.7b	24827.9c	134.45bc	7.1b	73c
27	PI1SFF	5.51c	4659.85c	18759.41e	130.75c	6.7bc	69dc
28	PI1SSF	4.66d	3765.63d	15869.74f	116.19dc	6.1c	60d
29	PI1FSS	3.85de	3145.63d	13127.49g	119.78d	6.1c	60d
30	PI1SFS	4.12d	3371.05d	14036.25fg	123.47d	6.3c	61d

میانگین‌های دارای حروف یکسان بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند.

Means with the same letters do not differ significantly at the 5% probability level based on Duncan's test.

(به دلیل قند محلول، پرولین و پروتئین بالا) شد. تیمار شماره ۲۴، که شامل آبیاری قطره‌ای پالسی و عمق ۶۰ درصد نیاز آبی (پالس اول آب شور، پالس دوم آب شور، پالس سوم آب شور) بیشترین کیفیت علوفه تولیدی را داشت و علت آن اعمال تنش همزمان شوری و کم‌آبی است. از جمله عکس‌العمل‌های متابولیکی به تنش شوری، سنتز اسمولیت‌های سازگار است. این ترکیبات آلی در تنظیم اسمزی دخالت دارند و موجب حفاظت ساختمان ارگانل‌های مختلف سلول از خسارت‌های اکسیداتیو می‌شود (Jamali & Ansari, 2019). تغییرات قندهای محلول و فروکتان‌ها شاخص حساس و مناسبی برای ارزیابی تحمل به شوری و کم‌آبی می‌شود. در نتیجه افزایش در غلظت قند یکی از واکنش‌های گیاه برای تحمل این دو تنش است. همچنین، جهت تعادل یونی در واکوئل، سیتوپلاسم موادی با وزن مولکولی پایین به نام مواد سازگار

بیشترین مقدار کلروفیل a و b و کارتنوئید در تیمارهای شماره ۱، ۳، ۱۱ و ۱۳ مشاهده گردید. این تیمارها دارای بالاترین صفات کمی نیز بودند (جدول ۷). مقدار TDN و ADF در دو تیمار شماره ۱ و ۳ دارای مقادیر بالایی بود. ADF در واقع بخش فیبری با قابلیت هضم پایین است و شامل گلین و سلولز می‌باشد. به همین دلیل، تیمارهای ۱ و ۳، دارای میزان قند محلول، پرولین و پروتئین پایینی نیز هستند. در دو تیمار ۱ و ۳، آب آبیاری شیرین به مقدار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه کینوا اعمال شده است. به همین دلیل تشکیل قند محلول، پرولین و پروتئین برگ کاهش یافته است. این نتایج با مشاهدات جمالی و انصاری مطابقت داشت (Jamali & Ansari, 2019). از طرفی، اعمال آب شور به تنهایی یا ترکیب با پالس‌های شیرین و تنش آبی در تیمارهای شماره ۲، ۴ و ۱۲ الی ۳۰ سبب افزایش کیفیت علوفه تولیدی

همکاران (Piri et al., 2018) در خصوص تأثیر شوری و کم آبیاری بر کیفیت سورگوم علوفه‌ای مطابقت داشت.

نتایج تجزیه واریانس صفات ریشه در جدول ۸ نشان داده شده است. مقدار آب آبیاری بر طول، حجم، وزن تر و وزن خشک ریشه در سطح پنج درصد اثر معنی‌دار داشت. شوری آب بر این صفات نیز در سطح پنج درصد اثر معنی‌دار داشت. اثر متقابل شوری و مقدار آبیاری نیز بر صفات ریشه اثر معنی‌دار در سطح پنج درصد نشان داد. روش آبیاری بر صفات حجم، وزن تر و وزن خشک ریشه اثر معنی‌دار در سطح پنج درصد و بر طول ریشه اثر معنی‌دار در سطح یک درصد داشت. اثر متقابل روش آبیاری و مقدار آبیاری بر کلیه صفات در سطح پنج درصد و اثر متقابل روش آبیاری و شوری بر طول ریشه در سطح یک درصد اثر معنی‌دار نشان داد. با توجه به شکل‌های ۲، ۳ و ۴ تیمارهای آبیاری کامل با آب شیرین سبب رشد طولی ریشه شدند.

تولید می‌کند. این مواد در واکنش‌های بیوشیمیایی سلول اختلال ایجاد نکرده و موجب حفظ تعادل اسمزی و ادامه جذب آب، حفظ ساختارهای سلولی، ترکیبات پروتئینی و آنزیمی می‌شود. این مواد شامل پرولین و پروتئین هستند (Kafi et al., 2009). با توجه به اثرات متقابل ADF و TDN با شاخص‌های کیفی، پایین‌ترین مقدار ADF و TDN در تیمارهای ۲۸ الی ۳۰، که شامل تنش آبی ۶۰ درصد و دو پالس آبیاری با آب شور بودند، مشاهده گردید. شاخص NDF به اجزای ساختاری گیاه و به‌ویژه دیواره سلولی مربوط می‌شود. به‌طور کلی، مقادیر پایین NDF مطلوب هستند زیرا مقدار NDF با بالغ شدن خوراک افزایش می‌یابد. بنابراین، تیمارهای ۱ و ۳، بهترین شرایط را از نظر مقدار NDF داشتند. علاوه بر این دو تیمار، تیمارهای شماره ۵ الی ۱۱ نیز دارای کمترین مقدار NDF بودند. در این تیمارها، کم آبیاری اعمال نشده بود و به همین دلیل مقدار NDF بالایی داشتند. در نتیجه، اثر کم آبیاری بر مقدار NDF بیشتر از تنش شوری بود. نتایج تحقیق با نتایج پیری و

جدول ۷- مقایسه میانگین صفات کیفی اندازه‌گیری شده

Table 7- Comparison of the average of measured qualitative traits

شماره تیمار Treatment number	تیمارهای آزمایشی Experimental treatments	ADF	NDF	TDN	پروتئین Protein	پرولین برگ Proline leaf	قندهای محلول Soluble sugars	کاروتنوئید Carotenoid	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل a Chlorophyll a
					(%)	(micromol/g)			(mg/g wet weight)	
1	FCI3	18.65a	7.72e	38.64a	9.41e	5.21fg	29.55d	0.98a	6.34a	12.46a
2	C I3S	6.84d	9.55d	15.52f	11.56d	13.36c	31.42dc	0.41e	2.15d	5.73d
3	PI3FFF	18.24a	7.92e	38.22a	9.56ef	5.78fg	29.75d	0.97a	6.28a	12.11a
4	PI3SSS	6.45d	9.84d	15.84f	11.47d	13.57c	31.63dc	0.42e	3.26c	5.66d
5	PI3FFS	9.72c	7.38e	22.78cd	9.74ef	6.62f	29.78d	0.73b	4.37b	8.68bc
6	PI3FSF	9.96c	7.53e	23.16c	9.75ef	6.89f	29.81d	0.79b	4.78b	8.97bc
7	PI3SFF	8.67d	7.25e	21.54d	9.86ef	7.08e	30.04d	0.61c	4.11b	7.76c
8	PI3SSF	8.29d	8.29e	21.32d	10.12e	7.19e	30.25d	0.57d	3.68c	7.23c
9	PI3FSS	7.54d	8.68e	20.46de	10.41e	7.54e	30.62d	0.48de	3.21c	6.54cd
10	PI3SFS	7.73d	8.55e	20.89de	10.27e	7.13e	30.31d	0.52d	3.58c	7.06c
11	CI2F	16.42b	8.41e	31.45b	10.36e	7.74e	30.49d	0.91a	5.74a	11.29a
12	CI2S	6.25de	13.18bc	14.69f	15.26bc	16.21b	35.18b	0.39ef	2.74d	5.14d
13	PI2FFF	16.79b	10.72d	31.57b	12.53d	7.89e	32.74c	0.89a	5.94a	11.85a
14	PI2SSS	6.47de	1.44bc	14.74f	15.54bc	16.45b	36.11b	0.38ef	2.66d	5.11d
15	PI2FFS	9.16c	9.51d	22.18cd	11.89d	6.33f	32.05c	0.68bc	4.06b	7.89c
16	PI2FSF	9.88c	9.63d	22.94cd	11.68d	6.11f	31.76dc	0.71b	4.62b	8.44bc
17	PI2SFF	8.36d	10.34d	21.65d	12.26d	6.94f	32.54c	0.57d	3.32c	7.12c
18	PI2SSF	7.35d	10.19d	20.28de	12.47d	7.85e	32.61c	0.51d	3.18c	6.52cd
19	PI2FSS	7.12d	11.58c	19.81e	13.64cd	8.27e	33.78c	0.41e	2.91dc	6.13dc
20	PI2SFS	7.26d	11.47c	20.12de	13.32cd	8.11e	33.46c	0.46de	3.08c	6.25dc
21	CI1F	10.14c	11.65c	24.32c	13.88cd	9.16d	34.12bc	0.87a	4.85b	9.51b
22	CI1S	5.69e	16.14a	12.38fg	18.12a	19.25a	38.18a	0.31f	2.31d	4.67e
23	PI1FFF	10.36c	13.54bc	24.41c	15.42bc	9.41d	35.56b	0.86a	5.07ab	9.74b
24	PI1SSS	5.61e	16.45a	12.54fg	18.61a	19.63a	39.26a	0.31f	4.19b	4.53e
25	PI1FFS	7.49d	13.26bc	20.32de	15.31bc	8.47e	35.47b	0.59d	3.15c	6.46cd
26	PI1FSF	8.52d	12.63c	21.75d	14.78c	8.02e	34.85b	0.63bc	4.04b	5.79d
27	PI1SFF	7.13d	13.56bc	20.05de	15.54bc	9.74d	35.63b	0.51d	3.01c	6.27cd
28	PI1SSF	6.57de	14.48b	15.04f	16.36b	10.86d	36.58b	0.45de	3.46c	5.81d
29	PI1FSS	6.33de	14.25b	14.71f	16.21b	10.48d	36.47b	0.35f	2.56d	4.82de
30	PI1SFS	6.49de	14.32b	14.88f	16.14b	10.25d	36.26b	0.39ef	2.87d	5.31d

منابع برای رشد و عملکرد می‌شود. وقتی همزمان با شوری، کم‌آبی نیز اعمال شود، تأثیر ترکیبی دارد (اسمزی پایین‌تر) و گیاه حتی سخت‌تر آب جذب می‌کند در نتیجه کاهش عملکرد بیشتر اتفاق می‌افتد (Maestro-Gaitán et al., 2022).

تغییرات شوری خاک در شکل ۵ نشان داده شده است. خط مقطع، نشان‌دهنده شوری اولیه خاک است که مطابق جدول (۳) برابر با ۰/۷۶ دسی‌زیمنس بر متر است. در اکثر تیمارها، پس از دو سال اجرای این پژوهش، شوری خاک در دو عمق ۳۰-۶۰ و ۳۰ سانتی‌متری نسبت به شوری اولیه خاک افزایش یافت. فقط در تیمارهای ۱، ۳، ۱۱ و ۱۳ شوری انتهایی آزمایش نزدیک به شوری اولیه بود. این تیمارها به ترتیب آبیاری قطره‌ای پیوسته با آب شیرین و عمق ۱۰۰ درصد نیاز آبی، آبیاری قطره‌ای پالسی و عمق ۱۰۰ درصد نیاز آبی (پالس اول آب شیرین، پالس دوم آب شیرین، پالس سوم آب شیرین)، آبیاری قطره‌ای پیوسته با آب شیرین و عمق ۸۰ درصد نیاز آبی و آبیاری قطره‌ای پالسی و عمق ۸۰ درصد نیاز آبی (پالس اول آب شیرین، پالس دوم آب شیرین، پالس سوم آب شیرین) بود. این تیمارها بیشترین صفات کمی را نیز داشتند (جدول ۶) و یکی از علل آن عدم وجود شوری در ناحیه توسعه ریشه بود (شکل ۵).

در نتیجه، حجم ریشه نیز افزایش یافته که اثر مستقیمی بر وزن تر و خشک ریشه نیز داشت. در خصوص اثر تنش‌های آبی و شوری بر ریشه کینوا مطالعات محدودی صورت گرفته است؛ لیکن مطالعه این تیمارها روی سایر گیاهان زراعی نشان داده است که ریشه این گیاهان تا عمق حدود ۲۰ سانتی‌متر رطوبت را به سرعت جذب می‌کنند. لیکن در تیمارهای کم‌آبیاری، به علت کمبود رطوبت و جذب آن در لایه‌های سطحی، رشد ریشه به شدت کاهش می‌یابد (Kohi-Cheleh-Karan et al., 2015). سایر محققان نیز عقیده دارند که در صورتی که شرایط خاک برای کلیه تیمارها یکسان باشد، رطوبت خاک عامل مهمی در توسعه طولی و حجمی ریشه‌ها است (Wang & Zheng, 2017; Yan & Nelson, 2022; Vennam et al., 2023). در نتیجه، توسعه ریشه بر میزان جذب عناصر، در کنار تأمین رطوبت، اثرگذار است. با مقایسه نتایج به دست آمده از طول، وزن و حجم ریشه با نتایج عملکرد علوفه (جدول ۶)، این ارتباط تأیید می‌شود. افزایش نمک در خاک نیز باعث می‌شود که پتانسیل آب خاک کاهش یابد و ریشه‌ها نتوانند به راحتی آب جذب کنند. گیاه برای تنظیم اسمزی و دفع یون‌های مضر، انرژی بیشتری مصرف می‌کند (برای مثال تولید اُسمولایت‌ها، انتقال یون‌ها، بازسازی سلول‌های آسیب دیده) که در نتیجه منجر به کاهش

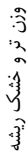
جدول ۸- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات و درجه آزادی) صفات ریشه اندازه‌گیری شده

Table 8- Results of variance analysis (mean square and degrees of freedom) of measured root traits

منابع تغییرات Sources of changes	درجه آزادی Degrees of freedom	وزن خشک ریشه Root dry weight	وزن تر ریشه Root fresh weight	حجم ریشه Root Volume	طول ریشه Root length
Y	1	51.22 ^{ns}	41.05 ^{ns}	0.78 ^{ns}	3.17 ^{ns}
R	2	71.35 ^{ns}	32.64 ^{ns}	0.65 ^{ns}	2.45 ^{ns}
Y*R	2	64.26 ^{ns}	53.18 ^{ns}	3.26 ^{ns}	8.85 ^{ns}
I (مقدار آبیاری)	2	48.16*	84.51*	6.41*	57.96*
Y*I	2	84.55 ^{ns}	47.21 ^{ns}	0.58 ^{ns}	14.05 ^{ns}
S (شوری آب)	1	33.18*	89.26*	5.63*	84.42*
I*S	2	21.73*	42.25*	6.76*	63.25*
S*Y	1	51.26 ^{ns}	55.35 ^{ns}	8.81 ^{ns}	35.52 ^{ns}
I*S*Y	2	46.97 ^{ns}	85.41 ^{ns}	6.72 ^{ns}	47.23 ^{ns}
Y*I(S)	4	102.79	91.05	3.18	47.63
M (روش آبیاری)	1	112.61*	72.16*	2.45*	84.15**
I*M	2	82.28**	100.25**	5.73*	32.57*
S*M	1	73.13*	83.14**	9.11*	48.67**
Y*M	1	93.26 ^{ns}	59.27 ^{ns}	7.17 ^{ns}	75.21 ^{ns}
I*S*M	2	47.29*	35.61*	35.61*	91.41*
I*S*M*Y	2	27.55 ^{ns}	73.16 ^{ns}	8.35 ^{ns}	48.52 ^{ns}
Y*M(I*S)	8	92.17	29.46	1.23	25.18
ضریب تغییرات (%)		10.16	7.41	6.15	7.68

* و ** معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد، ns عدم معنی‌داری.

*and **significance at the five percent and one percent probability levels, ns non-significance.



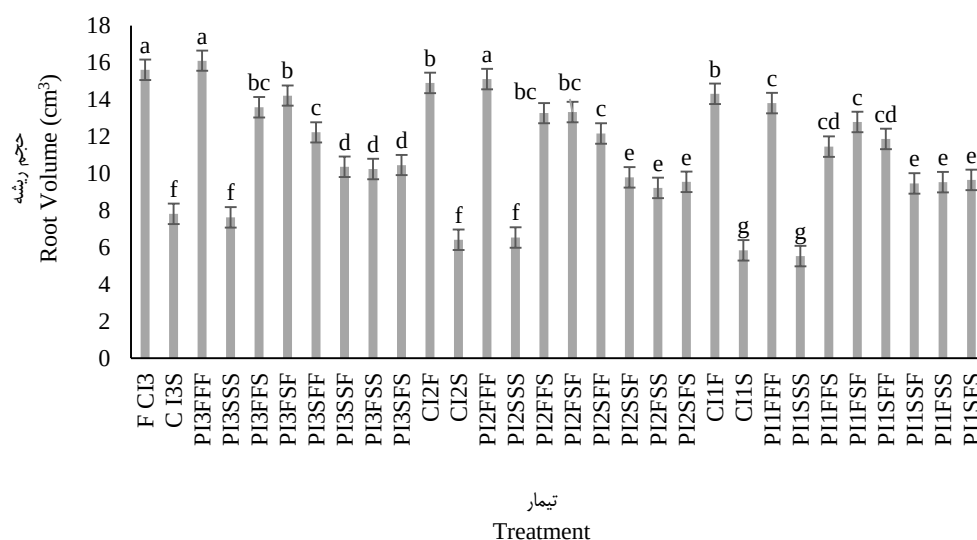
شکل ۲- اثر تیمارهای مورد مطالعه بر وزن تر و خشک ریشه



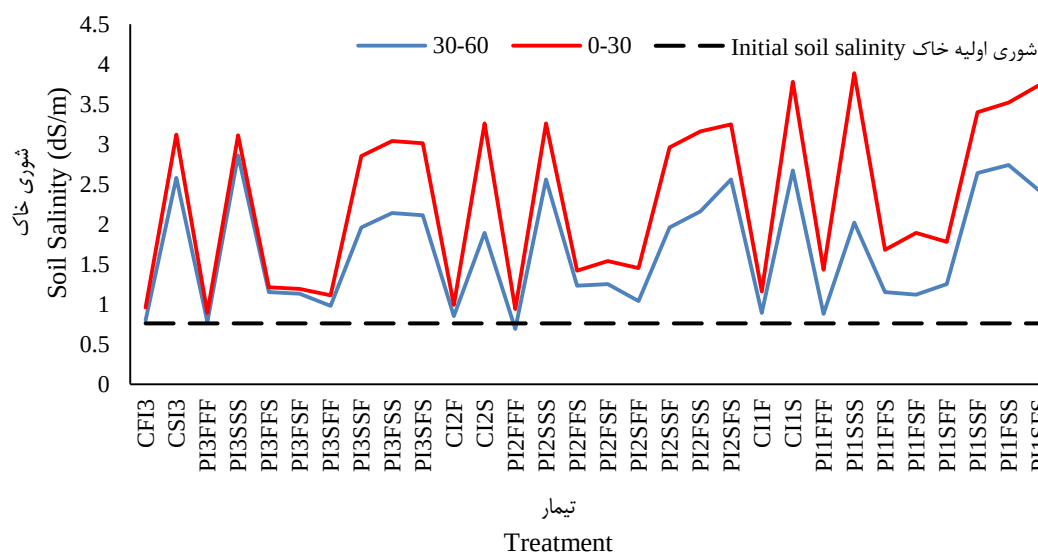
شکل ۳- اثر تیمارهای مورد مطالعه بر طول ریشه

آبیاری قطره‌ای پیوسته با آب شیرین و عمق ۶۰ درصد نیاز آبی و آبیاری قطره‌ای پالسی و عمق ۶۰ درصد نیاز آبی (پالس اول آب شیرین، پالس دوم آب شیرین، پالس سوم آب شیرین) بودند. در واقع، در صورت تأمین آبیاری پیوسته با آب شیرین، کم‌آبیاری اثری بر تغییرات شوری خاک نداشت. در صورتی که آبیاری پالسی اعمال شود؛ حتی در صورت اعمال سه پالس آبیاری شیرین، شوری خاک اندکی بیشتر از آبیاری پیوسته با آب شیرین بود. براساس نتایج به دست آمده، اگر آب شیرین در دو پالس اعمال شود و نیاز آبی ۸۰ درصد تأمین شود، شوری خاک افزایش چندانی ندارد.

تیمارهای ۵، ۶، ۱۷، ۲۱ و ۲۳ نیز شوری نهایی پائینی داشتند. این تیمارها به ترتیب شامل آبیاری قطره‌ای پالسی و عمق ۱۰۰ درصد نیاز آبی (پالس اول آب شیرین، پالس دوم آب شیرین، پالس سوم آب شیرین)، آبیاری قطره‌ای پالسی و عمق ۱۰۰ درصد نیاز آبی (پالس اول آب شیرین، پالس دوم آب شور، پالس سوم آب شیرین)، آبیاری قطره‌ای پالسی و عمق ۸۰ درصد نیاز آبی (پالس اول آب شیرین، پالس دوم آب شیرین، پالس سوم آب شور)، آبیاری قطره‌ای پالسی و عمق ۸۰ درصد نیاز آبی (پالس اول آب شیرین، پالس دوم آب شور، پالس سوم آب شیرین)، آبیاری قطره‌ای پالسی و عمق ۸۰ درصد نیاز آبی (پالس اول آب شور، پالس دوم آب شیرین، پالس سوم آب شور) و عمق ۸۰ درصد نیاز آبی (پالس اول آب شور، پالس دوم آب شیرین، پالس سوم آب شیرین).



شکل ۴- اثر تیمارهای مورد مطالعه بر حجم ریشه
Figure 4- Effect of studied treatments on root volume



شکل ۵- اثر تیمارهای مورد مطالعه بر شوری خاک
Figure 5- Effect of studied treatments on soil salinity

نتیجه‌گیری

رطوبت در ناحیه ریشه و کاهش تجمع نمک در خاک شد که جذب آب و مواد مغذی توسط گیاه را تسهیل کرد. در شرایط آب شیرین و عمق کامل نیاز آبی، بیشترین صفات کمی (ارتفاع گیاه، وزن خشک و شاخص سطح برگ) و میزان کلروفیل مشاهده شد، در حالی که اعمال شوری یا تنش کم‌آبی با پالسی مناسب، کیفیت علوفه (قند محلول، پروتئین و پروتئین) را افزایش داد. به‌طور مشخص، ترکیب آبیاری پالسی با آب شور و کاهش ۴۰ درصدی عمق نیاز آبی (پالسی‌های آب شور) بیشترین کیفیت علوفه را فراهم کرد و نشان داد که تنش کنترل شده می‌تواند به

این پژوهش به‌منظور ارزیابی تیمارهای مقدار آبیاری (۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی)، شوری آب (شیرین و شور) و مدیریت آبیاری (قطره‌ای پیوسته و قطره‌ای پالسی) بر خصوصیات کمی و کیفی کینوا انجام شد. نتایج نشان داد که آبیاری قطره‌ای پالسی با عمق مناسب آبیاری می‌تواند رشد و عملکرد کینوا را بهبود دهد، به‌ویژه زمانی که تنش شوری یا کم‌آبی وجود دارد. آبیاری پالسی موجب توزیع یکنواخت‌تر

علوفه‌ای است. توصیه می‌شود که در شرایط کم‌آبی و استفاده از آب شور، سیستم پالسی با تنظیم مناسب عمق و ترتیب پالس‌ها به کار گرفته شود تا هم بهره‌وری آب افزایش یابد و هم کیفیت محصول حفظ شود.

بهبود ویژگی‌های تغذیه‌ای محصولات علوفه‌ای منجر شود. همچنین، بهترین بهره‌وری مصرف آب با ترکیب پالسی نیمه‌کامل آب شیرین و آب شور حاصل شد که هم تولید بالای علوفه و هم کیفیت مناسب را تضمین کرد. این نتایج نشان می‌دهد که آبیاری قطره‌ای پالسی یک ابزار کارآمد برای مدیریت آب و شوری در کینوا و سایر محصولات

References

1. Afsharmanesh, R., Rahimi, A., Sahafi, S.R., & Salehi, M. (2020). Physiological responses of quinoa plant to nitrogen application under saline conditions. *Journal of Crop and Horticultural Crop Production and Processing*, 11(4), 129-143. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.47176/jcpp.11.4.20089>
2. Afzalinejad, F., Ghasemi, S., Seifati, S.A., & Shahbazi Manshadi, Sh. (2019). The effect of sewage sludge on the growth and some nutrients of three quinoa genotypes in a calcareous and saline soil. *Soil and Water Sciences*, 24(4), 127-139. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.47176/jwss.24.4.42021>
3. Almeida, W.F.D., Paz, V.P.D.S., de Jesus, A.P., Silva, J.S.D., Gonçalves, K.S., & Oliveira, A.S.D. (2018). Yield of green beans subjected to continuous and pulse drip irrigation with saline water. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 22(7), 476-481. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n7p476-481>
4. Aly, A.A., Al-Barakah, F.N., & El-Mahrouky, M.A. (2018). Salinity stress promote drought tolerance of *Chenopodium quinoa* Willd. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 49(11): 1331-1343. <https://doi.org/10.1080/00103624.2018.1457160>
5. Arabfard, M., Shahnazari, A., & Zia Tbar Ahmadi, M. (2019). Comparison of efficiency and productivity index of pulse irrigation with gravity pressures in sandy soil under watermelon cultivation. *Water and Soil*, 33(2), 216-205. <https://doi.org/10.22067/jsw.v33i2.70933>
6. Arnon, D.I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in beta vulgaris. *Plant Physiology*, 24, 1-15. <https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1>
7. Association of Official Analytic Chemists (AOAC). (1990). 15th, Ed, Washington. D.C.
8. Awa, M., Zhao, J., & Tumaerbai, H. (2024). Deficit irrigation-based improvement in growth and yield of quinoa in the northwestern arid region in China. *Sustainability*, 16(10), 4136. <https://doi.org/10.3390/su16104136>
9. Bagheri, M. (2018). Quinoa Cultivation Handbook, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Institute for Research on Breeding and Seed Preparation. 56 pages. (In Persian)
10. Bates, L., Waldren, R., & Teare, I. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39, 205-207. <https://doi.org/10.1007/bf00018060>
11. Carroll, J.L., Orr, S.T., Benedict, C.A., DeVetter, L.W., & Bryla, D.R. (2024). Feasibility of using pulse drip irrigation for increasing growth, yield, and water productivity of red raspberry. *HortScience*, 59(3), 332-339. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI17467-23>
12. Derbali, I., Gharred, W., Manaa, J., Slama, I., & Koyro, H.-W. (2023). Mitigating salinity stress in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) with biochar and superabsorber polymer amendments. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 209(6), 687-699. <https://doi.org/10.3390/plants13010092>
13. Dubois, D., Gilleres, K.A., & Hamilton, J.K. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, 350-356. <https://doi.org/10.1021/ac60111a017>
14. Ghaedi, S., Afrasiab, P., & Liaqat, A. (2015). Studying the effect of combining salt and fresh water in the Sistan region. *Iranian Soil and Water Research*, 46(3), 463-455. (In Persian with English abstract)
15. Ghorbani, Kh., & Jamali, P. (2021). Studying the effect of irrigation with a mixture of Caspian Sea and well water on the yield of Sajama quinoa cultivar under greenhouse conditions. *Soil and Water Conservation Research*, 28(2), 81-63. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22069/jwsc.2021.18372.3397>
16. Jamali, S., & Ansari, H. (2019). The effect of water quality and irrigation management on the growth and yield of quinoa. *Water Research in Agriculture*, 33(3), 352-339. (In Persian with English abstract)
17. Jamali, S., Ansari, H., & Zeinuddin, S.M. (2020). Evaluation of the effect of nitrogen fertilizer and alternate furrow irrigation methods on water use efficiency in quinoa cultivation. *Water Management and Irrigation*, 11(2), 112-92. (In Persian with English abstract)
18. Jamali, S., Zein al-Din, S.M., & Kolahi, M. (2019). The effect of combined treatments of treated urban wastewater on the yield and yield components of quinoa plant. *Soil and Water Conservation Research*, 27(1), 181-195. (In Persian with English abstract)
19. Kafi, M.A., Borzoi, Salehi, M., Kamandi, A., Masoumi, A., & Nabati, J. (2009). Physiology of environmental stresses in plants, Jihad University of Mashhad Publications, Mashhad, 502 pages. (In Persian with English abstract)
20. Karimi, B., & Karimi, N. (2019). Simulation of wetted area of onion moisture in pulsed drip irrigation system. *Water and Soil*, 34(2), 349-364. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jsw.v34i2.82228>

21. Karmeli, D., & Peri, G. (1974). Basic principles of pulse irrigation. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 100(3), 309-319. <https://doi.org/10.1061/jrcea4.0000988>
22. Kohi-Cheleh-Karan, N., Alizadeh, A., & Davari, K. (2015). The effect of different irrigation rates on root length density and grain yield of corn under drip irrigation. *Journal of Water Research in Agriculture*, 29(3), 331-340. (In Persian with English abstract)
23. Levin, I., Van Rooyen, P.C., & Van Rooyen, F.C. (1979). The effect of discharge rate and intermittent water application by point source irrigation on the soil moisture distribution pattern. *Soil Science Society of America Journal*, 43, 8-16. <https://doi.org/10.2136/sssaj1979.03615995004300010002x>
24. Lichtenthaler, H.K., & Welburn, A.R. (1983). Determination of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, 11, 591-592. <https://doi.org/10.1042/bst0110591>
25. Linn, J.G., & Martin, N.P. (1999). Forage quality test and interpretations. Minnesota Extension service AG, FO.2637. [https://doi.org/10.1016/s0749-0720\(15\)30790-8](https://doi.org/10.1016/s0749-0720(15)30790-8)
26. Madane, D.A., Mane, M.S., Kadam, U.S., Thokal, R.T., Patil, S.T., Nandgude, S.B., & Dhekale, J.S. (2018). Effect of pulse irrigation (drip) influencing different irrigation levels on growth and yield parameters of white onion (*Allium cepa* L.). *Advanced Agricultural Research & Technology Journal*, 2(2), 228-234. <https://doi.org/10.15740/has/ijae/11.1/128-134>
27. Maestro-Gaitán, I., Granado-Rodríguez, S., Orús, M.I., Matías, J., Cruz, V., Bolaños, L., & Reguera, M. (2022). Genotype-dependent responses to long-term water stress reveal different water-saving strategies in *Chenopodium quinoa* Willd. *Environmental and Experimental Botany*, 201, 104976. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2022.104976>
28. Meskini Vishkaei, F., Tafteh, A., Jafarnejadi, A., & Gosheh, M. (2021). Investigating the effect of periodic water deficit stress on quinoa plant yield and determining its water use-yield production function in saline soil (Case study: Khuzestan province). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 16(6), 1255-1265. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.47176/jwss.28.4.62741>
29. Mohammadi, S., Mirlatifi, M., Dehghanisanich, H., & Homaei, M. (2019). The effect of pulse management in drip irrigation system on yield, yield components and water efficiency of forage corn, *Iranian Soil and Water Research*, 51(12): 3135-3145. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/ijswr.2020.309258.668726>
30. Payero, J.O., Melvin, S.R., Irmak, S., & Tarkalson, D. (2009). Yield response of corn to deficit irrigation in a semiarid climate. *Agricultural Water Management*, 84, 101-112. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.01.009>
31. Piri, H., Ansari, H., & Parsa, M. (2018). The interaction effect of salinity, drought and harvesting dates on yield, quality and efficiency of forage sorghum in subsurface drip irrigation (Case study: Sistan plain). *Irrigation Sciences and Engineering*, 41(1), 99-114.
32. Phogat, V., Skewes, M.A., Mahadevan, M., & Cox, J.W. (2013). Evaluation of soil plant system response to pulsed drip irrigation of an almond tree under sustained stress conditions. *Agricultural Water Management*, 118, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.11.015>
33. Rashki, P., Piri, H., & Khamari, E. (2022). Effect of potassium fertilization on roselle yield and yield components as well as IWUE under deficit irrigation regime. *South African Journal of Botany*, 148, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.03.048>
34. Razzaghi, F., Jacobsen, SE., Jensen, CR., & Andersen, MN. (2015). Ionic and photosynthetic homeostasis in quinoa challenged by salinity and drought- mechanisms of tolerance. *Functional Plant Biology*, 42(2), 136-148. <https://doi.org/10.1071/FP14132>. PMID: 32480660
35. Saberi, A.R. (2024). The effects of plant density and irrigation management on forage production of quinoa and forage sorghum. *Crop Production Journal*, 17(1), 81-98. (In Persian with English abstract)
36. Sheikhi-Sanandji, D., Heydari, G., Fathi, P., Sharifi, Z., & Khodaverdiloo, H. (2022). Studying the effect of different levels of vermicompost and irrigation on the yield and quality of quinoa forage. *Crop Plant Sciences*, 54(2), 15-29. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4963152/v1>
37. Stone, S.L., & Gifford, D.J. (1997). Structural and biochemical changes in loblolly pine (*Pinus taeda* L.) seeds during germination and early seedling growth: I storage protein reserves. *International Journal Plant Science*, 158, 727-737. <https://doi.org/10.1086/297484>
38. Telahigue, D., Yahia, L.B., Aljane, F., Belhouchett, K., & Toumi, L. (2017). Grain yield, biomass productivity and water use efficiency in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under drought stress. *Science of Food and Agriculture*, 1, 222-232. <https://doi.org/10.25081/jsa.2017.v1.67>
39. Tourajzadeh, O., Piri, H., Naserin, A., & Chari, M.M. (2024). Effect of nano biochar addition and deficit irrigation on growth, physiology and water productivity of quinoa plants under salinity conditions. *Environmental and Experimental Botany*, 217, 105564. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2023.105564>
40. Van Soest, P.J., Robertson, B., & Lewis, B.A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal Dairy Science*, 74, 3583-3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
41. Vennam, RR., Ramamoorthy, P., Poudel, S., Reddy, KR., Henry, WB., & Bheemanahalli, R. (2023). Developing

- functional relationships between soil moisture content and corn early-season physiology, growth, and development. *Plants (Basel)*, 28, 12(13), 2471. <https://doi.org/10.3390/plants12132471>. PMID: 37447032; PMCID: PMC10346487
42. Wang, J., & Zheng, H. (2017). Experimental study on the effect of temperature and flux conditions on moisture distribution in vadose zone soil. *Water Science Technology*, 75(3-4), 881-889. <https://doi.org/10.2166/wst.2016.569>. PMID: 28234288
 43. Yan, H., & Nelson, B.Jr. (2022). Effects of soil type, temperature, and moisture on development of Fusarium root rot of soybean by *Fusarium solani* (FSSC 11) and *Fusarium tricinctum*. *Plant Disease*, 106(11), 2974-2983. <https://doi.org/10.1094/PDIS-12-21-2738-RE>