Research Article

Agricultural Engineering., 47(1) (2024) 111-127
DOI: 10.22055/agen.2024.45547.1702

ISSN (P): 2588-526X
ISSN (E): 2588-5944

Effects of Different Moisture and water Salinity Levels on Some Morphological Traits and Yield of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in Field Condition

H. Beyrami[1*], H. Parvizi[1], A. Parnian[1] and H. Hatami[1]

1. Assistant professor, National Salinity Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran

Received: 13 December2023 Accepted: 4 March 2024 *Corresponding Author: beyrami.h@hotmail.com

Abstract

Introduction: Soil and water salinization is a worldwide problem in agriculture, especially in irrigated areas, causing decrease in crop yield and the continuous loss of arable fields. Halophytes are the natural genetic source of salt tolerance traits and can be used for revegetation and remediation of salt-affected lands, and also as an alternative crop or biofuel. Due to the limited quality of water resources in the country and considering that the major regions of Iran's area are considered to be arid and semi-arid, it is important to cultivate plants with high tolerance to environmental stresses such as drought and salinity. The quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) plant is important because of its ability to be cultivated in saline areas and irrigated with saline water. According to previous research, quinoa is an optional halophyte, and its irrigation is possible up to sea level salinity. Quinoa is one of the plants that has outstanding economic and agronomic advantages among the crops; it is particularly important in terms of forage production. There is no reliable and accurate information about the amount of water consumption by this plant in Iran. Considering the climatic characteristics and water shortages in the country, as well as the development plan for the cultivation. This plant due to its high nutritional value, attention to its water requirement becomes more important. The importance of precise irrigation design and planning is needed in order to improve the performance of irrigation water usage in this region. The effects of different levels of moisture and salinity on the yield, some morphological traits, and some yield components of the quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)

Materials and Methods: This research was conducted was aimed in field conditions during two growing seasons (2020-2022) in Yazd, Iran. The experiments were carried out in a factorial experiment in a randomized complete block design, which included two irrigation water salinity levels of 5 and 12 dS/m and four irrigation levels of 60, 80, 100, and 120% to provide the amount of allowable moisture depletion (MAD equal to 50%) in the root zone, in three replications. Experimental plots were designed with dimensions of 5×7 meters. Applying the amount of irrigation was done according to the determination of the field capacity levels and the permanent wilting point moisture measured (using a pressure plate device) before the start of the experiments. The amount of soil moisture in each of the plots was measured at the root zone, and based on the treatments, the amount of water required was calculated, and irrigation was applied. Irrigation was carried out in the form of flooding, and the volume of irrigation water for each treatment was controlled by the volume contour and applied separately at each interval. At the end of the experiment, quinoa was harvested in a one-square-meter grid, and then plant height,

© 2024 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

panicle length and width, and stem diameter were measured. After the plant's air drying, the weight of the seeds and the weight of the whole shoot were measured in different treatments.
Results and Discussion: The results showed that the different levels of salinity and soil moisture cause significant changes in biomass yield, seed yield, and harvest index. Also, the results indicated that changes in salinity levels and moisture levels caused significant differences in plant height, stem diameter and panicle length, panicle width, and 1000-seed weight ($P<0.01$), but their interaction was not significant. For two levels of salinity, the maximum biomass (9.28 tons/ha) was observed by supplying 100% of the depleted soil moisture based on MAD = 50%. According to the yield-water use function, the maximum seed yield for 5 and 12 dS/m irrigation water salinity was observed in treatments that supplied 115% and more than 120% of depleted soil moisture based on MAD = 50%, respectively. With the increase in salinity stress from 5 to 12 dS/m, biomass weight decreased by 23% and seed yield decreased by 17%. Based on the results, the average volume of applied water in fall cultivated quinoa under the 5 dS/m irrigation water salinity was 4900 m3/ha during the growth season (90 days).
Conclusion: In the autumn planting of the Titicaca variety of quinoa, with a planting period of about 90 days in arid and semi-arid regions like Yazd (Iran), water consumption is about 450 to 550 mm. But in conditions of moisture deficiency, it is possible to grow this plant. Because it has a lower yield reduction slope than other plants under drought and salt stress conditions. Furthermore, the results indicated that the salinity of the soil profile increased in deficit irrigation conditions (60% and 80% of depleted soil moisture based on MAD = 50%) due to the lack of leaching requirements.

Key words: Soil moisture deficit, maximum allowable depletion, salinity stress, yield

مهندسی زراعی (مجله علمی کشاورزی) جلد ۴۷ شماره۱، بهار ۱۴۰۳

مقاله پژوهشی

اثر سطوح مختلف رطوبتی و شوری بر برخی صفات مورفولوژیک و عملکرد کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) در شرایط مزرعه‌ای

حسین بیرامی[1*]، حسین پرویزی[1]، امیر پرنیان[1] و حدیث حاتمی[1]

۱- استادیار، مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران

تاریخچه مقاله

دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۲۲

پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۱۲/۱۴

کلمات کلیدی:

تنش شوری،

حداکثر تخلیه مجاز،

عملکرد،

کمبود رطوبت

* عهده‌دار مکاتبات

Email: beyrami.h@hotmail.com

چکیده

گیاه کینوا به دلیل قابلیت کشت در نواحی شور و آبیاری با آب‌های شور دارای اهمیت می باشد. تحقیق حاضر به منظور تعیین آب مصرفی کینوا (رقم تیتیکاکا) در کشت پاییزه و در شرایط کاربرد تنش خشکی و شوری طی دو سال زراعی (۱۴۰۱-۱۳۹۹) انجام شد. آزمایشات به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی شامل دو سطح شوری آب آبیاری ۵ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر و چهار سطح آبیاری ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد تأمین مقدار تخلیه مجاز رطوبتی از عمق ریشه بود که هر کدام در سه تکرار انجام گردید. نتایج نشان داد تغییرات سطوح شوری و سطوح رطوبتی موجب اختلاف معنی‌دار در صفات ارتفاع بوته، قطر ساقه و طول پانیکول، عرض پانیکول، وزن هزار دانه، عملکرد زیست‌توده، عملکرد دانه و شاخص برداشت (P<۰/۰۱) شده است، اما اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار نبود. برای هر دو سطح شوری، بیشترین وزن زیست توده در سطح رطوبتی تأمین ۱۰۰ درصد تخلیه مجاز رطوبتی مشاهده شد. بر اساس توابع عملکرد در برابر آب مصرفی، بیشترین عملکرد دانه در سطوح شوری ۵ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر به ترتیب در سطوح رطوبتی تأمین حدود ۱۱۵ درصد و بالاتر از ۱۲۰ درصد تخلیه مجاز رطوبتی مشاهده شد. بر اساس نتایج، میزان آب مصرفی منجر به حداکثر عملکرد در گیاه کینوا رقم تیتیکاکا در شرایط کاربرد آب آبیاری ۵ دسی‌زیمنس بر متر، در کشت پاییزه و برای یک دوره تقریباً ۹۰ روزه برابر ۴۹۰۰ مترمکعب در هکتار بود. همچنین نتایج نشان داد که در تیمارهای کم‌آبیاری (تأمین ۶۰ و ۸۰ درصد مقدار تخلیه بر اساس MAD برابر ٪ ۵۰) به دلیل عدم تأمین آبشویی، شوری در پروفیل خاک افزایش می‌یابد.

مقدمه

تغییر شرایط آب و هوایی و استفاده نامناسب از اراضی کشاورزی طی چند دهه اخیر منجر به توسعه خاک‌هایی تحت تأثیر املاح شده است(۳). در سراسر جهان ، سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO) تخمین زده است که حدود ۱/۲ میلیارد هکتار از اراضی

تحت تأثیر شوری قرار دارد. عدم استفاده بهینه از آب، محدودیت منابع و نیازهای فزآینده‌ی بشری به آب و غذا، ایجاب می‌کند تا محققان با اعمال شیوه‌های مدیریتی، به‌صرفه جویی در مصرف آب و افزایش بهره‌وری آبیاری اقدام کنند. گیاهانی مانند کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) از ویژگی‌های خاصی برای زنده ماندن در برابر تنش شوری و سازگاری با محیط شور در کل مراحل رشد برخوردار هستند (۱ و ۱۶) .کینوا به دلیل ارزش غذایی و تحمل به تنش‌های غیر زیستی و تنوع ژنتیکی گسترده، توجه جهانی را به خود جلب کرده است (۱۳). با توجه به خصوصیات اقلیمی و کمبود آب در کشور و هم‌چنین توسعه کشت این محصول با توجه به ارزش غذایی بالای آن، توجه به نیاز آبی آن اهمیت خاصی پیدا می‌کند. به همین دلیل اهمیت طراحی و برنامه‌ریزی دقیق آبیاری به‌منظور استفاده بهتر از آب آبیاری در این منطقه نیاز می‌باشد. کینوا یک گیاه امیدبخش برای تأمین کالری موردنیاز از طریق کشت در اراضی کم بازده و شور می‌باشد. طبق مستندات موجود، کینوا یک گیاه شورزیست اختیاری است و کشت آن تا شوری سطح دریا امکان‌پذیر است (۱ و ۱۴). به طور کلی، کینوا یکی از گیاهانی است که در بین شورزیست‌ها دارای خصوصیات برجسته اقتصادی و زراعی بوده و علاوه بر تولید روغن و پروتئین، از نظر تولید علوفه نیز حائز اهمیت است (۶). این گیاه به دلیل ارزش غذایی بالا با پروتئین زیاد (حدود ۱۶ درصد) و تعادل مناسب کربوهیدرات، اسیدهای آمینه ضروری، مواد معدنی و اسانس شناخته شده است. علاوه بر این، کینوا دارای یک سیستم بسیار کارآمد برای تنظیم فشار اسمزی برای تنش افزایش ناگهانی کلرید سدیم است (۱۲). کینوا را می‌توان در بسیاری از محیط‌های مبتلابه خشک‌سالی و یا تنش شوری که در حال حاضر دارای بهره‌وری بسیار پایین هستند کشت کرد (۱۵).

الگسیبی و همکاران[1] (۲) اثر دوره‌های مختلف آبیاری (دوبار در هفته، یکبار در هفته و یکبار در دوهفته) را بر روی رشد و عملکرد محصول کینوا در مصر مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنان نشان داد که با افزایش حجم آب مصرفی صفات زراعی مانند شاخص برداشت، تعداد دانه و عملکرد محصول (دانه و علوفه) کاهش یافت. همچنین آنان مقدار ضرایب گیاهی کینوا در ابتدا، میانه و انتهای فصل رشد را به ترتیب ۰/۵، ۱ و ۰/۲۵ برآورد نمودند. یازار و همکاران[2] (۲۳) به بررسی مزرعه‌ای پاسخ محصول کینوا به آبیاری با آب غیر شور و شور در شرایط آب و هوایی مدیترانه‌ای از ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۲ در آدانا ترکیه پرداختند. تیمارهای آبیاری شامل آبیاری کامل با آب غیر شور و آبیاری کامل با آب شور با شوری‌های متفاوت (۴۰، ۳۰، ۲۰ و ۱۰ دسی زیمنس بر متر)، کم آبیاری با آب غیر شور (۵۰٪، ۷۵٪ و آبیاری کامل) و کم آبیاری با آب شور ۴۰ دسی زیمنس بر متر بود. نتایج آنان نشان‌دهنده کاهش جزئی محصول دانه در آبیاری با آب شور تا سطح ۳۰ دسی زیمنس بر متر در مقایسه با آب غیرشور بود.

جمالی و همکاران (۱۸) در تحقیق خود چهار سطح آبیاری ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد نیاز آبی کینوا (به‌ترتیب T1، T2، T3 و T4) را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنان نشان داد که بیشترین و کمترین میزان از شاخص تنش آبی محصول[3] (CWSI) به‌ترتیب در تیمارهای T4 (با ۰/۷۲) T1 (با ۰/۰۵) مشاهده شد. مقادیر متوسط CWSI در تیمارهای مختلف T1، T2، T3 و T4 در روز قبل از آبیاری، به ترتیب برابر با ۰/۰۵، ۰/۱۹، ۰/۴۸ و ۰/۷۲ بود. کاهش میزان آبیاری از ۱۰۰ به ۷۵ درصد نیاز آبی منجر به افزایش ۳/۸ برابری در شاخص CWSI شد. نتیجه تحقیقات مصطفائی و همکاران (۲۱) نشان دادکه اجزای عملکرد در مواجهه با شرایط کم‌آبیاری، به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، نتایج سطوح آبیاری و تراکم نشان داد که

1- Algosaibi *et al.*
2- Yazar *et al.*
3- Crop Water Stress Index

بالاترین عملکرد در ۱۰۰ درصد نیاز آبی و تراکم ۱۰۰ بوته به میزان ۴۲۶۸/۵۲ کیلوگرم در هکتارحاصل شد و سطح بهینه تراکم در سطح آبیاری ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی، به‌ترتیب ۱۱۳، ۱۰۵ و ۸۰ بوته در متر مربع بود. مسکینی ویشکایی و همکاران[1] (۲۰) بیان نمودند که بیشترین عملکرد دانه کینوا در تیمار آبیاری کامل (۳۷۰۰ کیلوگرم در هکتار) با نیاز آبی ۳۱۲ میلی‌متر بود. همچنین آنان گزارش نمودند، با وجود اینکه کینوا گیاهی متحمل به خشکی است اما باید توجه کرد که اعمال تنش کم‌آبی در دو مرحله اولیه و میانی (مراحل حساس به تنش کم‌آبی گیاه کینوا)، موجب کاهش معنی‌دار عملکرد کینوا خواهد شد. با توجه به خصوصیات اقلیمی و کمبود آب در کشور و هم چنین توسعه کشت این محصول با توجه به ارزش غذایی بالای آن، توجه به نیاز آبی آن اهمیت خاصی پیدا می‌کند. به همین دلیل اهمیت تعیین اثر تنش شوری و خشکی بر عملکرد کینوا با توجه به گسترش کشت این گیاه در کشور با اهمیت می باشد. تحقیق حاضر با هدف تعیین اثر تنش شوری و خشکی بر عملکرد و برخی صفات مورفولوژیک کینوا در منطقه مرکزی ایران انجام یافت.

موارد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه تحقیقات شوری صدوق واقع در شهرستان اشکذر استان یزد با مختصات جغرافیایی "۱۰ ′۰۳ °۳۲ شمالی و "۱۳ ′۱۴ °۵۴ شرقی انجام شد. منطقه از نظر اقلیمی بر اساس روش دومارتن اصلاح شده، دارای اقلیم فرا خشک سرد می‌باشد. میانگین بارندگی سالانه ۶۹ میلی‌متر، میانگین پتانسیل تبخیر سالانه ۳۰۹۰ میلی‌متر، میانگین دمای سالانه ۲۰ درجه سانتی گراد و بیشینه و کمینه مطلق دمای سالانه به ترتیب ۴۴ و ۶/۵- درجه سانتی گراد اندازه‌گیری شده است.

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با دو سطح شوری ۵ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر آب آبیاری و چهار سطح متفاوت نیاز آبیاری ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد از مقدار مجاز تخلیه رطوبت خاک تا MAD[2]=50% و در سه تکرار و به صورت کشت پاییزه طی دو سال زراعی (۱۴۰۱-۱۳۹۹) انجام گردید. خصوصیات فیزیکی (مانند بافت، رطوبت رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای و رطوبت نقطه پژمردگی دائم) و شیمیایی (مانند هدایت الکتریکی، واکنش خاک و غلظت عناصر ماکرو) به روش‌های متداول آزمایشگاهی در خاک مورد نظر اندازه‌گیری گردید. نتایج در جدول ۱ ارائه شده است. تیمارهای آبیاری با توجه به کسری رطوبت خاک پیش از آبیاری (اندازه‌گیری شده با دستگاه تتاپروب مدل ML2) در عمق ریشه که با توجه به رشد ریشه گیاه از عمق صفر الی ۳۰ سانتی‌متری در ابتدای کشت تا حدود ۵۰ سانتی‌متری در انتهای فصل رشد تعیین گردید.

اعمال مقدار آبیاری با توجه به تعیین سطوح رطوبتی ظرفیت مزرعه‌ای و نقطه‌پژمردگی دائم (با استفاده از دستگاه صفحات فشاری) اندازه‌گیری شده پیش از شروع آزمایشات انجام گردید. بدین ترتیب که با توجه به داشتن این اطلاعات، در روز آبیاری میزان رطوبت خاک در هر یک از کرت‌ها در عمق ریشه با استفاده از دستگاه تتاپروب اندازه‌گیری شده و با توجه به رطوبت میانگین لایه خاک، میزان آب آبیاری محاسبه و اعمال گردید. کرت‌های آزمایشی با ابعاد طول ۷ متر و عرض ۵ متر به‌طوری‌که بین هر یک از کرت‌ها یک متر فاصله باشد، طراحی شد. شروع کشت در سال اول، روز دوم شهریور ۱۳۹۹ و برداشت آخر آبان این سال بود، کشت سال دوم در دوم شهریور ۱۴۰۱ و تاریخ برداشت آخر آبان ۱۴۰۱ بود. کشت به‌صورت بذری و فاصله خطوط کشت از هم ۳۰ سانتی‌متر بود و برای سهولت کنترل و دقت در اعمال میزان آب مورد نیاز، آبیاری‌ها از طریق لوله‌گذاری و نصب کنتور حجمی انجام شد.

همچنین خصوصیات شیمیایی آب استفاده شده برای آبیاری در این پژوهش در جدول ۲ آورده شده است. هدایت الکتریکی مورد نیاز آب با استفاده از سیستم اختلاط آب در مزرعه تحقیقات شوری صدوق تأمین گردید. با استفاده از

1- Meskini-Vishkaee *et al.*

2- Maximum allowable depletion

سیستم موجود آب با هدایت الکتریکی پایین (۲ dS/m) با آب با هدایت الکتریکی بالا (حدود ۲۰ dS/m) در نسبت‌های مختلف اختلاط یافته و هدایت الکتریکی مورد نظر (۵ یا ۱۲ دسی زیمنس بر متر) تهیه گردید.

مقدار کل آب قابل‌دسترس (TAW[1]) با استفاده از اختلاف بین رطوبت نقطه ظرفیت مزرعه‌ای (FC) و رطوبت در نقطه پژمردگی دائم (PWP) و با درنظر گرفتن عمق خاک ناحیه توسعه ریشه محاسبه شد (معادله ۱).

$$TAW = Z_r(\theta_{FC} - \theta_{PWP}) \qquad \text{(معادله ۱)}$$

که در این معادله TAW عمق کل آب در دسترس (cm)، θ_{FC} رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای ه‌ای (سانتی‌متر مکعب آب در سانتی‌متر مکعب خاک)، θ_{PWP} رطوبت نقطه پژمردگی دائم ه‌ای (سانتی‌متر مکعب آب در سانتی‌متر مکعب خاک)، و Z_r عمق ناحیه ریشه (سانتی‌متر) می‌باشد. Z_r با توجه به توسعه ریشه گیاه در طول فصل متغیر می‌باشد.

آبیاری به شکل غرقابی انجام و حجم آب محاسبه شده برای هر تیمار، از طریق کنتور حجمی کنترل و به تفکیک اعمال شد. میزان عناصر غذایی مورد نیاز گیاه بر اساس آزمون خاک و علائم کمبود به‌خصوص از نظر نیتروژن (۱۵۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار در سه مرحله قبل از کشت، غنچه‌دهی و گل‌دهی، هر مرحله ۵۰ کیلوگرم در هکتار) و پتاسیم (۱۰۰ کیلوگرم کود سولفات پتاسیم در هکتار قبل از کشت) به‌صورت کودی به خاک اضافه شد. زمان قطع آبیاری در انتهای فصل هم‌زمان با شروع تغییر رنگ گیاه بود. در انتهای فصل رشد، مجموع حجم آب مصرفی در هر تیمار محاسبه گردید. همچنین میانگین ماهانه برخی پارامترهای هواشناسی در جدول ۳ آورده شده است. لازم به ذکر است که به دلیل عدم وقوع بارش قابل توجه در طول فصل رشد، سهم بارندگی در تامین آب مصرفی برابر با صفر بود. در انتهای آزمایش، برداشت کینوا به‌صورت دستی در شبکه‌های یک در یک متر انجام و ارتفاع گیاه، طول و عرض پانیکول، و قطر ساقه اندازه‌گیری و پس از خشک شدن، عملکرد دانه، وزن کل اندام هوایی و شاخص برداشت در تیمارهای متفاوت اندازه‌گیری شد. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار ایکسل ۲۰۱۳ Excel و برای آنالیز داده‌ها از نرم‌افزارهای SPSS 16.0 و SAS استفاده گردید و میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن مقایسه شدند.

1- Total Available Water

جدول (۱) برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه در زمان شروع آزمایش

Table (1) Some physical and chemical properties of the studied soil at the beginning of the experiment

مقدار value	واحد Unit	ویژگی properties
61.4	%	شن Sand
19.6	%	سیلت Silt
19	%	رس Clay
لوم شنی Sandy loam	-	کلاس بافت خاک Soil texture class
14.16	dS m^{-1}	EC_e
7.60	-	pH
0.32	%	کربن آلی Organic carbon
0.03	%	ازت کل Total nitrogen
117.9	mg kg^{-1}	پتاسیم Potassium
17.6	mg kg^{-1}	فسفر Phosphorus
31	% (vol.)	رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای Field capacity moisture
9	% (vol.)	رطوبت نقطه پژمردگی دائم Permanent wilting point moisture

جدول (۲) خصوصیات شیمیایی آب آبیاری تیمارهای آزمایش

Table (2) Some chemical properties of irrigation water of experimental treatments

تیمار ۲	تیمار ۱	واحد	ویژگی
T2	T1	Unit	Properties
12.00	5.00	dS m^{-1}	EC
8.34	8.29	-	pH
11.35	4.85	meq l^{-1}	Ca^{2+}
24.77	10.59	meq l^{-1}	Mg^{2+}
1.03	0.43	meq l^{-1}	CO_3^{2-}
2.98	1.28	meq l^{-1}	HCO_3^-
102.43	43.78	meq l^{-1}	Na^+
0.76	0.33	meq l^{-1}	K^+
122.52	52.39	meq l^{-1}	Cl^-
12.77	5.41	meq l^{-1}	SO_4^{2-}
24.10	15.76	$(meq\ l^{-1})^{0.5}$	SAR

جدول (۳) میانگین ماهانه برخی پارامترهای هواشناسی اندازه گیری شده در ایستگاه هواشناسی سینوپتیک منطقه مورد مطالعه در طول فصل رشد

Table (3) Monthly average of some meteorological parameters measured at the synoptic meteorological station of the study area during the growing season

ماه از سال	دما Temperature (°C)			رطوبت نسبی Relative humidity (%)		بارندگی Precipitation (mm)
	متوسط بیشینه Average maximum	میانگین Mean	متوسط کمینه Average minimum	متوسط بیشینه Average maximum	متوسط کمینه Average minimum	
شهریور ۹۹ Aug-Sep 2020	33.7	27.8	19.9	26.1	12.2	0.0
مهر ۹۹ Sep-Oct 2020	27.6	21.4	13.6	27.3	12.1	0.0
آبان ۹۹ Oct- Nov 2020	22.1	15.6	8.9	45.0	22.0	0.0
شهریور ۱۴۰۱ Aug- Sep 22	31.3	26.3	19.8	19.7	8.6	0.0
مهر ۱۴۰۱ Sep-Oct 2022	28.0	23.0	17.0	22.0	9.8	0.0
آبان ۱۴۰۱ Oct-Nov 2022	19.1	15.2	10.2	56.8	29.8	12

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف شوری آب آبیاری و سطوح رطوبتی نشان داد که اثر سال بر تمامی‌صفات اندازه‌گیری شده معنی‌دار نبود (جدول ۴). تغییرات سطوح شوری و سطوح رطوبتی موجب اختلاف معنی‌دار در صفات ارتفاع بوته، قطر ساقه و طول پانیکول، عرض پانیکول، وزن هزار دانه ($P<۰/۰۱$) شده است، اما اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۴). در تحقیقی با هدف بررسی اثر دوره‌های مختلف آبیاری بر تغییرات رشد و عملکرد محصول کینوا در مصر، تغییر معنی‌دار عملکرد و اجزا عملکرد گیاه کینوا را در اثر تغییرات حجم و دور آب مصرفی گزارش شده است (۲). همچنین در تحقیق دیگری نیز گزارش شد که کاهش مقدار آب آبیاری و افزایش شوری سبب تغییر معنی‌دار عملکرد و اجزا عملکرد گیاه کینوا می‌شود (۱۷).

بررسی اثر تغییرات سطوح شوری بر عملکرد زیست‌توده و عملکرد بذر و شاخص برداشت نشان می‌دهد که تغییرات سطوح شوری موجب تغییر معنی‌دار عملکرد زیست‌توده و عملکرد دانه ($P<۰/۰۱$) و شاخص برداشت ($P<۰/۰۵$) شده است (جدول ۴). همچنین تغییرات سطوح رطوبتی تغییر معنی‌دار در عملکرد زیست‌توده و عملکرد دانه ($P<۰/۰۱$) ایجاد کرده اما بر مقدار شاخص برداشت اثر معنی‌دار نداشته است. اثر متقابل سطوح شوری و سطوح رطوبتی روی وزن زیست توده در سطح یک درصد و در روی عملکرد دانه در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود، اما بر روی شاخص برداشت تأثیر معنی‌دار نداشت.

نتایج مقایسه میانگین اثر سطوح رطوبتی مختلف بر برخی صفات مورفولوژیک و اجزاء عملکرد کینوا در شکل ۱ نشان داده شده است. در این شکل مشاهده می‌شود که تغییرات سطوح رطوبتی از ۱۲۰ تا ۶۰ درصد مقدار مجاز تخلیه رطوبتی موجب کاهش معنی‌دار تمامی صفات موفولوژیک و اجزای عملکردی مطالعه شده، گردید، اما بین دو تیمار تأمین ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد تخلیه مجاز رطوبتی در تمامی صفات به غیر از وزن

هزاردانه اختلاف معنی‌دار دیده نمی‌شود (شکل ۱). همچنین سزن و همکاران[1] در تحقیقی در کشور ترکیه کاهش وزن هزار دانه در اثر کم‌آبیاری و افزایش فواصل آبیاری را گزارش نمودند (۲۲).

در بین سطوح رطوبتی مختلف بیشترین وزن زیست‌توده در سطح رطوبتی تأمین ۱۲۰ درصد و ۱۰۰ درصد تخلیه مجاز رطوبتی دیده شد (به ترتیب ۸/۹۴ و ۹/۲۸ تن در هکتار). در مورد عملکرد دانه بیشترین مقدار عملکرد در تیمار ۱۲۰ درصد تأمین رطوبت تخلیه مجاز مشاهده شد، که دلیل آن می‌تواند آبشویی مناسب و کنترل شوری در این تیمار باشد. با کاهش سطح رطوبتی شروع آبیاری از ۱۲۰ به ۶۰ درصد تأمین تخلیه مجاز رطوبتی میزان وزن زیست‌توده کاهش ۱۴ درصدی و عملکرد دانه کاهش ۲۱ درصدی داشت (شکل ۲).

نتایج مقایسه میانگین اثر سطوح شوری مختلف صفات اندازه‌گیری شده کینوا نشان می‌دهد که تغییرات سطوح رطوبتی از ۱۲۰ تا ۶۰ درصد مقدار مجاز تخلیه رطوبتی موجب کاهش معنی‌دار تمامی صفات مورفولوژیک مورد بررسی به غیر از ارتفاع بوته شده است (شکل ۳). همچنین در بین سطوح شوری مختلف بیشترین میانگین وزن زیست‌توده در سطح شوری ۵ دسی زیمنس‌بر متر با مقدار ۹/۶۹ تن در هکتار مشاهده شد. بیشترین عملکرد دانه نیز در تیمار ۱۲۰ درصد تأمین رطوبت تخلیه مجاز با مقدار۳/۱۵ تن در هکتار مشاهده شد. با افزایش تنش شوری از ۵ به ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر مقدار وزن زیست‌توده کاهش ۲۳ درصدی و عملکرد دانه کاهش ۱۷ درصدی داشت (شکل ۴).

نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش شوری و کاهش حجم آب آبیاری، وزن زیست‌توده و عملکرد دانه به‌طور معنی‌دار تحت تأثیر قرار می‌گیرند. محققان گزارش نمودند که افزایش در رشد رویشی و عملکرد زیست توده کینوا تا دور آبیاری ۱۰ روز مشاهده گردید، اما در فواصل آبیاری طولانی‌تر یا به عبارتی تنش شوری موجب کاهش وزن زیست‌توده و عملکرد گیاه شد (۲). البته در برخی تحقیقات کاهش وزن زیست‌توده در دورهای آبیاری نزدیک‌تر یا فواصل آبیاری کوتاه‌تر مشاهده شده که ناشی از شستشوی عناصر غذایی و در نتیجه کاهش رشد رویشی بود (۵ و ۲۱). در تحقیق دیگری نیز بیان شد که تنش آبی در تیمارهای کم‌آبیاری، عملکرد زیست‌توده گیاه را به میزان قابل‌توجهی کاهش می‌دهد. این را می‌توان با این بدین‌صورت توضیح داد که شوری و تنش خشکی در کنار یکدیگر باعث افزایش مقاومت روزنه می‌شوند (۲۱). محققان دیگری نیز در تحقیقات خود بیان نمودند که مکانیسم‌های متفاوتی از مقاومت به خشکی شامل فرار از خشکی، تحمل و اجتناب از خشکی در گیاه کینوا وجود دارد (۱۴ و ۱۹).

همچنین گزارش شده است که نیاز آبی کینوا پایین بوده و این گیاه می‌تواند در شرایط تنش رطوبتی بدون کاهش معنی‌دار در عملکرد رشد نماید (۲). با این وجود محققان دیگر گزارش نمودند که سطح رطوبت خاک نقش مهمی در تعیین زمان و سرعت رشد بذر و کینوا دارد. در این پژوهش، همچنین در تیمارهای با تأمین مقدار کمتری از تخلیه مجاز رطوبتی تنش خشکی موجب شده که مقدار عملکرد و برخی از صفات مورفولوژیک تا حدی کاهش یابد. همچنین تنش شوری نیز باعث تغییر معنی‌دار در عملکرد دانه و زیست‌توده و سایر صفات عملکردی شده است (۹). در تحقیقاتی محققان دیگر کاهش وزن هزار دانه در اثر کم‌آبیاری را گزارش نمودند و بیان کردند که تیمار آبیاری کامل بیشترین وزن هزار دانه را تولید نمود (۴، ۵ و ۲۲).

1- Sezen *et al.*

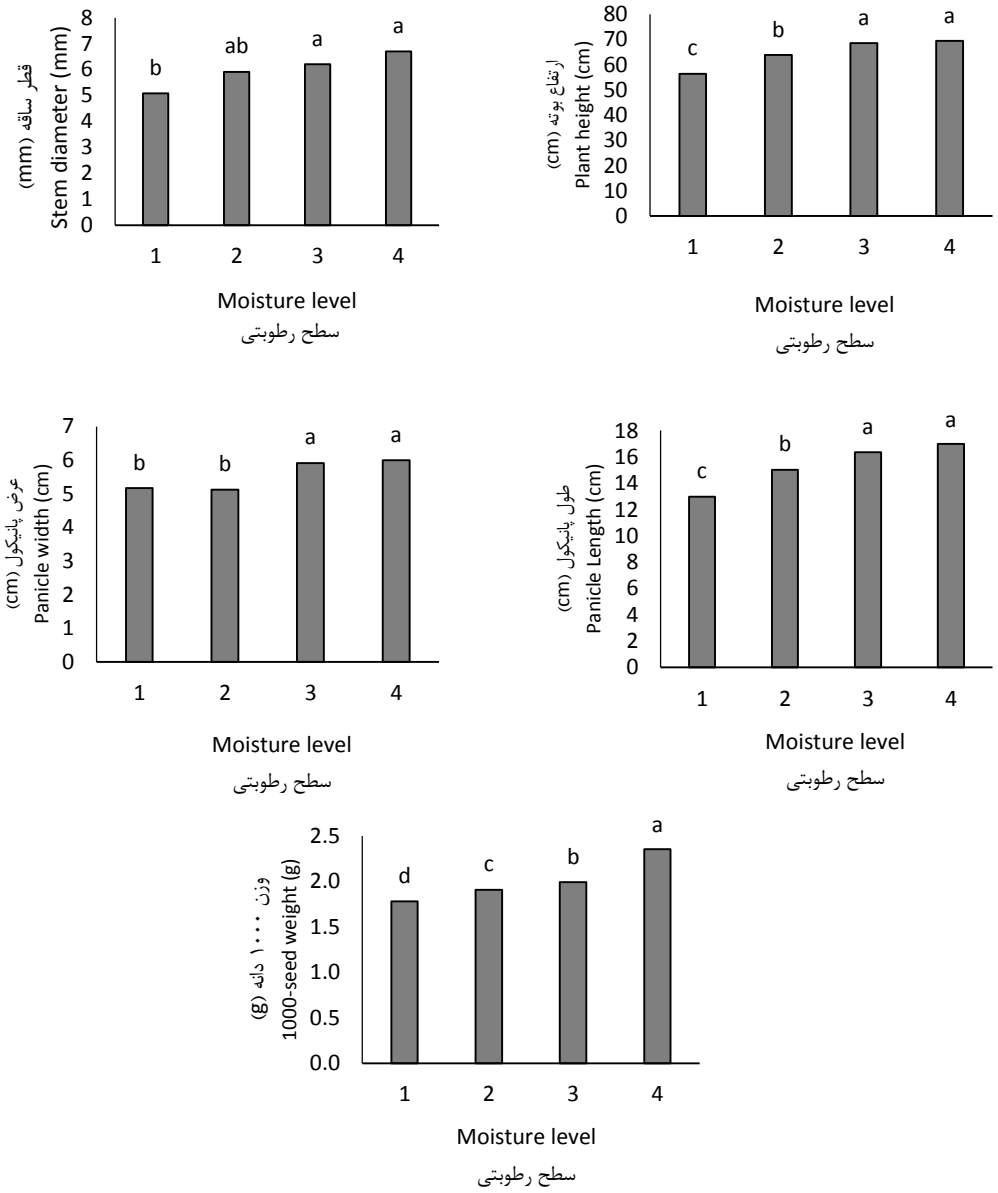
جدول (٤) نتایج تجزیه واریانس اثر شوری و سطوح رطوبتی بر برخی صفات مورفولوژیک کینوا

Table (4) Analysis of variance for effect of salinity and moisture levels on the some morphological of quinoa

منابع تغییرات Source of variation	df	ارتفاع بوته Plant height	قطر ساقه Stem diameter	طول پانیکول Panicle Length	عرض پانیکول Panicle width	وزن هزار دانه 1000-seed weight	زیست‌توده Biological yield	عملکرد دانه Seed yield	شاخص برداشت Harvest index
سال Year	1	6.2 ns	0.75 ns	2.17 ns	0.005 ns	0.04 ns	0.0001 ns	0.01 ns	0.0003 ns
بلوک Block	2	3.56 ns	3.16*	0.63 ns	7.91**	0.01ns	0.24 ns	0.0007 ns	0.0008 ns
شوری Salinity	1	1017.52**	0.08 ns	37.45**	12.50**	20.24**	59.32**	3.16**	0.01*
سطح رطوبتی Moisture Level	3	426.46**	5.56**	37.78**	2.66**	0.72**	5.63**	0.93**	0.002 ns
شوری × سطح رطوبتی Salinity× Moisture Level	3	14.24 ns	0.32 ns	0.59 ns	0.12 ns	0.000003 ns	0.71**	0.02*	0.0007 ns
شوری × سال Salinity× Year	1	0.18 ns	0.02 ns	1.47 ns	0.42 ns	0.0009 ns	0.09 ns	0.0001 ns	0.0002 ns
سطح رطوبتی × سال Moisture Level × Year	3	0.18 ns	0.04 ns	0.07 ns	0.26 ns	0.0001 ns	0.04 ns	0.00003 ns	0.0001 ns
شوری × سطح رطوبتی × سال Salinity× Moisture Level ×Year	3	0.24 ns	0.11 ns	0.08 ns	0.09 ns	0.000002 ns	0.05 ns	0.00002 ns	0.00004 ns
خطا Error	28	7.34	0.79	0.60	2.07	0.01	0.94	0.02	0.003
CV (٪)		4.20	14.92	5.05	11.97	5.03	11.35	5.23	14.74

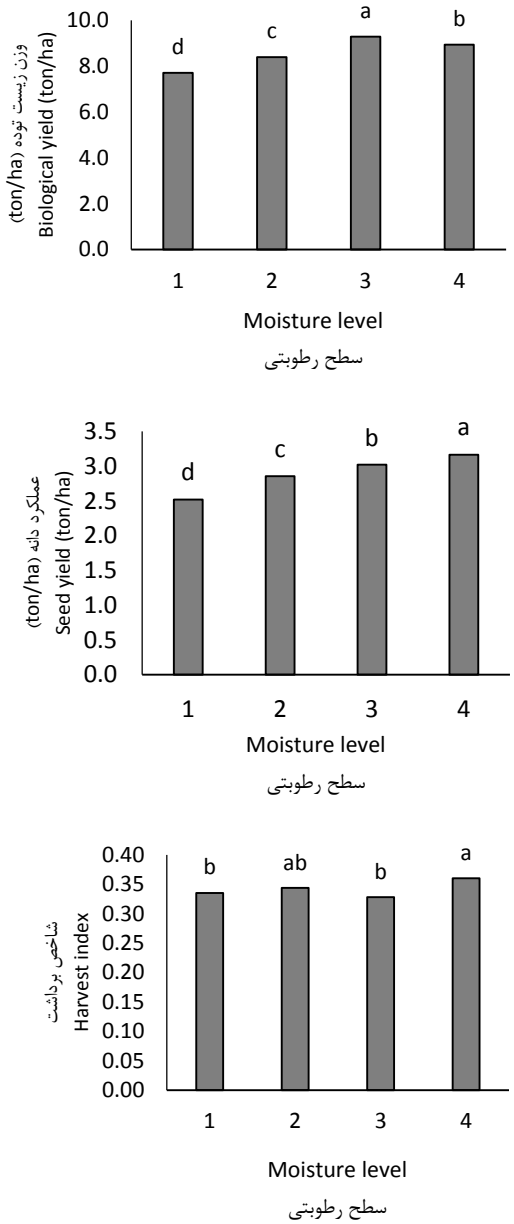
ns: عدم معنی‌داری و *، ** به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱.

ns: no significant, * and ** statistical significance at the levels of $p<0.05$ and $p<0.01$, respectively.



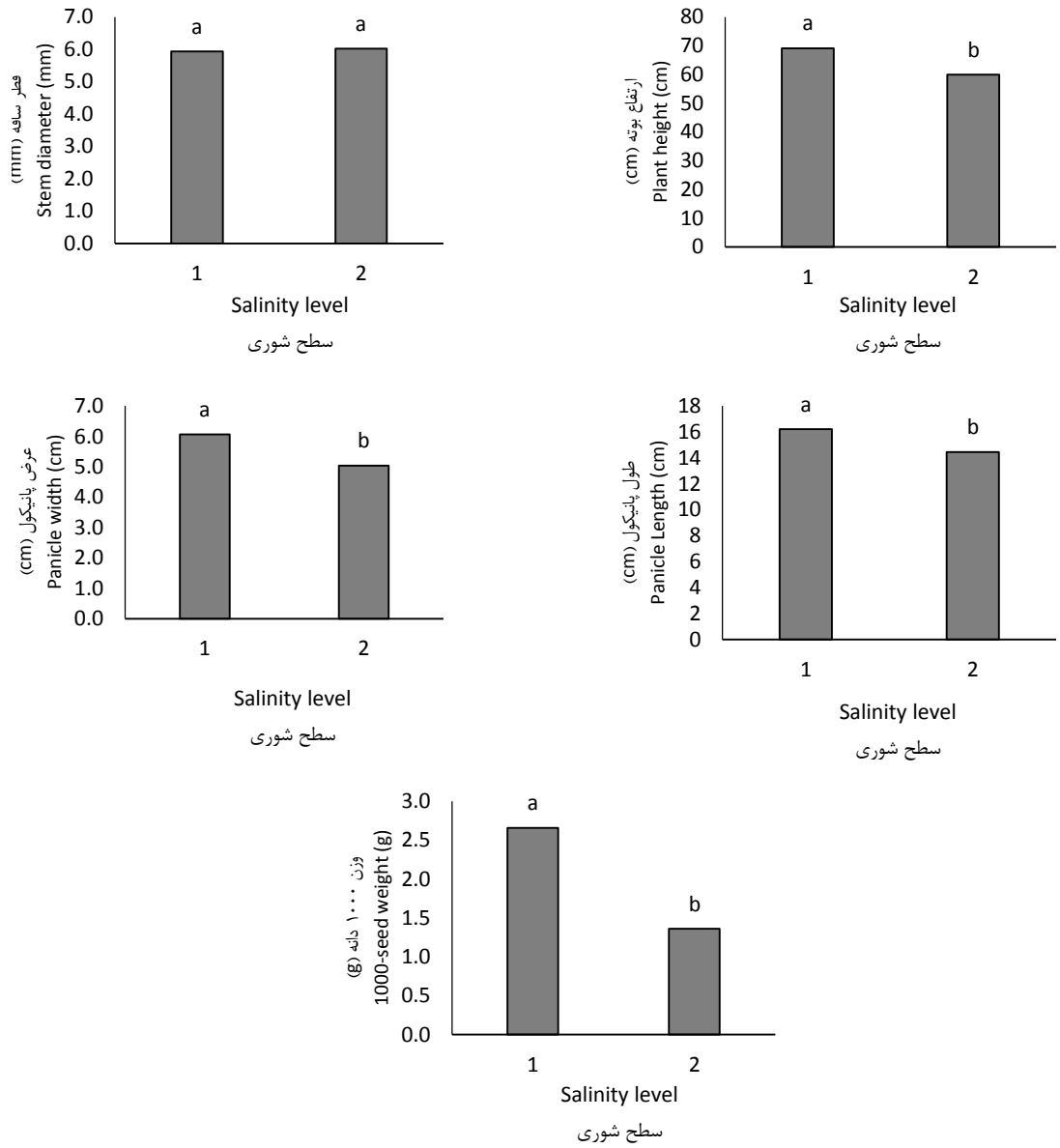
شکل(۱) مقایسه میانگین اثر سطوح رطوبتی بر ارتفاع بوته، قطر ساقه، طول پانیکول، عرض پانیکول و وزن هزار دانه (آزمون دانکن، در سطح احتمال ۵ درصد) (تیمار ۱ تا ٤ به ترتیب ٦٠، ٨٠، ١٠٠ و ١٢٠ درصد تخلیه مجاز رطوبتی می‌باشند)

Figure (1) Effect of different moisture levels on the plant height , stem diameter, panicle length, panicle width, 1000-seed weight of quinoa (Duncan's multiple range test at P < 0.05) (Treatments 1 to 4 are 60, 80, 100 and 120 percent of the allowed moisture discharge, respectively)



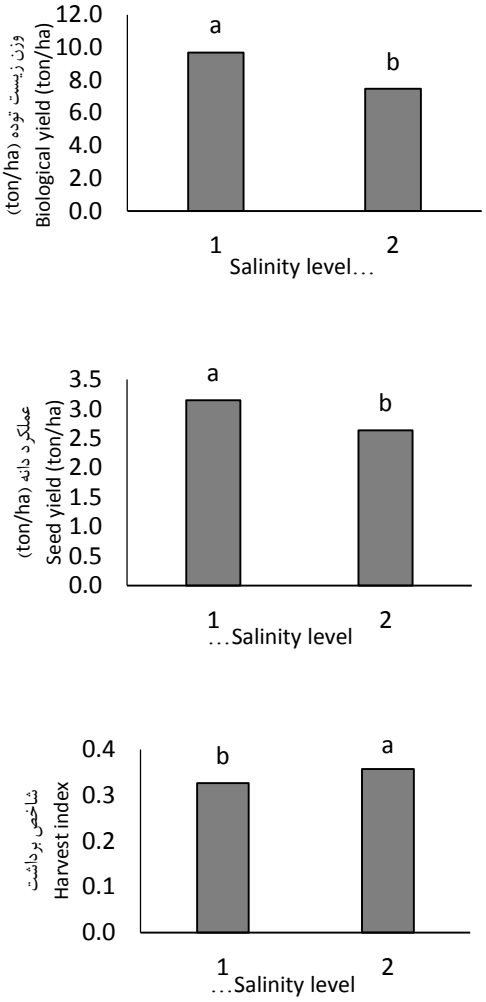
شکل(۲) مقایسه میانگین اثر سطوح رطوبتی بر وزن زیست‌توده، عملکرد بذر و شاخص برداشت کینوا (آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد) (تیمار ۱ تا ٤ به ترتیب ٦٠، ٨٠، ١٠٠ و ١٢٠ درصد تخلیه مجاز رطوبتی می‌باشند)

Figure (2) Effect of different moisture levels on the biological yield, seed yield and harvest index of quinoa (Duncan's multiple range test at P < 0.05) (Treatments 1 to 4 are 60, 80, 100 and 120 percent of the allowed moisture discharge, respectively)



شکل(۳) مقایسه میانگین اثر سطوح شوری بر ارتفاع بوته، قطر ساقه، طول پانیکول، عرض پانیکول و وزن هزار دانه کینوا (آزمون دانکن، در سطح احتمال ۵ درصد) (تیمار ۱ و ۲ به ترتیب شوری آب آبیاری ۵ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر می‌باشند)

Figure (3) Effect of salinity levels on the plant height , stem diameter, panicle length, panicle width, 1000-seed weight of quinoa (Duncan's multiple range test at P < 0.05) (Treatments 1 to 4 are 60, 80, 100 and 120 percent of the allowed moisture discharge, respectively)



شکل(٤) مقایسه میانگین اثر سطوح شوری بر وزن زیست‌توده، عملکرد بذر و شاخص برداشت کینوا (آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد) (تیمار ۱ و ۲ به ترتیب شوری آب آبیاری ۵ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر می‌باشند)

Figure (4) Effect of salinity levels on the Biological yield, Seed yield and harvest index of quinoa (Duncan's multiple range test at P < 0.05) (Treatments 1 to 4 are 60, 80, 100 and 120 percent of the allowed moisture discharge, respectively)

نتایج مطالعات مختلف نشان داده است که این گیاه دارای توانایی تنظیم پتانسیل آب برگ توسط تجمع یون‌های نمکی در بافت‌های خود بوده که گیاه را قادر به حفظ فشار تورژسانس سلولی و کاهش تعرق در شرایط شور می‌سازد (۱۱ و ۱۴)؛ بنابراین با توجه به این‌که گیاه کینوا مکانیسم‌های متفاوتی جهت مقاومت به خشکی دارد (۱۹)، بنابراین کشت کینوا در مناطقی که دچار کمبود آب می‌باشند توصیه می‌شود. همچنین با توجه به اینکه این گیاه دارای توانایی تنظیم پتانسیل آب برگ توسط تجمع یون‌های نمکی در بافت‌های خود بوده که گیاه را قادر به حفظ فشار تورژسانس سلولی و کاهش تعرق در شرایط شور می‌سازد (۱۱ و ۱۴). همچنین نتایج مطالعات نشان داده است که تا سطح شوری متوسط (آبیاری یک در میان) برای گیاه کینوا کند کننده رشد نبوده است و حتی شوری محیط تا حدی باعث بهبود شاخص رشد گردیده است (۷ و ۸).

همچنین نتایج این تحقیق نشان‌دهنده آن بود که با کاهش مقدار آب آبیاری به علت عدم تأمین نیاز آبشویی تجمع املاح در خاک به‌ویژه در لایه‌های پایین‌تر ایجاد می‌گردد. محققان بیان نمودند که تجمع املاح در پروفایل خاک معمولاً در

خاک‌هایی که از منابع آب شور، آبیاری می‌شوند، ایجاد می‌گردد. نیاز است که این تجمع نمک با استفاده از آبشویی از منطقه ریشه به لایه‌های عمیق‌تر خاک انتقال یابد (۲۳).

نتایج این تحقیق نشان داد که آب مصرفی برآورد شده برای کینوا در طول فصل در شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر آب آبیاری از ۲۸۳۲ تا ۵۴۷۲ متر مکعب در هکتار (۲۸۳ تا ۵۴۷ میلی‌متر) و در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر آب آبیاری از ۲۴۹۹ تا ۴۸۲۲ مترمکعب در هکتار (۲۵۰ تا ۴۸۲ میلی‌متر) تغییر بود. گارسیا و همکاران[1] نیز در تحقیقات گزارش شده است که کل آب مصرف محاسبه شده از بیلان آب خاک را ۴۵۰ میلی‌متر در هر فصل گزارش کردند و بیان نمودند که کمی این مقدار کمتر از ۵۰۰-۶۵۰ میلی‌متر در فصل است که برای غلاتی مانند جو محاسبه شده است (۱۰).

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی از این پژوهش می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که تغییرات سطوح مختلف رطوبتی و شوری موجب اختلاف معنی‌دار در برخی صفات مانند ارتفاع بوته و عملکرد دانه و زیست‌توده می‌شود. با توجه به مقایسه میانگین‌های انجام یافته در عملکرد دانه و زیست‌توده، مناسب‌ترین مدیریت آبیاری برای این گیاه به‌گونه‌ای که با تنش خشکی مواجه نشود، آبیاری بر اساس تأمین تخلیه مجاز مدیریتی ۱۲۰ تا ۱۰۰ درصد می‌باشد تا تجمع املاح کمتری نیز در خاک رخ دهد. همچنین، کاشت گیاه کینوا در فصل پاییز رقم تیتیکاکا با طول دوره کاشت حدوداً ۹۰ روزه در اقلیم گرم و خشکی مانند یزد، نیاز آبیاری برآورد شده بطور میانگین ۴۹۰ میلی‌متر (حدود ۴۵۰ تا ۵۵۰ میلی‌متر) می‌باشد. اما در شرایط کمبود رطوبت، امکان کشت این گیاه وجود دارد، زیرا با توجه به مقاومت این گیاه به شرایط محیطی نامناسب، شیب کاهش عملکرد پایین‌تری نسبت به گیاهان زارعی دیگر در شرایط تنش خشکی و شوری دارد. بر اساس نتایج، افزایش شوری آب آبیاری از ۵ به ۱۲ دسی زیمنس بر متر، موجب کاهش معنی‌دار عملکرد دانه و وزن زیست توده گردید. در بررسی سطوح رطوبتی بیشترین وزن زیست توده تولید شده در سطح رطوبتی ۱۰۰ تأمین مقدار تخلیه مجاز رطوبتی در هر دو سطح شوری آب آبیاری مشاهده شد، ولی بیشترین عملکرد دانه در سطح شوری ۵ دسی زیمنس بر متر در سطح رطوبتی حدود ۱۱۵ درصد تأمین مقدار تخلیه مجاز رطوبتی و در شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر در سطح رطوبتی ۱۲۰ درصد تأمین تخلیه مجاز رطوبتی مشاهده شد.

1- Garcia et *al.*

References

1. Adolf V.I., Jacobsen S.E., and Shabala S. 2013. Salt tolerance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Environmental and Experimental Botany, 92: 43–54.

2. Algosaibi A.M., Badran, A.E., Almadini, A.M. and El-Garawany M.M. 2017. The Effect of irrigation intervals on the growth and yield of quinoa crop and its components. Journal of Agricultural Science, 9(9): 182-191.

3. Beyrami H., Rahimian M.H., and Dehghany F. 2020. Estimation of Water Requirement and Crop Coefficients of Two Salicornia Species in Yazd. Journal of Water Research in Agriculture (Soil and Water Sci.), 34(3): 401-415. (In Persian with English abstract)

4. Beyrami H., Rahimian M.H., Salehi M., and Yazdani-Biouki R. 2020. Effect of different levels of irrigation water salinity on quinoa (*Chenopodium quinoa*) yield and yield components in spring planting. Journal of Crop Production, 12(4): 111-120. (In Persian with English abstract)

5. Beyrami, H., Rahimian, M.H., Salehi, M., Yazdani Biouki, R., Shiran-Tafti, M., and Nikkhah, M., 2020. Effect of irrigation frequency on yield and yield components of quinoa (*Chenopodium quinoa*) under saline condition. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 30: 447-357. (In Persian with English abstract)

6. Bhargava A., Shukla S., Rajan S., and Ohri D. 2007. Genetic diversity for morphological and quality traits in quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) germplasm. Genetic Resources and Crop Evolution, 54:167-173.

7. Papan, p., Moezzi, A., Chorom, M., and Rahnema, A. 2020. The Effect of Nitrogen Fertilizer on Some Growth Traits and Yield of Quinoa (Chenopodium quinoa Willd) Irrigated with Sugar-cane Fields Drainage Water. Iran Water and Soil Research, 51(6): 1441-1455. (In Persian with English abstract)

8. Papan, p., Moezzi, A., Chorom, M., and Rahnema, A. 2022. Biochemical and physiological response of quinoa to application of different levels of nitrogen and salinity of irrigation water. Enviromental Stresses Crop Science. 15(2): 501-515. (In Persian with English abstract)

9. Gallardo, M. G., and Gonzalez, J. A. 1992. Efecto de algunos factor esambiental essobre la germinación de Chenopodium quinoa W. y susposibilidades de cultivoenalgunas zonas de la Provincia de Tucumán (Argentina). LILLOA, XXXVIII, 55-64.

10. Garcia, M., Raes, D., and Jacobsen, S.E. 2003. Evapotranspiration analysis and irrigation requirements of quinoa (Chenopodium quinoa) in the Bolivian highlands. Agricultural Water Management, 60: 119–134.

11. Go´mez-Pando, L. R., lvarez-Castro, R. and Eguiluz-de Ia Barra, A. 2010. Effect of salt stress on Peruvian germplasm of Chenopodium quinoa Willd.: a promising crop. Journal of Agronomy and Crop Science. 196: 391–396.

12. Hariadi, Y., Marandon, K., Tian, Y., Jacobsen, S. E., and Shabala, S. 2010. Ionic and osmotic relations in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) plants grown at various salinity levels. Journal of Experimental Botany, 62(1), 185-193.

13. Hinojosa, L., González, J.A., Barrios-Masias, F.H., Fuentes, F. and Murphy, K.M. 2018. Quinoa abiotic stress responses: a review. Plants.7: 106.

14. Jacobsen S.E., Quispe, H. and Mujica, A. 2001. Quinoa: an alternative crop for saline soilsin the Andes. In: Scientists and Farmer-Partners in Research for the 21st Century. (CIP Program Report 1999–2000), 403–408.

15. Jacobsen, S.E., Monteros, C., Corcuera, L.J., Bravo, L.A., Christiansen, J.L., and Mujica, A. 2007. Frost resistance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). European Journal of Agronomy, 26: 471–475.

16. Jacobsen, S.E., Liu, F., and Jensen, C.R. 2009. Does rootsourced ABA play a role for regulation of stomata under drought in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Scientia Horticulturae, 122: 281–287.

17. Jamali, S., Sharifan, H., Hezarjaribi, A., and Sepahvand, N.A. 2016. The effect of different levels of salinity on germination and growth indices of two cultivars of Quinoa. Journal of Water and Soil Resources Conservation, 6(1): 87-98. (In Persian with English abstract)

18. Jamali S., and Ansari H. 2019. Effects of Water Quality and Irrigation Management on Growth and Yield of Quinoa. Journal of Water Research in Agriculture (Soil and Water Sci.), 33(3): 339-352. (In Persian with English abstract)

19. Jensen C.R., Jacobsen S.E., Andersen M.N., Nuñez N., Andersen S.D., Rasmussen L., and Mogensen, V.O. 2000. Leaf gas exchange and water relation characteristics of fi eld quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) during soil drying. European Journal of Agronomy, 13: 11–25.

20. Meskini-Vishkaee F, Tafteh A, and Goosheh M. 2023. Determining the Quinoa Water Requirement and Plant Response Coefficients to Water Stress in Different Growth Stages in Khuzestan Climate. Journal of Water and Soil Science, 27 (1): 275-286.

21. Mostafaee, M., Jami Al-Ahmadi, M.,Salehi, M., and Shahidi, A. (2023). Investigation of Physiological and Yield Characteristics of Quinoa as Affected by Different Levels of Irrigation and Plant Density. Iranian Journal of Field Crops Research, 21(1): 29-46.

22. Sezen, S. M., Yazar, A., Tekin, S., and Yildiz, M. 2016. Use of dranage water for irrigation of quinoa in a mediterranean environment. 2nd World Irrigation Forum (WIF2) 6-8 November 2016, Chiang Mai, Thailand.

23. Yazar, A., Incekaya, C., Sezen, S.M., and Jacobsen, S.E. 2015. Saline water irrigation of quinoa (*Chenopodium quinoa*) under Mediterranean conditions. Crop Pasture Science, 66(10): 993-1002.