



Investigation of Physiological and Yield Characteristics of Quinoa as Affected by Different Levels of Irrigation and Plant Density

M. Mostafaei¹, M. Jami Al-Ahmadi^{2,3*}, M. Salehi⁴, A. Shahidi⁵

Received: 25-12-2021
Revised: 07-06-2022
Accepted: 20-06-2022

How to cite this article:

Mostafaei, M., Jami Al-Ahmadi, M., Salehi, M., & 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. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jcsc.2022.74044.1126>

Introduction

Quinoa is a dicotyledonous plant from the Amaranthaceae family, with favorable nutritional value and a high potential for growth and production in adverse environmental conditions. Despite being three carbon, it has high water consumption efficiency and as a new crop, due to its wide adaptation to different environment conditions such as salinity and drought, as well as being premature, it is suitable for planting in arid and desert areas and has many factors. Genetic and environmental factors such as genotype, density, arrangement and planting date, soil salinity, and drought stress affect yield. Among these, drought is one of the most important non-living stresses that cause great damage to crops and horticulture in the world every year. And especially Iran, which is considered an arid and semi-arid country. The effect of moisture stress on plants varies depending on which stage of plant growth occurs and plants can work through various mechanisms such as reducing growth parameters, closing pores, reducing photosynthesis, changing regulatory mechanisms of ion transport, and increasing activity. Antioxidant enzymes cope with drought stress to some extent, although such mechanisms are energy-intensive and cause a decline in performance.

Materials and Methods

In order to investigate the optimal density of quinoa at different levels of irrigation, a factorial experiment was conducted based on completely randomized design with three replications at the research farm of the Faculty of Agriculture, Birjand University. The first factor was irrigation levels (based on 50, 75, and 100% water requirement) and the second factor was plant density at 5 levels (40, 60, 80, 100, and 120 plants m⁻²). Measurement traits included relative leaf water content, stomatal conductance, electrolyte leakage, number of branches, number of grains per branch, branch weight, 1000-grain weight, grain yield, water use efficiency, and grain protein.

Results and Discussion

The results showed that the yield components in response to low irrigation conditions were significantly

1- PhD Student in Plant Physiology, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran

2- Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran

3- Plant and Environmental Stresses Research Group, University of Birjand, Birjand, Iran

4- Assistant Professor, National Salinity Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran

5- Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran

(*- Corresponding Autor Email: mjamialahmadi@birjand.ac.ir)

<https://doi.org/10.22067/jcsc.2022.74044.1126>

reduced, so that the highest 1000-seed weight, number of branches, number of seeds per branch, branch weight and yield at the level of 100% water requirement were, respectively, 0.1 (g), 1368.4 (branching per square meter), 132.64 (grains per branching), 2377.8 (grams per square meter) and 3265.25 (kg ha⁻¹) have been obtained. The maximum orifice conductivity measured at 35.66 (mol CO₂ per square meter) was obtained at the beginning of flowering at 100% water requirement. Also, with decreasing irrigation level, physiological traits including relative leaf water content decreased significantly and traits such as electrolyte leakage and grain protein increased. The optimal density at the irrigation level of 100, 75, and 50% of water requirement were 113, 105, and 80 plants per square meter, respectively. The interaction of irrigation levels and density also showed that the highest yield was 100% of water requirement and density of 100 plants with 4226.52 kg ha⁻¹. The results showed that at the irrigation levels of 100 and 75% of the water requirement, the highest yield was obtained at a density of 100 plants and with a decrease in density at these levels by 61.2 and 73.2%, respectively, was associated with a decrease in yield, but at the level of 50%. The highest yield was obtained at a density of 80 plants, which was accompanied by a decrease in yield to 40 plants with a yield of 73.5%. The results also show an increase in optimal density with increasing irrigation level, so that the most optimal density at the irrigation level of 100% of the water requirement is 113 plants per square meter and with increasing the stress to 75 and 50% of the water requirement, respectively, density Optimal yields of 105 and 80 plants per square meter have been achieved.

Conclusion

In general, the results show that lack of moisture has an adverse effect on quinoa yield such as 1000-seed weight, branch weight, number of seeds per branch, and number of branches in the main inflorescence and reduces the optimal plant density.

Keywords: Drought stress, Optimal density, Seed protein, Stomatal conductance, Water use efficiency

بررسی خصوصیات فیزیولوژیکی و عملکردی گیاه کینوا تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری و تراکم بوته

مسلم مصطفائی^۱، مجید جامی الاحمدی^{۲،۳*}، معصومه صالحی^۴، علی شهیدی^۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۳۰

چکیده

کینوا به‌عنوان یک گیاه زراعی جدید، به دلیل سازگاری وسیع به شرایط مختلف اقلیمی از جمله خشکی و نیز زودرس بودن، گیاهی مناسب برای کاشت در مناطق خشک است. با هدف بررسی تراکم بهینه کینوا در سطوح مختلف آبیاری، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند انجام گرفت. فاکتور اول سطوح آبیاری (برمبنای ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیازآبی) و فاکتور دوم تراکم بوته در ۵ سطح (۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ بوته در متر مربع) بود. صفات اندازه‌گیری شامل محتوای نسبی آب برگ، هدایت روزنه‌ای، نشت الکتروولت، تعداد انشعاب، تعداد دانه در انشعاب، وزن انشعاب، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، کارایی مصرف آب و پروتئین دانه بود. نتایج نشان داد که اجزای عملکرد در مواجهه با شرایط کم‌آبیاری، به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، نتایج سطوح آبیاری و تراکم نشان داد که بالاترین عملکرد در ۱۰۰ درصد نیاز آبی و تراکم ۱۰۰ بوته به میزان ۴۲۶۸/۵۲ کیلوگرم در هکتار حاصل شد و همچنین نشان داد که در سطوح آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی نیز بالاترین عملکرد در تراکم ۱۰۰ بوته حاصل شد و با کاهش تراکم به میزان ۷۳/۲ درصد با کاهش عملکرد همراه بود ولی در سطح ۵۰ درصد نیاز آبی بالاترین عملکرد در تراکم ۸۰ بوته حاصل شد که با کاهش تراکم به ۴۰ بوته عملکرد به میزان ۷۳/۵ درصد با کاهش همراه بود. بهینه‌ترین تراکم در سطح آبیاری ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی، به‌ترتیب ۱۱۳، ۱۰۵ و ۸۰ بوته در متر مربع بود. در این تحقیق برای تعیین بهترین تراکم در سطوح مختلف آبیاری این آزمایش طراحی شد که با توجه به نتایج حاصل می‌توان گفت که بهینه‌ترین تراکم در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی به میزان ۱۱۳ بوته در مترمربع حاصل شده و با افزایش میزان تنش به ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی به‌ترتیب تراکم بهینه به میزان ۱۰۵ و ۸۰ بوته در متر مربع حاصل شده است.

واژه‌های کلیدی: پروتئین دانه، تراکم بهینه، تنش خشکی، کارایی مصرف آب، هدایت روزنه‌ای

مقدمه

کینوا با نام علمی *Chenopodium quinoa* Willd گیاهی دولپه از خانواده تاج خروسیان می‌باشد. کینوا از نظر ژنتیکی گیاهی

- ۱- دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
 - ۲- دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
 - ۳- گروه پژوهشی گیاه و تنش‌های محیطی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
 - ۴- استادیار مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران
 - ۵- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
- *- نویسنده مسئول: (Email: mjamialahmadi@birjand.ac.ir)
<https://doi.org/10.22067/jcsc.2022.74044.1126>

آلوتراپلوئیدی ($2n=4x=36$) است که در بیشتر صفات کیفی، از خود رفتار دیپلوئیدی نشان می‌دهد و از گروه گیاهان مسیر فتوسنتز ۳ کرینه می‌باشد (Wilson & Heiser, 1979). در سال ۲۰۲۰ میزان سطح زیر کشت کینوا ۱۸۸۸۷۸ هکتار و حجم تولید این محصول، ۱۷۵۱۸۸ تن در جهان بوده است (Fao stat, 2020). ارزش غذایی بسیار بالای دانه کینوا موجب مقایسه آن توسط سازمان خواروبار جهانی با شیر خشک گردیده است. دانه‌های کینوا محصول اصلی این گیاه است. بذور کینوا به‌طور متوسط دارای ۱۶ درصد پروتئین هستند که بالاتر از مقدار پروتئین در بذر سایر غلات است. از سوی دیگر، پروتئین کینوا دارای کیفیت بالایی است که این گیاه را به معیارها و استانداردهای فائو به‌منظور تغذیه انسان‌ها، نزدیک‌تر کرده است.

خود را بسته که خود موجب حفظ پتانسیل برگ و سرعت فتوسنتز در طول خشک شدن خاک می‌گردد. از طرفی در طول خشک شدن خاک ریشه آسزیک اسید تولید کرده که باعث تنظیم فعالیت روزه‌ها از طریق کاهش آماس سلول‌های نگهبان روزه و کاهش هدایت روزه‌ای می‌شود (Jacobsen et al., 2009).

تراکم بوته می‌تواند بر عملکرد و بسیاری دیگر از صفات گیاهان موثر باشد. تراکم بوته از طریق تاثیر بر عملکرد دانه تک بوته، بر عملکرد دانه در واحد سطح تاثیر می‌گذارد. چنانچه عملکرد دانه در اثر رقابت پایین باشد وجود تعداد زیادی بوته در تراکم بالا می‌تواند کمبود عملکرد بوته و متعاقبا عملکرد دانه در واحد سطح را جبران کند (Koutroubas et al., 2000)، گرچه تشدید رقابت درون‌گونه‌ای در تراکم‌های بسیار بالا نیز می‌تواند سبب افت عملکرد شود. بنابراین تعیین تراکم بهینه گیاهان نیز به نوبه خود نقش به‌سزایی در استفاده از منابع تولید در اکوسیستم‌های زراعی دارد (Kafi et al., 2010). تراکم مطلوب بوته در واحد سطح تراکمی است که در نتیجه آن کلیه عوامل محیطی به‌طور کامل مورد استفاده گیاه قرار گرفته و در عین حال رقابت‌های درون‌بوته‌ای و برون‌بوته‌ای حداقل باشد. به این ترتیب، حداکثر عملکرد ممکن با کیفیت مطلوب به‌دست می‌آید (Khajepour, 2000).

تراکم مناسب کشت نقش تعیین‌کننده‌ای در عملکرد نهایی هر رقم دارد و می‌تواند بسته به نوع گیاه، رقم، حاصلخیزی خاک و شرایط اقلیمی هر منطقه متفاوت باشد. در پژوهشی در برزیل با افزایش تراکم کاشت کینوا از ۱۰۰۰۰۰ تا ۳۰۰۰۰۰ بوته در هکتار، ارتفاع بوته و تعداد روز تا رسیدن کاهش نشان داده است اما صفات عملکرد دانه، بیوماس کل و شاخص برداشت تحت تاثیر تراکم کشت قرار نگرفتند، که این عدم تاثیرپذیری ناشی از ظرفیت بالای کینوا در تولید شاخه‌های فرعی و جبران تراکم کم بیان شده است (Spehar & Rocha, 2009).

در آزمایش‌های صورت‌گرفته بر روی کلزا (*Brassica napus*)، بیشترین عملکرد دانه کلزا در تراکم ۸۰ بوته در متر مربع به‌دست آمد و افزایش تراکم موجب کاهش معنی‌دار آن شد (Matinfar, 2012). تراکم بوته از طریق تاثیر بر عملکرد دانه تک بوته، بر عملکرد دانه در واحد سطح تاثیر می‌گذارد. همان‌طور که در گیاهی همچون گندم (Eyvazi et al., 2005) دیده شده است میزان پروتئین دانه از جمله صفات کیفی است که عموماً تحت شرایط تنش خشکی افزایش می‌یابد.

از آن‌جایی که کینوا گیاهی جدید بوده و برخی از جنبه‌های به‌زراعی و پژوهشی آن در مورد تراکم بهینه و سطوح مختلف آبیاری انجام نشده و با توجه به کاهش روزافزون منابع آب و ضرورت استفاده بهینه آب در جهت تولید و عملکرد بالا لذا این پژوهش با هدف تعیین بهترین مقدار آبیاری و تراکم بهینه گیاه کینوا صورت پذیرفته است.

اسید آمینه‌های لیزین، متیونین و سیستئین در پروتئین کینوا بالا است، به نحوی که این گیاه را نسبت به غلات (لیزین) و حبوبات (متیونین و سیستئین) برتری داده است (Abugoch et al., 2009).

عوامل متعدد ژنتیکی و محیطی نظیر ژنوتیپ، تراکم، آرایش و تاریخ کاشت، سوری خاک و تنش خشکی عملکرد را تحت تاثیر قرار می‌دهند (Hashemi Dezfouli et al., 1995). در این بین، خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیر زنده است که هر ساله خسارت فراوانی به محصولات زراعی و باغی در جهان و به‌ویژه ایران که به‌عنوان کشوری خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود، وارد می‌کند (Kafi et al., 2007). اثر تنش رطوبت بر گیاهان بسته به این‌که در کدام مرحله رشد گیاه رخ دهد متفاوت بوده و گیاهان قادرند با مکانیسم‌های متعددی همچون کاهش پارامترهای رشد، بسته نمودن روزه‌ها، کاهش فتوسنتز، تغییر در سازوکارهای تنظیمی انتقال یون‌ها و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان تا حدی با تنش خشکی مقابله کنند (Hassanpour & Niknam, 2014)، هرچند چنین مکانیسم‌هایی انرژی‌خواه بوده و سبب افت عملکرد می‌شوند.

پژوهش‌ها نشان داده است که تنش خشکی باعث کاهش رشد و عملکرد کینوا می‌شود (Fuentes & Bhargava, 2011)؛ زیرا در این تنش علاوه بر افت کارایی فتوسنتز به دلیل کمبود آب در سلول‌های برگ (کاهش RWC) و کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی، باعث افزایش میزان اکسیژن‌های فعال در کینوا می‌شود (Aziz et al., 2018). در پژوهشی دیگر علی و همکاران گزارش دادند که کاهش میزان آب آبیاری منجر به کاهش طول ریشه، ارتفاع، وزن تر اندام هوایی و ریشه و عملکرد دانه گیاه کینوا در شرایط آب و هوایی عربستان سعودی در سطح احتمال ۵ درصد شد (Aly et al., 2018). همچنین، در پژوهشی دیگر که به‌منظور بررسی اثر کم‌آبیاری بر روی گیاه کینوا در کشور برزیل اجرا شد، نتایج نشان داد که کم‌آبیاری به میزان ۵۰ درصد منجر به کاهش ارتفاع بوته، وزن خشک ساقه و برگ و سنبله و وزن دانه شد (Jayme-Oliveira et al., 2017). جمالی و همکاران (Jamali et al., 2018) در مقایسه تنش دوره‌ای آب آبیاری بر گیاه کینوا رقم NSRCQ نیز دریافتند که تنش رطوبتی موجب کاهش تعداد برگ و تعداد شاخه جانبی و تعداد سنبله و به تبع آن وزن و عملکرد دانه می‌شود.

جمالی و همکاران (Jamali et al., 2018) در تحقیقی بر روی گیاه کینوا رقم Titicaca نشان دادند که کم‌آبیاری منجر به کاهش وزن هزار دانه، ارتفاعات بوته، وزن خشک اندام هوایی و ریشه و عملکرد دانه در بوته شد. ایشان اظهار کردند که با توجه به شرایط محدودیت آب در منطقه و با توجه به این‌که بین تیمارهای ۱۰۰ درصد و ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه در صفت عملکرد دانه تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. جاکوبسن و همکاران نشان دادند که گیاه کینوا جهت مقابله با خشکی و افزایش راندمان آب روزه‌های برگ

مواد و روش‌ها

آبیاری از مرحله چهار تا پنج برگی (بعد از اطمینان از استقرار گیاهچه) شروع شده و تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی گیاه ادامه یافت. به منظور دستیابی به مقادیر مورد نظر آب برای هر نوبت آبیاری از کنتور استفاده شد. زمان آبیاری با توجه به میزان تبخیر از تشتک تبخیر که در مجاورت مزرعه نصب شده بود، تعیین شد.

برآورد نیاز آبی گیاه

روش بلانی - کریدل:

$$ET_o = C[P(0.46T + 8.13)] \quad (1)$$

ET_o: تبخیر و تعرق گیاه مرجع

C: ضریب تصحیح یا ضریب اقلیمی که شامل سه پارامتر: رطوبت نسبی، ساعت آفتابی و سرعت باد می‌باشد.

T: میانگین درجه حرارت ماهانه

P: متوسط درصد ساعات روشنایی روزانه به کل ساعات روشنایی در ماه‌های مختلف.

رقم P توسط فائو برای مناطق مختلف محاسبه شده است.

برای محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مورد نظر، از رابطه (۲) استفاده می‌شود:

$$ETC = ET_o \times Kc \quad (2)$$

CWR: نیاز آبی محصول

$$CWR = ET_o \times Kc * A \quad (3)$$

ET_o: داده خروجی کراپ وات حاصل از داده هواشناسی منطقه مورد آزمایش

Kc: ضریب گیاهی

A: سطح کرت

این آزمایش به منظور بررسی اثر تنش خشکی و تراکم بوته بر صفات رشدی گیاه کینوا در طی سال‌زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند به مرحله اجرا درآمد. به منظور اطلاع از شرایط جوی محل اجرای آزمایش، میانگین بارندگی، رطوبت نسبی و درجه حرارت ۲۰ ساله اخیر بیرجند به استناد پایگاه اطلاع‌رسانی هواشناسی کل کشور در شکل ۱ نشان داده شده است.

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتور اول آزمایش سطوح مختلف آبیاری در سه سطح (آبیاری بر اساس ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) و فاکتور دوم آزمایش تراکم بوته در پنج سطح (۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ بوته در متر مربع) بود.

بذر کینوا مورد نیاز از رقم تیتیکاکا، لاین NSRCQ1 بود که از مرکز تحقیقات ملی شوری یزد تهیه شد. کشت در اول مرداد ماه سال ۱۳۹۶ انجام شد. بذور به صورت دستی و در عمق یک سانتی‌متری خاک، بر روی شش خط به فاصله ۳۰ سانتی‌متر در کرت‌هایی (در ابعاد ۵ در ۲/۱ متر) به مساحت ۱۰/۵ متر مربع کشت شدند. تعداد بوته در روی هر خط کشت در تراکم ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ بوته به ترتیب ۷۰، ۱۰۵، ۱۴۰، ۱۷۵ و ۲۱۰ بوته بود. جهت یکنواختی در سبز شدن بلافاصله پس از کاشت اولین آبیاری انجام شد و هر سه روز یک بار تا سبز شدن کامل آبیاری تکرار شد. برای دستیابی به تراکم‌های مورد نظر در مرحله ۴ تا ۵ برگی تنک و اعمال تیمارهای آبیاری از مرحله ۶ تا ۸ برگی شروع شد. نیاز آبی گیاه با استفاده از نرم‌افزار Cropwat version 8i محاسبه گردید و اعمال سطوح

جدول ۱- مجموع میزان آب استفاده شده جهت آبیاری در هر تیمار

Table 1- Total amount of water used for irrigation in each treatment

آبیاری (درصد از نیاز آبی گیاه)	حجم آب مصرفی در کل دوره رشد در هر کرت
Irrigation (Percentage of plant water requirement)	Volume of water consumption in the whole growth period per plot (L)
50	7957
75	11936
100	15915

جدول ۲- مشخصات خاک منطقه مورد آزمایش

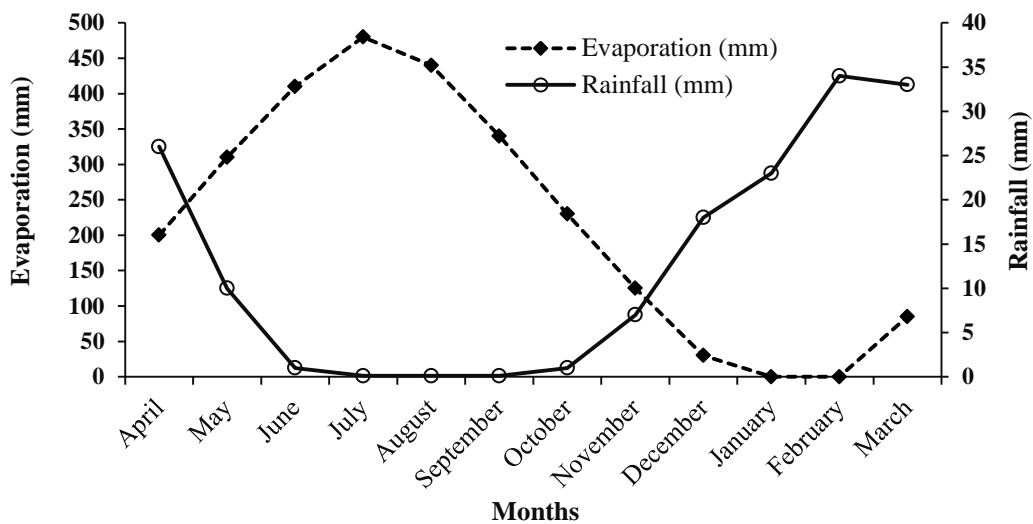
Table 2- Characteristics of the soil of the experimental site

نسبت جذب کلسیم	پتاسیم	سدیم	منیزیم	درصد رطوبت اشباع	ماده آلی	بافت خاک
SAR	Ca	Na	Mg	Saturated Moisture	Organic matter	Soil texture
	meq L ⁻¹			%	pH	لومی رسی
4.87	5	11	4.4	24.5	0.38	Clay loam



شکل ۱- مکان آزمایشی و کنتور آب برای اندازه‌گیری مصرف آب نصب شده است.

Figure 1- Experimental field and water meter installed to measure water consumption



شکل ۲- میانگین ۲۰ ساله نوسانات تبخیر و بارندگی در منطقه بیرجند

Figure 2- 20 years average of evaporation and rainfall fluctuations in Birjand region

جلوگیری از تنفس)، نگهداری شدند. پس از این مدت آب سطحی نمونه‌ها با دستمال کاغذی گرفته شد و وزن اشباع برگ‌ها تعیین شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت، درون آون در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد خشک و مجدد توزین شدند. محتوای نسبی آب برگ از رابطه (۴) محاسبه شد (Ritchi & Nighoyn, 1990).

$$RWC = \{(Fw - Dw) / (Sw - Dw)\} \times 100 \quad (4)$$

که در این رابطه Fw = وزن تر برگ، Dw = وزن خشک برگ و Sw = وزن اشباع برگ می‌باشد.

هدایت روزنه‌ای

در دو مرحله ابتدای گل‌دهی و ابتدای دانه‌بندی (۱۳۹۵/۷/۱۰)، ۶۰ روز پس از کاشت)، هدایت روزنه‌ای چهار عدد برگ تصادفی در هر

صفات اندازه‌گیری شده

محتوای نسبی آب برگ

سه گیاه از هر کرت را انتخاب کرده و در اوایل گل‌دهی (۱۳۹۵/۶/۲۵، ۴۴ روز پس از کاشت) دو ساعت پس از طلوع آفتاب یک برگ از هر گیاه (برگ ماقبل آخر یا همان آخرین برگ توسعه‌یافته) برای محاسبه محتوای آب نسبی برگ جدا گردید (Saremi & Seyadat, 1996). برگ‌ها بلافاصله در پاکت پلاستیکی و درون فلاسک حاوی یخ قرار داده شده و به سرعت به آزمایشگاه منتقل شدند و پس از تمیز کردن سطح برگ‌ها، وزن تر آن‌ها تعیین شد. پس از آن نمونه‌ها در ظروف دربسته حاوی آب مقطر قرار گرفتند و ظروف به مدت چهار تا شش ساعت در تاریکی (برای جلوگیری از فتوسنتز) و در دمای پایین (حدود چهار درجه سانتی‌گراد، جهت

در انتهای فصل رشد (که زمان تقریبی رسیدگی فیزیولوژیک گیاه در تیمار ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی به ترتیب به میزان ۹۹، ۹۰ و ۸۰ روز پس از کاشت بود) به صورت تصادفی از هر کرت با رعایت اصول اثر حاشیه تعداد انشعاب در گل آذین اصلی در سه تکرار شمارش شد.

وزن انشعاب در گل آذین اصلی

از هر کرت سه عدد بوته به صورت تصادفی انتخاب و از گل آذین اصلی یک عدد انشعاب برداشت و درون پاکت قرار گرفته و به مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد قرار گرفت و بعد وزن خشک آن تعیین گردید.

تعداد دانه در انشعاب در گل آذین اصلی

بعد از خشک شدن و وزن انشعاب و پس از انجام بوجاری، تعداد دانه در هر انشعاب تعیین گردید.

عملکرد و وزن هزار دانه

به منظور تعیین عملکرد دانه پس از رسیدگی کامل (۱۳۹۵/۸/۲۰)، ۱۰۰ روز پس از کاشت) زمانی که ۵۰ درصد بذور هر کرت به مرحله رسیدگی فیزیولوژیک رسیدند، سطحی معادل ۲ متر مربع از نیمه دوم کرت برداشت شد و پس از انجام بوجاری عملکرد هر کرت جداگانه اندازه گیری شد. وزن هزار دانه نیز با توزین ۱۰۰۰ دانه بر اساس رطوبت ۱۴ درصد گزارش شد (Ghasemi seiani et al., 2011). در نهایت، محاسبات آماری با استفاده از نرم افزار SAS (9.3) انجام شد، رسم نمودارها نیز توسط نرم افزار Excel انجام گردید. میانگین صفات مورد مطالعه نیز با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی دار LSD در سطح پنج درصد مورد مقایسه قرار گرفت.

نتایج و بحث

محتوای نسبی آب برگ

محتوای نسبی آب برگ در این پژوهش تحت تأثیر معنی داری اثر ساده سطوح مختلف آبیاری و اثر ساده سطوح مختلف تراکم بوته ($P < 0.01$) قرار گرفت (جدول ۳). نتایج نشان داد که بالاترین میزان محتوای نسبی آب برگ در سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی حاصل شده است که با افزایش میزان تنش کم آبی، به ترتیب محتوای نسبی آب برگ به میزان ۱۳/۱ و ۲۲/۶ درصد کاهش یافت. همچنین، افزایش تراکم از ۴۰ بوته به ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ بوته در متر مربع با کاهش محتوای نسبی آب برگ به ترتیب به میزان ۱/۷، ۴/۵، ۷/۳ و ۱۰/۷ درصد همراه بود (جدول ۴). در تراکم‌های بالاتر، به دلیل رقابت بیشتر

کرت از ارتفاع یکسان با استفاده از دستگاه Porometer (ECM/ASU) و در ساعات ۱۱ تا ۱۳ مورد اندازه‌گیری قرار گرفت و میانگین آن‌ها به عنوان هدایت روزنه‌ای تیمار در نظر گرفته شد.

شاخص پایداری غشا

شاخص پایداری غشا از طریق اندازه‌گیری میزان نشت الکترولیتی برگ در اوایل گلدهی (۱۳۹۵/۶/۲۵، ۴۴ روز پس از کاشت) از آخرین برگ توسعه‌یافته ارزیابی شد. برای این منظور ۱۵ عدد دیسک برگ به لوله‌هایی با حجم ۱۰ میلی لیتر آب مقطر انتقال یافت و به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق و شدت نور کم قرار داده شدند. سپس هدایت الکتریکی آب مقطر همراه نمونه‌ها (EC1) توسط دستگاه EC اندازه‌گیری شد. سپس لوله‌های آزمایش در حمام آب جوش (۹۵ درجه سانتی گراد) به مدت ۱۵ دقیقه قرار گرفتند و پس از سرد شدن EC2 آن‌ها مجدداً اندازه‌گیری شد و در نهایت نشت الکترولیتی با رابطه (۵) محاسبه گردید (Sairam & Srivastava, 2001).

$$EL\% = \left[\frac{EC1}{EC2} \right] * 100 \quad (5)$$

کارایی مصرف آب (WUE)

کارایی مصرف آب که نشان‌دهنده عملکرد دانه تولید شده به ازای واحد حجم آب مصرفی می‌باشد، بر اساس رابطه (۶) محاسبه گردید (Sharma et al., 2015).

$$WUE = \frac{GY}{W} \quad (6)$$

که در این رابطه GY نشان‌دهنده عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار و W نیز حجم آب مصرف شده در هکتار بر حسب متر مکعب می‌باشد.

پروتئین دانه

پروتئین دانه به روش کج‌لدال اندازه‌گیری شده و با استفاده از رابطه (۷) میزان نیتروژن یا درصد پروتئین خام نمونه محاسبه گردید (AOAC, 1990).

$$\% \text{ protein} = \frac{v \times 0.14 \times F}{m} \dots\dots\dots (7)$$

v: حجم اسید مصرفی

m: وزن نمونه (گرم)

F: این فاکتور برای مواد خوراکی مختلف، متفاوت است که معمولاً عدد ۶/۲۵ را قرار می‌دهند که فاکتور پروتئینی است. در صورتی که این فاکتور در صورت کسر نباشد عدد به دست آمده درصد نیتروژن نمونه می‌باشد.

تعداد انشعاب در گل آذین اصلی

پاسخ گیاهان به تنش خشکی مطرح است به طوری که زیاد بودن میزان آب نسبی برگ و کم بودن سرعت از دست رفتن آب نشان‌دهنده سازگاری به خشکی است و می‌تواند به عنوان یک معیار گزینش برای تحمل به خشکی مورد استفاده قرار گیرد (Winter *et al.*, 1988). تغییرات محتوای رطوبت برگ به عنوان یک واکنش کوتاه‌مدت به تنش و معیاری از توان حفظ قدرت منبع در شرایط تنش خشکی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Ahmadi & Sivoosemarde, 2004). پایین آمدن محتوای نسبی آب برگ‌ها و کاهش تورژسانس در بافت‌های گیاهی می‌تواند اولین اثر تنش خشکی باشد که به طور طبیعی رشد سلول و اندازه نهایی آن را تحت تاثیر قرار می‌دهد (El-Kheir *et al.*, 1994).

برای آب و مواد غذایی، میزان آب قابل دسترس برای هر بوته نسبت به تراکم‌های پایین‌تر کاهش می‌یابد که نتیجه آن، کاهش محتوای نسبی آب برگ خواهد بود. این شاخص، ارتباط نزدیکی با حجم سلول دارد و بیان‌کننده تعادل بین فراهمی آب بافت‌های برگ و سرعت تعرق می‌باشد (Lugojan & Ciulca, 2011).

به نظر می‌رسد گیاهانی که تحت تنش خشکی قرار می‌گیرند، فضای بین سلولی و میزان آب در پیکره خود را از طریق افزایش مواد اسمزی در درون بافت‌ها به حداقل می‌رسانند تا آب از بافت خاک با نیروی بیشتری وارد آن‌ها شود که این امر موجب کاهش میزان آب نسبی در شرایط تنش خشکی می‌گردد (Khorshidi *et al.*, 2001). اندازه‌گیری وضعیت آب گیاه به عنوان یک شاخص مهم در شناسایی

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس صفات مورد ارزیابی
Table 3- Results of analysis of variance of evaluated traits

	S.O.V				خطا Error	ضریب تغییرات CV (%)
	بلوک Block	آبیاری Irrigation (I)	تراکم Density (D)	آبیاری × تراکم I × D		
درجه آزادی Degrees of freedom	2	2	4	8	28	
محتوای نسبی آب برگ Relative leaf water content	88.4**	1448.4**	105.1**	7.4 ^{ns}	15.01	5.1
نشت الکترولیت Electrolyte leakage	216.07 ^{ns}	1087.3*	484.05 ^{ns}	170.3 ^{ns}	323.9	26.1
هدایت روزنه‌ای در گلدهی Directing an orifice in flowering	12.4 ^{ns}	709.9**	12.7 ^{ns}	4.7 ^{ns}	4.9	7.8
هدایت روزنه‌ای در دانه‌بندی Aperture guidance in granulation	1.3 ^{ns}	380.1**	44.4**	3.8 ^{ns}	5.6	48.9
تعداد انشعاب خوشه Number of cluster bifurcations	9073.6 ^{ns}	1620400.9**	1323970.4**	60109.6**	4115.9	6.1
وزن انشعاب Branch weight	263191.1*	13306110.8**	2547390.7**	4791108**	73143.3	19.5
تعداد دانه در انشعاب Number of seeds per branch	852.1 ^{ns}	29591.6**	1069.9 ^{ns}	528.2 ^{ns}	521.6	26.8
وزن هزار دانه Weight of one thousand seeds	68.7 ^{ns}	1725.4**	72.6*	10.8 ^{ns}	20.6	27.8
عملکرد دانه Grain performance	415216.1 ^{ns}	358029081**	3112722.2**	818071.1**	151263.3	24.5
کارایی مصرف آب Water use efficiency	0.2 ^{ns}	10.5**	1.5**	0.3**	0.08	27.0
پروتئین دانه Grain protein	4.1 ^{ns}	20.8**	2.6 ^{ns}	3.3 ^{ns}	2.06	7.4

***، * و ^{ns} به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم وجود اختلاف معنی‌دار
***, * and ns indicates significant at 0.01 and 0.05 probability level and non-significant, respectively

جدول ۴- اثر ساده سطوح آبیاری و تراکم بوته بر برخی صفات اندازه‌گیری شده گیاه کینوا
Table 4- Effect of irrigation levels and plant density on some measured traits of Quinoa

تیمار Treatment	محتوای نسبی آب برگ Relative leaf water content (%)	نشست الکترولیت Electrolyte leakage (μmol cm^{-1})	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductivity ($\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)		تعداد دانه در انشعاب در گل‌آذین اصلی Number of seeds per branching in the main inflorescence		وزن هزار دانه Weight of 1000 seeds (g)	پروتئین دانه Grain protein (%)
			گلدهی Flowering	دانه‌بندی Seed setting				
تراکم (بوته در متر مربع) Density (Plant per square meter)	40	79.91 ^a	67.39	28.22	23.44 ^b	79.76	1.32 ^b	19.53
	60	78.51 ^a	69.94	27.89	23.56 ^b	78.92	1.42 ^a	18.31
	80	76.32 ^{ab}	74.67	27.11	24.11 ^b	89.97	1.43 ^a	19.40
	100	74.06 ^{bc}	67.05	29.67	25.44 ^b	95.56	1.26 ^{bc}	19.62
	120	71.39 ^c	66.26	29.89	28.78 ^a	81.31	1.18 ^c	19.48
آبیاری (درصد از نیاز آبی گیاه) Irrigation (Percentage of plant water requirement)	50	66.78 ^c	78.50 ^a	21.93 ^c	20.07 ^c	44.62 ^c	0.68 ^c	20.29 ^a
	75	74.98 ^b	66.73 ^{ab}	28.07 ^b	25.00 ^b	78.25 ^b	1.46 ^b	19.54 ^a
	100	86.35 ^a	61.96 ^b	35.67 ^a	30.13 ^a	132.64 ^a	1.82 ^a	17.98 ^b

شاخص پایداری غشا
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سطوح مختلف آبیاری روی نشست الکترولیت اثر معنی‌داری ($P < 0.05$) داشته است (جدول ۳). کمترین میزان تخریب غشاء در سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی حاصل شده است که با کاهش آبیاری به ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی به ترتیب میزان نشست الکترولیت با ۷/۷ و ۲۶/۷ درصد افزایش داشته است (جدول ۴).
غشای سلولی از نخستین اندام‌هایی است که تحت شرایط تنش، آسیب می‌بیند و تراوایی آن افزایش یافته و نشست الکترولیتی از سلول باعث مرگ آن می‌گردد. پایداری غشای سلولی می‌تواند به‌عنوان معیاری از تحمل به تنش کم‌آبیاری در نظر گرفته شود (Nazari nasi *et al.*, 2011). تنش کم‌آبی از تکامل دیواره ممانعت نموده و باعث نشست بیشتر الکترولیت‌ها از دیواره سلولی شده و پایداری غشاء سلولی کاهش می‌یابد (Shibarío *et al.*, 1998). در نتیجه صدمه به غشای سلولی، تراوایی افزایش یافته و بدین ترتیب نشست الکترولیتی از سلول باعث پژمردگی گیاه می‌شود (Blume & Ebercon, 1981). خزاعی

هدایت روزنه‌ای

(الف) ابتدای گلدهی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که این صفت تنها تحت تأثیر معنی‌دار سطوح مختلف آبیاری ($P < 0.01$)، قرار گرفته است (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین سطوح مختلف آبیاری نشان داد که

معنی‌دار سطوح مختلف آبیاری، تراکم بوته و اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و تراکم بوته ($P < 0/01$)، قرار گرفته است (جدول ۳). اثرات متقابل نشان داد که بیشترین تعداد انشعاب در متر مربع در ترکیب تیماری آبیاری با ۱۰۰ درصد نیاز آبی و تراکم ۱۲۰ بوته در متر مربع به میزان ۲۰۴۰ انشعاب در متر مربع حاصل شد. همچنین نتایج نشان داد که در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی با افزایش تراکم بوته از ۴۰ به ۱۲۰ بوته در متر مربع به میزان ۱۶۷/۸۶ درصد افزایش تعداد انشعاب در متر مربع را داشته و به همین ترتیب در سطح ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی با افزایش تراکم، شاهد افزایش تعداد انشعاب در متر مربع به ترتیب به میزان ۱۹۲/۵۶ و ۱۷۸/۱۸ درصد بود (شکل ۳).

در سطوح پایین نیاز آبی کاهش تعداد انشعاب نیز در جهت تنظیم تعداد مقدهای فیزیولوژیکی با میزان تولید مواد پرورده انجام شده است. از آن‌جا که اجزای اصلی عملکرد دانه یعنی تعداد انشعاب در واحد سطح، تعداد دانه در انشعاب و وزن صد دانه در طی مراحل نسبتاً متفاوتی از رشد گیاه تعیین می‌شوند. شرایط محیطی موجود در زمان آغاز و طی دوره توسعه هر جزء عملکرد بر سهم نسبی آن جزء بر عملکرد اثر می‌گذارد. تنش آب در برخی از مراحل رشد در مقایسه با مراحل دیگر صدمات بیشتری را به محصول اقتصادی گیاه وارد می‌کند. در غلات، دوره بحرانی نیاز آبی معمولاً از مرحله تشکیل اندام‌های تولید مثل آغاز می‌شود و تا مرحله گرده‌افشانی و باروری ادامه می‌یابد (Cabuslay et al., 2002). سردمدنیا و کوچکی (Sarmadnia & Koocheki, 1991)، به وجود ارتباط نزدیک بین تعداد انشعاب در واحد سطح با رژیم رطوبتی خاک اشاره کرده‌اند.

وزن انشعاب در گل آذین اصلی در متر مربع

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که این صفت تحت تأثیر معنی‌دار سطوح مختلف آبیاری، تراکم و همچنین اثر متقابل دوگانه بین سطوح مختلف آبیاری و تراکم ($P < 0/01$)، قرار گرفته است (جدول ۳). اثرات متقابل نشان داد که بیشترین وزن انشعاب در متر مربع در ترکیب تیماری آبیاری با ۱۰۰ درصد نیاز آبی و تراکم ۱۰۰ بوته بر متر مربع حاصل شد که به میزان ۳۴۸۰/۴ گرم در متر مربع بوده است. نتایج نشان داد که کاهش تراکم بوته از ۱۰۰ به ۴۰ بوته در متر مربع در هر سطح آبیاری ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد آبیاری به ترتیب به میزان ۵۸/۶، ۶۱/۴ و ۶۱/۶ درصد با کاهش وزن انشعاب همراه بود (شکل ۴).

یاداو و همکاران (Yadav et al., 2001) گزارش نمودند که در شرایط تنش خشکی وزن دانه، وزن انشعاب اصلی، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی و شاخص برداشت در ارقامی از گندم که از مقاومت کمتری برخوردار هستند، کاهش می‌یابد.

بیشترین هدایت روزنه‌ای به میزان ۳۵/۶۶ (مول CO_2 در متر مربع بر ثانیه) در سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی حاصل شده است که با افزایش میزان تنش به ۵۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی به ترتیب با ۳۸/۵ و ۲۱/۳ درصد کاهش همراه بوده است (جدول ۴).

(ب) ابتدای دانه‌بندی

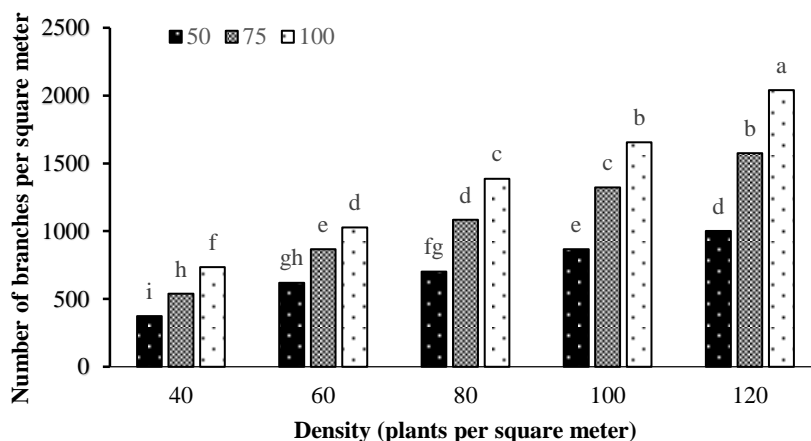
همچنین نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که این صفت در این مرحله نیز تحت تأثیر معنی‌دار سطوح مختلف آبیاری و تراکم بوته ($P < 0/01$)، قرار گرفته است (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین سطوح مختلف آبیاری نشان داد که بیشترین هدایت روزنه‌ای به میزان ۳۰/۱۳ (مول CO_2 در متر مربع بر ثانیه) در سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی حاصل شده است که با افزایش میزان تنش به ۵۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی به ترتیب با ۳۳/۴ و ۱۷/۰۳ درصد کاهش همراه بوده است. نتایج مقایسه میانگین تراکم بوته نشان داد که با افزایش تراکم میزان هدایت روزنه‌ای نیز افزایش داشته است به طوری که بالاترین آن در تراکم ۱۲۰ بوته به میزان ۲۸/۷۷ (مول CO_2 در متر مربع بر ثانیه) حاصل شد و با کاهش تراکم بوته به ۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ بوته در مترمربع به ترتیب به میزان ۱۱/۶، ۱۶/۲، ۱۸/۱ و ۱۸/۵ درصد با کاهش هدایت روزنه‌ای همراه بود (جدول ۴).

در تیمار آبیاری کامل هدایت روزنه‌ای زیادتر بوده و احتمالاً همین موضوع سبب افزایش فتوسنتز و تعرق بیشتر و در نتیجه رشد و توسعه بیشتر (افزایش ارتفاع و سطح برگ) در این تیمار شده است. به‌طور کلی می‌توان گفت رفتار روزنه‌ها نقش اساسی در تعیین آثار تنش بر گیاه دارد. بیش از ۹۰ درصد تبادل دی‌اکسید کربن و بخار آب در گیاه توسط روزنه‌ها انجام می‌گیرد. تنش آبی باعث محدود شدن بازشدگی روزنه‌ها و کاهش هدررفت آب و جذب کربن و بنابراین حفظ رطوبت در بافت‌های گیاه می‌شود (Goldhamer, 2002). تنش خشکی می‌تواند موجب کاهش میزان فتوسنتز شود زیرا چون میزان باز بودن روزنه تابع وضعیت آبی گیاه است، کمبود آب گیاه منجر به بسته شدن دهانه روزنه می‌گردد که موجب کاهش میزان هدایت روزنه‌ای و در نتیجه کاهش فتوسنتز می‌گردد (Ahmadi et al., 2004). در آزمایش بر روی چغندر قند مشاهده شد که تنش خشکی موجب کاهش فتوسنتز در این گیاه می‌گردد (Baloch et al., 2006). ایشان دلیل کاهش میزان فتوسنتز را کاهش هدایت روزنه‌ای و در نتیجه کاهش انتشار دی‌اکسید کربن دانستند که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد.

صفات عملکردی

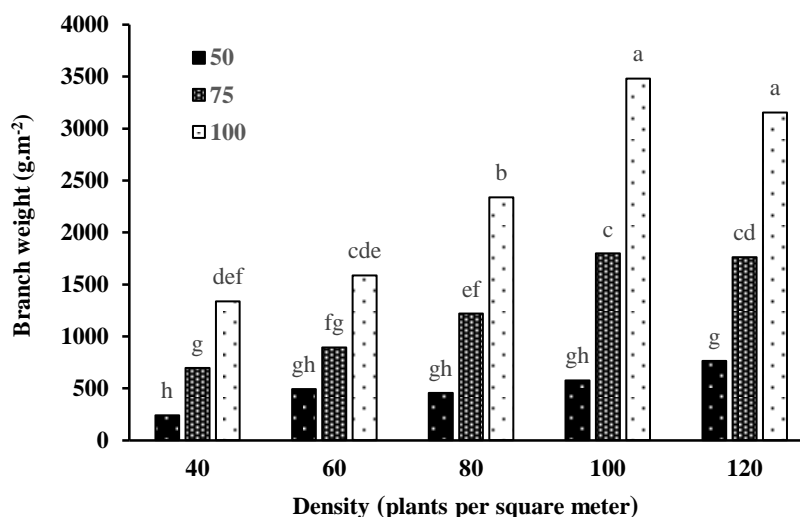
تعداد انشعاب در گل آذین اصلی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که این صفت تحت تأثیر



شکل ۳- اثر متقابل سطوح آبیاری و تراکم بوته بر تعداد انشعاب در متر مربع (LSD 0.05)

Figure 3- Interaction of different irrigation levels and plant density on the number of branches per square meter (LSD 0.05)



شکل ۴- اثر متقابل سطوح آبیاری و تراکم بوته بر وزن انشعاب در گل آذین اصلی در متر مربع (LSD 0.05)

Figure 4- Interaction of irrigation levels and plant density on branch weight in main inflorescence per square meter (LSD 0.05)

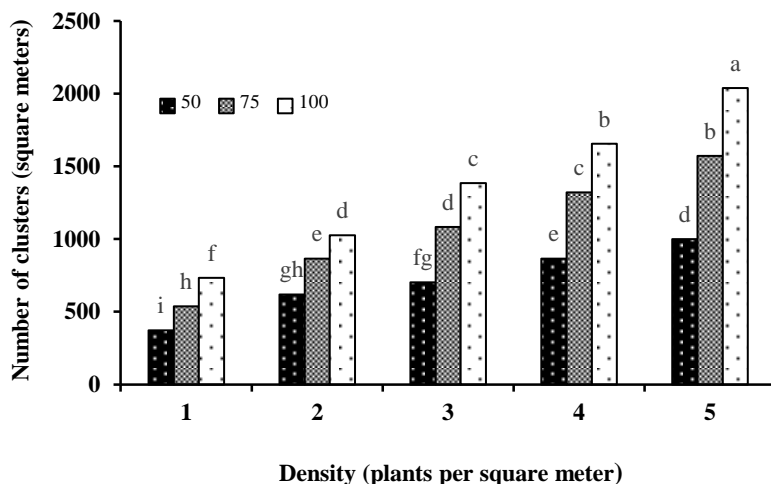
افزایش بیشتر طول ریشه و استخراج بیشتر آب از خاک انتقال بهتر روزنه‌ای و گسترش بیشتر انشعاب می‌سازد و در مجموع تنظیم اسمزی به‌طور مستقیم باعث افزایش تولید ماده خشک و به‌طور غیرمستقیم باعث افزایش تعداد دانه در انشعاب می‌شود (Chamberling & Wilson, 1985). بوجانگ و فوکایی (Boojang & Fukai, 1996)، اثر کمبود آب در مراحل مختلف رشد را بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام برنج ارزیابی کردند و دریافتند که اعمال کم آبیاری در مرحله رویشی، تأثیر کمی بر رشد و عملکرد دانه داشته است و کاهش ۳۰ درصدی عملکرد ناشی از کاهش در تعداد انشعاب و کاهش در تعداد

تعداد دانه در انشعاب در گل آذین اصلی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که این صفت تحت تأثیر معنی‌دار سطوح مختلف آبیاری ($P < 0.01$)، قرار گرفته است (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین سطوح مختلف آبیاری نشان داد که بیشترین تعداد دانه به میزان ۱۳۲/۶۴ در سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی حاصل شده است که با افزایش میزان تنش به ۵۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی به ترتیب با ۶۶/۳۶ و ۴۱ درصد کاهش همراه بود (جدول ۴)، (شکل ۵).
تنظیم اسمزی بالا، گیاه را قادر به حفظ بیشتر فشار تورژسانس،

تنش تا ۶۰ درصد کاهش یافت و باعث کاهش درصد پر شدن دانه نیز شد.

دانه در انشعاب بود. اما زمانی که کم‌آبیاری در خلال دوره گلدهی اتفاق افتاد، تأثیر آن روی عملکرد بسیار زیاد بوده، به طوری که گلدهی به تأخیر افتاده و تعداد دانه در انشعاب نسبت به شرایط بدون



شکل ۵- اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و تراکم بوته بر تعداد دانه در خوشه (LSD 0.05)

Figure 5- Interaction of different irrigation levels and plant density on the number of seeds per cluster (LSD 0.05)

مقایسه تراکم‌های ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ بوته در متر مربع گزارش نمودند که بیشترین تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه و عملکرد دانه کلزا در تراکم ۸۰ بوته در متر مربع به دست آمد. وزن هزار دانه با سرعت و مدت پر شدن دانه ارتباط دارد. تنش خشکی در طی پر شدن دانه وزن دانه را کاهش می‌دهد. این امر احتمالاً به دلیل کاهش مواد پرورده برای رشد دانه‌هاست. کاهش تولید مواد پرورده نیز به کاهش فرایند فتوسنتزی مربوط می‌شود که با بسته شدن روزنه‌ها مرتبط است (Morgan, 1977). نتایج این آزمایش با نتایج پژوهشگرانی نظیر (Rabbani & Emam, 2011; Rushdie et al., 2006) که همگی کاهش وزن هزار دانه را در اثر تنش خشکی گزارش نمودند، مطابقت دارد. بیلر و همکاران (Bieler et al., 1993) در مطالعه رشد دانه ارزن مرواریدی در شرایط تنش و بدون تنش نشان دادند وزن تک دانه در شرایط تنش خشکی کاهش یافت. در اینجا تنش خشکی سبب کاهش طول مدت مرحله خطی رشد دانه شد و از این طریق وزن نهایی دانه کاهش یافت.

عملکرد

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر آبیاری، اثر تراکم و نیز برهمکنش سطوح مختلف آبیاری و تراکم بوته بر این صفت در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). اثر متقابل سطوح آبیاری و تراکم نیز نشان داد که بالاترین عملکرد در ۱۰۰ درصد نیاز آبی و تراکم ۱۰۰ بوته به میزان ۴۲۶۸/۵۲ کیلوگرم در هکتار حاصل شد. نتایج

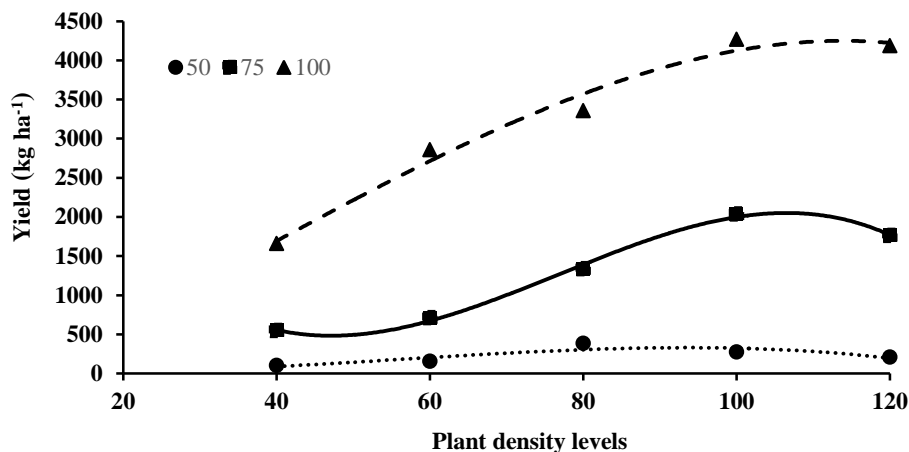
وزن هزار دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که وزن هزار دانه تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری و تراکم بوته ($P < 0.01$) قرار گرفته است (جدول ۳). بالاترین وزن هزار دانه در سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی به میزان ۱/۸۲ گرم حاصل شده است که با افزایش میزان تنش کم‌آبی، به ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی به ترتیب به میزان ۱۹/۶ و ۶۲/۷ درصد کاهش یافته است. با کاهش تنش از ۵۰ به ۷۵ درصد نیاز آبی وزن هزار دانه به میزان ۱۱۵/۸ درصد رشد داشته و همچنین با کاهش تنش از ۷۵ به ۱۰۰ درصد نیاز آبی ۲۴/۴ درصد افزایش داشت (جدول ۴). در پژوهش جمالی و همکاران (Jamali et al., 2018) که بررسی اثر تنش آبی بر روی گیاه کینوا رقم NSRCQ بود نیز وزن هزار دانه در تیمار ۱۰۰ درصد آبی بیشترین مقدار را داشت. به نظر می‌رسد که کاهش وزن هزار دانه در شرایط تنش خشکی می‌تواند به علت کاهش دوره پر شدن دانه و پیری زودرس گیاه باشد. قوشچی و همکاران (Ghooshchi et al., 2010) و سلیمانی پور و همکاران (Soleimanpour et al., 2009) نیز کاهش وزن هزار دانه کلزا را در شرایط کم‌آبی گزارش نمودند. همچنین بالاترین وزن هزار دانه تحت تأثیر تراکم بوته به میزان ۱/۴۳ گرم در تراکم ۸۰ بوته حاصل شد. تراکم‌های ۴۰، ۶۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ بوته به ترتیب به میزان ۷/۵۶، ۱/۱۲، ۱۲/۲۷ و ۱۷/۹ درصد کاهش نسبت به تراکم ۸۰ بوته همراه بود. تراکم بوته می‌تواند بر عملکرد و بسیاری دیگر از صفات گیاهان موثر باشد (جدول ۴). متین‌فر و همکاران (Matinfar et al., 2012)، در

بهترین عملکرد ۴۰۰۰۰ بوته در یک هکتار به دست می‌آید و کارایی مصرف آب با افزایش میزان آبیاری کاهش پیدا می‌کند (Rao, 1987). انگلیش و راجا (English & Raja, 1990) سه مورد کم آبیاری را بیان می‌کنند که در آن‌ها کاهش هزینه‌های آبیاری بیش از کاهش درآمد (ناشی از کاهش محصول) بوده است. نحوه توزیع و تراکم بوته‌ها بر جذب و بهره‌وری از عوامل محیطی موثر بر رشد و رقابت درون و برون بوته‌ای تأثیر گذاشته، در نهایت از عوامل تعیین‌کننده عملکرد دانه است (Board & Harville, 1996; Prasad & Yadav, 1990). در تراکم‌های بسیار زیاد ناشی از کاهش زیاد فاصله بین بوته‌ها، به دلیل سایه‌اندازی و رقابت شدید برای نور و کمبود عوامل محیطی، سرعت ریزش برگ‌ها افزایش می‌یابد. این دو ممکن است از آثار مفید رشد سریع اولیه بکاهد (Board & Harville, 1996) و در صورت محدودیت شدید در عوامل محیطی کاهش عملکرد دانه گردد (Sandha et al., 1977). عملکرد بالقوه کینوا در صورتی که کلیه شرایط مطلوب برای آن فراهم باشد، بسته به رقم و منطقه کشت، ۶-۱/۵ تن در هکتار گزارش شده است (FAO, 2011).

نشان داد که در سطوح آبیاری ۱۰۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی بالاترین عملکرد در تراکم ۱۰۰ بوته حاصل شد و با کاهش تراکم در این سطوح به ترتیب به میزان ۶۱/۲ و ۷۳/۲ درصد با کاهش عملکرد همراه بود ولی در سطح ۵۰ درصد نیاز آبی بالاترین عملکرد در تراکم ۸۰ بوته حاصل شد که با کاهش تراکم به ۴۰ بوته عملکرد به میزان ۷۳/۵ درصد با کاهش همراه بود. همچنین نتایج نشان‌دهنده افزایش تراکم بهینه با افزایش سطح آبیاری است، به طوری که بهینه‌ترین تراکم در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی به میزان ۱۱۳ بوته در مترمربع حاصل شده و با افزایش میزان تنش به ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی به ترتیب تراکم بهینه به میزان ۱۰۵ و ۸۰ بوته در متر مربع حاصل شده است (شکل ۶). تراکم بسیار بالا موجب افزایش بیماری، آفات و همچنین ساقه‌های باریک و بوته‌های ضعیف و افزایش احتمال ورس می‌شود.

تحقیقات راتو (Rao, 1987) نشان داد که عملکرد محصول ذرت (*Zea mays* L.) به طور خطی با افزایش میزان سطح آبیاری افزایش می‌یابد و در شرایط بدون محدودیت آب، تراکم کاشت ۷۰۰۰-۵۵۰۰۰ بوته در یک هکتار مناسب بوده و در شرایط با محدودیت آب،



شکل ۶- اثر متقابل سطوح آبیاری و تراکم بوته بر میزان عملکرد گیاه کینوا. معادلات مربوط به خطوط رگرسیون در جدول زیر آورده شده است.
Figure 6- Interaction of irrigation levels and plant density on quinoa yield. The equations for the regression lines are given in the table below.

آبیاری (درصد از نیاز آبی گیاه) Irrigation (Percentage of plant water requirement)	100	$y = -0.0014x^3 + 0.2272x^2 - 6.5128x + 72.815; R^2 = 0.755$
	75	$y = -0.015x^3 + 3.4553x^2 - 225.76x + 5017.2; R^2 = 0.996$
	50	$y = -0.0031x^3 + 0.3494x^2 + 39.256x - 240.24; R^2 = 0.980$

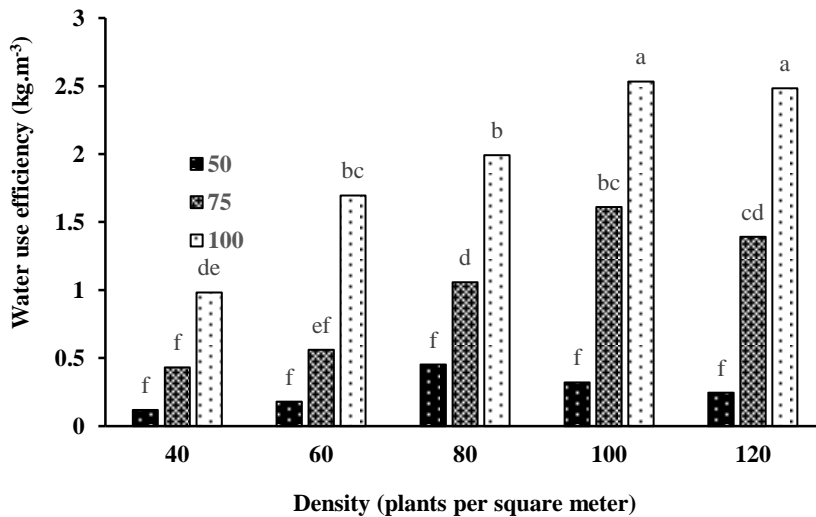
معنی‌دار سطوح مختلف آبیاری، سطوح تراکم و برهمکنش سطوح مختلف آبیاری و تراکم بوته ($P < 0.01$)، قرار گرفته است (جدول ۳).

کارایی مصرف آب (WUE)
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که این صفت تحت تأثیر

بود ولی در تیمار آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی بالاترین کارایی مصرف آب در تراکم ۸۰ بوته به میزان ۰/۴۵ کیلوگرم در متر مکعب حاصل شد و با کاهش تراکم بوته به ۴۰ بوته به میزان ۷۳/۵ درصد کاهش همراه بود (شکل ۷).

در پژوهش داگدلن و همکاران (Dagdelen et al., 2006) افزایش راندمان مصرف آب را همراه با کم شدن میزان آب مصرفی گزارش کردند، در حالی که (Eshghizadeh et al., 2010) افزایش کارایی مصرف آب همراه با افزایش میزان آب آبیاری گزارش کرده‌اند.

مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح آبیاری و تراکم نشان داد که بالاترین کارایی مصرف آب در ترکیب تیماری ۱۰۰ درصد نیاز آبی و تراکم ۱۰۰ بوته در متر مربع به میزان ۲/۵۳ کیلوگرم در متر مکعب حاصل شد ولی پایین‌ترین کارایی مصرف آب نیز در ترکیب تیماری ۵۰ درصد نیاز آبی و تراکم ۸۰ بوته به میزان ۰/۴۵ کیلوگرم در متر مکعب آب بود. نتایج نشان داد که در سطوح آبیاری ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی با کاهش تراکم از ۱۰۰ به ۴۰ بوته در متر مربع کارایی مصرف آب به ترتیب به میزان ۷۳/۲ و ۶۱/۲ درصد با کاهش همراه



شکل ۷- اثر متقابل سطوح آبیاری و تراکم بوته بر کارایی مصرف آب (LSD 0.05)

Figure 7- Interaction of irrigation levels and plant density on water use efficiency (LSD 0.05)

دانه شد. به نظر می‌رسد که با اعمال تنش خشکی و کوتاه شدن دوره‌ی رشد زایشی فرصت کمتری برای ذخیره نشاسته وجود دارد و در نتیجه میزان پروتئین دانه افزایش می‌یابد.

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که خشکی اثر نامطلوبی بر خصوصیات عملکردی کینوا دارد. اجزای عملکرد کینوا نیز مانند وزن هزار دانه، وزن انشعاب، تعداد دانه در انشعاب و تعداد انشعاب در گل‌آذین اصلی در اثر تنش خشکی کاهش قابل توجهی داشتند. نتایج نشان داد تنش تاثیر منفی بر ویژگی‌های مورد بررسی شامل عملکرد، گل و دانه داشت. با نقصان مواد فتوسنتزی انتقال مواد به سمت اندام زایشی نیز کاهش پیدا می‌کند که در نهایت موجب کاهش عملکرد رویشی و زایشی در گیاه می‌شود. با توجه به موقعیت ایران از نظر اقلیمی که در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار دارد و وجود بحران آب در این مناطق و انتخاب گیاهان سازگار به این شرایط از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است شناخت و توسعه کشت گیاهانی که از

پروتئین دانه

میزان پروتئین دانه در این تحقیق تحت تأثیر معنی‌دار سطوح مختلف آبیاری ($P < 0.01$)، قرار گرفته است (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بالاترین درصد پروتئین تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری در سطح ۵۰ درصد نیاز آبی به میزان ۲۰/۲۹ درصد بود که به ترتیب با کاهش میزان تنش به ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی به ترتیب به میزان ۳/۷۱ و ۱۱/۳۹ درصد کاهش همراه بود (جدول ۴). تنش خشکی سبب کاهش دوره پر شدن دانه می‌شود که سبب کاهش تجمع بسیاری از مواد می‌گردد، اما سنتز پروتئین به دلیل افزایش میزان انتقال مجدد نیتروژن، کمتر تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد (Oya, 2004). که در این تحقیق به دلیل کاهش دوره رشد زایشی این صفت با افزایش همراه بوده است. پروتئین بذر این گیاه بین ۱۳/۸۱ تا ۲۱/۹ درصد می‌باشد. به دلیل میزان بالای آمینواسیدها، این گیاه تنها گیاهی است که کل آمینواسیدهای ضروری بدن را تامین می‌کند (Bhargava et al., 2006). بیگلویی و همکاران (Biglouei et al., 2013) گزارش نمودند که افزایش تنش رطوبتی در ذرت سینگل کراس ۷۰۴ باعث افزایش درصد پروتئین

رشد کوتاه است، می‌تواند گیاه مناسبی جهت کشت در مناطق نیمه‌خشک باشد. به‌طور کلی نتایج نشان داد که در بین سطوح آبیاری بالاترین تراکم بهینه چیزی حدود ۱۱۰ تا ۱۱۵ بوته در متر مربع بود و در صورت کم شدن آبیاری تراکم بهینه کاهش می‌یابد چون در این آزمایش، سطح ۷۵ درصد نیاز آبی ۱۰۵ بوته و سطح ۵۰ درصد نیاز آبی ۸۰ بوته بهینه‌ترین تراکم بوده‌اند.

ویژگی‌های مقاومت به خشکی پایین بهره‌مند هستند نیز از برنامه‌های اصولی و لازم در این مناطق می‌باشد. کشت کینوا می‌تواند راه‌گشایی در زمینه تولید و تکثیر این گیاه با ارزش باشد و به این وسیله موجب ترویج و گسترش آن در منطقه گردد، از طرفی چون بخش اعظمی از کشور ایران و به‌ویژه استان خراسان جنوبی در منطقه اقلیمی با آب و هوای گرم و خشک قرار گرفته است. براساس نتایج حاصل از این پژوهش و با توجه به این‌که کینوا یک گیاه مقاوم به خشکی با دوره

References

1. Abugoch, L., Castro, E., Tapia, C., Añón, M. C., Gajardo, P., & Villarroel, A. (2009). Stability of Quinoa Flour Proteins (*Chenopodium quinoa* Willd.) During Storage. *International Journal of Food Science & Technology*, 44(10), 2013-2020. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2009.02023.x>
2. Ahmadi, A., & Ceioceemardeh, A. (2004). Effect of drought stress on soluble carbohydrate, chlorophyll and proline in four adopted wheat cultivars with various climate of Iran. *Iranian Journal Agriculture Science*, 35, 753-763. (in Persian with English abstract).
3. Alvarez, J. A., & Ashraf, A. (2010). Role of vitamin D in insulin secretion and insulin sensitivity for glucose homeostasis. *International Journal of Endocrinology*, 61(4), 337-48. <https://doi.org/10.1155/2010/351385>
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. AOAC. (1990). *Official Methods of Analyses*. Association of Official Analytical Chemists: Washington, DC.
6. Aziz, A., Akram, N. A., & Ashraf, M. (2018). Influence of natural and synthetic vitamin C (ascorbic acid) on primary and secondary metabolites and associated metabolism in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) plants under water deficit regimes. *Plant Physiology and Biochemistry*, 123, 192-203. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.12.004>
7. Badran, A. E., El-Sherebeny, E. A. M., & Salama, Y. A. (2015). Performance of some Alfalfa cultivars under salinity stress conditions. *Journal Agriculture Science*, 7(10), 281-290. <https://doi.org/10.5539/jas.v7n10p281>
8. Bagheri, M. (2019). *Quinoa Agriculture Manual*. Ministry of Jihad for Agriculture, Seed and Plant Breeding Research Institute. 56 pages.
9. Bhargava, A., Shukla S., & Ohri, D. (2006). *Chenopodium quinoa*—An Indian perspective. *Industrial Crops and Products*, 23, 73-87. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2005.04.002>
10. Bhargava, A., Shukla, S., & Ohri, D. (2007). Effect of sowing dates and row spacing's on yield and quality components of quinoa (*Chenopodium quinoa*) leaves. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 77(11), 748-751. <https://doi.org/10.3390/agriculture11050405>
11. Bhargava, A., Shukla, S., Rajan S., & Ohri, D. (2007). Genetic diversity for morphological and quality traits in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) germplasm. *Genetics Resources and Crop Evolution*, 54, 167-173. <https://doi.org/10.1007/s10722-005-3011-0>
12. Bieler, P., Fussell L. K., & Bidinger, F. R. (1993). Grain growth of *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br. under well watered and drought- stressed conditions. *Field Crops Reserch*, 31, 41-54. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(93\)90049-S](https://doi.org/10.1016/0378-4290(93)90049-S)
13. Biglouei, M. H., Kafi Ghasemi, A., Javaher Dashti, M., & Esfahani, M. (2013). Effect of irrigation regimes on yield and quality of forage maize (KSC 704) in Rasht region in Iran. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 15(3), 196-206.
14. Bloch, D., Hoffman, C. M., & Marlandar, B. (2006). Impact of water supply on photosynthesis, water use and carbon isotope discrimination of sugar beet genotypes. *European Journal of Agronomy*, 24(3), 218-225.
15. Blum, A., & Ebercon, A. (1981). Cell membrane stability as a measure of drought and heat tolerance in wheat 1. *Crop Science*, 21(1), 43-47. <https://doi.org/10.2135/cropsci1981.0011183X002100010013x>
16. Board, J. E., & Harville, B. G. (1996). Growth dynamics during the vegetative period affects yield of narrow-row, late-planted soybean. *Agronomy Journal*, 88, 567-572. <https://doi.org/10.2134/agronj1996.00021962008800040012x>
17. Boojang, H., & Fukai, S. (1996). Effects of soil water deficit at different growth stages on rice growth and yield under upland conditions.1: Growth during drought. *Field Crops Research*, 48, 37-45. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(96\)00039-1](https://doi.org/10.1016/0378-4290(96)00039-1)
18. Cabuslay, G. S., Ito, O., & Alejar, A. A. (2002). Physiological Evaluation of Responses of Rice (*Oryza sativa* L.) to Water Deficit. *Plant Science*, 163(4), 815-827. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(02\)00217-0](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00217-0)

19. Chamberlain, D. G., Thomas, P. C., Wilson, W., Newbold, C. J., & MacDonald, J. C. (1985). The effects of carbohydrate supplements on ruminal concentrations of ammonia in animals given diets of grass silage. *The Journal of Agricultural Science*, 104(2), 331-340. <https://doi.org/10.1017/S0021859600044002>
20. Dagdelen, N., Yilmaz, E., Sezgin, F. & Gurbuz, T. (2006). Water-yield relation and water use efficiency of cotton (*Gossypicum hirsutum* L.) and second crop corn (*Zea mays* L.) in western Turkey. *Agriculture. Water Management*, 82(1), 63-85.
21. El-Kheir, M. S. A., Kandil, S. A., & Mekki, B. B. (1994). Physiological response of two soybean cultivars grown under stress conditions as affected by CCC treatment. Egypt. *Journal of Physiology Sciences*, 18, 179-200. <https://doi.org/10.3923/ajps.2009.536.543>
22. English, M. (1990). Deficit irrigation. I. Analytical framework *Journal of Irrigation and Drainage*. E-ASCE, 116, 399-412. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(1990\)116:3\(399\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(1990)116:3(399))
23. English, M. J., Musick, J. T., & Murty, V. V. (1990). Deficit Irrigation. In: G.J. Hoffman, T.A. Towell and K.H. Solomon (Eds.) *Management of Farm Irrigation Systems*. St. Joseph, Michigan, United States of America, ASAE.
24. Eshghizadeh, H. R., Zahedi, M., Ashrafi, A., & Khajehpour, M. R. (2010). The effect of irrigation regime and plant density on growth and development, leaf moisture content and yield of sweet corn (K.S.C.404). *Journal of Applied Crop Research*, 88, 45-53. (in Persian with English abstract).
25. Eyvazi, A. R., Mohammadi, S. A., Abdollahi, Sh., Hosseini Salkadeh, S. A., & Majidi Heravan, E. (2005). Effect of Soil Salinity on Morpho-Physiological Traits of Ten Spring Wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes. *Journal of Agricultural Knowledge*, 16(2), 171-184. (in Persian with English abstract)
26. FAO. (2011). Quinoa; An Ancient Crop to Contribute to World Food Security. Regional Office for Latin America and the Caribbean. 63p.
27. FAOSTAT. (2020). <https://www.fao.org/faostat/en/>
28. Fuentes, F., & Bhargava, A. (2011). Morphological analysis of quinoa germplasm grown under lowland desert conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 197, 124-134. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2010.00445.x>
29. Garcia, M., Raes, D., & Jacobsen, S. E. (2003). Evapotranspiration analysis and irrigation requirements of quinoa (*Chenopodium quinoa*) in the Bolivian highlands. *Agriculture Water Management*, 60, 119-134. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(02\)00162-2](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(02)00162-2)
30. Geerts, S., Raes, D., Garcia, M., Del Castillo, C., & Buytaert, W. (2006). Agro-climatic suitability mapping for crop production in the Bolivian Altiplano: A case study for quinoa. *Agriculture Forest Meteorology*, 139, 399-412. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.08.018>
31. Ghasemi Siani, E., Fallah, S., & Tadayyon, A. (2011). Study on Yield and Seed Quality of *Plantago ovata* Forssk., Under Different Nitrogen Treatments and Deficit Irrigation. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 27(3), 517-528. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2011.6392>
32. Ghooshchi, F., Shirani Rad, A. H., Noormohammadi, Gh., & Hadi, H. (2010). Changes in Yield and Seed Yield Components of Rapeseed Cultivars in Optimum and Limited Irrigation Conditions. *Improvement Research (Environmental Stresses in Plant Sciences)*, 2(1), 13-28. (in Persian).
33. Goldhamer, D. A., Salinas, M., Crisosto, C., Day, K. R., Soler, M., & Moriana, A. (2002). Effects of regulated deficit irrigation and partial rootzone drying on late harvest peach tree performance. *Acta Horticulturae*, 592, 343-350. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.592.48>
34. Hashemi Dezfouli, A., Koocheki, A., & Banayan, M. (1995). *Maximizing Crop Yields*. Jahad Daneshgahi of Mashhad Press, Mashhad, Iran (in Persian).
35. Hashemi Nia, S. M. (2004). *Water Management in Agriculture*. First Edition. Ferdowsi University of Mashhad Press. Mashhad, Iran. 536 Page. (in Persian).
36. Hassanpour, H., & Niknam, V. (2014). Effect of water deficit stress on growth and antioxidant enzyme activity of *Mentha pulegium* L. at flowering stage. *Journal of Plant Process and Function*, 3(8), 25-34. (in Persian with English abstract).
37. Jackson, M. B. (1993). Are plant hormones involved in root-to-shoot communication? *Advances in Botanical Research*, 19, 103-187.
38. Jacobsen, S. E., Liu, F., & Jensen, C. R. (2009). Does root-sourced ABA play a role for regulation of stomata under drought in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Scientia Horticulturae*, 122(2), 281-287.
39. Jakobsen, A. L. (2003). Effects of think aloud on translation speed, revision, and segmentation. *Benjamins Translation Library*, 45, 69-96. <https://doi.org/10.1075/btl.45.08jak>
40. Jamali, S., Goldani, M., & Zaenodin, S. M. (2018). Investigation of the effect of periodic water stress on yield, yield components and water use efficiency of quinoa. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 13, 1687-1697.
41. Jayme-Oliveira, A., Ribeiro Júnior, W. Q., Ramos, M. L. G., Ziviani, A. C., & Jakelaitis, A. (2017). Amaranth, quinoa, and millet growth and development under different water regimes in the Brazilian Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 52(8), 561-571. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2017000800001>
42. Kafi, A. K. M., Ahmadalinezhad, A., Wang, J., Thomas, D. F., & Chen, A. (2010). Direct growth of nanoporous

- Au and its application in electrochemical biosensing. *Biosensors and Bioelectronics*, 25(11), 2458-2463. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2010.04.006>
43. Kafi, R., Kwak, H. S. R., Schumacher, W. E., Cho, S., Hanft, V. N., Hamilton, T. A., & Kang, S. (2007). Improvement of naturally aged skin with vitamin A (retinol). *Archives of Dermatology*, 143(5), 606-612. <https://doi.org/10.1001/archderm.143.5.606>
 44. Khajepour, F., & Hosseini, S. A. (2012). Citric acid improves growth performance and phosphorus digestibility in Beluga (*Huso huso*) fed diets where soybean meal partly replaced fish meal. *Animal Feed Science and Technology*, 171(1), 68-73. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.10.001>
 45. Khazaei, H. (2001). Improvement of sugarbeet (*Beta Vulgaris*) seed germination with water treatment.
 46. Khazaei, H. (2002). *The effect of drought stress on yield and physiological characteristics of resistant and susceptible wheat cultivars and the introduction of the most appropriate drought resistance indices*. PhD Thesis in Crop Physiology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. <https://doi.org/10.22077/escs.2017.360.1068>
 47. Khorshidi, M., Rahimzadeh, B., Mirhadi, M., & Normohamadi, Gh. (2002). Investigation of the effects of drought stress on potato growth stages. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 4(1), 59-48.
 48. Koutroubas, S. D., Papakosta, D. K., & Doitsinis, A. (2000). Water requirements for castor oil crop (*Ricinus communis* L.) In a mediterranean climate. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 14, 33-41. <https://doi.org/10.1046/j.1439-037x.2000.00357.x>
 49. Lavini, A., Pulvento, C., d'Andria, R., Riccardi, M., Choukr, R., Allah, O. Belhabib. (2014). Quinoa's potential in the Mediterranean region. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 200, 344-360. <https://doi.org/10.1111/jac.12069>
 50. Lugojan, C., & Ciulca, S. (2011). Evaluation of relative water content in winter wheat. *Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology*, 15(2), 173-177.
 51. Matinfar, M., Matinfar, M., Mahjoor, M., Shiranirad, A. H., & Mohammadi, R. (2012). Effect of plant density on yield and yield components of rapeseed varieties (*Brassica napus*) in Qazvin. *Ecophysiology of Farm Crops*, 4(24), 405-414. (in Persian with English abstract).
 52. Morgan, J. M. (1977). Changes in diffusive conductance and water potential of wheat plants before and after anthesis. *Australian Journal of Plant Physiology*, 4, 75-86.
 53. Nazari Nasi, H., Jabbari, F., Azimi, M. R., & Nowruzian, M. (2012). Evaluation of the effect of drought stress on membrane stability, photosynthesis rate, relative water content and grain yield of four bean cultivars. *Iranian Journal of Crop Science*, 43(3), 499-491. <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2012.29045>
 54. Oya, T., Nepomuceno, A. L., Neumaier, N., Boucas Farias, J. R., Tobita, S., & Ito, O. (2004). Drought tolerance characteristics of Brazilian soybean cultivars evaluation and characterization of drought tolerance of various Brazilian soybean cultivars in the field. *Plant Production Science*, 7(2), 129-137. <https://doi.org/10.1626/pps.7.129>
 55. Prasad, T., & Yadav, D. S. (1990). Effect of irrigation and plant density on yield attributes and yield of green gram and black gram. *Indian Journal of Agronomy*, 35, 99-151.
 56. Premachandra, G. S., Saneoka, H., Fujita, K., & Ogata, S. (1992). Leaf water relations, osmotic adjustment, cell membrane stability, epicuticle wax load and growth as affected by increasing deficits in Sorghum. *Journal of Experimental Botany*, 43, 156-176.
 57. Rabbani, J., & Emam, Y. (2011). Response of grain yield of corn hybrids to drought stress at different stages of growth. *Journal of Production and Processing of Crop and Horticultural Products*, 1(2), 78-65. <https://dori.net/dor/20.1001.1.22518517.1390.1.2.5.0>
 58. Rabbani, J., & Emam, Y. (2011). Yield Response of Maize Hybrids to Drought Stress at Different Growth Stages. *Journal of Crop Production and Processing*, 1(2), 65-78. (in Persian with English abstract).
 59. Rao, K. G. (1987). *Water use and irrigation response to defoliated corn with various population*. Available from University Microfilms International 300 N. Zeeb Road, Ann Arbor, MI 48106, Order No. 8706243. Ph.D. Dissertation. 142p, 36 fig, 43 tab, 73 ref, append.
 60. Razzaghi, F., Plauborg, F., Jacobsen, S., Jensen, C. R., & Andersen, M. N. (2012). Effect of nitrogen and water availability of three soil types on yield, radiation use efficiency and evapotranspiration in field-grown quinoa. *Agricultural Water Management*, 109, 20-29. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.02.002>
 61. Risi, J., & Galwey, N. W. (1991). Effects of sowing date and sowing rate on plant development and grain yield of quinoa (*Chenopodium quinoa*) in a temperate environment. *Journal of Agricultural Science*, 117, 325-332. <https://doi.org/10.17557/tjfc.485617>
 62. Rushdie, M., Heidari Sharifabad, H., Karimi., Noor Mohammadi, Q., & Dervish, F. (2006). Effects of dehydration stress on yield and grain yield components of sunflower cultivars. *Special Issue of Agricultural Sciences Research*, 12(1), 109-122. <https://doi.org/10.22055/ppd.2022.32122.1862>
 63. Sairam, R. K., & Srivastava, G. C. (2001). Water stress tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.): variations in hydrogen peroxide accumulation and antioxidant activity in tolerant and susceptible genotypes. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 186(1), 63-70. <https://doi.org/10.1046/j.1439-037x.2001.00461.x>

64. Salehi, M., & Dehghani, F. (2019). *Guide to planting, holding and harvesting quinoa in saline conditions*. Ministry of Jihad Agriculture, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Deputy for Extension. 96 pages. <https://doi.org/10.22077/escs.2021.3287.1837>
65. Samadzadeh, A. R., Zamani, Gh., & Fallahi, H. R. (2019). Possibility of quinoa production under South-Khorasan climatic condition as affected by planting densities and sowing dates. *Journal of Agricultural Applied Research*, 33(1), 126.104-82. <https://doi.org/10.22092/aj.2020.125793.1392>
66. Sandha, T. S., Bhllav, H., Chema, S., & Gill, A. (1977). Variability and interrelationship among grain protein yield and yield components in mungbeen. *Indian Journal Agriculture Reserch*, 30, 871-882.
67. Sarmadnia, Gh. H., & Koocheki, E. (1991). *Crop Physiology*. Jehade-Daneshgahi of Mashhad Publication. (in Persian).
68. Sarmadnia, Gh. H., & Kouchaki, A. (1991). *Crop Physiology*, Mashhad University Jihad Publications. 467 p. <https://doi.org/10.2135/cropsci1991.0011183X003100020034x>
69. Sharma, B., Molden, D., & Cook, S. (2015). *Water use efficiency in agriculture: Measurement, current situation and trends*. PP 39-64 in P. Drechsel, P. Heffer, H. Magen, R. Mikkelsen and D. Wichelns eds. *Managing Water and Fertilizer for Sustainable Agricultural Intensification*. Paris, France: International Fertilizer Industry Association (IFA), Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI), Georgia, USA: International Plant Nutrition Institute (IPNI), Horgen, Switzerland: International Potash Institute (IPI). <https://doi.org/10.22004/ag.econ.208411>
70. Shibairo, S. I., Upadhyaya, M. K., & Toivonen, P. M. A. 1998. Influence of prearrest water stress on postharvest moisture loss of carrot (*Daucus carota* L.). *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 73, 347-352. <https://doi.org/10.1080/14620316.1998.11510984>
71. Soleimanipour, Sh., Shirani Rad, A. H., Madani, H., Rezaie Zad, A., & Fareghi, Sh., (2009). Study the time effect of irrigation outage on agronomic traits of cultivars of winter rapeseed. *New Findings in Agriculture*, 3(3), 263-274. (in Persian with English abstract).
72. Soleimanpour, S., Shiranirad, A. H., Madani, H., Rezaeizad, A., & Fareghi, S. (2009). Investigation the Effect of Water Deficit on Agronomical Characteristics and Growth Indices of Winter Rapeseed Cultivars. *New Finding in Agriculture*, 3(3), 263-274. (in Persian with English abstract).
73. Spehar, C. R., & Rocha, J. E. S. (2009). Effect of sowing density on plant growth and development of quinoa, genotype 4.5, in the Brazilian savannah highlands. *Bioscience Journal*, 25, 53-58. <https://doi.org/10.22092/sppi.2021.123894>
74. Wilson, H. D., & Heiser, C. B. (1979). The origin and evolutionary relationships of Huauzontle, (*Chenopodium nuttalliae* Safford), domesticated chenopod of Mexico. *American Journal of Botany*, 66(2), 198-206. <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1979.tb06215.x>
75. Winter, S. R., Musick, J. T., & Porter, K. B. (1988). Evaluation of Screening Techniques for Breeding Drought – Resistance Winter Wheat. *Crop Science*, 28, 512-516. <https://doi.org/10.2135/cropsci1988.0011183X002800030018x>
76. Yadav, R., Gayadin, S., & Jaiswal, A. K. (2001). Morpho-physiological changes and variable yield of wheat genotypes under moisture stress conditions. *Indian Journal of Plant Physiology*, 6, 390-394.
77. Yerardi, R. S. (2007). Biobehavioral nicotine dependence in persons with schizophrenia (Doctoral dissertation, The Ohio State University).
78. Zhang, H., & Oweis, T. (1999). Water-yield relations and optimal irrigation scheduling of wheat in the Mediterranean region. *Agriculture Water Manage*, 38, 195-211. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(98\)00069-9](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(98)00069-9)