2024, Vol.10, No.4, Pages 49 to 58
Journal of Water and Sustainable Development

سال دهم، شماره ۴، ۱۴۰۲، صفحات ۴۹ تا ۵۸
نشریه آب و توسعه پایدار

Article Type: Applied Article

نوع مقاله: پژوهش کاربردی

Effects of Different Levels of drought Stress on Yield and Yield Components of Quinoa (Chenopodium *Quinoa Willd.*)

H. Beyrami[1*], R. Yazdani-Biouki[1], M. Salehi[2]

1,2- Assistant Professor & Associate Professor , National Salinity Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran.

*(Corresponding Author Email: beyrami.h@hotmail.com)

Received: 01-07-2023 Revised: 01-08-2023
Accepted: 12-08-2023 Available Online: 12-02-2024

اثر سطوح مختلف تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد کینوا (رقم تیتیکاکا)

حسین بیرامی[1*]، رستم یزدانی بیوکی[1]، معصومه صالحی[2]

۱ و ۲- به ترتیب استادیار و دانشیار، مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران.

*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: beyrami.h@hotmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۱۰ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۵/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۲۱ تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۱/۲۳

Abstract

Due to the limited quality of water resources and considering that the majority of the country is arid and semi-arid, it is important to cultivate plants with a high tolerance to drought and salinity. This research was conducted to determine the effect of different moisture levels on yield and yield components of quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) under lysimetric conditions in the spring and autumn cropping seasons. Treatments included irrigation after draining 0.2, 0.4, 0.6, and 0.8 of the total available water (TAW). Irrigation was done based on the soil moisture depletion and the leaching requirement of about 20%. At the end, dry biomass, seed yield, and yield components were measured. The results showed that with an increase in the moisture depletion from 0.6 to 0.8 TAW, the biomass and seed yield had a significant decrease of 24 and 37% in the spring and 34 and 47% in the autumn cropping season, respectively. But the increase in moisture depletion from 0.2 to 0.4 and 0.4 to 0.6 did not cause a significant decrease in these traits. The results indicated that changes in moisture depletion levels caused significant differences in plant height ($P<0.01$), stem diameter, and 1000-seed weight ($P<0.05$) in spring cropping, but their effect on panicle length and width and the number of secondary stems was not significant. In the autumn cropping season, the results showed that changes in moisture levels caused significant differences in plant height and the 1000-seed weight ($P<0.01$), but the effect on other yield components was not significant.

Keywords: Yield Components, Drought Stress, Soil moisture, Quinoa.

چکیده

به دلیل محدودیت منابع آبی با کیفیت و قرارگیری بخش عمده مساحت کشور جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک، کشت گیاهان متحمل به تنش‌های محیطی مانند خشکی و شوری اهمیت دارد. تحقیق حاضر به‌منظور تعیین اثر سطوح مختلف رطوبتی بر عملکرد و اجزای عملکرد کینوا رقم تیتیکاکا در شرایط لایسیمتری در دو کشت بهار و پاییز انجام شد. تیمارهای آبیاری شامل، آبیاری پس از تخلیه ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶ و ۰/۸ کل آب قابل دسترس بود. پس از کشت، آبیاری بر اساس میزان تخلیه رطوبت خاك و با لحاظ نیاز آبشویی حدود ۲۰ درصد انجام گردید. در انتهای مرحله رسیدگی، بوته‌های کینوا برداشت و پس از خشک شدن، وزن خشک زیست‌توده، عملکرد دانه، شاخص برداشت و اجزاء عملکرد اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد با افزایش تخلیه رطوبتی از ۰/۶ به ۰/۸ کل آب قابل دسترس، کاهش معنی‌دار ۲۴ و ۳۷ درصدی به ترتیب در میزان زیست‌توده و عملکرد دانه در کشت بهار و کاهش ۳۴ و ۴۷ درصدی در کشت پاییز مشاهده شد، اما افزایش تخلیه رطوبتی از ۰/۲ به ۰/۴ و ۰/۴ به ۰/۶ موجب کاهش معنی‌دار در این صفات نشد. همچنین نتایج نشان داد تغییرات سطوح تخلیه رطوبتی موجب اختلاف معنی‌دار ارتفاع بوته ($P<۰/۰۱$)، قطر ساقه و وزن هزار دانه ($P<۰/۰۵$) در کشت بهار شد، اما اثر آن بر طول و عرض پانیکول و تعداد ساقه فرعی معنی‌دار نبود. در کشت پاییز تغییرات سطوح تخلیه رطوبتی موجب اختلاف معنی‌دار ارتفاع بوته و وزن هزار دانه ($P<۰/۰۱$) شد، اما اثر آن بر بقیه اجزاء عملکرد در سطح ۵ درصد معنی‌دار نبود.

واژه‌های کلیدی: اجزای عملکرد، تنش خشکی، رطوبت خاک، کینوا.

How to cite this article: Beyrami, H., Yazdani-Biouki, R., & M. Salehi, M. (2024). Effects of Different Levels of drought Stress on Yield and Yield Components of Quinoa (Chenopodium Quinoa Willd). Journal of Water and Sustainable Development, 10(4), 49-58. doi: http://dx.doi.org/10.22067/jwsd.v10i4.2307-1254

مقدمه

کینوا[1] جزو زیر خانواده کنوپودیاسه[2] از خانواده آمارانتاسه بوده و طبق مستندات موجود، کینوا یک گیاه شورزیست اختیاری است و کشت آن تا شوری سطح دریا امکان‌پذیر است (Jacobsen و همکاران، ۲۰۰۱؛ Adolf و همکاران، ۲۰۱۳). کینوا یک گیاه مقاوم به خشکی و شوری معرفی شده است که در شرایط مختلف خاک و اقلیم قابلیت رشد و تولید محصول را دارد (تافته و امداد، ۱۴۰۰). این گیاه بومی کوه‌های آند در کشورهای بولیوی، شیلی و پرو است و بنام دانه مادر، خاویار سبزی و برنج اینکا هم معروف است. کینوا در طی ۵۰۰۰ سال به‌طور مداوم مورد تغذیه مردم آن مناطق در کشورهای: پرو، بولیوی، اکوادور و شیلی بوده است. کینوا گیاهی با ارزش غذایی مطلوب و پتانسیل بالای رشد در شرایط نامساعد محیطی است. ایران تنوع اقلیمی فراوانی دارد و به‌عنوان مثال کشت کینوا از نظر تولید به‌خصوص در مناطق جنوبی موجب ایجاد تنوع در محصولات زراعی و تولید پایدار و ایجاد افزایش درآمد کشاورزان و امنیت غذایی خواهد شد (جمالی و انصاری، ۱۳۹۸). به‌طورکلی، کینوا یکی از گیاهانی است که در بین شورزیست‌ها خصوصیات برجسته اقتصادی و زراعی دارد و علاوه بر تولید دانه‌های روغنی و پروتئین، از نظر تولید علوفه نیز حائز اهمیت است (Bhargava و همکاران، ۲۰۰۷). دانه کینوا منبع عالی از منگنز، آهن و پتاسیم، مس، روی و فسفر است و حاوی ویتامین‌های گروه ب ازجمله ریبوفلاوین، تیامین و نیاسین است. کینوا مقدار پروتئین زیادتری نسبت به اکثر غلات داشته و کیفیت پروتئین آن بالاتر و توازن اسیدآمینه بیشتری دارد. کینوا سیستم کارآمدی برای تنظیم فشار اسمزی برای تنش افزایش ناگهانی کلرید سدیم دارد (Hariadi و همکاران، ۲۰۱۰). کینوا را می‌توان در بسیاری از محیط‌های مبتلا به خشک‌سالی و یا تنش شوری که در حال حاضر بهره‌وری بسیار پایین دارند، کشت کرد (Jacobsen و همکاران، ۲۰۰۳؛ بیرامی و همکاران، ۱۳۹۸). در نواحی که آب عامل محدودکننده می‌باشد، افزایش بهره‌وری آب می‌تواند برای کشاورز بسیار مفیدتر از افزایش محصول باشد (English، ۱۹۹۰)؛ به‌عبارت‌دیگر هدف کم آبیاری، پایداری تولید محصول و رسیدن به بالاترین بهره‌وری نسبت به افزایش تولید محصول می‌باشد (Zhang و Oweis، ۱۹۹۹).Geerts و همکاران (۲۰۰۶) مشاهده نمودند کم آبیاری یک انتخاب ارزشمند برای پایداری در تولید محصول کینوا در نواحی مختلف بولیوی که دوره‌های خشک درون فصلی دارد، می‌باشد.

Hirich و همکاران (۲۰۱۴) آزمایش‌های مختلفی طی سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱ برای بررسی اثر کم آبیاری با استفاده از فاضلاب بر روی چند گیاه ازجمله کینوا بررسی نمودند. در مطالعه مذکور شش سطح آبیاری از ۱۰۰ درصد آبیاری کامل تا ۵۰ درصد آبیاری کامل را اعمال شد. در تمامی گیاهان بیشترین بهره‌وری آب و محصول زمانی که کم آبیاری در مرحله رشد رویشی اعمال شد، مشاهده شد. Algosaibi و همکاران (۲۰۱۷) اثر دوره‌های مختلف آبیاری (دوبار در هفته، یکبار در هفته و یکبار در دوهفته) را بر روی رشد و عملکرد محصول کینوا در مصر بررسی کردند. نتایج آنان نشان داد 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. Yazar و همکاران (۲۰۱۵) پاسخ محصول کینوا به آبیاری با آب غیر شور و شور در شرایط آب و هوایی مدیترانه‌ای از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۲ در آدانا ترکیه را بررسی مزرعه‌ای کردند. 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 جزیی محصول دانه در آبیاری با آب شور تا سطح ۳۰ دسی زیمنس بر متر در مقایسه با آب غیرشور بود.

جمالی و انصاری (۱۴۰۰) در تحقیق خود چهار سطح آبیاری ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد نیاز آبی کینوا (به‌ترتیب T1، T2، T3 و T4) را بررسی کردند. نتایج نشان داد بیشترین و کمترین میزان شاخص CWSI به‌ترتیب در تیمارهای T4 (با ۰/۷۲) و 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. گلستانی فر و همکاران (۱۴۰۱) میزان نیاز آبی کینوا در آبیاری با آب حدود ۳/۹ دسی زیمنس بر متر ۵۵۳۴ متر مکعب بر هکتار را به‌دست آوردند. نتیجه تحقیقات مصطفائی و همکاران (۱۴۰۲) نشان داد اجزای عملکرد در مواجهه با شرایط کم‌آبیاری، به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، نتایج سطوح آبیاری و تراکم نشان داد بالاترین عملکرد در ۱۰۰ درصد نیاز آبی و تراکم ۱۰۰ بوته به میزان ۴۲۶۸/۵۲ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد 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 (۱۴۰۲) بیان نمودند بیشترین عملکرد دانه کینوا در تیمار آبیاری کامل (۳۷۰۰ کیلوگرم در هکتار) با نیاز آبی ۳۱۲ میلی‌متر بود. همچنین آنان گزارش نمودند، باوجوداینکه کینوا گیاهی متحمل به خشکی است اما باید توجه کرد اعمال تنش کم‌آبی در دو مرحله اولیه و میانی (مراحل حساس به تنش کم‌آبی گیاه کینوا)، موجب کاهش معنی‌دار عملکرد کینوا خواهد شد. Bozkurt Çolak و همکاران (۲۰۲۱) عملکرد و واکنش بهره‌وری آب کینوا را به کم آبیاری تنظیم شده (RDI)، خشکی

جزئی ناحیه ریشه (PRD) و کم آبیاری معمولی (DI) و آبیاری کامل (FI) با استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی (SD) و قطره ای زیرسطحی (SSD) در منطقه مدیترانه شرقی ترکیه بررسی نمودند. آنان در تحقیقات خود گزارش نمودند به نظر می رسد RDI (کم آبیاری تنظیم‌شده) و DI75 (کم‌آبیاری به اندازه ۷۵ درصد آبیاری کامل) جایگزین‌های خوبی برای FI برای تولید پایدار کینوا در مناطق مدیترانه‌ای هستند.

باتوجه‌به اهمیت کینوا به‌عنوان یک گیاه زراعی مقاوم به خشکی و شوری و همچنین وسعت رو به افزایش زمین‌های شور و نیز کاهش و کمبود منابع آب کشور و کاهش کیفیت آن، ضروری است با لحاظ ارزش غذایی این گیاه بر روی موضوعات نیاز آبی و نیز مناسب‌ترین مدیریت آبیاری آن در شرایط با و بدون محدودیت آب در مناطق مورد توصیه کشت کینوا تحقیقات جامعی به منظور توسعه کشت این محصول انجام پذیرد. بنابراین باتوجه‌به توسعه کشت کینوا در ایران در سال‌های اخیر یکی از مهمترین و اساسی‌ترین سؤالات در زمینه کشت این گیاه، اثر تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد آن می‌باشد که در این تحقیق سعی شده به آن پاسخ داده شود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در میکرولایسیمترهای تعبیه شده در مزرعه‌ای واقع در شهرستان یزد با مختصات جغرافیایی ‘۵۵ °۳۱ شمالی و ‘۱۶ °۵۴ شرقی انجام گرفت. شروع کشت پاییز، اول شهریور سال ۱۳۹۸ و شروع کشت بهار، اول اسفند سال ۱۳۹۸ بود. آزمایش‌ها در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با چهار تیمار شامل شروع آبیاری در سطوح تخلیه رطوبتی ۰/۸، ۰/۶، ۰/۴ و ۰/۲ کل آب قابل‌دسترس[۴] در سه تکرار انجام گرفت. به‌این‌منظور تعداد ۱۲ عدد میکرولایسیمتر وزنی (از جنس پلی اتیلن) با ابعاد تقریبی ۵۰×۵۰×۴۰ سانتی‌متر تهیه شده و پس از پرکردن با خاکی با بافت سبک (لوم شنی که بافت غالب خاک منطقه است) با چگالی یکنواخت ۱/۴ گرم بر سانتی‌مترمکعب، بر روی پایه و ترازوهای الکترونیکی مجزا قرار داده شدند (بیرامی و همکاران، ۱۳۹۹ الف). در قسمت پایینی میکرولایسیمترها برای زهکشی مناسب از شن ریز به‌عنوان فیلتر در ضخامتی حدود ۳ تا ۴ سانتی‌متر استفاده شد. تعیین ارتفاع میکرولایسیمترها (۵۰ سانتی‌متر) بر اساس بیشترین تراکم ریشه گزارش شده در تحقیقات بود. بر اساس تحقیقات Alvarez-Flores و همکاران (۲۰۱۴) بیشترین توسعه ریشه کینوا در عمق ۲۵ تا ۳۰ سانتی‌متری دیده شد، یعنی بیشترین تراکم ریشه در این عمق وجود داشت (۰/۳۵ cm root/cm^3 soil)، اما طول ریشه بستگی به شرایط محیطی می‌تواند بیشتر هم باشد اما در اعماق پایین تراکم ریشه به شدت کم می‌شود. Azhar و همکاران (۲۰۱۸) نیز حداکثر طول ریشه کینوا را حدود ۲۵ سانتی‌متر گزارش نمودند. خصوصیات عمومی فیزیکی (مانند بافت، رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای (FC) و نقطه پژمردگی دائم (PWP) و شیمیایی (مانند pH، EC) در خاک مورد نظر قبل از شروع آزمایش اندازه‌گیری شد (جدول ۱). برای اندازه‌گیری رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای (FC) و نقطه پژمردگی دائم (PWP) خاک از دستگاه صفحات فشاری استفاده شد. خاک مورد نظر دارای کلاس بافت لوم شنی و متوسط بافت بوده (خاک مطلوب برای این گیاه شن لومی تا لوم شنی گزارش شده است (باقری، ۱۳۹۷)، دارای شوری نسبتاً بالا و pH خنثی بود. این خاک ماده آلی ناچیزی دارد و مقدار نیتروژن کل نیز در آن اندک بود. قبل از کاشت، لوازم و اتصالات آبیاری، مخازن ذخیره آب برای تأمین آب با شوری مورد نیاز تهیه شد. همچنین خصوصیات شیمیایی آب استفاده شده برای آبیاری در این پژوهش در جدول (۲) آورده شده است.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه در زمان شروع آزمایش

ویژگی	شن (٪)	سیلت (٪)	رس (٪)	EC_e (dS m^{-1})	pH	رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای (FC) (درصد حجمی)	رطوبت نقطه پژمردگی دائم (PWP) (درصد حجمی)
مقدار	۶۸/۵۸	۱۵/۴۲	۱۶	۵/۲	۷/۴۶	۲۵	۹

جدول ۲- برخی ویژگی‌های شیمیایی آب آبیاری تیمارهای آزمایش

ویژگی	EC (dS m^{-1})	pH	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Ca_2^{2-}	HCO_3^-	Na^+	K+	Cl^-	SO_4^{2-}	SAR
			(meq l^{-1})								
مقدار	۵/۰	۸/۰۵	۳/۱۵	۸/۹	۰/۰	۲/۷۷	۶۳/۳۲	۰/۱۷	۶۶/۵۱	۶/۲۶	۲۵/۸

کینوا به‌صورت بذری به‌طور یکنواخت در میکرولایسیمترها کشت و برای جلوگیری از اثر واحه‌ای و انتقال گرما از اطراف به میکرولایسیمترها، کشت بافر در پیرامون آن‌ها در مزرعه نیز انجام شد. آبیاری با آب دارای شوری ۵ دسی زیمنس بر متر بر اساس میزان تخلیه رطوبت خاك و اعمال ضریب آبشویی حدود ۲۰ درصد در هر نوبت انجام شد. برای محاسبه ضریب آبشویی از رابطه (۱) استفاده شد. در این رابطه LR ضریب آبشویی، EC_{iw} هدایت الکتریکی آب آبیاری و EC_e هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک

می‌باشد که گیاه دچار تنش نشود و عملکرد پتانسیل را داشته باشد که در مورد کینوا عدد شش دسی زیمنس بر متر در نظر گرفته شد (صالحی و دهقانی، ۱۳۹۷).

$$LR= EC_{iw}/(5EC_e-EC_{iw}) \quad (1)$$

شروع آبیاری زمانی بود که میزان رطوبت به سطح مورد نظر (بر اساس تیمار خاص به یکی از سطوح ۰/۸، ۰/۶، ۰/۴ و ۰/۲ کل آب قابل دسترس) برسد که باتوجه‌به پایش وزن هر میکرولایسیمتر در زمان‌های مختلف تعیین شد. پایش حجم (برای محاسبه بیلان آب مصرفی) و شوری زه‌آب (برای کنترل تغییرات شوری خاک) خروجی از ناحیه ریشه نیز در هر نوبت آبیاری انجام 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)، فسفر (۱۰۰ کیلوگرم سوپر فسفات در هکتار قبل از کشت) و پتاسیم (۱۰۰ کیلوگرم کود سولفات پتاسیم در هکتار قبل از کشت) به‌صورت کودی به خاک اضافه شد. همچنین اجزای عملکرد (وزن دانه، وزن خشک کل زیست‌توده) و خصوصیات مورفولوژیک (طول بوته، طول پانیکول، عرض سنبله و ...) کینوا پس از برداشت حدود سه ماه پس از کشت (برداشت در کشت بهار در اوایل خرداد و در کشت پاییز در اوایل آذر) در هر دو کشت اندازه‌گیری شد. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel 2013 و برای آنالیز داده‌ها از نرم‌افزار SPSS 16.0 استفاده شد و میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن مقایسه شدند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف تخلیه رطوبتی بر اجزای عملکرد و عملکرد کینوا در کشت بهار در جداول (۳) و (۴) آورده شده است. همان‌طور که در این جداول دیده می‌شود، نتایج نشان داد تغییرات سطوح تخلیه رطوبتی موجب اختلاف معنی‌دار در صفات ارتفاع بوته ($P<0/01$)، قطر ساقه و وزن هزاردانه ($P<0/05$) شده است، اما اثر آن بر صفات طول و عرض پانیکول و تعداد ساقه فرعی معنی‌دار نبود. با تغییر سطوح رطوبتی در حقیقت طول دوره آبیاری یا به عبارتی فواصل آبیاری تغییر می‌یابد که در این رابطه، Algosaibi و همکاران (۲۰۱۷) اثر دوره‌های مختلف آبیاری بر تغییرات رشد و عملکرد محصول کینوا در مصر و تغییر معنی‌دار عملکرد و اجزا عملکرد گیاه کینوا در اثر تغییرات حجم و دور آب مصرفی را گزارش نمودند. جمالی و همکاران (۱۳۹۵) نیز در تحقیق خود گزارش نمودند کاهش مقدار آب آبیاری و افزایش شوری سبب تغییر معنی‌دار عملکرد و اجزا عملکرد گیاه کینوا می‌شود. بررسی اثر تغییرات سطوح رطوبتی شروع آبیاری بر عملکرد زیست‌توده و عملکرد بذر و شاخص برداشت (جدول ۴) در کشت بهار نشان می‌دهد که تغییرات سطوح رطوبتی موجب تغییر معنی‌دار عملکرد زیست‌توده ($P<0/01$) و عملکرد بذر ($P<0/05$) شده است، اما بر مقدار شاخص برداشت اثر معنی‌دار نداشته است.

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف تخلیه رطوبتی بر اجزای عملکرد کینوا در کشت بهار (سال ۹۹-۹۸)

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع بوته	تعداد ساقه فرعی	قطر ساقه	طول پانیکول	عرض پانیکول	وزن هزاردانه
تیمار	۳	۹۶/۸۶**	۰/۷۵^{ns}	۱/۷۵*	۱۲/۲۲^{ns}	۰/۸۳^{ns}	۰/۷۶**
خطا	۸	۱۰/۰۸	۱/۵۰	۰/۲۸	۳/۴۲	۰/۳۳	۱/۰۱
ضریب تغییرات (٪)	-	۶/۵۱	۱۶/۸۹	۹/۹۷	۱۶/۸۰	۱۸/۰۱	۴/۶۹

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

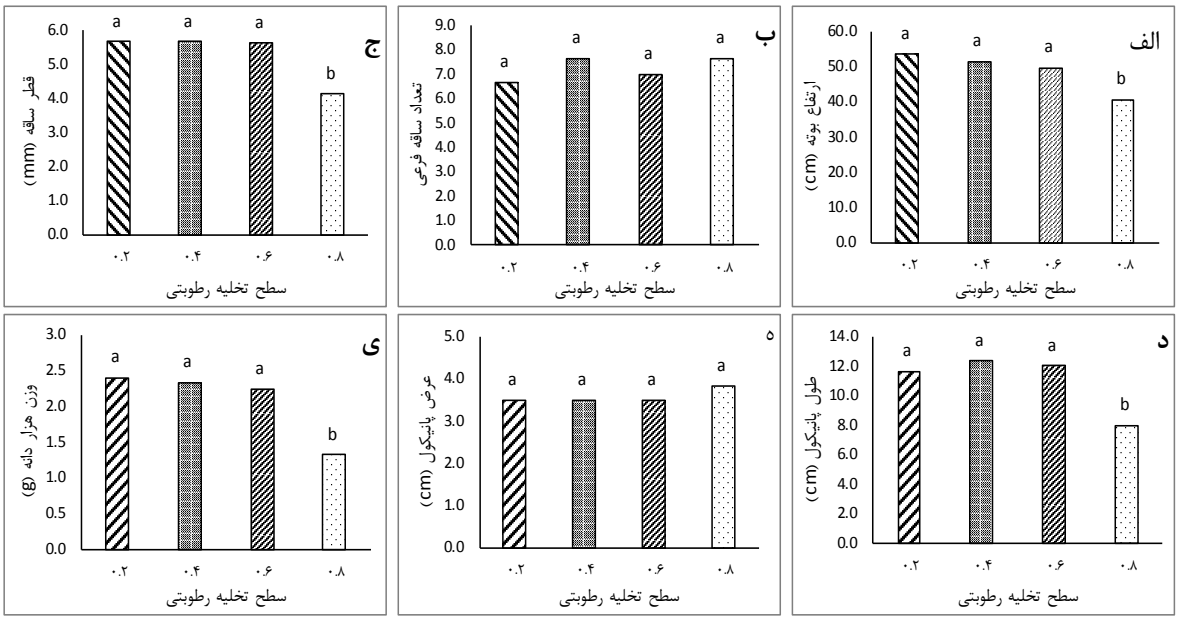
جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح تخلیه رطوبتی مختلف بر عملکرد کینوا و شاخص برداشت در کشت بهار

منابع تغییرات	درجه آزادی	زیست‌توده	عملکرد دانه	شاخص برداشت
تیمار	۳	۴۴۳۸۲۸۰/۴۴*	۸۷۵۳۸۸/۵۳*	۰/۰۰۳۲^{ns}
خطا	۸	۷۳۲۹۵۰/۶۷	۱۴۱۴۰۳/۱۱	۰/۰۰۱۸
ضریب تغییرات (٪)	-	۱۰/۶۰	۱۴/۵۳	۱۳/۶۵

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

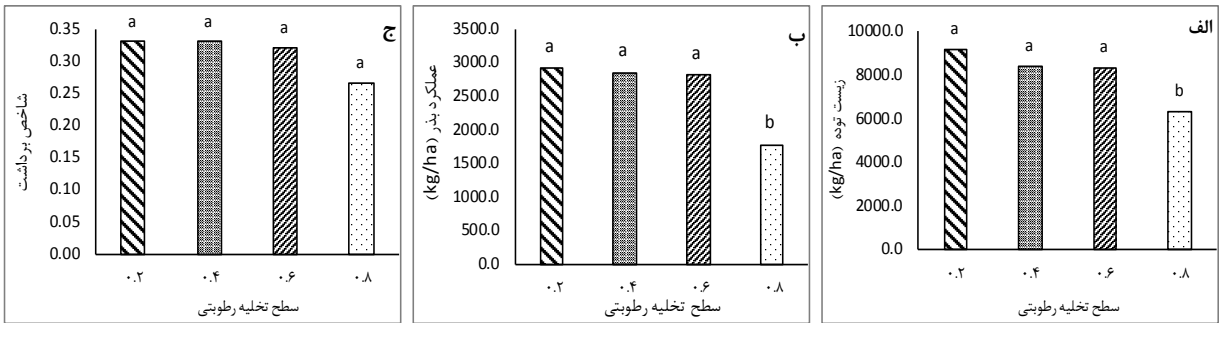
نتایج مقایسه میانگین اثر سطوح تخلیه رطوبتی مختلف بر اجزاء عملکرد کینوا در کشت بهار در شکل (۱) نشان داده شده است. در شکل (۱-الف) مشاهده می‌شود تغییرات سطوح تخلیه رطوبتی از ۰/۲ به ۰/۶ کل آب قابل دسترس موجب کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته نشده است، اما افزایش سطح تخلیه رطوبتی به ۰/۸ آب قابل دسترس موجب کاهش ۱۸ درصدی ارتفاع بوته نسبت به تیمار سطح تخلیه رطوبتی ۰/۶ آب قابل دسترس شده است. در مورد تعداد ساقه فرعی، طول پانیکول و عرض پانیکول اثر سطوح رطوبتی

معنی‌دار نبود یعنی میانگین این صفات اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد ندارند (شکل ۱). تیمار با سطح تخلیه رطوبتی برابر ۰/۸ کل آب قابل دسترس کمترین میزان قطر ساقه را دارد و اثر سطوح رطوبتی بر روی این پارامتر معنی‌دار (P<۰/۰۵) بود. وزن هزار دانه با افزایش سطح تخلیه رطوبتی شروع آبیاری از ۰/۶ به ۰/۸ یا به عبارتی با افزایش فواصل آبیاری کاهش معنی‌دار داشت. وزن هزار دانه در تیمار با سطح تخلیه رطوبتی برابر ۰/۸ با کاهش ۴۱ درصدی نسبت به سطح تخلیه رطوبتی ۰/۶ به مقدار ۱/۳ گرم رسید.



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر سطوح رطوبتی بر ارتفاع بوته (الف)، تعداد ساقه فرعی (ب)، قطر ساقه (ج) طول پانیکول (د)، عرض پانیکول (ه) و وزن هزاردانه(ی) کینوا در کشت بهار (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک، به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد ندارند)

در بین سطوح تخلیه رطوبتی مختلف بیشترین وزن زیست‌توده (۹۱۷۸ کیلوگرم در هکتار) در سطح تخلیه رطوبتی ۰/۲ آب قابل دسترس مشاهده شد (شکل ۲). با کاهش سطح تخلیه رطوبتی شروع آبیاری از ۰/۶ به ۰/۸، میزان وزن زیست‌توده کاهش ۲۴ درصدی داشت (شکل ۲-الف). کمترین میزان وزن زیست‌توده در سطح تخلیه رطوبتی ۰/۸ مشاهده شد که دلیل آن می‌تواند تنش ایجاد شده در اثر افزایش فاصله آبیاری باشد، اما بین تیمارهای دیگر از نظر وزن زیست‌توده اختلاف معنی‌دار (در سطح ۵ درصد) مشاهده نشد. همچنین با افزایش سطوح تخلیه رطوبتی از ۰/۶ به ۰/۸ کل آب قابل دسترس، میزان عملکرد بذر کاهش ۳۷ درصدی داشت (شکل ۲-ب) ولی بین تیمارهای دیگر از نظر عملکرد بذر اختلاف معنی‌دار (در سطح ۵ درصد) مشاهده نشد. در مورد شاخص برداشت اختلاف معنی‌داری بین تیمارها دیده نشد (شکل ۲-ج).



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر سطوح رطوبتی بر وزن زیست توده (الف)، عملکرد بذر (ب) و شاخص برداشت (ج) کینوا در کشت بهار (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک، به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد ندارند)

جداول (۵) و (۶) به ترتیب نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح رطوبتی بر اجزای عملکرد و عملکرد کینوا در کشت پاییز را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد تغییرات سطوح رطوبتی موجب اختلاف معنی‌دار در صفات ارتفاع بوته و وزن هزار دانه (P<۰/۰۱) شده است، اما اثر آن بر بقیه اجزاء عملکرد در سطح ۵ درصد معنی‌دار نبود. جدول (۶) نشان می‌دهد اثر تغییرات سطوح رطوبتی بر عملکرد زیست‌توده و عملکرد بذر معنی‌دار (P<۰/۰۱) بوده است، اما اثر آن بر مقدار شاخص برداشت معنی‌دار نبود.

همچنین نتایج مقایسه میانگین اثر سطوح رطوبتی مختلف بر اجزاء عملکرد کینوا در کشت بهار در شکل (۳) نشان داده شده است. در شکل (۳-الف) مشاهده می‌شود تغییرات سطوح تخلیه رطوبتی شروع آبیاری از ۰/۲ تا ۰/۶ موجب کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته نشده است، اما افزایش سطح تخلیه رطوبتی به ۰/۸ موجب کاهش ۲۳ درصدی ارتفاع بوته نسبت به تیمار سطح تخلیه رطوبتی ۰/۶ شده است. در مورد تعداد ساقه فرعی، قطر ساقه، طول پانیکول و عرض پانیکول اثر سطوح رطوبتی معنی‌دار نبود یعنی میانگین این صفات اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد ندارند (شکل ۳). وزن هزار دانه با افزایش سطوح تخلیه رطوبتی شروع آبیاری از ۰/۶ به ۰/۸ یا به عبارتی با افزایش فواصل آبیاری کاهش معنی‌دار داشت. وزن هزار دانه در تیمار با سطح تخلیه رطوبتی برابر ۰/۸ کل آب قابل دسترس با کاهش ۴۲ درصدی نسبت به سطح تخلیه رطوبتی ۰/۶ کل آب قابل دسترس به مقدار ۱/۴ گرم رسید. Sezen و همکاران (۲۰۱۶) بیان نمودند کم‌آبیاری و افزایش فواصل آبیاری موجب کاهش اجزای عملکرد به‌ویژه وزن هزار دانه شد.

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر سطوح رطوبتی بر اجزای عملکرد کینوا در کشت پاییز (سال ۹۹-۱۳۹۸)

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع بوته	تعداد ساقه فرعی	قطر ساقه	طول پانیکول	عرض پانیکول	وزن هزاردانه
تیمار	۳	۹۶/۸۶**	۰/۷۵^{ns}	۱/۷۵*	۱۲/۲۲^{ns}	۰/۸۳^{ns}	۰/۷۶**
خطا	۸	۱۰/۰۸	۱/۵۰	۰/۲۸	۳/۴۲	۰/۳۳	۱/۰۱
ضریب تغییرات (٪)	-	۶/۵۱	۱۶/۸۹	۹/۹۷	۱۶/۸۰	۱۸/۰۱	۴/۶۹

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

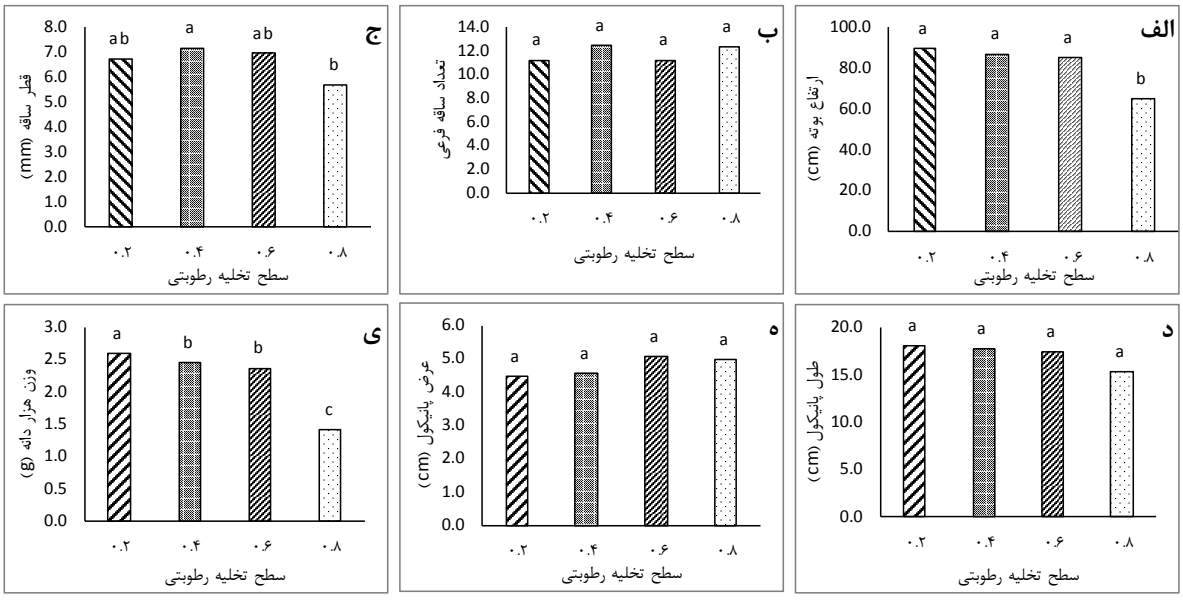
جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح رطوبتی مختلف بر عملکرد کینوا و شاخص برداشت در کشت پاییز

منابع تغییرات	درجه آزادی	زیست‌توده	عملکرد دانه	شاخص برداشت
تیمار	۳	۴۴۳۸۲۸۰/۴۴*	۸۷۵۳۸۸/۵۳*	۰/۰۰۳۲^{ns}
خطا	۸	۷۳۲۹۵۰/۶۷	۱۴۱۴۰۳/۱۱	۰/۰۰۱۸
ضریب تغییرات (٪)	-	۱۰/۶۰	۱۴/۵۳	۱۳/۶۵

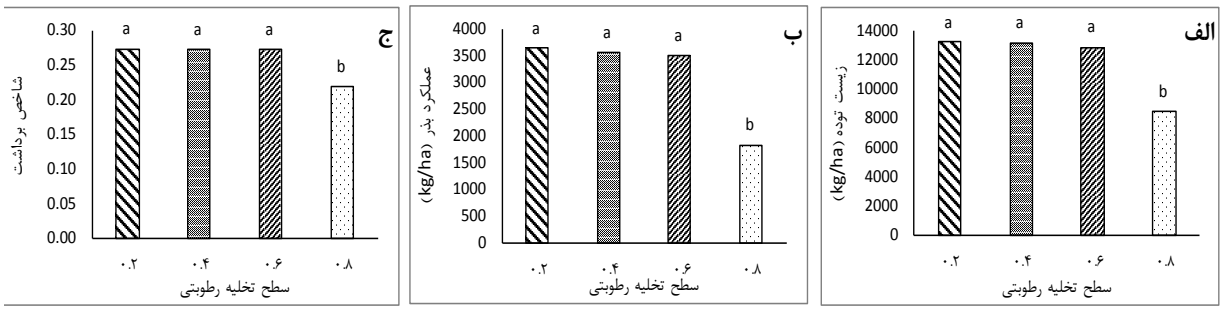
*، ** به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱ و ns عدم معنی‌داری

در بین سطوح رطوبتی مختلف بیشترین وزن زیست‌توده در کشت پاییز (۱۳۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) در سطح تخلیه رطوبتی ۰/۲ مشاهده شد. با افزایش سطح تخلیه رطوبتی از ۰/۶ به ۰/۸، میزان وزن زیست‌توده کاهش ۳۴ درصدی داشت (شکل ۴). کمترین میزان وزن زیست‌توده در سطح تخلیه رطوبتی ۰/۸ مشاهده شد که دلیل آن می‌تواند تنش ایجاد شده در اثر افزایش فاصله آبیاری باشد، اما بین تیمارهای دیگر از نظر وزن زیست‌توده اختلاف معنی‌دار (در سطح ۵ درصد) مشاهده نشد. همچنین با افزایش سطوح تخلیه رطوبتی از ۰/۶ به ۰/۸، میزان عملکرد بذر کاهش ۴۷/۵ درصدی داشت (شکل ۴-ب) ولی بین تیمارهای دیگر از نظر عملکرد بذر اختلاف معنی‌دار (در سطح ۵ درصد) مشاهده نشد. در مورد شاخص برداشت اختلاف معنی‌داری بین تیمارها دیده نشد (شکل ۴-ج).

میزان تبخیر و تعرق تجمعی تیمارها مختلف (از سطح تخلیه رطوبتی ۰/۲ تا ۰/۸ درصد کل آب در دسترس) در کشت بهار بین ۶۱۸/۱ تا ۲۹۵/۵ میلی‌متر (نیاز آبی خالص ۶۱۸۱ تا ۲۹۵۵ مترمکعب در هکتار) و در کشت پاییز بین ۵۹۷/۸ تا ۳۳۴/۸ میلی‌متر (نیاز آبی خالص ۵۹۷۸ تا ۳۳۴۸ مترمکعب در هکتار) متغیر بود (باتوجه‌به اینکه ورودی و خروجی لایسیمترها کاملاً مشخص و قابل کنترل است، بنابراین راندمان آبیاری ۱۰۰ درصد درنظر گرفته شد). براساس اندازه‌گیری‌ها و محاسبات انجام شده، شاخص کارآیی مصرف آب کینوا (WUE) در کشت بهار بین ۰/۴۷ تا ۰/۸۰ کیلوگرم بر مترمکعب و در کشت پاییز بین ۰/۵۵ تا ۰/۸۸ کیلوگرم بر مترمکعب متغیر بود. بیشترین کارایی مصرف آب در کشت بهار و پاییز در سطح تخلیه رطوبتی شروع آبیاری برابر ۰/۶ کل آب قابل دسترس مشاهده شد (شکل ۵).

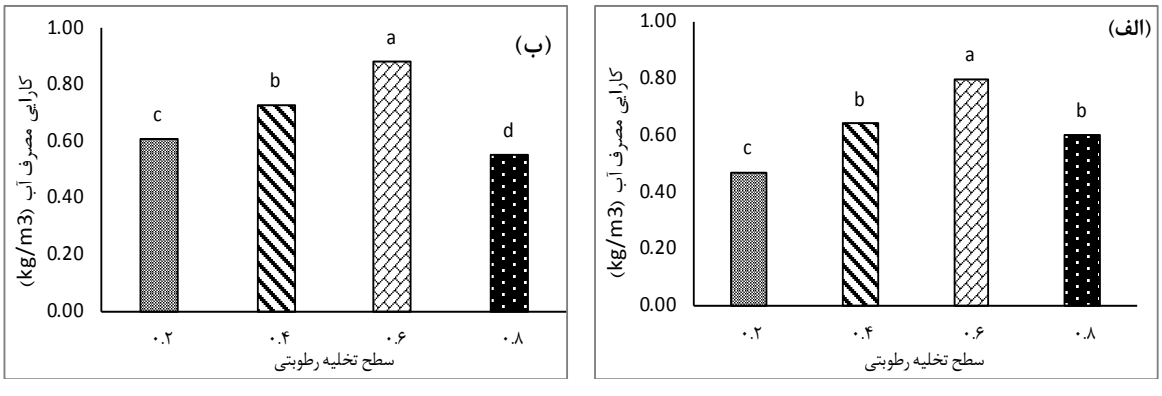


شکل ۳- مقایسه میانگین اثر سطوح رطوبتی بر ارتفاع بوته (الف)، تعداد ساقه فرعی (ب)، قطر ساقه (ج) طول پانیکول (د)، عرض پانیکول (ه) و وزن هزار دانه(ی) کینوا در کشت پاییز (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک، به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد ندارند)



شکل ۴- مقایسه میانگین اثرسطوح رطوبتی بر وزن زیست توده (الف)، عملکرد بذر (ب) و شاخص برداشت (ج) کینوا در کشت پاییز

(میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک، به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد ندارند)



شکل ۵- کارایی مصرف آب در تیمارهای مختلف سطح تخلیه رطوبتی الف) در کشت بهار، ب) در کشت پاییز

(میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک، به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد ندارند)

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که با کاهش رطوبت خاک در شروع آبیاری تا سطح ۰/۴ کل آب قابل دسترس (یعنی حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی برابر ۰/۶) صفات رشدی و عملکردی کمتر تحت تأثیر قرار می‌گیرد، اما با افزایش فواصل آبیاری یعنی شروع آبیاری در رطوبت خاک پایین‌تر (سطح تخلیه رطوبتی ۰/۸ کل آب در دسترس)، این صفات به‌طور معنی‌دار تحت تأثیر قرار می‌گیرند. Algosaibi و همکاران (۲۰۱۷) بیان نمودند در پژوهشی که در ارتباط با اثر فواصل آبیاری بر روی عملکرد کینوا انجام دادند، افزایش در رشد رویشی تا دور آبیاری ۱۰ روز مشاهده شد. با این وجود در فواصل آبیاری طولانی‌تر یا به عبارتی، وقتی‌که در سطوح رطوبتی پایین‌تری آبیاری شروع می‌شود ایجاد تنش موجب کاهش وزن زیست‌توده و ارتفاع گیاه در فواصل آبیاری طولانی‌تر شده است. 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 (McDonald و Davis، ۱۹۹۶؛ بیرامی و همکاران، ۱۳۹۹ ب). Yazar و همکاران (۲۰۱۵) نیز بیان نمودند تنش آبی در تیمارهای کم‌آبیاری، عملکرد زیست‌توده گیاه را به میزان قابل‌توجهی کاهش می‌دهد. به‌عبارت‌دیگر شوری و تنش خشکی در کنار یکدیگر باعث افزایش مقاومت روزنه می‌شوند. Jensen و همکاران (۲۰۰۰) و Jacobsen و همکاران (۲۰۰۳) بیان نمودند مکانیسم‌های متفاوتی از مقاومت به خشکی شامل فرار از خشکی، تحمل و اجتناب از خشکی در گیاه کینوا وجود دارد. این گیاه توانایی تنظیم پتانسیل آب برگ توسط تجمع یون‌های نمکی در بافت‌های خود دارد که گیاه را قادر به حفظ فشار تورژسانس سلولی و کاهش تعرق در شرایط شور می‌سازد (Jacobsen و همکاران، ۲۰۰۱؛ Go´mez-Pando و همکاران، ۲۰۱۰). بااین‌حال Yazar و همکاران (۲۰۱۵) بیان نمودند تجمع املاح در پروفایل خاک معمولاً در خاک‌هایی که از منابع آب شور، آبیاری می‌شوند، ایجاد می‌شود، بنابراین نیاز است که این تجمع نمک با استفاده از آبشویی از منطقه ریشه به لایه‌های عمیق‌تر خاک انتقال یابد. در این تحقیق مشاهده می‌شود که تا سطح رطوبتی حدود TAW ۰/۴، گیاه به‌خوبی به تنش خشکی مقاومت داشته است و مقدار عملکرد دانه و زیست‌توده چندان تحت تأثیر معنی‌دار قرار نگرفته است. Algosaibi و همکاران (۲۰۱۷) نیز بیان نمودند نیاز آبی کینوا پایین بوده و این گیاه می‌تواند در شرایط تنش رطوبتی بدون کاهش معنی‌دار در عملکرد رشد نماید. با این وجود Gallardo و Gonzalez (۱۹۹۲) گزارش نمودند که سطح رطوبت خاک نقش مهمی در تعیین زمان و سرعت رشد بذر و نهال کینوا دارد. در این پژوهش، همچنین آبیاری در سطوح رطوبتی پایین‌تر به علت تنش خشکی مقدار عملکرد و برخی از صفات مورفولوژیک تا حدی کاهش یافته است. وزن هزار دانه با کاهش سطح رطوبتی از ۰/۴ به ۰/۲ کل آب قابل دسترس به‌طور معنی‌دار کاهش داشته است، Sezen و همکاران (۲۰۱۶) و بیرامی و همکاران (۱۳۹۹ب) کاهش وزن هزار دانه در اثر کم‌آبیاری را گزارش نمودند و بیان کردند تیمار آبیاری کامل بیشترین وزن هزار دانه را تولید نمود.

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی از این پژوهش می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که تغییرات سطوح مختلف رطوبتی شروع آبیاری موجب اختلاف معنی‌دار در برخی صفات مانند ارتفاع بوته و عملکرد دانه و زیست‌توده می‌شود، اما در برخی اجزای عملکرد تأثیر معنی‌دار ندارد. باتوجه‌به مقایسه میانگین‌های انجام یافته در عملکرد دانه و زیست‌توده مشاهده شد که این گیاه تا سطح تخلیه رطوبتی شروع آبیاری ۰/۶ کل آب قابل دسترس مقاومت خوبی در برابر تنش رطوبتی داشته و عملکرد دانه و زیست‌توده کاهش معنی‌دار نداشته است، اما با کاهش رطوبت شروع آبیاری یا به عبارتی افزایش تخلیه رطوبتی به ۰/۸ کل آب قابل دسترس کاهش معنی‌دار در عملکرد دانه و زیست توده مشاهده شد. باتوجه‌به نتایج مطالعات مختلف که نشان داده گیاه کینوا توانایی تنظیم پتانسیل آب برگ توسط تجمع یون‌های نمکی در بافت‌های خود دارد و گیاه را قادر به حفظ فشار تورژسانس سلولی و کاهش تعرق در شرایط شور می‌نماید و اینکه گیاه کینوا مکانیسم‌های متفاوتی جهت مقاومت به خشکی دارد، بنابراین کشت کینوا در مناطقی که دچار کمبود آب می‌باشند توصیه می‌شود.

پی‌نوشت‌ها

1-Chenopodium quinoa Willd.
2-Chenopodiaceae
3-Amaranthaceae
4-Total available water

منابع

باقری محمود. (۱۳۹۷). زراعت کینوا. موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، چاپ اول. کرج، ایران.

بیرامی، حسین، رحیمیان، محمدحسن، صالحی، معصومه، و یزدانی بیوکی، رستم. (۱۳۹۸). تأثیر سطوح مختلف شوری آب آبیاری بر عملکرد و اجزاء عملکرد کینوا (*Chenopodium quinoa*) در کشت بهاره. تولید گیاهان زراعی، ۲(۴)، ۱۱۱-۱۲۰. https://doi.org/10.22069/ejcp.2020.16239.2209

بیرامی، حسین، رحیمیان، محمدحسن، و دهقانی، فرهاد. (۱۳۹۹الف). برآورد نیاز آبی و ضریب گیاهی دو گونه سالیکورنیا در یزد. پژوهش آب در کشاورزی (علوم خاک و آب)، ۳۴(۳)، ۴۰۱-۴۱۴. https://doi.org/10.22092/jwra.2020.342669.784

بیرامی، حسین، رحیمیان، محمدحسن، صالحی، معصومه، یزدانی بیوکی، رستم، شیران تفتی، مهدی، و نیکخواه، مجید. (۱۳۹۹ب). تاثیر دور آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد کینوا (*Chenopodium quinoa*) در شرایط شور. دانش کشاورزی و تولید پایدار (دانش کشاورزی)، ۳۰(۳)، ۳۴۷-۳۵۷. https://doi.org/20.1001.1.24764310.1399.30.3.20.5

تافته، آرش، و امداد، محمدرضا. (۱۴۰۰). تعیین ضرایب حساسیت عملکرد محصول نسبت به آب (Ky) در مدیریت‌های کم‌آبیاری در مراحل مختلف رشد گیاه کینوا. مدیریت آب در کشاورزی، ۸(۲)، ۱۰۱-۱۱۶. https://doi.org/20.1001.1.24764531.1400.8.2.9.5

جمالی، صابر، شریفان، حسین، هزار جریبی، ابوالطالب، و سپهوند، نیازعلی. (۱۳۹۵). بررسی تأثیر سطوح مختلف شوری بر جوانه زنی و شاخص‌های رشد دو رقم گیاه کینوا. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، ۶(۱)، ۸۷-۹۸.

جمالی، صابر.، و انصاری، حسین. (۱۳۹۸). اثر کیفیت آب و مدیریت آبیاری روی رشد و عملکرد گیاه کینوا. پژوهش آب در کشاورزی، ۳۳(۳)، ۳۳۹-۳۵۲. https://doi.org/20.1001.1.22287140.1398.33.3.3.2.9

جمالی، صابر، و انصاری، حسین. (۱۴۰۰). برنامه‌ریزی آبیاری گیاه کینوا تحت سطوح مختلف آبیاری با استفاده شاخص تنش آبی گیاه. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱۵(۶)، ۱۲۶۳-۱۲۷۴. https://doi.org/20.1001.1.20087942.1400.15.6.3.3

صالحی، معصومه، و دهقانی، فرهاد. (۱۳۹۷). راهنمای کاشت، داشت و برداشت کینوا در شرایط شور. نشر آموزش کشاورزی، چاپ اول. تهران، ایران.

گلستانی‌فر، فرزانه، خاشعی‌سیوکی، عباس، و محمودی، سهراب. (۱۴۰۱). تعیین ضریب گیاهی و نیاز آبی گیاه کینوا به روش لایسیمتری در دشت بیرجند. پژوهش آب در کشاورزی، ۳۶(۴)، ۴۰۵-۴۲۰. https://doi.org/10.22092/jwra.2023.360244.950

مسکینی ویشکایی، فاطمه، تافته، آرش، گوشه، محی‌الدین. (۱۴۰۲). تعیین نیاز آبی کینوا و ضرایب پاسخ به تنش کم‌آبی در مراحل مختلف رشد گیاه در اقلیم خوزستان. علوم آب و خاک، ۲۷(۱)، ۲۷۵-۲۸۶. https://doi.org/20.1001.1.24763594.1402.27.1.18.2

مصطفائی، مسلم، جامی‌الاحمدی، مجید، صالحی، معصومه، و شهیدی، علی. (۱۴۰۲). بررسی خصوصیات فیزیولوژیکی و عملکردی گیاه کینوا تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری و تراکم بوته. پژوهش‌های زراعی ایران، ۲۱(۱)، ۲۹-۴۶. doi: 10.22067/JCESC.2022.74044.1126

Adolf, V.I., Jacobsen, S.E., & Shabala, S. (2013). Salt tolerance mechanisms in quinoa (Chenopodium quinoa Willd.). Environmental and Experimental Botany, 92, 43–54. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.07.004

Algosaibi, A.M., Badran, A E, Almadini, A.M., & 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. https://doi.org/10.5539/jas.v9n9p182

Alvarez-Flores, R., Winkel, T., Nguyen-Thi-Truc, A., & Joffre, R. (2014). Root foraging capacity depends on root system architecture and ontogeny in seedlings of three Andean Chenopodium species. Plant and Soil, 380, 415–428. https://doi.org/10.1007/s11104-014-2105-x

Azhar, M.F., Aziz, S., Aziz, A., Javaid, M., Aatif, H.M., Wasaya, A., Yasir, T.A., & Baloch, A.W. (2018). Morphological features of different accessions of Chenopodium quinoa. Pure and Applied Biology, 7(1), 374- 383. http://dx.doi.org/10.19045/bspab.2018.70046

Bhargava, A., Shukla, S., Rajan, S., & Ohri D. (2007). Genetic diversity for morphological and quality traits in quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) germplasm. Genetic Resources and Crop Evolution. 54, 167-173. https://doi.org/10.1007/s10722-005-3011-0

Bozkurt Çolak, Y., Yazar, A., Alghory, A., & Tekin, S. (2021). Yield and water productivity response of quinoa to various deficit irrigation regimes applied with surface and subsurface drip systems. The Journal of Agricultural Science, 159(1-2), 116-127. https://doi.org/10.1017/S0021859621000265

English, M., (1990). Deficit irrigation. I. Analytical framework. Journal of Irrigation and Drainage Engineering - ASCE, 116, 399-412. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(1990)116:3(399)

Gallardo, M.G., & 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.

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. Agricultural and Forest Meteorology, 139, 399-412. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.08.018

Go´mez-Pando, L. R., lvarez-Castro, R., & 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. https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2010.00429.x

Hariadi, Y., Marandon, K., Tian, Y., Jacobsen, S. E., & 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. https://doi.org/10.1093/jxb/erq257

Hirich, A., Choukr-Allah, R., Fahmi, H., Rami, A., Laajaj, K., Jacobsen, S., & El-Omari, H. (2014). Using deficit irrigation to improve crop water productivity of sweet corn, chickpea, faba bean and quinoa: a synthesis of several field trials. Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires, 2(1), 15-22.

Jacobsen, S.E., Quispe, H., & 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.

Jacobsen, S.-E., Mujica, A., & Jensen, C.R. (2003). The Resistance of Quinoa (Chenopodium quinoaWilld.) to Adverse Abiotic Factors. Food Reviews International, 19, 99–109.

Jensen C.R., Jacobsen S.E., Andersen M.N., Nuñez N., Andersen S.D., Rasmussen L., & 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. https://doi.org/10.1016/S1161-0301(00)00055-1

McDonald, A.J.S., & Davis, W.J. (1996). Keeping in touch: Responses of the whole plant to deficits in water and nitrogen supply. Advances in Botanical Research, 22, 229-300. https://doi.org/10.1016/S0065-2296(08)60059-2

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

Yazar, A., Incekaya, C., Sezen, S.M., & Jacobsen, S.E. (2015). Saline water irrigation of quinoa (Chenopodium quinoa) under Mediterranean conditions. Crop and Pasture Science, 66(10), 993-1002. 2015. https://doi.org/10.1071/CP14243

Zhang, H., & Oweis, T. (1999). Water-yield relations and optimal irrigation scheduling of wheat in the Mediterranean region. Agricultural Water Management, 38, 195-211. DOI: 10.1016/S0378-3774(98)00069-9