



Original article

Effect of drought stress on yield and yield components of quinoa cultivars

Hossein Iranmanesh¹, Masoumeh Salehi^{2*}, Gholamreza Zarei³, Hossein Shamsi Mahmoudabadi³, Amin Baghizadeh⁴

1. Ph.D. student of Agrotechnology, May.C., Islamic Azad University, Maybod, Iran

2. Associate Professor of National Salinity Research Center, Agricultural Education and Extension Research Organization, Yazd, Iran

3. Department of Agrotechnology, May.C., Islamic Azad University, Maybod, Iran

4. Associate Professor, Department of Biotechnology, Institute of Science and High Technology and Environmental Sciences, Graduate University of Advanced Technology, Kerman-Iran

Received 31 May 2024; Revised 25 August 2024; Accepted 17 September 2024

Extended abstract

Introduction

Quinoa (*Chenopodium quinoa*) is a functional grain with high nutritional value that is tolerant to salt and drought stress. Drought, a notable environmental stress, poses a challenge to plant growth and development. Since most of Iran is considered to be arid and semi-arid regions from a climatic perspective, drought is one of the most significant abiotic stresses in this region. Therefore, cultivating drought-resistant plants, such as quinoa, is a solution to prevent a decrease in crop yield.

Materials and methods

To investigate the effect of drought stress on quinoa cultivars, the experiment was conducted as a split-plot design based on a randomized complete block with three replications in 2023. The experiment was carried out in Zarand, Iran. The levels of drought stress treatment, which served as the main factor, included the following: 1. Full irrigation, providing 100% of the plant's water requirement (control), 2. Irrigation deficiency at 50% of the plant's water requirement (moderate drought stress), 3. Irrigation deficiency at 25% of the plant's water requirement (severe drought stress). Subplots consisted of three quinoa cultivars, including Rahmat, Sadouq, Titicaca, and one Line (Red Seed Line). The drought stress treatments were calculated using evaporation and transpiration data based on the crop coefficient. Seed cultivation was performed manually on August 15. The studied traits at the end of the growing season included: plant height, panicle weight, panicle length, panicle width, number of seeds per panicle, seed weight per panicle, 1000-seed weight, stem diameter at the base of the panicle, seed saponin content, and seed size. One square meter was taken from each plot to measure biomass and seed yield.

Results and discussion

The analysis of variance results indicated that drought stress significantly affected several factors, including the percentage of large and small seeds, 1000-seed weight, panicle weight, diameter of the bottom part of the stem, biomass, plant height, panicle length, and grain yield, all at the 1% significance level. The impact of drought stress on stem diameter at the base of the panicle was significant at the 5% level. The differences among cultivars in all measured traits were significant at the 5% level. The interaction effect of drought stress and cultivar on the percentage of large, medium, and small seeds, as

* Corresponding author: Masoumeh Salehi; E-Mail: salehimasomeh@gmail.com



well as the weight and number of seeds per panicle, was significant at the 1% level of significance. Biomass was reduced by 31% and 51% under 50% and 25% of the plant's water requirement, respectively, while seed yield decreased by 35% and 58%, respectively. Rahmat cultivar had the highest seed yield under severe drought stress, producing 275 g m⁻². Under moderate and control conditions, Sadouq yielded 641 and 391 g m⁻², respectively. The yield reduction rate under severe stress conditions for Rahmat and Red Seed Lines was lower compared to the other two cultivars. Drought stress significantly influenced seed size, as increased stress resulted in smaller seeds. In addition, cultivars with smaller seeds were more significantly affected by intense stress. The correlation analysis revealed that traits significantly influencing seed yield, including panicle weight, 1000-seed weight, biomass, and large seed size, were strongly and positively correlated with seed yield at the 1% level of significance. In contrast, the percentage of small seeds showed a significant negative correlation with yield. The saponin content showed no significant correlation with any of the measured traits. Principal components analysis (PCA) also revealed that biomass, panicle weight, diameter of the upper part of the stem, 1000-seed weight, panicle length, and large seed size had the most significant positive effects on grain yield.

Conclusion

Based on our findings, for selecting lines under drought stress conditions, it is recommended to assess grain size and yield at a moderate stress level of 50% of the plant's water requirement.

Keywords: Functional seed, Long-term drought stress, Seed size

اثر تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام مختلف کینوا (*Chenopodium quinoa*) در شرایط آب و هوایی زردند

حسین ایرانمنش^۱، معصومه صالحی^{۲*}، غلامرضا زارعی^۳، حسین شمسی محمودآبادی^۴، امین باقی‌زاده^۴

۱. دانشجوی دکتری آگروتکنولوژی، واحد میبد، دانشگاه آزاد اسلامی، میبد
۲. دانشیار مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، یزد
۳. گروه زراعت، واحد میبد، دانشگاه آزاد اسلامی، میبد
۴. دانشیار گروه بیوتکنولوژی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران

چکیده

مشخصات مقاله

کینوا (*Chenopodium quinoa*) یک دانه فراسودمند با ارزش غذایی بالا محسوب می‌شود که متحمل به تنش‌های شوری و خشکی است. به منظور بررسی عملکرد و اجزای عملکرد ارقام مختلف کینوا تحت تأثیر تنش خشکی، آزمایشی به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۲ در شهر زردند اجرا شد. رژیم آبیاری به‌عنوان عامل اصلی در سه سطح شامل آبیاری کامل، تنش خشکی متوسط و تنش خشکی شدید (به ترتیب معادل ۱۰۰، ۵۰ و ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه) و ارقام کینوا به‌عنوان عامل فرعی در چهار سطح (شامل ارقام رحمت، صدوق و تیتیکاکا و یک لاین در دست معرفی دانه قرمز با کد NSRCQG) مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد مطلق دانه در شرایط تنش خشکی شدید مربوط به رقم رحمت (۲۷۵ گرم در مترمربع) و در تنش متوسط (۶۴۱ گرم در مترمربع) و بدون تنش (۳۹۱ گرم در مترمربع) مربوط به رقم صدوق بود. میزان کاهش عملکرد در شرایط تنش شدید در رحمت و لاین دانه قرمز کمتر از دو رقم دیگر بود. تنش خشکی به‌شدت بر سبزی دانه تأثیر گذاشت و با افزایش تنش سبزی دانه‌ها یک طبقه ریزتر شدند و ارقامی که دارای دانه‌های ریزتری هستند از تنش شدید خسارت بیشتری بر عملکرد دانه داشت. بررسی همبستگی بین صفات نشان داد که صفاتی که بیشترین تأثیر را بر عملکرد دانه داشتند شامل وزن پانیکول، وزن هزار دانه، زیست‌توده، سبزی دانه درشت بودند و همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح ۰/۱ درصد داشتند و درصد دانه‌های ریز همبستگی منفی و معنی‌دار با عملکرد دانه داشتند. میزان ساپونین با هیچ‌یک از صفات اندازه‌گیری شده همبستگی معنی‌دار نداشت. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی هم نشان داد که زیست‌توده، وزن پانیکول، قطر قسمت بالای ساقه، وزن هزار دانه، طول پانیکول و سبزی دانه درشت در جهت مثبت بیشترین تأثیر را بر مؤلفه عملکرد دانه داشتند. با توجه به نتایج این تحقیق جهت گزینش لاین‌ها در شرایط تنش خشکی، بررسی صفات سبزی دانه و عملکرد مطلق در سطح تنش ۵۰ درصد نیاز آبی قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی:

سبزی دانه
تنش طولانی‌مدت خشکی
دانه فراسودمند

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۱۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۶/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۲۷

مقدمه

گیاهان زراعی مقاوم به خشکی راهکاری برای جلوگیری از کاهش عملکرد است. کینوا با نام علمی *Chenopodium quinoa* گیاهی یک‌ساله، دولپه‌ای، از تیره تاج‌خروس (*Amaranthaceae*) سه کربنه، شورزیست اختیاری با ارتفاع یک تا دو متر است (Adolf et al., 2012). این گیاه حدود ۵۰۰۰ سال در منطقه آند در بولیوی، شیلی و پرو کشت

خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی محدودکننده تولید محصولات گیاهی در سرتاسر جهان محسوب شده و اثرات نامطلوبی بر رشد و نمو گیاهان دارد. با توجه به اینکه بخش عمده مساحت ایران از نظر اقلیمی جزو مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌گردد، بنابراین خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی در این منطقه است و کشت

کردند (Tafteh and Emdad, 2022). کمترین میزان ضریب پاسخ در گیاه بادام‌زمینی و پنبه به ترتیب ۰/۷ و ۰/۸۵ است (Allen, 1977). کم بودن ضریب پاسخ کینوا به دلیل کاهش شدید پتانسیل آب برگ و بستن روزنه‌ها در شرایط تنش خشکی است (Fghire et al., 2017). تأثیر قطع آبیاری بر عملکرد نهایی دانه در مراحل اولیه رشدی در مشهد و نیشابور بیشتر از سایر مراحل رشد گزارش شده است (Kiyan et al., 2022). تأثیر تنش خشکی بر ارقام مختلف متفاوت است بررسی تنش خشکی در دو رقم نشان داد که رقم تیتیکاکا به تنش خشکی حساسیت بیشتری دارد (Sun et al., 2014). بررسی تنش خشکی در ژنوتیپ‌هایی با دوره رسیدگی متفاوت نشان داد که تنش خشکی تأثیر بیشتری بر کاهش عملکرد رقم تیتیکاکا نسبت به ارقام دپرس داشت (Maestro-Gaitán, et al., 2022). کلاته (Kalateh, 2023) آبیاری تکمیلی کینوا در مرحله دانه‌بندی و گلدهی را در کشت بهاره استان گلستان بررسی و بیان کرد که تنش خشکی در مرحله دانه‌بندی تأثیر بیشتری بر عملکرد دانه داشت. بیرامی و همکاران (Beyrami et al., 2024) نیاز آبی کینوا رقم تیتیکاکا را در شرایط لایسیمتری در استان یزد در کشت بهاره ۳۵۲ و در کشت پاییزه ۳۹۸ میلی‌متر و میزان تخلیه مجاز رطوبتی را ۶۰ درصد گزارش نمودند. تفاوت در گزارش‌های ارائه‌شده توسط محققان به دلیل تاریخ‌های مختلف کاشت کینوا در مناطق مختلف کشور است. هدف این پژوهش بررسی واکنش ارقام به تنش خشکی طولانی‌مدت در طول فصل و تأثیر تنش بر عملکرد و اجزای عملکرد در شرایط مزرعه است.

مواد و روش‌ها

آزمایشی به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۲ در شهر زرنند با طول ۴۶۹۸۰۷ و عرض ۳۳۹۹۰۳۹ و ارتفاع ۱۷۳۴ متر اجرا شد. رژیم آبیاری به‌عنوان عامل اصلی در سه سطح شامل آبیاری کامل، تنش خشکی متوسط و تنش خشکی شدید (به ترتیب معادل ۱۰۰، ۵۰ و ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه) و ارقام کینوا به‌عنوان عامل فرعی در چهار سطح (شامل ارقام رحمت، صدوق و تیتیکاکا و یک لاین در دست معرفی دانه قرمز با کد NSRCQG) مورد بررسی قرار گرفتند. خصوصیات خاک محل آزمایش در جدول ۱ آورده شده است. اعمال تنش خشکی بر اساس داده‌های تبخیر و تعرق پتانسیل (ET₀)

می‌شده است (Martínez et al., 2015). بیشترین سطح زیر کشت این گیاه در بولیوی به مساحت ۱۰۰ هزار هکتار است (Garcia et al., 2015). قابلیت مقابله با تنش خشکی در کینوا به دلیل ریشه عمیق و غده‌های اکسالات کلسیم سطح برگ کینوا و کارایی بالای فتوسنتز برگ است (Bazile et al., 2015). غده‌های اکسالات کلسیم در برگ‌های جوان به‌عنوان یک سیستم هیدرودینامیکی با کمک پتاسیم عمل می‌کند که به‌عنوان یک مخزن آب برای ذخیره املاح است. یون‌های سدیم در برگ‌های پیر تجمع می‌کنند که متعاقباً پژمرده می‌شوند و می‌ریزند. این مکانیسم بقای کینوا را در شرایط شوری بالا بهبود می‌بخشد (Moog et al., 2022). در شرایط تنش خشکی علی‌رغم کاهش هدایت روزنه‌ای میزان فتوسنتز گیاه کاهش پیدا نمی‌کند و همین عامل موجب افزایش کارایی مصرف آب می‌گردد (Jacobsen et al., 2009). کینوا روش‌های مختلفی برای مدیریت تنش خشکی دارد. افزایش جذب آب از طریق تجمع اسمولیت‌ها مانند پرولین و کاهش پتانسیل سلول، از طریق تحریک ریشه و بسته نگه‌داشتن روزنه‌ها، کاهش دادن رشد اندام‌های هوایی و ریزش برگ‌ها و کاهش تبخیر آب از طریق تعرق است (Zurita Silva et al., 2015). یکی از واکنش‌های کینوا به تنش خشکی مکانیسم فرار از تنش است. مکانیسم بستن روزنه‌ها و کاهش سطح برگ، ریزش برگ‌ها مکانیسم‌های فرار از تنش در کینوا گزارش شده‌اند (Stikić et al., 2015). مکانیسم‌های تحمل به تنش کینوا به دلیل حفظ سلامت سلول در شرایط تنش است که شامل کاهش پتانسیل آب برگ، کاهش رشد، بسته شدن روزنه‌ها و افزایش سیستم ریشه و افزایش تعداد روزنه‌ها است (Ali et al., 2019). بسته شدن روزنه‌ها در کینوا در فشار کمتر از ۱/۲ تا ۱/۹ مگاپاسکال به همین دلیل به‌عنوان یک گیاه متحمل به آب کشیدگی شناخته می‌شود (Sun et al., 2014).

مرحله گلدهی و دانه بستن حساس‌ترین مراحل رشدی کینوا به تنش خشکی است (Maestro-Gaitán et al., 2022). مسکینی و همکاران (Meskini-Vishkaee et al., 2023) حساس‌ترین مرحله رشدی کینوا به تنش خشکی را مرحله ابتدایی و میانی بیان کردند. آن‌ها بیان کردند حتی با تنش شدید خشکی عملکرد دانه این گیاه مقرون‌به‌صرفه است. مقدار ضریب پاسخ کینوا به تنش خشکی از کلیه گیاهان زراعی کمتر است و میزان آن برای کل دوره رشدی ۰/۶۸ است. این مقدار را تافته و همکاران در کرج ۰/۷۵ گزارش

منطقه و میزان ضریب گیاهی (Kc) محاسبه شد (معادله ۱) و بر اساس نیاز آبی خالص تیمارها با سیستم آبیاری نواری قطره‌ای (تیپ) اعمال و میزان آب مصرفی با راندمان آبیاری ۷۵ درصد و بر اساس تیمارها تعیین شد. میزان ضریب گیاهی در مرحله ابتدایی ۰/۵۲ (۲۰ روز)، در مرحله میانی ۱ (۴۰ روز) و در مرحله پایانی ۰/۷۲ (۱۵ روز) در نظر گرفته شد (Stanschewski, et al., 2021) و میزان ET₀ از داده‌های هواشناسی منطقه استفاده شد که بر اساس روش فائو محاسبه گردیده است (FAO, 2012).

$$ETc = Kc \times ET_0 \quad [1]$$

زمین ابتدا شخم زده و بعد از شخم به دلیل کلوخه‌دار بودن زمین از دیسک استفاده شد. سپس سیستم آبیاری لوله اصلی ۶۳ و نواری قطره‌ای با استفاده از نوار تیپ پلاک‌دار با فاصله ۲۰ سانتی‌متر بین قطره‌چکان‌ها اجرا شد و فاصله بین نوارها ۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. کاشت بذور با فاصله ۲۵ سانتی‌متر از نوارهای تیپ به صورت دستی در ۱۵ مردادماه انجام شد و بوته‌های اضافی در مرحله چهار تا شش برگی و موقعی که بوته‌ها حدود ۱۵-۱۰ سانتی‌متر ارتفاع داشت، تنک شدند. فاصله بین کرت‌های اصلی دو متر و فاصله بین کرت‌های فرعی یک متر بود و ابعاد کرت‌ها ۵×۶ متر بود. به منظور استقرار مناسب بوته‌ها، از زمان کاشت تا مرحله چهار تا پنج‌برگی آبیاری بر اساس تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه انجام شد و بعد از آن تیمارهای کم‌آبیاری اعمال گردیدند. میزان حجم آب مصرفی در سه سطح تنش خشکی به ترتیب ۴۹۸، ۲۹۵ و ۱۹۷ میلی‌متر بود. قطع کردن سیستم آبیاری

به صورت دستی انجام شد. در طول دوره‌ی رشد نیز مبارزه با علف‌های هرز به صورت دستی انجام گرفت. صفات مورد بررسی در انتهای فصل رشد شامل ارتفاع بوته، وزن پانیکول، طول پانیکول، عرض پانیکول، تعداد دانه در پانیکول، وزن دانه در پانیکول، وزن هزار دانه و قطر ساقه در قسمت پایین و زیر پانیکول بودند. میزان ساپونین دانه با روش کوزیل (Kozioł, 1992) اندازه‌گیری شد. به این منظور نیم گرم نمونه در لوله‌آزمایش ۱۶×۱۶ میلی‌متری ریخته و ۵ میلی‌متر آب مقطر اضافه گردید. به مدت ۳۰ ثانیه با سرعت ۲۴۰ بار در دقیقه به صورت رفت و برگشتی تکان داده شد و بعد از نیم ساعت استراحت دو مرحله تکرار شد و ارتفاع کف نشان‌دهنده میزان ساپونین نمونه است. از آنجایی که کینوا دارای چند مدل گل است بذور با سایزهای مختلف تولید می‌کند به منظور بررسی درصد دانه‌ها در طبقات مختلف سایز دانه‌ها با استفاده از دستگاه الک شیکر تعیین شدند. دانه‌ها با اندازه بیشتر از ۱/۷ میلی‌متر به عنوان طبقه درشت، بین ۱/۷ تا ۱/۴ میلی‌متر به عنوان طبقه متوسط و کمتر از ۱/۴ میلی‌متر به عنوان طبقه ریز دسته‌بندی شدند. بعد از حذف حاشیه از خطوط وسط هر کرت یک متر مربع برداشت و میزان زیست‌توده و عملکرد دانه اندازه‌گیری گردید. نرمال بودن داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS تعیین شد و سپس با استفاده از نرم‌افزار SASv9 تجزیه آماری شدند و مقایسه میانگین با روش LSD انجام شد. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی با نرم‌افزار STATGRAPHIC و تجزیه همبستگی با استفاده از نرم‌افزار R انجام شد.

جدول ۱. نتایج تجزیه خاک محل آزمایش قبل از کشت

Table 1. The results of soil analysis before planting

عمق خاک	مواد نسبت												
	بافت	پتاسیم	فسفر	آلی	جذب سدیم	سولفات	بیکربنات	کربنات	کلر	کلسیم	منیزیم	سدیم	عصاره اشباع
Depth	Texture	K _{av}	P	OC	SAR	SO ₄	HCO ₃	CO ₃	Cl	Ca	Mg	Na	ECe*
cm		ppm	ppm	(%)					meq.l ⁻¹				dS.m ⁻¹
0-30	Sandy loam	611.66	80.19	0.23	4.78	24.64	6.40	0	6.76	12.60	9.90	16.02	4.04

* Initial Soil Salinity

*شوری اولیه خاک

نتایج و بحث

ضخامت ساقه زیر پانیکول در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). اختلاف بین ارقام از نظر کلیه صفات اندازه‌گیری شده در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل خشکی و رقم بر اندازه دانه درشت، متوسط و ریز، وزن و تعداد دانه در پانیکول در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر تنش خشکی بر درصد بذور درشت، بذور کوچک، وزن هزار دانه، وزن پانیکول، قطر پایین ساقه، زیست‌توده، ارتفاع بوته، طول پانیکول و عملکرد دانه در سطح یک درصد معنی‌دار بود. تأثیر تنش خشکی بر

Table 2. Analysis of variance of measured traits

جدول ۲. تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده کینوا

S.O.V	منابع تغییرات	درصد دانه درشت Percentage of large grains	درصد دانه متوسط Percentage of medium grains	درصد دانه کوچک Percentage of small grains	ارتفاع کف Foam height	وزن هزار دانه Thousand kernel weight	وزن پانیکول Panicle weight	وزن دانه در پانیکول Grain weight in panicle	تعداد دانه در پانیکول Grain number in panicle
Block	بلوک	0.03 ^{ns}	0.51 ^{ns}	0.36 ^{ns}	0.58 ^{ns}	0.047 ^{ns}	1.46 ^{ns}	13.16 ^{ns}	1980120 ^{ns}
Drought stress (a)	تنش خشکی	9.87 ^{**}	2.18 ^{ns}	16.4 ^{**}	0.64 ^{ns}	0.59 ^{**}	365.6 ^{**}	191.54 ^{**}	22264861 [*]
Block * a	اشتباه ۱	0.43	0.61	0.04	0.19	0.03	10.31	6.72	1666869
Cultivar (b)	رقم	22.88 ^{**}	6.21 ^{**}	35.5 ^{**}	1.98 ^{**}	2.75 ^{**}	177.58 ^{**}	54.11 ^{**}	7111440 ^{**}
a * b	رقم × تنش خشکی	1.12 ^{**}	7.71 ^{**}	2.76 ^{**}	0.29 ^{ns}	0.047 ^{ns}	17.75 ^{ns}	5.75 ^{ns}	707392 ^{ns}
Block * b	بلوک × رقم	-	--	0.24 ^{ns}	0.12 ^{ns}	0.02 ^{ns}	11.44 ^{ns}	-	-
Error	اشتباه	0.14	0.43	0.26	0.27	0.046	12.3	4.59	1227870
CV%	ضریب تغییرات	18.6	12.8	19.0	10.2	9.4	20.5	20.0	23.8

Table 2. Continued

جدول ۲. ادامه

S.O.V	منابع تغییرات	قطر پایین ساقه Lower stem diameter	قطر بالای ساقه Upper stem diameter	زیست توده Biomass	ارتفاع بوته Plant height	طول پانیکول Panicle length	عرض پانیکول Panicle width	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Harvest index
Block	بلوک	0.012 ^{ns}	0.002 ^{ns}	22626 ^{ns}	31.2 ^{ns}	10.1 ^{ns}	0.002 ^{ns}	3038 ^{ns}	8.06 ^{ns}
Drought stress (a)	تنش خشکی	12.83 ^{**}	4.44 [*]	22629 ^{**}	2898.9 ^{**}	204.2 ^{**}	0.21 ^{ns}	316996 ^{**}	69.94 ^{ns}
Block * a	اشتباه ۱	0.34	0.38	57979	90.5	6.6	0.48	7256	12.64
Cultivar (b)	رقم	51.5 ^{**}	2.97 ^{**}	851361 ^{**}	2392.6 ^{**}	266.4 ^{**}	3.87 ^{**}	60324 ^{**}	402.82 ^{**}
a * b	رقم × تنش خشکی	0.36 ^{ns}	0.39 ^{ns}	11551 ^{ns}	127.8 ^{ns}	24.4 ^{ns}	0.29 ^{ns}	7459 ^{ns}	31.75 ^{ns}
Block * b	بلوک × رقم	0.57 ^{ns}	-	-	192.8 [*]	18.3 ^{ns}	-	-	22.1 ^{ns}
Error	اشتباه	0.65	0.29	40834	43.9	9.9	0.24	4994	16.7
CV%	ضریب تغییرات	13.5	9.7	16.8	7.0	14.6	13.8	18.7	12.9

ns عدم اختلاف معنی‌دار، * معنی‌دار در سطح ۵ درصد و ** معنی‌دار در سطح ۱ درصد
ns no significant difference, * significant at 5% level and ** significant at 1% level

۲). تأثیر تنش خشکی بر وزن هزار دانه نیز روند مشابه با درصد بذور طبقه درشت داشت و وزن هزار دانه در تیمار ۲۵ و ۵۰ درصد به ترتیب ۱۷ و ۱۰ درصد کاهش یافت. کاهش مواد فتوسنتزی بعد از مرحله گرده‌افشانی موجب کاهش اندازه دانه و وزن هزار دانه می‌شود. کاهش میزان فتوسنتز در اثر بسته شدن روزنه‌ها در شرایط تنش خشکی موجب کاهش نشاسته در دوره پر شدن دانه می‌گردد و بیشترین میزان کاهش عملکرد در شاخه‌های ثانویه گزارش شده است

بیشترین درصد اندازه دانه درشت در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد (آبیاری کامل) مشاهده شد و در سطح ۵۰ درصد آب مصرفی (تنش متوسط) ۳۸ درصد کاهش داشت و در سطح ۲۵ درصد (تنش شدید) نسبت به ۵۰ درصد کاهش معنی‌دار نبوده است. درصد بذور ریز در آبیاری ۲۵ و ۵۰ درصد ۶۰ و ۳۰ درصد افزایش یافت. در واقع افزایش تنش خشکی موجب می‌شود از درصد بذور درشت کاسته شده و بر درصد بذور ریز افزایش یابد ولی بر طبقه بذور متوسط تأثیری نداشت (جدول

(Maestro-Gaitán et al., 2022) زیرا پانیکول اصلی به‌عنوان مخزن قوی‌تری برای دریافت مواد فتوسنتزی است (Tovar et al., 2020). در شرایط تنش خشکی طولانی گیاه چرخه زندگی خود را زودتر به پایان می‌رساند و برای پانیکول-های فرعی مواد فتوسنتزی کمتری تأمین می‌شود (Etienne et al., 2018). درحالی‌که میرزایی و همکاران (Mirzaei et al., 2023) تفاوت معنی‌داری در وزن هزار دانه بین تیمار آبیاری کامل و آبیاری معادل ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه مشاهده نکردند.

وزن زیست‌توده و عملکرد دانه نیز به‌شدت تحت تنش خشکی کاهش معنی‌داری داشت. وزن زیست‌توده در تیمار ۵۰ و ۲۵ درصد نیاز آبی به ترتیب ۳۱ و ۵۱ درصد و عملکرد دانه ۳۵ و ۵۸ درصد کاهش داشت. شاخص برداشت کمتر تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفت و میزان کاهش در سطح تنش شدید معنی‌دار شد که به دلیل تأثیر بیشتر تنش خشکی بر عملکرد دانه بود. ارزیابی ۹۹ ژنوتیپ در شرایط آبی و دیم در مناطق مرکزی شیلی که اقلیم مشابه به مناطق مدیترانه‌ای دارند نشان داد که وزن هزار دانه، شاخص برداشت و صفت زودرسی برای رسیدن به حداکثر عملکرد در این اقلیم از اهمیت زیادی برخوردارند و وزن هزار دانه و شاخص برداشت توارث پذیری بالایی دارد (del Pozo et al., 2023).

صفات مرتبط با عملکرد و زیست‌توده نیز کاهش مشابهی با افزایش تنش داشتند. تنش شدید خشکی موجب شد وزن پانیکول، وزن دانه در پانیکول، تعداد دانه در پانیکول به ترتیب ۴۹، ۵۵ و ۴۵ درصد کاهش یابد و تنش متوسط خشکی این صفات را به ترتیب ۱۸، ۲۳ و ۱۴ درصد کاهش داد. وزن دانه در پانیکول بیشتر تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفت که به دلیل افزایش درصد بذور ریز و کاهش درصد بذور درشت بود. موسوی ساردو و همکاران (Mousavi Sardou et al., 2023) تأثیر قطع آبیاری در مرحله ابتدای گلدهی و خمیری نرم در کینوا در منطقه کرمان عملکرد دانه را ۱۸ و ۴۰ درصد کاهش داده است. بیرامی و همکاران (Beyrami et al., 2024) بیان کردند افزایش تخلیه رطوبتی از ۰/۶ به ۰/۸ کل آب قابل‌دسترس (کاهش ۲۸ و ۴۳ درصد کاهش در میزان آب مصرفی) در شرایط لایسیمتری، کاهش معنی‌دار ۲۴ و ۳۷ درصدی به ترتیب در زیست‌توده و عملکرد دانه در کشت بهار و کاهش ۳۴ و ۴۷ درصدی در کشت پاییز مشاهده شد. ارتفاع بوته در تیمار تنش ۵۰ و ۲۵ به ترتیب ۱۰ و ۲۸ درصد کاهش یافت و قطر ساقه زیر پانیکول ۸ و ۱۹ درصد و

قطر پایین ساقه ۱۵ و ۲۹ درصد کاهش یافت. کاهش قطر ساقه در پایین موجب احتمال ورس و کاهش قطر ساقه زیر پانیکول موجب شکستگی پانیکول‌ها می‌گردد البته با کاهش وزن پانیکول با افزایش تنش این مشکل کمتر خواهد بود. تنش خشکی بیشتر بر قطر پایین ساقه تأثیر گذاشت.

تفاوت بین ارقام از نظر اندازه دانه معنی‌دار بود و رقم رحمت با ۴۲ درصد بالاترین درصد اندازه دانه درشت را داشت و رقم صدوق و تیتیکاکا به ترتیب ۲۰ و ۱۶ درصد و کمترین میزان در لاین دانه قرمز با ۳ درصد مشاهده شد (جدول ۳). اندازه دانه متوسط ۵۸ و ۵۷ درصد در رقم صدوق و تیتیکاکا مشاهده شد و ۵۰ درصد دانه‌های رقم رحمت و ۴۰ درصد دانه لاین دانه قرمز در این طبقه قرار گرفتند. بیشترین کمترین درصد بذور ریز (۵۴ و ۷) در لاین دانه قرمز و رحمت مشاهده شد. به ترتیب ۲۱ و ۲۴ درصد دانه رقم صدوق و تیتیکاکا در طبقه ریز قرار داشتند. میزان ساپونین رقم رحمت و تیتیکاکا به‌طور معنی‌داری بیشتر از صدوق و لاین دانه قرمز بود. وزن هزار دانه رقم رحمت به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر ارقام بود و کمترین میزان در لاین دانه قرمز مشاهده شد. وزن پانیکول و وزن دانه در پانیکول لاین دانه قرمز به‌طوری معنی‌داری کمتر از سایر ارقام بود. تعداد دانه در پانیکول رقم رحمت و لاین دانه قرمز اختلاف معنی‌داری نداشت و در رقم صدوق و تیتیکاکا به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. قطر ساقه زیر پانیکول در رقم رحمت به‌طور معنی‌داری بیشتر بود و قطر پایین ساقه در رقم رحمت و لاین دانه قرمز به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. بین رقم صدوق و تیتیکاکا از نظر این دو صفت اختلاف معنی‌داری نبود ولی میزان آن در صدوق بیشتر از تیتیکاکا بود. میزان زیست‌توده به ترتیب در رقم رحمت به‌طور معنی‌داری بیشتر از صدوق و تیتیکاکا و کمترین میزان در لاین دانه قرمز مشاهده شد. بیشترین و کمترین ارتفاع بوته به ترتیب در رقم رحمت و تیتیکاکا مشاهده شد. ارتفاع بوته رقم صدوق بیشتر از تیتیکاکا بود ولی اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. بیشترین طول پانیکول در رقم رحمت مشاهده شد. بیشترین و کمترین عرض پانیکول به ترتیب در رقم صدوق و رحمت مشاهده شد. عملکرد دانه ارقام رحمت، صدوق و تیتیکاکا با هم اختلاف معنی‌داری نداشت و عملکرد لاین دانه قرمز به‌طور معنی‌داری کمتر بود. بیشترین شاخص برداشت در رقم تیتیکاکا، صدوق و سپس لاین دانه قرمز و رقم رحمت مشاهده شد.

جدول ۳. مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده کینوا در سطوح مختلف خشکی و ارقام

Table 3. Comparison of the average measured characteristics of quinoa at different levels of drought and cultivars

درصد از نیاز آبی	درصد دانه درشت	درصد دانه متوسط	درصد دانه کوچک	ارتفاع کف	وزن هزار دانه	وزن پانیکول	وزن دانه در پانیکول	تعداد دانه در پانیکول
Percent of water requirment	Percentage of large grains	Percentage of medium grains	Percentage of small grains	Foam height	Thousand Kernel weight	Panicule weight	Grain weight in Panicule	Grain number in Panicule
%				cm	g			
25	12.2 ^b	46.6 ^a	38.0 ^a	5.37 ^a	2.09 ^b	11.12 ^c	6.46 ^c	3148 ^a
50	18.5 ^b	54.0 ^a	26.5 ^b	4.91 ^a	2.27 ^b	18.06 ^b	11.17 ^b	4954 ^a
100	30.0 ^a	54.0 ^a	15.3 ^c	5.20 ^a	2.53 ^a	22.03 ^a	14.47 ^a	5818 ^a
رقم	Cultivar							
Rahmat	41.7 ^a	50.4 ^b	7.4 ^c	5.38 ^a	3.03 ^a	20.26 ^a	11.08 ^a	3640.5 ^b
Sadogh	19.3 ^b	58.0 ^a	21.4 ^b	4.7 ^b	2.25 ^b	20.13 ^a	12.24 ^a	5371.5 ^a
Titicaca	16.8 ^b	57.5 ^a	24.1 ^b	5.72 ^a	2.23 ^b	17.11 ^a	12.30 ^a	5407.4 ^a
Red line	3.2 ^c	40.2 ^c	54.6 ^a	4.7 ^b	1.68 ^c	10.17 ^b	7.10 ^b	4142.5 ^b

Table 3. Continued

جدول ۳. ادامه

درصد از نیاز آبی	قطر بالای ساقه	قطر پایین ساقه	بیوماس	ارتفاع بوته	طول پانیکول	وزن پانیکول	عملکرد دانه	شاخص برداشت
Percent of water requirment	Stem Dimeter Upper	Stem Dimeter Lower	Biomass	Plant height	Panicule length	Panicule weight	Grain yield	Harvest index
%	mm		g.m ⁻²	cm		g	g.m ⁻²	%
25	5.00 ^c	4.99 ^b	809.3 ^a	78.33 ^c	17.04 ^c	3.45 ^a	227.1 ^c	28.92 ^b
50	5.97 ^b	5.66 ^{ab}	1137 ^b	97.8 ^b	22.08 ^b	3.49 ^a	356.2 ^b	32.59 ^{ab}
100	7.06 ^a	6.20 ^a	1669 ^a	109 ^a	25.21 ^a	3.7 ^a	550.0 ^a	33.46 ^a
رقم	Cultivar							
Rahmat	7.98 ^a	6.43 ^a	1641 ^a	110.6 ^a	29.28 ^a	2.65 ^c	408.3 ^a	24.18 ^b
Sadogh	4.02 ^b	5.59 ^b	1180 ^b	85.5 ^b	17.17 ^b	4.20 ^a	427.8 ^a	36.05 ^a
Titicaca	3.86 ^b	5.16 ^b	1063 ^{bc}	77.1 ^b	20.92 ^b	3.81 ^{ab}	419.4 ^a	38.4 ^a
Red line	8.18 ^a	5.28 ^b	935 ^c	107.1 ^a	17.40 ^b	3.52 ^b	255.5 ^b	27.97 ^b

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها است.

Similar letters in each column indicate no significant difference between the means

افزایش یافت و در رقم تیتیکاکا از ۱۴ به ۲۰ و ۳۷ درصد افزایش یافت. بیشترین حساسیت در لاین دانه قرمز مشاهده شد و با افزایش تنش از ۳۰ به ۵۰ و ۷۸ درصد افزایش یافت و بیشتر دانه‌ها در طبقه ریز قرار گرفتند. اثر متقابل تنش خشکی و رقم بر عملکرد دانه معنی‌دار نبود ولی به دلیل اهمیت آورده شده است. در تنش متوسط میزان کاهش عملکرد در رقم تیتیکاکا (۴۰ درصد) و کمترین میزان در لاین دانه قرمز (۲۱ درصد) مشاهده شد. در تنش شدید بیشترین میزان کاهش در رقم تیتیکاکا (۶۱/۸ درصد) و کمترین در رقم رحمت (۵۲/۱ درصد) مشاهده شد. ارزیابی شش ژنوتیپ در رژیم آبیاری در جنوب مراکش نشان داد که مصرف آب ۵۰ درصد تبخیر و تعرق گیاه نتایج امیدبخشی در مقایسه با شاهد داشت (Fghire et al., 2017). نادعلی و همکاران

اثر متقابل تنش خشکی و رقم بر روی سایز دانه معنی‌دار بود. در تنش متوسط خشکی سایز دانه درشت ارقام رحمت، صدوق، تیتیکاکا و لاین دانه قرمز به ترتیب ۳۴، ۵۰، ۳۲ و ۳۹ درصد و در تنش شدید ۵۰، ۷۵، ۵۷ و ۶۰ درصد کاهش یافت بیشترین کاهش در تنش شدید در رقم صدوق و لاین دانه قرمز مشاهده شد (جدول ۴). سایز دانه متوسط در رقم رحمت، صدوق و تیتیکاکا در تنش متوسط ۳۷، ۱۷ و ۲ درصد افزایش یافت و در لاین دانه قرمز ۳۷ درصد کاهش داشت. در تنش شدید در رقم رحمت و صدوق به ترتیب ۶۹، ۹ درصد افزایش و در رقم تیتیکاکا و لاین دانه قرمز به ترتیب ۱۷ و ۷۶ درصد کاهش یافته است. درصد دانه‌ها ریز در طبقه درشت با افزایش تنش در رقم رحمت افزایش جزئی داشته است و از ۴ به ۹ و ۷ درصد افزایش یافته است در حالی که در رقم صدوق از ۱۲ درصد به ۲۰ و ۳۱ درصد با افزایش تنش

جدول ۴. اثر متقابل تنش خشکی و رقم بر صفات اندازه و عملکرد دانه ارقام کینوا

Table 4. Interaction effect of drought stress and cultivar on grain size and yield traits of quinoa cultivars

درصد از نیاز آبی Percent of water requirement	رقم Cultivar	درصد دانه درشت Percentage of large grains	درصد دانه متوسط Percentage of medium grains	درصد دانه کوچک Percentage of small grains	عملکرد دانه Grain yield
----- % -----					g.m ⁻²
100%	Rahmat	58.00 ^a	37.20 ^c	4.60 ^c	575.0 ^a
	Sadogh	33.40 ^b	53.00 ^b	12.00 ^b	641.6 ^a
	Titicaca	24.00 ^c	60.40 ^a	14.50 ^b	633.3 ^a
	Red	4.80 ^d	65.00 ^a	30.20 ^a	350.0 ^b
50%	Rahmat	38.20 ^a	51.20 ^{ab}	9.80 ^b	375.0 ^a
	Sadogh	16.70 ^b	62.30 ^a	20.40 ^b	391.7 ^a
	Titicaca	16.30 ^b	62.10 ^a	20.90 ^b	375.0 ^a
	Red	2.90 ^c	40.40 ^a	55.10 ^a	275.0 ^b
25%	Rahmat	28.90 ^a	62.90 ^a	7.60 ^c	275.0 ^a
	Sadogh	7.70 ^b	58.20 ^a	31.70 ^b	250.0 ^a
	Titicaca	10.20 ^b	50.00 ^a	37.00 ^b	241.6 ^a
	Red	1.90 ^b	15.30 ^b	78.50 ^a	141.6 ^b

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها است.

Similar letters in each column indicate no significant difference between the means

جدول ۵. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی صفات اندازه‌گیری شده کینوا

Table 5. Principle component analysis of measured traits of quinoa

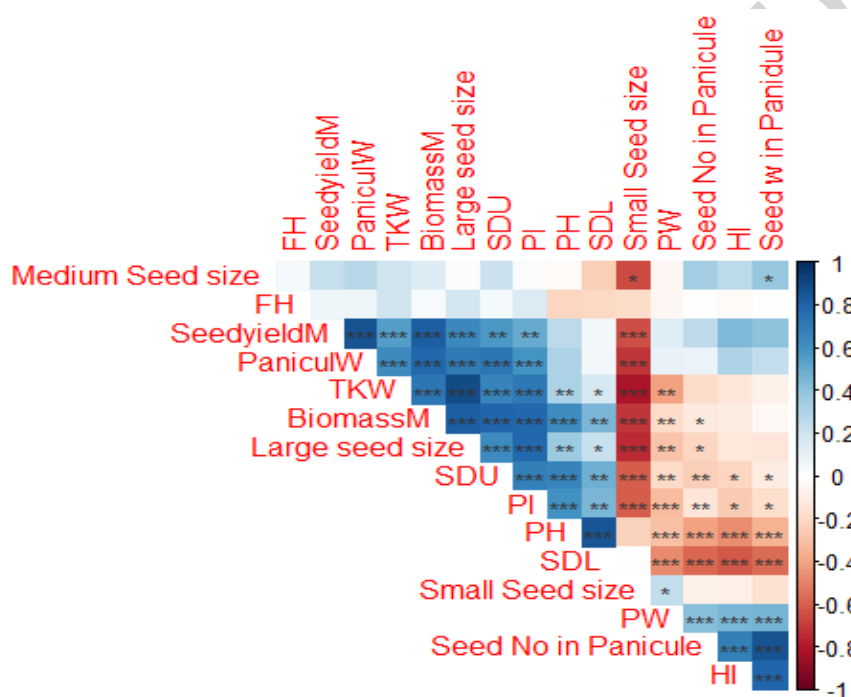
Traits	صفات	Component 1 مؤلفه اول	Component 2 مؤلفه دوم	Component 3 مؤلفه سوم	Component 4 مؤلفه چهارم
Percentage of large grains	درصد دانه درشت	0.32	-0.10	0.21	0.27
Percentage of medium grains	درصد دانه متوسط	0.11	0.21	0.19	-0.75
Percentage of small grains	درصد دانه ریز	-0.31	-0.07	-0.30	0.28
Foam height	ارتفاع کف	0.04	0.03	0.47	0.32
Thousand kernel weight	وزن هزار دانه	0.30	-0.11	0.33	0.04
Panicle Weight	عرض پانیکول	0.33	0.16	-0.06	0.10
Grain weight in panicle	وزن دانه در پانیکول	0.30	0.28	-0.13	0.03
Grain Number in panicle	تعداد دانه در پانیکول	0.17	0.36	-0.32	-0.10
Stem Diameter Lower	قطر پایین ساقه	0.12	-0.40	-0.35	-0.07
Stem Diameter Upper	قطر بالای ساقه	0.31	-0.11	-0.12	-0.08
Biomass	زیست توده	0.35	-0.08	-0.09	0.08
Plant Height	ارتفاع بوته	0.20	-0.31	-0.38	-0.14
Panicule length	طول پانیکول	0.30	-0.19	0.04	0.14
Panicule Wide	عرض پانیکول	-0.07	0.36	-0.28	0.29
Grain Yield	عملکرد دانه	0.31	0.20	-0.10	0.15
Harvest Index	شاخص برداشت	0.01	0.46	-0.02	0.05
Eigenvalue	مقادیر ویژه	7.20	3.55	1.71	1.14
Percent of Variance	درصد واریانس	45.03	22.20	10.67	7.15
Cumulative Variance	واریانس تجمعی	45.03	67.23	77.90	85.05

بررسی و بیان کردند که در تنش شدید رقم تیتیکاکا برتر بود و در تنش متوسط ژنوتیپ Q26 برتر بود. با توجه به نتایج با افزایش تنش ساین دانه‌ها یک طبقه ریزتر شدند و ارقامی که

(Nadali et al., 2022) سه ژنوتیپ (Q29, Titicaca,) در تاریخ کاشت بهاره در شاهرود در تیمار بدون تنش، تنش خشکی ۷۵ درصد و ۵۰ درصد نیاز آبی در شرایط مزرعه

شده همبستگی معنی دار نداشت. وزن هزار دانه همبستگی مثبت و معنی داری با طول پانیکول، درصد بذور درشت، قطر ساقه زیر پانیکول و بیوماس داشت. اندازه بذور درشت همبستگی مثبت و معنی داری با عملکرد دانه، وزن پانیکول، قطر ساقه زیر پانیکول و طول پانیکول داشت و همبستگی منفی و معنی داری با اندازه دانه ریز، وزن پانیکول و تعداد دانه در پانیکول داشت. صدیق و همکاران (Saddiq et al., 2021) همبستگی مثبت و معنی داری بین عملکرد دانه، وزن هزار دانه و طول پانیکول در شرایط تنش خشکی گزارش کردند.

دارای دانه‌های ریزتری هستند از تنش شدید خسارت بیشتری می‌بینند. کاهش عملکرد در ارقام دیررس‌تر مانند رقم رحمت و لاین دانه قرمز کمتر از ارقام زودرس‌تر است. بررسی همبستگی بین صفات نشان داد که صفاتی که بیشترین تأثیر را بر عملکرد دانه داشتند شامل وزن پانیکول، وزن هزار دانه، زیست‌توده، اندازه دانه درشت همبستگی مثبت و معنی داری در سطح ۰/۱ درصد داشتند و درصد بذور دانه ریز همبستگی منفی و معنی دار در سطح ۰/۱ درصد داشت (شکل ۱). میزان ساپونین با هیچ‌یک از صفات اندازه‌گیری



شکل ۱. همبستگی بین صفات اندازه‌گیری شده کینوا. ارتفاع کف (FH)، عملکرد دانه (Seed yieldM)، وزن پانیکول (Panicule W)، وزن هزار دانه (TKW)، بیوماس (BiomassM)، درصد دانه درشت (Large seed size)، قطر بالای ساقه (SDU)، طول پانیکول (PI)، ارتفاع بوته (PH)، قطر پایین ساقه (SDL)، درصد دانه ریز (Small seed size)، وزن پانیکول (PW)، تعداد دانه در پانیکول (Seed N in panicle)، شاخص برداشت (HI) و وزن دانه در پانیکول (Seed w in Panicle). * معنی دار در سطح ۵ درصد، ** معنی دار در سطح ۱ درصد و *** معنی دار در سطح ۰/۱ درصد.

Fig. 1. Correlation between the measured traits of quinoa. foam height (FH), Grain yield (Seed yieldM), panicle weight (Panicle W), thousand kernel weight (TKW), biomass (BiomassM), Percentage of large grains (large seed size), Stem diameter upper (SDU), panicle length (PI), plant height (PH), lower stem diameter (SDL), Percentage of small grains (small seed size), panicle weight (PW), number of grain in panicle (Seed N in panicle), Harvest index (HI) and Grain weight in panicle (Seed w in Panicle).

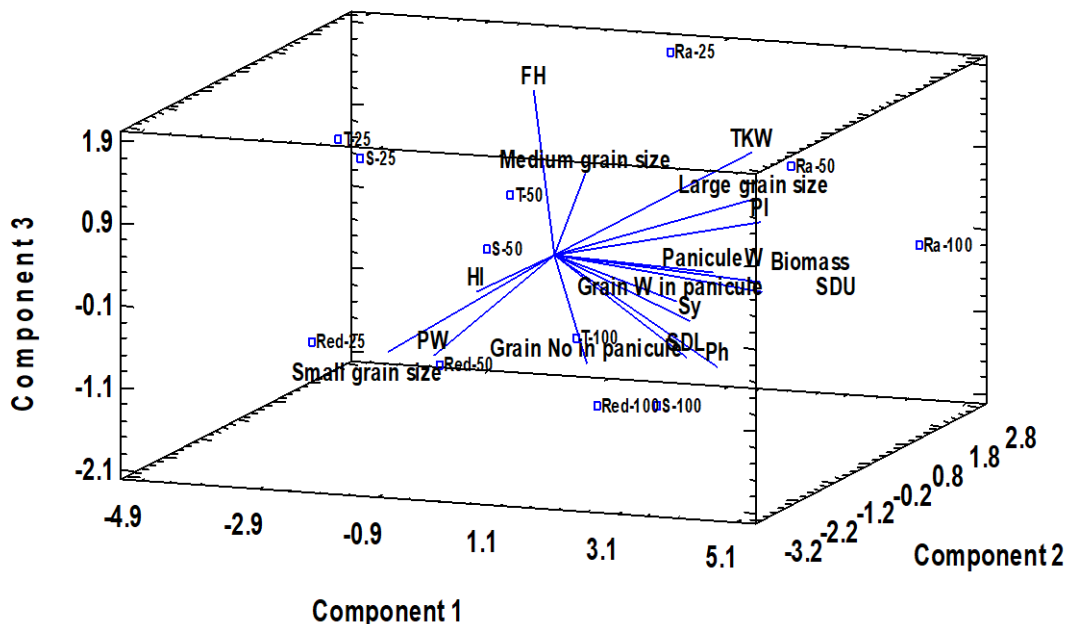
* Significant at 5% level, ** Significant at 1% level and *** Significant at 0.1% level.

قطر قسمت بالای ساقه، وزن هزار دانه، طول پانیکول و اندازه دانه درشت در جهت مثبت و اندازه دانه ریز در جهت منفی داشت بنابراین این مؤلفه به‌عنوان مؤلفه عملکرد دانه نام‌گذاری شد. مؤلفه دوم ۲۲ درصد تغییرات را نشان داد که

برای رسم نمودار بای‌پلات در ابتدا تجزیه به مؤلفه‌های اصلی صورت گرفت و چهار مؤلفه ۸۵ درصد تغییرات را توجیه کردند (جدول ۵). مؤلفه اول ۴۵ درصد تغییرات را تبیین کرد و بیشترین سهم را عملکرد دانه، زیست‌توده، وزن پانیکول،

هرچه زاویه خطوط با یکدیگر کمتر باشد نشان‌دهنده همبستگی بالاتر است (شکل ۲). ارتفاع کف، اندازه دانه ریز، عرض پانیکول و ارتفاع بوته در جهت مخالف با عملکرد دانه و شاخص‌های مرتبط با آن قرار گرفتند. بررسی صفات مؤثر بر عملکرد در کشت بهاره در شرایط شور نیز نشان داد که صفت وزن هزار دانه بیشترین سهم را در تعیین عملکرد دانه داشت (Salehi et al., 2021). ارزیابی لاین‌ها در کشت دیم بهاره زودکاشت در استان گلستان نشان داد که وزن هزار دانه بیشترین تأثیر را بر عملکرد دانه داشت (Salehi and Pourdad 2021).

در آن شاخص برداشت، وزن پانیکول، وزن دانه در پانیکول، اندازه دانه متوسط و عملکرد دانه در جهت مثبت و قطر پایین ساقه، ارتفاع بوته، طول پانیکول در جهت منفی بیشترین سهم را داشتند و این مؤلفه به‌عنوان شاخص برداشت نام‌گذاری شد. مؤلفه سوم و چهارم به ترتیب ۱۰ و ۷ درصد تغییرات را نشان دادند. در مؤلفه سوم ارتفاع کف (میزان ساپونین)، اندازه دانه درشت، متوسط و وزن هزار دانه در جهت مثبت و اندازه دانه ریز و تعداد دانه در پانیکول، قطر ساقه زیر پانیکول و ارتفاع بوته در جهت منفی بیشترین تغییرات را داشت و این مؤلفه به‌عنوان میزان ساپونین نام‌گذاری شد. در نمایش بای‌پلات



شکل ۲. نمودار بای‌پلات تجزیه به مؤلفه‌های اصلی سه مؤلفه مؤثر بر عملکرد دانه کینوا. ارتفاع کف (FH)، عملکرد دانه (Seed yield M)، وزن پانیکول (Panicule W)، وزن هزار دانه (TKW)، بیوماس (BiomassM)، درصد دانه درشت (Large seed size)، قطر بالای ساقه (SDU)، طول پانیکول (PI)، ارتفاع بوته (PH)، قطر پایین ساقه (SDL)، درصد دانه ریز (Small seed size)، وزن پانیکول (PW)، تعداد دانه در پانیکول (Seed N in panicle)، شاخص برداشت (HI) و وزن دانه در پانیکول (Seed W in Panicle). در این نمودار رحمت با تیمار آبی ۱۰۰، ۵۰ و ۲۵ به ترتیب (Ra -25, Ra-50 and Ra -100)، سدوق ۱۰۰، ۵۰ و ۲۵ به ترتیب (S -25, S -50 and S-100)، تیتیکاکا ۱۰۰، ۵۰ و ۲۵ به ترتیب (T-25, T-50 and T-100) و لاین دانه قرمز (Red-25, Red-50 and Red-100) می‌باشند.

Fig. 2. Bi-plot diagram of principal component analysis for the three main components affecting quinoa grain yield. foam height (FH), Grain yield (Seed yieldM), panicle weight (Panicule W), thousand kernel weight (TKW), biomass (BiomassM), Percentage of large grains (large seed size), Stem diameter upper (SDU), panicle length (PI), plant height (PH), lower stem diameter (SDL), Percentage of small grains (small seed size), panicle weight (PW), number of grain in panicle (Seed N in panicle), Harvest index (HI) and Grain weight in panicle (Seed W in Panicle). In this plot Rahmat with water treatment of 100, 50 and 25 are: Ra -25, Ra-50 and Ra -100, Sadoq with water treatment of 100, 50 and 25 are: S -25, S -50 and S-100 and Titicaca with water treatment of 100, 50 and 25 are T-25, T-50 and T-100, respectively. The red line with water treatment of 100, 50 and 25 are Red-25, Red-50 and Red-100, respectively.

از لاین دانه قرمز بود. بیشترین عملکرد در شرایط تنش شدید مربوط به رقم رحمت بود. بررسی صفات نشان داد که وزن هزار دانه، زیست‌توده، قطر ساقه زیر پانیکول، طول پانیکول و وزن پانیکول صفات مرتبط با عملکرد دانه بودند و میزان ساپونین و شاخص برداشت همبستگی با عملکرد دانه نداشتند. با توجه به این تحقیق جهت گزینش لاین‌ها در شرایط تنش خشکی ارزیابی صفات اندازه دانه و عملکرد مطلق در سطح تنش ۵۰ درصد میزان آب مصرفی توصیه می‌شود.

نتیجه‌گیری نهایی

میزان کاهش عملکرد دانه لاین دانه قرمز و سپس رحمت در شرایط تنش خشکی کمتر از دو رقم صدوق و تیتیکاکا بود، ولی به دلیل دیررس‌تر بودن نیاز به یک مرحله آبیاری بیشتر داشتند و همچنین اندازه دانه به‌شدت در لاین دانه قرمز در شرایط تنش کاهش یافت و میزان کاهش محصول بعد از بوجاری و فراوری بیشتر خواهد بود. واکنش لاین دانه قرمز به افزایش تنش کمتر بود، عملکرد مطلق سه رقم دیگر بیشتر

منابع

- Adolf, V.I., Jacobsen, S.E., Shabala, S., 2012. 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>
- Ali, O.I., Fghire, R., Anaya, F., Benhabib, O. Wahbi, S., 2019. Physiological and morphological responses of two quinoa cultivars (*Chenopodium quinoa* Willd.) to drought stress. *Gesunde Pflanzen*. 71, 123-133. <https://doi.org/10.1007/s10343-019-00460-y>
- Allen, R.G., 1977. FAO irrigation and drainage paper. <http://www.fao.org/3/f2430e/f2430e00.htm>
- Bazile, D., Bertero, H.D., Nieto, C., 2015. State of the art report on quinoa around the world in 2013. FAO. <https://www.fao.org/3/i4042e/i4042e.pdf>.
- Beyrami, H., Rahimian, M.H., Salehi, M., Yazdani- Biouki, R., Pirasteh-Anosheh, H., Shiran-Tafti, M., 2024. Determination of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) crop coefficient and water requirement in lysimetric condition. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*. 17, 967-978. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.22067/jwsd.v10i4.2307-1254>
- Beyrami, H., Yazdani- Biouki, R. 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*. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.22067/jwsd.v10i4.2307-1254>
- del Pozo, A., Ruf, K., Alfaro, C., Zurita, A., Guerra, F., Sagredo, B., 2023. Traits associated with higher productivity and resilience to drought-prone Mediterranean environments of coastal-lowland quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Field Crops Research*. 299, 108985. [doi:https://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.108985](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.108985).
- Etienne, P., Diquelou, S., Prudent, M., Salon, C., Maillard, A., Ourry, A., 2018. Macro and micronutrient storage in plants and their remobilization when facing scarcity: The case of drought. *Agriculture*. 8, 14. <https://doi.org/10.3390/agriculture8010014>
- FAO. 2012. ETo Calculator. In: Land and Water Digital Media Series. <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/eto-calculator/en/>.
- Fghire, R., Anaya, F., Issa, O.A. Wahbi, S., 2017. Physiological and growth response traits to water deficit as indicators of tolerance criteria between quinoa genotypes. *Journal of Materials and Environmental Sciences*. 8, 2084-2093.
- Garcia, M., Condori, B. Castillo, C.D., 2015. Agroecological and Agronomic Cultural Practices of Quinoa in South America. *Quinoa: Improvement and Sustainable Production*. Wiley Online Library. p. 25-46. <https://doi.org/10.1002/9781118628041.ch3>
- 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, 281-287. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.05.019>
- Kalateh, M., 2023. The effect of supplemental irrigation and short irrigation on quantitative yield of spring-grown quinoa in Golestan province. MSc. Thesis. Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Gorgan, Iran. [In Persian].

- Kiyan, H.F., Tatari, M., Tokalo, M.R., Salehi, M., Ghalibaf, K.H.-H., 2022. The effect of deficit irrigation and fertilizer on quantitative and qualitative yield of quinoa (*Chenopodium quinoa*). Italian Journal of Agrometeorology. 1, 83-99. <https://doi.org/10.36253/ijam-1136>
- Kozioł, M., 1992. Chemical composition and nutritional evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Journal of Food Composition and Analysis. 5, 35-68. [https://doi.org/10.1016/0889-1575\(92\)90006-6](https://doi.org/10.1016/0889-1575(92)90006-6)
- Maestro-Gaitán, I., Granado-Rodríguez, S., Orús, M., Matías, J., Cruz, V., Bolaños, L. Reguera, M., 2022. Genotype-dependent responses to long-term water stress reveal different water-saving strategies in *Chenopodium quinoa* Willd. Environmental and Experimental Botany. 201, 104976. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2022.104976>
- Martínez, E.A., Fuentes, F.F. Bazile, D., 2015. History of quinoa: Its origin, domestication, diversification, and cultivation with particular reference to the Chilean context. In: Murphy, K., Matanguihan, J. (eds.), Quinoa: Improvement and Sustainable Production, John Wiley & Sons. pp.19-24. <https://doi.org/10.1002/9781118628041.ch2>
- Meskini-Vishkaee, F., Tafteh, A. Goosheh, M. 2023. Determining the quinoa water requirement and plant response coefficients to water stress in different growth stages in Khuzestan climate. Journal of Water and Soil Science. 27, 275-286. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.47176/jwss.27.1.43123>
- Mirzaei, F., Rafieiohossaini, M., Rangzan, N. Amirusefi, M. 2023. The effect of drought and heavy metal stresses on growth characteristics, morphology and seed weight of quinoa plant. Journal of Crops Improvement. [In Persian with English Summary]. 25, 737-754. <https://doi.org/10.22059/jci.2023.352391.2771>
- Moog, M.W., Trinh, M.D.L., Nørrevang, A.F., Bendtsen, A.K., Wang, C., Østerberg, J.T., Shabala, S., Hedrich, R., Wendt, T. Palmgren, M., 2022. The epidermal bladder cell-free mutant of the salt-tolerant quinoa challenges our understanding of halophyte crop salinity tolerance. New Phytologist. 236, 1409-1421. <https://doi.org/10.1111/nph.18420>
- Mousavi Sardou, S.F., Khammari, i., Mousavi Nick, S.M., Maghsoudi, A.A. Allahdou, M., 2023. The effect of drought stress and potassium sulfate on seed yield and physiological traits of quinoa plant. Crop Science Research in Arid Regions. 5, 37-49. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.22034/csrar.2023.356951.1277>
- Nadali, F., Asghari, H.R., Abbas dokht, H., Dorostkar, V. Bagheri, M., 2022. Physiological Responses of Quinoa Varieties (*Chenopodium quinoa* Willd) to Hydropriming and Drought Stress. Journal of Crop Production and Processing. 12, 49-62. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.47176/jcpp.12.2.36912>
- Saddiq, M.S., Wang, X., Iqbal, S., Hafeez, M.B., Khan, S., Raza, A., Iqbal, J., Maqbool, M.M., Fiaz, S. Qazi, M.A., 2021. Effect of water stress on grain yield and physiological characters of quinoa genotypes. Agronomy. 11, 1934. <https://doi.org/10.3390/agronomy11101934>
- Salehi, M., Dehghany, F., Soltani GerdFaramarzi, V., Besharat, N., 2021. Identify the effective traits for the selection of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) lines in spring cultivation under saline condition. Environmental Stresses in Crop Sciences. 14, 1041-1054. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.22077/escs.2021.3287.1837>
- Salehi, M., Pourdad, S.S., 2021. Preliminary evaluation of the quinoa seed yield under rainfed spring cropping in warm and temperate regions. Iranian Dryland Agronomy Journal. 10, 23-39. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.22092/idaj.2021.342612.302>
- Stanschewski, C.S., Rey, E., Fiene, G., Craine, E.B., Wellman, G., Melino, V.J., Patiranage, D.S., Johansen, K., Schmöckel, S.M., Bertero, D., 2021. Quinoa phenotyping methodologies: An international consensus. Plants. 10, 1759. <https://doi.org/10.3390/plants10091759>
- Stikić, R., Jovanović, Z., Marjanović, M., Djordjević, S. 2015. The effect of drought on water regime and growth of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Ratarstvo i povrtarstvo. 52, 80-84. <https://doi.org/10.5937/ratpov52-8000>
- Sun, Y., Liu, F., Bendevis, M., Shabala, S., Jacobsen, S.E., 2014. Sensitivity of two quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) varieties to progressive drought stress. Journal of

- Agronomy and Crop Science. 200, 12-23.
<https://doi.org/10.1111/jac.12042>
- Tafteh, A., Emdad, M.R., 2022. Determination of crop yield response factor (ky) in deficit irrigation management at different stages of Quinoa Plant Growth. Water Management in Agriculture. 8, 101-116. [In Persian with English Summary].
<https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.24764531.140.0.8.2.9.5>
- Tovar, J.C., Quillatupa, C., Callen, S.T., Castillo, S.E., Pearson, P., Shamin, A., Schuhl, H., Fahlgren, N., Gehan, M.A. 2020. Heating quinoa shoots results in yield loss by inhibiting fruit production and delaying maturity. The Plant Journal. 102, 1058-1073.
<https://doi.org/10.1111/tpj.14699>
- Zurita Silva, A., Jacobsen, S.E., Razzaghi, F., Álvarez Flores, R., Ruiz, K.B., Morales, A., Silva Ascencio, H., 2015. Quinoa drought responses and adaptation. In: State of the Art Report on Quinoa Around the World. FAO: Roma, Italy. 157-171

نسخه پیش از انتشار