نشریه مدیریت آب در کشاورزی
جلد ۹، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۱، ص. ۱۰۲-۹۱

Water Management in Agriculture
Vol. 9, No. 2 Autumn and Winter 2023, 91-102

مقاله علمی- پژوهشی

اثر سطوح مختلف آبیاری و کود نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه کینوا رقم Giza-1

صابر جمالی[۱]، محمد نادریان فر[۲]* و حسین انصاری[۳]

چکیده

در سال‌های اخیر استفاده از گیاه کینوا به دلیل شرایط مساعد کشت در شرایط سخت آب و هوایی گسترش یافته است و با توجه به اینکه ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک قرار دارد کشت این گیاه حائز اهمیت است. در تحقیق حاضر جهت بررسی اثر سطوح مختلف تنش آبی و کود نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه کینوا رقم Giza-1، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی و بر پایه کشت گلدانی با سه تکرار در سال ۱۳۹۸ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شد. در این پژوهش فاکتور تنش آبی دوره‌ای شامل ۴ سطح (بدون تنش (شاهد)، تنش در کل دوره رشد، تنش در دوره گلدهی و تنش در دوره دانه بستن) و فاکتور کود نیتروژن نیز شامل ۳ سطح (۰، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) بود. لازم به ذکر است که برای اعمال تنش در دوره‌های مختلف رشدی، آبیاری به میزان ۵۰ درصد ظرفیت زراعی خاک در اختیار گیاهان قرار گرفت. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد تیمار تنش آبی روی ارتفاع، تعداد شاخه‌های فرعی، طول سنبله، عرض سنبله، قطر ساقه، عملکرد دانه (۱۳۴/۸ گرم) و بهره‌وری آب (۰/۲۷ کیلوگرم بر مترمکعب) در سطح یک و روی تعداد سنبله در سطح ۵ درصد معنی‌دار بوده است. همچنین اثر متقابل تنش آبی و کود نیتروژن روی تعداد سنبله، قطر ساقه، عملکرد دانه در سطح یک درصد و بهره‌وری آب در سطح ۵ درصد معنی‌دار شده است. به‌طورکلی، بیشترین میزان عملکرد دانه در تیمار بدون تنش و شرایط آبیاری به میزان ۴۵۰ میلی‌متری و استفاده از ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن مشاهده شد. بهترین تابع تولید عملکرد- آب مصرفی- نیتروژن که بر روی گیاه کینوا رقم Giza-1 در شرایط این پژوهش می‌توان برازش داد، بر اساس شاخص‌های آماری مورداستفاده و رتبه‌بندی توابع، تابع خطی (Y=-0.835+0.034 I + 0.012 N) است.

واژه‌های کلیدی: تابع تولید، صفات مورفولوژیکی، بهره‌وری آب، کم‌آبیاری

مقدمه

در سال‌های اخیر کشت کینوا (Chenopodium quinoa Willd.) به دلیل افزایش علاقه به توسعه فروش، تحقیق و توسعه و ترویج به سایر کشورهای فراتر از منطقه مبدأ گسترش یافته است (Alandia et al., 2020). کینوا گیاهی بومی منطقه آند (Andes) در آمریکای جنوبی است و به دلیل بهره‌وری بالای آب، در شرایط نامساعد آب و هوایی و دشوار از مقبولیت خوبی برخوردار بوده است و ارزش غذایی بالایی دارد (Hinojosa et al., 2019). کینوا گیاهی یک‌ساله بوده و به مادر دانه‌ها معروف است و جزو خانواده تاج‌خروسیان و زیر خانواده اسفنجیان بوده و شرایط رشد آن شبیه اسفناج است. این گیاه دارای سیستم ریشه‌ای قوی بوده و نسبت به تنش خشکی مقاوم است (Hirose et al., 2010). با توجه به اینکه کینوا گیاهی با مقاومت بالا در شرایط اقلیمی دشوار است برای کشت در مناطق جنوبی ایران مناسب است. کینوا ازآنجایی‌که گیاهی دارویی و همچنین بدون

[۱] دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد. مشهد. ایران
[۲] استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت. کرمان. ایران (*نویسنده مسئول: Naderian.mohamad@ujiroft.ac.ir)
[۳] استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد. مشهد. ایران
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۰۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۰۷
DOR: 20.1001.1.24764531.1401.9.2.7.0

گلوتن است ارزش غذایی بالایی دارد و به سلامت جامعه کمک می‌کند (Bonales-Alatorre et al., 2013).

کم‌آبیاری یک راهکار بهینه برای به عمل آوردن محصولات تحت شرایط کمبود آب است که همراه با کاهش محصول در واحد سطح و افزایش آن با گسترش سطح است. کم‌آبیاری راهکار بهینه‌سازی است که در آن آگاهانه به گیاهان اجازه داده می‌شود با دریافت آب کمتر از نیاز، محصول خود را کاهش دهند (Ganpat et al., 1992). از طرف دیگر توسعه الگوی کشت محصولات در چنین شرایطی بهتر است بر اساس انتخاب گیاه سازگار در جهت افزایش بهره‌وری در شرایط محیطی موجود، برنامه‌ریزی شود؛ لذا افزایش بهره‌وری آب یک راه ممکن برای دستیابی به افزایش تولید در شرایط کمبود ذخایر آبی است (Geerts et al., 2008). کم‌آبیاری اثرات منفی بر خصوصیات عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارد. با اینکه کم‌آبیاری در بسیاری از تحقیقات منجر به کاهش رشد و عملکرد کینوا شده است، اما پاسخ های فیزیولوژیکی ناشی از افزایش رشد ریشه این اثرات را کاهش داده است (Gámez et al., 2019).

در سال‌های اخیر بر روی کینوا پژوهش‌های متعددی در نقاط مختلف جهان انجام شده است؛ که به اختصار در ادامه به برخی از این پژوهش‌ها پرداخته می‌شود. در پژوهشی که در هند بر روی گیاه کینوا انجام شد نتایج نشان داد که افزایش نیتروژن منجر به افزایش ارتفاع، وزن خشک اندام هوایی، تعداد دانه در پانیکول، عملکرد دانه و شاخص برداشت در سطح احتمال ۵ درصد شد (Reddy et al., 2021). نتایج تحقیق اوجی و همکاران (۲۰۲۰) و اوجی و همکاران (۲۰۲۱) در شهرستان خرامه، منصوری و همکاران (۲۰۲۱) در شهرستان اهواز، جمالی و همکاران (۱۴۰۰– الف) در شهرستان مشهد، کرمی و همکاران (۱۳۹۹) در شهرستان ممسنی که بر رقم Titicaca و Giza-1 گیاه کینوا انجام دادند، نشان داد که افزایش کود نیتروژن مصرفی منجر به افزایش معنی دار در صفات ارتفاع، سطح برگ، طول و عرض پانیکول، وزن خشک برگ و پانیکول، وزن هزار دانه و عملکرد دانه شد (Owji et al., 2020; Owji et al., 2021; Mansouri et al., 2021).

نتایج پژوهش الشرف در مصر و المدینی و همکاران در عربستان سعودی بر روی گیاه کینوا نشان داد که اعمال سطوح مختلف کود نیتروژن منجر به بهبود در عملکرد دانه، وزن هزار دانه و شاخص برداشت در این گیاه شد (El-Sheref, 2020; Almadini et al., 2019). در پژوهش‌های مجزایی که بر روی رقم Titicaca در شهرستان بردسیر و کرمان انجام شد، نتایج نشان داد که اعمال تنش آبی منجر به کاهش وزن هزار دانه، طول و قطر پانیکول و عملکرد دانه در گیاه کینوا رقم Titicaca شد (صادقی زاده و همکاران، ۱۴۰۰؛ جهانبخش و همکاران، ۱۳۹۹).

نتایج پژوهشی که کشتکار و همکاران (۱۴۰۰) بر روی ارقام مختلف گیاه کینوا (Titicaca، Giza-1 و Q29) در منطقه جوپار استان کرمان انجام دادند، نشان داد که اعمال تنش آبی بر روی تمامی ارقام مورد بررسی منجر به کاهش عملکرد دانه، ارتفاع بوته و شاخص برداشت شد. جمالی و همکاران (۱۳۹۸) در پژوهشی که به منظور بررسی اثرات تنش آبی دوره ای بر روی لاین NSRCQ-1 در شرایط گلخانه ای در مشهد انجام دادند، نشان دادند که اعمال تنش دوره ای آبی در این لاین منجر به کاهش عملکرد دانه، وزن هزار دانه، وزن خشک اندام هوایی و ارتفاع شد، همچنین ایشان اظهار داشتند که اعمال تنش در مرحله گلدهی و دانه بستن نسبت به سایر تیمارها اثر منفی معنی دار بیشتری بر روی عملکرد و وزن هزار دانه گیاه داشتند. پژوهشی دیگر نیز در کشور عراق بر روی ارقام مختلف گیاه کینوا انجام شده و نتایج نشان داد که اعمال تنش آبی دوره ای (بدون تنش، تنش در مرحله جوانه زنی، ساقه روی، سنبله دهی، گلدهی و دانه بستن) بر روی ارقام Regalona، Q-37، KVL-SR2 و Q-21 منجر به کاهش در صفات تبخیر–تعرق گیاه، عملکرد دانه و کارایی مصرف آب شد، همچنین بیشترین اثر منفی بر روی صفات مورد بررسی در اعمال تنش در مرحله گلدهی و دانه بستن مشاهده شد (Salim et al., 2020). نتایج تحقیقی که ناز و همکاران (۲۰۲۰) بر روی کینوا ارقام V1، V2، V7 و V9 در پاکستان انجام دادند، نشان داد که اعمال تنش آبی (۶۰، ۴۰ و ۲۰ درصد ظرفیت زراعی) منجر به کاهش وزن تر و خشک اندام

هوایی و ارتفاع بوته در تمامی ارقام مورد بررسی شده است (Naz et al., 2020).

به‌منظور بررسی اثرات اعمال تنش آبی بر روی ارقام مختلف کینوا (Regalona، AG2010، Cahuil و Morado) پژوهشی در کشور شیلی انجام شد و نتایج نشان داد که اعمال تنش آبی منجر به کاهش عملکرد دانه در تمامی ارقام در طول دو فصل کشت در سال‌های ۱۵-۲۰۱۴ و ۱۶-۲۰۱۵ شد (Pinto et al., 2021). وانگ و همکاران تحقیقی بر روی رقم Longli No.1 گیاه کینوا در چین انجام دادند و نتایج ایشان نشان داد که اعمال تنش آبی (۱۵، ۲۵ و ۵۵ کیلوپاسکال تنش ماتریک) بر روی این رقم منجر به کاهش وزن خشک برگ، ساقه و دانه و همچنین وزن هزار دانه شد. همچنین در تحقیق ایشان نتایج نشان داد که افزودن کود نیتروژن سبب افزایش صفات مذکور شد و تنش آبی اعمال شده بر روی این گیاه را تقلیل داد (Wang et al., 2020)

در پژوهشی که در کشور بورکینافاسو بر روی رقم Titicaca انجام شد، نتایج گویای کاهش عملکرد و زیست‌توده کل در شرایط اعمال تنش آبی و کم آبیاری بود (Alvar-Beltran et al., 2021). نتایج پژوهش خالد و همکاران در مصر و داسیلوا و همکاران در برزیل، بر روی کینوا نشان داد که اعمال تنش آبی منجر به کاهش عملکرد دانه، وزن هزار دانه و شاخص برداشت شد (Khaled et al., 2021; da Silva et al., 2021). با توجه به اهمیت کاربرد نیتروژن و اثر توأمان کم آبیاری روی عملکرد و اجزای عملکرد گیاه کینوا در تحقیق حاضر به بررسی این موضوع پرداخته شد تا مشخص شود که اثر متقابل کم آبیاری و کاربرد کود نیتروژن چه تأثیری روی عملکرد و اجزای عملکرد کینوا رقم Giza-1 دارد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر سطوح مختلف تنش آبی و کود نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه کینوا رقم Giza-1، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی و بر پایه کشت گلدانی با سه تکرار در سال ۱۳۹۸ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد با موقعیت جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه عرض شمالی، ۵۹ درجه و ۳۸ دقیقه طول شرقی و ۹۵۸ متر ارتفاع از سطح دریا اجرا شد. در این پژوهش فاکتور تنش آبی دوره‌ای شامل ۴ سطح (بدون تنش (شاهد)، تنش در کل دوره رشد، تنش در دوره گلدهی و تنش در دوره دانه بستن) و فاکتور کود نیتروژن نیز شامل ۳ سطح (۰ (شاهد)، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) بود. لازم به ذکر است که برای اعمال تنش در کل دوره‌های رشدی گیاه، حجم آب آبیاری به میزان ۵۰ درصد ظرفیت زراعی خاک بود. تیمار تنش در دوره‌ی گلدهی و دوره‌ی دانه بستن نیز به معنای آبیاری به میزان ۵۰ درصد ظرفیت زراعی خاک در هر یک از دوره‌های موردبررسی بوده و در سایر دوره‌های رشدی، گیاهان به‌طور کامل آبیاری شدند.

در تاریخ ۱۰ آبان ۱۳۹۸، بذور کینوا در گلدان‌های پلاستیکی با قطر ۲۵ و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر کشت شد، به طوری‌که در هر گلدان ۱۰ بذر در عمق ۱ سانتی‌متری کشت شد (شکل ۱). دور آبیاری و عمق آبیاری در این طرح متغیر بود. در طی دوره رشد گیاه، اندازه‌گیری میزان رطوبت خاک به‌منظور تعیین مقدار آب موردنیاز گیاه به‌صورت وزنی انجام شد و آبیاری به‌گونه‌ای اعمال گردید که میزان رطوبت خاک در حد رطوبت سهل‌الوصول (میزان MAD در این پژوهش ۰/۵ درنظرگرفته شد) باقی بماند. به این صورت که هر روز گلدان‌ها وزن گردید و زمانی که رطوبت خاک به حد پایین رطوبت سهل الوصول (ΘMAD) رسید، آبیاری صورت گرفت. میزان رطوبت سهل‌الوصول و حد پایین آن با استفاده از روابط (۱) و (۲) محاسبه شد (علیزاده، ۱۳۸۷).

$$RAW = (\theta_{F.C} - \theta_{P.W.P}) \times MAD \times Dr \quad (۱)$$

$$RAW = (\theta_{FC} - \theta_{RAW}) \times Dr \quad (۲)$$

در این روابط RAW، MAD، $\theta_{F.C}$، $\theta_{P.W.P}$ و θ_{RAW} به ترتیب بیانگر رطوبت سهل‌الوصول، میزان تخلیه مجاز رطوبتی، رطوبت حجمی در حد ظرفیت زراعی، پژمردگی دائم و رطوبت

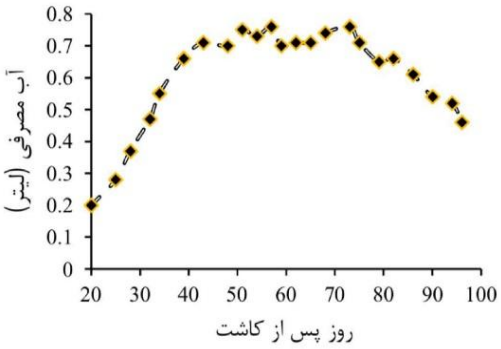
حجمی در زمان رسیدن به MAD (رطوبت سهل‌الوصول) است. پس از مشخص شدن درصد حجمی رطوبت خاک در ظرفیت زراعی مزرعه، میزان رطوبت موجود در خاک برای اعمال تیمارهای رطوبتی مختلف مشخص‌شده و با قرائت روزانه دستگاه رطوبت‌سنج پرتابل ساخت شرکت Lutron تایوان مدل PMS-714 که از قبل برای این خاک کالیبره شده بود، دور آبیاری تعیین شد (جمالی و همکاران، ۱۳۹۸). تعداد دفعات آبیاری در این پژوهش ۲۱ دوره بوده و حجم آب آبیاری در تیمار شاهد (آبیاری کامل)، تنش در کل دوره رشد، تنش در دوره گلدهی و تنش در دوره دانه بستن به ترتیب برابر ۱۵/۶، ۷/۸، ۱۳/۸ و ۱۴/۱ لیتر بوده است.

در شکل ۲ حجم آبیاری در طی دوره رشد در تیمار شاهد ارائه شده است. همچنین تا مرحله استقرار گیاه، آبیاری تمام تیمارها، با استفاده از آب چاه و به میزان ظرفیت زراعی انجام شد. پس از رسیدن گیاهان به مرحله چهار برگی تیمار تنش در کل دوره رشد اعمال شد. در مرحله گلدهی بلافاصله پس از ظهور سنبله و در دوره‌ی دانه بستن نیز پس‌ازاینکه دانه‌های موجود در سنبله‌ها در حال شیری شدن بود تنش آبی بر روی گیاهان اعمال شد. گیاهان مورد بررسی در تاریخ ۲۰ بهمن ۱۳۹۸ کف بری شده و جهت انجام آزمایش‌های مورد نظر به آزمایشگاه منتقل شدند.

در مرحله داشت برای مقابله با آفت شته و مگس سفید ۳ مرحله سم‌پاشی با سموم دورسبان و کنفیدور به‌صورت دوره‌ای و با غلظت یک در هزار حجمی انجام شد. در این مرحله برای مقابله با علف‌های هرز طی یک مرحله و به‌صورت دستی علف‌های هرز برداشت شد، همچنین در این پژوهش طی ۲ مرحله کود دهی با کود NPK با نسبت‌های ۲۰:۲۰:۲۰ اعمال شد. خاک مورد استفاده در این آزمایش دارای بافت لوم رسی بوده که دارای هدایت الکتریکی ۱/۲۵ دسی‌زیمنس بر متر و pH برابر با ۷/۸۵ بود. در ابتدا با هدف بهبود زهکشی در انتهای هر یک از گلدان‌ها مقدار برابر سنگریزه تعبیه شد و ۵ سانتی‌متر بالای هر یک از گلدان‌ها برای آبیاری خالی در نظر گرفته شد.

آب آبیاری مورداستفاده دارای هدایت الکتریکی ۱/۲ دسی‌زیمنس بر متر، pH برابر با ۸/۲ و SAR برابر با ۱/۷۳ بود.

شکل ۱- نمایی از گلدان‌ها و رشد کینوا



شکل ۲- مقدار آب مصرفی طی دوره رشد گیاه در تیمار شاهد

پس از تعیین عملکرد و مقدار آب مصرفی گیاه، از فرمول ۳ جهت محاسبه بهره‌وری آب استفاده شد. همچنین برای تعیین تابع تولید از توابع تولید خطی، درجه دوم و لگاریتمی (روابط ۴ تا ۶) استفاده شد؛ که در آن Y بیانگر عملکرد دانه (g/plant)، I میزان آب مصرفی (mm) و N کود نیتروژن ($Kg.ha^{-1}$) است. برای ارزیابی توابع مذکور و تعیین تابع تولید بهینه از شاخص‌های آماری RMSE، R^2، ME، CRM و EF استفاده شد (روابط ۷ تا ۱۱) (پیری، ۱۳۹۷) که در آن $\hat{Y}_i$ مقادیر عملکرد محاسبه‌شده، $\overline{Y}$ عملکرد متوسط، $\bar{I}$ متوسط آب مصرفی و n تعداد مشاهدات است. در انتها نتایج با نرم‌افزار SAS (ver. 9.0) مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در

سطح احتمال پنج درصد انجام شد. نمودار و جداول نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel ترسیم شد.

$$\text{بهره‌وری آب} = \frac{\text{عملکرد } (Kg)}{\text{آب مصرفی } (m3)} \quad (۳)$$

$$Y = a_0 + a_1 I + a_2 N \quad (۴)$$

$$Y = a_0 + a_1 I + a_2 I^2 + a_3 N + a_4 N^2 \quad (۵)$$

$$Y = a_0 I^{a_1} N^{a_2} \quad (۶)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(\hat{Y}_i - Y_i)}{n}} \quad (۷)$$

$$R^2 = \frac{(\sum(I - \bar{I})(Y - \bar{Y}))^2}{\sum(I - \bar{I})^2 \sum(Y - \bar{Y})^2} \quad (۸)$$

$$ME = MAX|Y_i - \hat{Y}_i| \quad (۹)$$

$$CRM = \frac{\sum Y_i - \sum \hat{Y}_i}{\sum Y_i} \quad (۱۰)$$

$$EF = \frac{\sum(Y_i - \bar{Y})^2 - \sum(\hat{Y}_i - Y_i)^2}{\sum(Y_i - \bar{Y})^2} \quad (۱۱)$$

نتایج و بحث

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس‌ها (جدول ۱)، تنش آبی دوره‌ای بر ارتفاع، تعداد شاخه فرعی، طول و عرض سنبله، قطر ساقه، عملکرد دانه و بهره‌وری فیزیکی مصرف آب در سطح احتمال یک درصد و بر تعداد سنبله در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. بر اساس نتایج این جدول کود نیتروژن مصرفی نیز بر صفات ارتفاع، قطر ساقه، عملکرد دانه و بهره‌وری فیزیکی مصرف آب در سطح احتمال یک درصد و بر طول و عرض سنبله در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. شایان‌ذکر است که اثر متقابل تنش دوره‌ای آبی و سطوح مختلف کود نیتروژن مصرفی نیز بر اساس نتایج این جدول بر روی صفات تعداد سنبله، قطر ساقه و عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شده و بر روی صفت بهره‌وری فیزیکی مصرف آب در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود.

جدول ۱- جدول تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد گیاه کینوا رقم Giza-1

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		ارتفاع سانتی‌متر	تعداد شاخه فرعی	تعداد سنبله	طول سنبله سانتی‌متر	عرض سنبله سانتی‌متر	قطر ساقه سانتی‌متر	عملکرد دانه گرم	بهره‌وری آب کیلوگرم بر مترمکعب
تنش آبی	۳	۱۶۱۹/۱**	۱۰/۰**	۱/۲۶*	۱۲۵/۳**	۱۶/۵**	۰/۱۲**	۱۳۴/۸**	۰/۲۷**
کود نیتروژن	۲	۲۲۵/۱**	۰/۷ns	۰/۰۳ns	۱۴/۱*	۴/۳*	۰/۰۷**	۸/۵**	۰/۰۵**
تنش آبی×کود نیتروژن	۶	۲۹/۲ns	۰/۸ns	۱/۷۳**	۵/۱ns	۲/۲ns	۰/۰۵**	۱/۲**	۰/۰۱*
خطا	۲۴	۱۵/۸	۰/۵	۰/۴	۲/۹	۱/۱۳	۰/۰۱	۰/۱۶	۰/۰۰۲
ضریب تغییرات		۴/۹	۱۶/۳	۱۶	۱۰/۹	۱۴/۱	۱۱/۲	۳/۷	۴/۷

بر اساس نتایج جدول ۲ بیشترین و کمترین تعداد شاخه جانبی به ترتیب با ۵/۴۴ و ۳/۱۱ عدد در تیمارهای شاهد و اعمال تنش آبی در کل دوره رشدی مشاهده شد. لازم به ذکر است که بین تیمارهای تنش در مرحله دانه بستن و شاهد در مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. نتایج جدول ۲ نشان داد که بیشترین تعداد شاخه جانبی با ۴/۵۸ عدد در شرایطی به دست می‌آید که از ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن استفاده شود (شایان‌ذکر است که در شرایط استفاده از ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن نیز تعداد شاخه فرعی برابر با شرایط مذکور است). اعمال

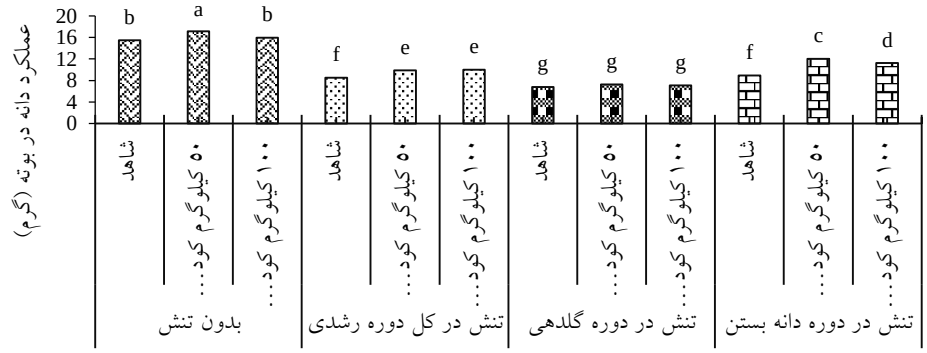
تیمارهای تنش در کل دوره رشدی، تنش در دوره گلدهی و تنش در دوره دانه بستن منجر به تغییر ۴۲/۸-، ۲۴/۴- و ۶/۱- درصد در تعداد شاخه فرعی شد. استفاده از ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن نسبت به تیمار شاهد (عدم استفاده از کود) منجر به بروز تغییراتی به میزان ۹/۸+ و ۹/۸+ درصد در این صفت شد. علامت‌های + و − به ترتیب بیانگر افزایش و کاهش در صفت مورد بررسی است. بیشترین میزان ارتفاع با ۹۳/۲۲ سانتی‌متر در تیمار شاهد و کمترین میزان این صفت نیز در تیمار اعمال تنش در کل دوره رشدی (۶۳/۲۲ سانتی‌متر) مشاهده شد؛ همچنین در شرایط اعمال ۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن نیز بیشترین میزان ارتفاع بوته (۸۵/۱ سانتی‌متر) مشاهده شد. بر اساس نتایج جدول در صفت ارتفاع بوته بین تیمارهای شاهد و اعمال تنش در دوره دانه بستن و همچنین بین تیمارهای استفاده از ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد در مقایسه میانگین‌ها مشاهده نشد. اعمال تیمارهای تنش در کل دوره رشد، تنش در مرحله گلدهی و تنش در مرحله دانه بستن منجر به بروز تغییراتی به میزان ۳۲/۲-، ۱۳/۰- و ۳/۷- درصد در این صفت شد، همچنین اعمال ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن نیز منجر به بروز تغییراتی به میزان ۱۰/۷+ و ۸/۶+ درصد در ارتفاع شد. در صفات طول و عرض سنبله نیز بیشترین میزان به ترتیب با ۱۸/۶۴ و ۸/۳۳ سانتی‌متر در تیمارهای تنش در مرحله دانه بستن و تنش در مرحله گلدهی (در تیمار تنش در دوره دانه بستن نیز عرض سنبله به همین میزان بود) مشاهده شد. کمترین میزان از صفات طول و عرض سنبله نیز ۱۰/۱۱ و ۵/۵۶ سانتی‌متر در تیمار اعمال تنش در کل دوره رشد مشاهده شد. اعمال تنش آبی در کل دوره رشد، در مرحله گلدهی و در مرحله دانه بستن منجر به بروز تغییراتی در صفات مذکور به میزان ۳۸/۹-، ۲/۸+ و ۱۲/۶+ درصد (طول سنبله) و ۳۱/۴-، ۲/۷+ و ۲/۷+ درصد (عرض سنبله) شد. استفاده از ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن نیز منجر به بروز تغییراتی در این دو صفت و به میزان ۱۲/۸+ و ۱۳/۴+ درصد (طول سنبله) و ۱۲/۳+ و ۱۷/۱+ درصد (عرض سنبله) شد. بر اساس نتایج جدول بین تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری در مقایسه میانگین‌ها وجود نداشت بر اساس نتایج جدول ۳، بیشترین میزان در تعداد سنبله در تیمارهای تنش در دوره گلدهی ۱۰۰+ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن (۵/۳۳ عدد) مشاهده شد. در صفت قطر ساقه نیز بیشترین و کمترین میزان در تیمار بدون تنش ۵۰+ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن (۱/۱۴ سانتی‌متر) و تنش در کل دوره رشدی شاهد (۰/۶۷+ سانتی‌متر) مشاهده شد.

جدول ۲- اثرات مدیریت‌های مختلف آبیاری و کود نیتروژن بر صفات مورفولوژیکی کینوا رقم Giza-1

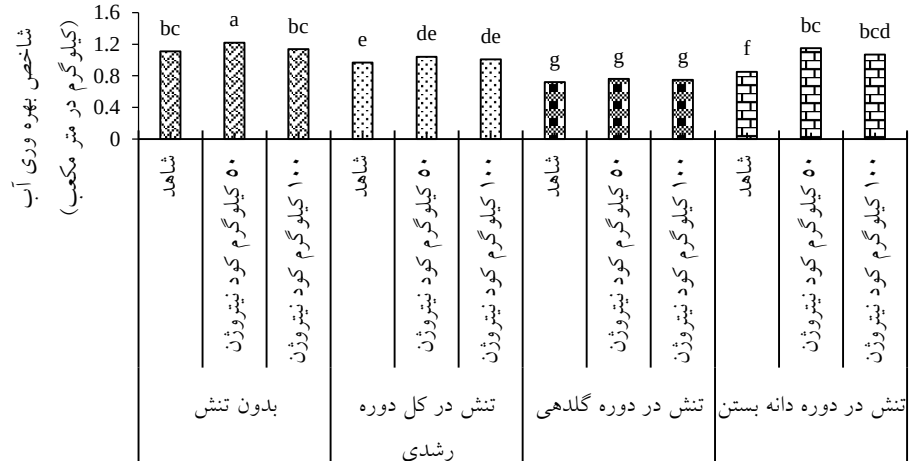
ترکیبات تیماری	تعداد شاخه	ارتفاع	طول سنبله	عرض سنبله
	-		سانتی‌متر	
بدون تنش (شاهد)	۵/۴۴a	۹۳/۲۲a	۱۶/۵۵b	۸/۱۱a
تنش در کل دوره رشدی	۳/۱۱c	۶۳/۲۲c	۱۰/۱۱c	۵/۵۶b
تنش در دوره گلدهی	۴/۱۱b	۸۱/۱۱b	۱۷/۰۲b	۸/۳۳a
تنش در دوره دانه بستن	۵/۱۱a	۸۹/۷۸a	۱۸/۶۴a	۸/۳۳a
LSD(۰/۰۵)	۰/۷۱	۳/۸۸	۱/۶	۱/۰۴
شاهد	۴/۱۷ a	۷۶/۹b	۱۴/۳۳b	۶/۹b
۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن	۴/۵۸a	۸۵/۱a	۱۶/۱۷a	۷/۷۵a
۱۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن	۴/۵۸a	۸۳/۵a	۱۶/۲۵a	۸/۰۸a
LSD(۰/۰۵)	۰/۶۱	۳/۳۵	۱/۴۴	۰/۸

جدول ۳- اثرات متقابل کود نیتروژن و تنش آبی بر صفات مورفولوژیکی کینوا رقم Giza-1

ترکیبات تیماری	تعداد سنبله		قطر ساقه سانتی‌متر
بدون تنش	شاهد	۴bc	۱/۱ab
	۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن	۴/۳۳ abc	۱/۱۴a
	۱۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن	۳/۶۷bc	۰/۹۷abc
تنش در کل دوره رشدی	شاهد	۳/۶۷bc	۰/۶۷e
	۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن	۳/۳۳c	۰/۷۷de
	۱۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن	۳/۳۳c	۰/۹۴bcd
تنش در دوره گلدهی	شاهد	۳/۳۳c	۰/۶۷e
	۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن	۴/۳۳ abc	۰/۹۷abc
	۱۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن	۵/۳۳a	۱/۰۷ab
تنش در دوره دانه بستن	شاهد	۴/۶۷ab	۰/۸۷cd
	۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن	۳/۳۳c	۰/۹۷abc
	۱۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن	۳/۳۳c	۰/۸۷cd



شکل ۳- اثر متقابل تنش آبی و کود نیتروژن بر عملکرد دانه کینوا رقم Giza-1



شکل ٤-اثر متقابل تنش آبی و کود نیتروژن بر بهره‌وری آب آبیاری کینوا رقم Giza-1

در شکل ۳ به بررسی اثر متقابل تنش آبی و کود نیتروژن بر عملکرد دانه در بوته گیاه کینوا پرداخته شده است. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین مقدار عملکرد دانه در بوته در تیمار بدون تنش به همراه اضافه کردن ۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن به دست آمد و کمترین مقدار عملکرد دانه در بوته در شرایط تنش در دوره گلدهی و تیمارهای شاهد، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن مشاهده شد. همچنین نتایج اثر متقابل تنش آبی و کود نیتروژن بر شاخص بهره‌وری آب (WUE) نشان داد که بیشترین بهره‌وری آب در تیمار بدون تنش با ۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن به‌دست‌آمده است و کمترین مقدار نیز در تیمار تنش در دوره گلدهی به‌دست‌آمده است (شکل ۴). شرایط اثر متقابل نشان می‌دهد که اعمال تنش آبی در دوره گلدهی حتی با اضافه کردن کود نیتروژن تأثیری در عملکرد دانه و بهره‌وری آب نداشته است درحالی‌که تنش در دوره دانه بستن با اضافه کردن کود نیتروژن منجر به افزایش عملکرد دانه در بوته و بهره‌وری آب شده است. گیاه جهت مقابله با تنش آبی که بر روی آن اعمال می‌گردد، سازوکارهای مختلفی را انجام داده تا در شرایط تنشی زنده بماند و عملکردی داشته باشد (کشتکار و همکاران، ۱۴۰۰؛ Salim et al., 2020; Naz et al., 2020)، به‌طوری‌که در این شرایط برای زنده‌مانی از سطح سبزینه‌ای خود کاسته تا آب کمتری در اثر تبخیر- تعرق از دسترس گیاه خارج گردد و همچنین در این شرایط روزنه‌های خود را جهت کاهش تبخیر تعرق بسته نگاه می‌دارد (Pinto et al., 2021).

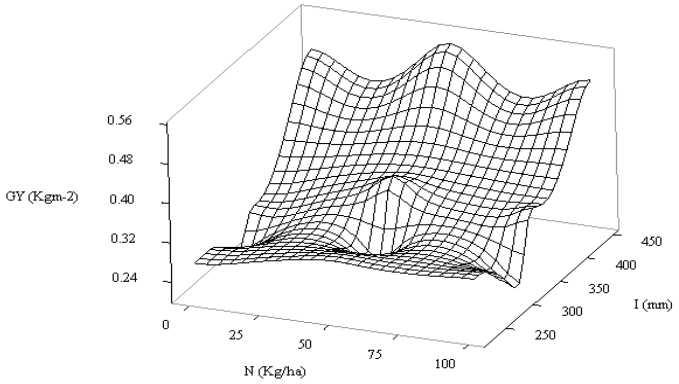
در شرایط تنشی گیاه سهم بیشتری از انرژی تولیدی که در اثر فعالیت‌های فتوسنتزی به‌دست می‌آورد را صرف جذب آب و مواد غذایی توسط ریشه‌ها می‌کند و کاهش ارتفاع و وزن اندام هوایی در شرایط کم‌آبیاری به این دلیل است (جمالی و همکاران، ۱۳۹۸؛ Alvar-Beltran et al., 2021). با توجه به اینکه گیاه بیشتر انرژی تولیدی را صرف جذب آب می‌کند، شیره پرورده کمتری در اختیار داشته و به همین دلیل دانه بستن مختل شده و احتمال کاهش در وزن هزار دانه گیاه وجود دارد، به‌تبع آن عملکرد دانه نیز که تابع تعداد و وزن دانه است، کاهش می‌یابد (جمالی و همکاران، ۱۳۹۸؛ Alvar-Beltran et al., 2021). بر اساس نتایج، افزودن کود نیتروژن به گیاهان در شرایط تنشی از اثرات منفی تنش می‌کاهد (جمالی و همکاران، ۱۴۰۰). نتایج این پژوهش با نتایج جمالی و همکاران (۱۴۰۰)، جهانبخش و همکاران (۱۴۰۰)، کشتکار و همکاران (۱۴۰۰)، کرمی و همکاران (۱۳۹۹)، سعیدی و همکاران (۱۳۹۸)، خالد و همکاران، الشرف و همکاران و آلوارو بلترن و همکاران بر روی کینوا مطابقت داشت (Khaled et al., 2021; El-Sheref et al., 2021; Alvar-Beltrán et al., 2021).

جهت تعیین تابع عملکرد دانه- آب مصرفی- نیتروژن مصرفی از رگرسیون استفاده شده و نتایج تخمین توابع تولید به‌صورت توابع خطی درجه ۲ و لگاریتمی در جدول ۴ ارائه شده است. پس از به دست آوردن توابع تولید برای ارزیابی هر یک از آن‌ها از شاخص‌های آماری RMSE، EF، ME، CRM و R^2 استفاده شد. هر یک از توابع تولید مورد استفاده به‌صورت جداگانه مورد ارزیابی قرارگرفته و برای هر مشخصه آماری رتبه در نظر گرفته شد، به‌طوری‌که برای CRM، RMSE و ME مقادیر کمتر رتبه یک و به ترتیب مقادیر بیشتر رتبه‌های بالاتر را اخذ کردند، ولی در مشخصه‌های EF و R^2 توابعی که دارای بیشترین مقادیر بودند رتبه یک و به ترتیب مقادیر کمتر رتبه‌های دیگر را به خود اختصاص دادند (نتایج به تفصیل در جدول ۴ ارائه شده است).

بر اساس جدول ۴، بهترین تابع تولید عملکرد- آب مصرفی- نیتروژن که بر روی بر روی گیاه کینوا رقم Giza-1 در شرایط این پژوهش می‌توان برازش داد، بر اساس شاخص‌های آماری مورد استفاده و رتبه‌بندی توابع، تابع خطی است. پس از تابع خطی، تابع درجه دوم نسبت به تابع کاب داگلاس برازش بهتری از عملکرد در شرایط اعمال تیمارهای مورد بررسی دارد. در شرایط اعمال تنش آبی دوره‌ای و استفاده از سطوح مختلف کود نیتروژن در زراعت این گیاه تابع $Y=-0.835+0.034\ I + 0.012\ N$ بهترین برازش را بر روی داده‌ها نشان داده است. به‌طورکلی، بیشترین میزان عملکرد بر اساس شکل ۵ در تیمار بدون تنش و آبیاری به میزان ۴۵۰ میلی‌متری و استفاده از ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن مشاهده شد.

جدول ٤- ارزیابی شاخص‌های آماری روی توابع تولید آب- نیتروژن کینوا رقم Giza-1

شاخص آماری	تابع کاب داگلاس	تابع خطی	تابع درجه دوم
	$Y=0.034I^{1.058}N^{0.074}$	Y=-0.835+0.034 I+0.012 N	Y=28.04 - 0.15 I + 0.0003 I^2 + 0.065 N - 0.0004 N^2 - 0.000003 NI
R^2	(۳)۰/۲۳	(۲) ۰/۶۵	(۱) ۰/۹۵
RMSE	(۲)۱/۳۷	(۱)۰/۰۶	(۳)۱/۹۱
ME	(۳)۷/۵	(۱)۳/۵	(۲)۷/۲
CRM	(۲) -۰/۱۷	(۱)-۰/۰۰۰۳	(۳)-۰/۳۴
EF	(۱)-۰/۲۶	(۳)۰/۶۴	(۲)-۰/۴۴
رتبه‌بندی	۱۱	۸	۱۱
رتبه نهایی	۲	۱	۲



شکل ۵ – روند تغییرات عملکرد دانه کینوا رقم Giza-1 در واحد سطح در اثر تنش آبی و کود نیتروژن

نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که عملکرد و اجزای عملکرد گیاه کینوا رقم Giza-1 تحت تأثیر تنش آبی و کود نیتروژن قرارگرفته است. بطوریکه نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تنش آبی روی ارتفاع، تعداد شاخه فرعی، تعداد سنبله، طول سنبله، عرض سنبله، قطر ساقه، عملکرد دانه و بهره‌وری آب اثر معنی‌داری در سطح احتمال بالای ۹۵ درصد دارد. درحالی‌که تیمار کود نیتروژن فقط روی تیمارهای ارتفاع، طول سنبله، عرض سنبله، قطر سنبله، عملکرد دانه و بهره‌وری آب اثر معنی‌داری داشته است. اثر متقابل تنش آبی و کود نیتروژن روی تعداد سنبله، قطر ساقه، عملکرد دانه و بهره‌وری آب معنی‌دار شده است. نتایج اثر متقابل نشان داد که تنش در دوره گلدهی به همراه ۱۰۰ کیلوگرم گود نیتروژن منجر به افزایش تعداد سنبله (۵/۳۳) شده است. همچنین بیشترین قطر ساقه، عملکرد دانه و بهره‌وری آب در تیمار بدون تنش به همراه ۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن به دست آمد. نتایج بررسی تابع تولید- عملکرد در شرایط اعمال تنش آبی دوره‌ای و استفاده از سطوح مختلف کود نیتروژن نشان داد که از بین توابع خطی، کاب داگلاس و تابع غیرخطی در زراعت این گیاه تابع خطی (Y=-0.835+0.034I + 0.012N) بهترین برازش را بر روی داده‌ها نشان داده است. با عنایت به این مهم که کشور ایران در شرایط تنش آبی قرار داشته و ازآنجایی‌که دشت مشهد یکی از دشت‌های ممنوعه بحرانی بحساب می‌آید، با قبول کاهش عملکرد دانه در تیمار تنش دوره دانه بستن که نسبت به دو تیمار دیگر اثر منفی کمتری بر روی گیاه داشته، اعمال این تیمار در شرایط گلخانه‌ای برای این گیاه توصیه می‌گردد. لازم به ذکر است که برای

پژوهش‌های آتی نیز اعمال تیمارهای مورد بررسی در سطح مزرعه پیشنهاد می‌گردد.

منابع

پیری، ح. ۱۳۹۷. تاثیر مقادیر مختلف آبیاری و کود نیتروژن بر عملکرد پیاز و بهره وری مصرف آب در سه روش آبیاری. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۳۲ (۲): ۱۸۷- ۲۰۱.

جمالی، ص. و انصاری، ح. ۱۳۹۸. اثر کیفیت آب و مدیریت آبیاری روی رشد و عملکرد گیاه کینوا. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۳۳(۳): ۳۳۹-۳۵۲.

جمالی، ص.، گلدانی، م. و زین‌الدین، م. ۱۳۹۸. بررسی اثر تنش آبی دوره‌ای بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب گیاه کینوا. آبیاری و زهکشی ایران. ۱۳(۶): ۱۶۸۷-۱۶۹۷.

جمالی، ص.، انصاری، ح. و زین‌الدین، م. ۱۴۰۰ (الف). ارزیابی اثر کود نیتروژن و روش‌های آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان بر کارایی کاربرد آب درکشت گیاه کینوا. مجله مدیریت آب و آبیاری. ۱۱(۲): ۹۹-۱۱۲.

جمالی، ص.، انصاری، ح.، هادی، ب. و صفری زاده ثانی، ع. ۱۴۰۰ (ب). اثر آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب در مراحل مختلف رشد گیاه کینوا. مجله آبیاری و زهکشی ایران. ۱۵(۲): ۴۱۴-۴۲۷.

جهانبخش، ص.، مرادی،ر.، خواجویی نژاد، غ. و نقی زاده، م. ۱۴۰۰. تأثیر تاریخ کاشت، تنش خشکی و اسید سالیسیلیک بر عملکرد و ویژگی‌های بیوشیمیایی کینوآ. مجله علوم گیاهان زراعی ایران. ۵۱(۴): ۵۵-۷۱.

جهانبخش، ص.، خواجویی نژاد، غ.، مرادی، ر. و نقی زاده، م. ۱۳۹۹. اثر تاریخ کاشت و محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید بر فنولوژی و برخی ویژگی‌های کمی و کیفی کینوآ تحت شرایط تنش خشکی. مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی. ۱۳(۴): ۱۱۴۹-۱۱۶۷.

سعیدی، س.، سیادت، ع.، مشتطی، ع.، مرادی تلاوت، م. و سپهوند، ن. ۱۳۹۸. اثر زمان کاشت و میزان کود نیتروژن بر رشد، عملکرد دانه و کارایی مصرف نیتروژن کینوا (Chenopodium quinoa Willd.) در شرایط اقلیمی اهواز. فصلنامه علوم زراعی ایران. ۲۱(۴): ۳۵۴-۳۶۷.

صادقی زاده، ح.، خواجویی نژاد، غ. و قنبری، ج. ۱۴۰۰. کارایی مصرف آب و پاسخ کمی و کیفی کینوا به کاربرد غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید تحت شرایط کم آبیاری. مجله مهندسی آبیاری و آب ایران. ۱۱(۴۳): ۳۴۵-۳۵۹.

علیزاده، ا. ۱۳۸۷. رابطه آب و خاک و گیاه. انتشارات دانشگاه امام رضا. ۴۸۴ صفحه.

کرمی، ر.، فرجی،ه.، موحدی دهنوی، م. و خوشرو، ع. ۱۳۹۹. برهمکنش نیتروژن و تراکم بوته بر رشد و عملکرد کینوا (Chenopodium quinoa Willd). مجله تولید گیاهان زراعی. ۱۳(۱): ۱۱۱-۱۲۴.

کشتکار، آ.، آیین، ا.، نقوی، ه. و نجفی نژاد، ح. ۱۴۰۰. بررسی اثر محلول‌پاشی جاسمونیک اسید و تنش خشکی بر عملکرد و برخی ویژگی‌های زراعی و فیزیولوژیک ارقام کینوا (Chenopodium quinoa Willd.). تنش‌های محیطی در علوم زراعی. ۱۴(۲): ۴۰۳-۴۱۴.

Alandia, G., Rodriguez, J.P., Jacobsen, S.E., Bazile, D. and Condori, B. 2020. Global expansion of quinoa and challenges for the Andean region. Global Food Security. 26:100429.

Almadini, A.M., Badran, A.E. and Algosaibi, A.M. 2019. Evaluation of efficiency and response of quinoa plant to nitrogen fertilization levels. Middle East Journal of Applied Sciences. 9(4): 839-849.

Alvar-Beltrán, J., Napoli, M., Dao, A., Ouattara, A., Verdi, L., Orlandini, S. and Dalla Marta, A. 2021. Nitrogen, phosphorus and potassium mass balances in an irrigated quinoa field. Italian Journal of Agronomy. 16(3).

Bonales-Alatorre, E., Pottosin, I., Shabala, L., Chen, Z.H., Zeng, F., Jacobsen, S.E. and Shabala, S. 2013. Differential activity of plasma and vacuolar membrane transporters contributes to genotypic differences in salinity tolerance in a halophyte species, Chenopodium quinoa. International Journal of Molecular Sciences. 14(5): 9267-9285.

in Agricultural Researches. 26(3):120-128.

Mansouri, M., Fazel, M.A., Gilani, A., Lak, S.H. and Mojddam, M. 2021. Effect of nitrogen fertilization on efficiency and remobilization in quinoa cultivars. Annali di Botanica.155-170.

Naz, H.I.R.A., Akram, N.A. and Kong, H. 2020. Assessment of secondary metabolism involvement in water stress tolerance of quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) Subjected to varying water regimes. Pakistan Journal of Botany. 52(5):1553-1559.

Owji, T., Mohajeri, F., Madandoust, M. and Salehi, M. 2020. Effect of Seed Rate and Nitrogen Management on Characteristics of Spring Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.). International Journal Of Pharmaceutical And Phytopharmacological Research. 10(4): 264-272.

Owji, T., Mohajeri, F., Madandoust, M. and Salehi, M. 2021. Evaluation of the effect of seed rate and nitrogen fertilizer management on agronomic characteristics and grain yield components in quinoa summer cultivation in fars province. International Journal of Modern Agriculture. 10(1): 350-360.

Salim, S.A., Hadeethi, I.K.H. and Hadithi, R.A.G.M. 2020. Water stress on different growing stages for quinoa (Chenopodium quinoa willd.) and its infleunce on water requiriments and yield. Iraqi journal of agriculture sciences. 51(3): 953-966.

Pinto, A.A., Fischer, S., Wilckens, R., Bustamante, L. and Berti, M.T. 2021. Production Efficiency and Total Protein Yield in Quinoa Grown under Water Stress. Agriculture. 11(11): 1089.

Reddy, K.R., Singh, R. and Singh, E. 2021. Effect of Spacing and Nitrogen Management on Growth and Yield of Quinoa (Chenopodium quinoa L.). Biological Forum– An International Journal. 13(3a): 653-656

Wang, N., Wang, F., Shock, C.C., Meng, C. and Qiao, L. 2020. Effects of management practices on quinoa growth, seed yield, and quality. Agronomy. 10(3): 445.

da Silva, P.C., Ribeiro Junior, W.Q., Ramos, M.L.G., Celestino, S.M.C., Silva, A.D.N., Casari, R.A.D.C.N., Santana, C.C., de Lima, C.A., Williams, T.C.R. and Vinson, C.C. 2021. Quinoa for the brazilian cerrado: Agronomic characteristics of elite genotypes under different water regimes. Plants. 10(8):1591.

El-Sheref, G.F. 2020. Influence of Nitrogen Sources and Levels Along with Different Levels of Compost on Quinoa (Chenopedium Quinoa Willd.) Productivity Grown in Newly Reclaimed Soils. Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering. 11(7): 315-323.

Ganpat, S., Ishwar, S. and Bhati, D.S. 1992. Response of blond psyllium (Plantago ovata) to irrigation andsplit application of nitrogen. Indian Journal of Agronomy. 37: 880-881.

Gámez, A.L., Soba, D., Zamarreño, Á.M., García-Mina, J.M., Aranjuelo, I. and Morales, F. 2019. Effect of water stress during grain filling on yield. quality and physiological traits of Illpa and Rainbow quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) cultivars. Plants. 8(6): 173.

Geerts, S., Raes, D., Garcia, M., Vacher, J., Mamani, R., Mendoza, J., Huanca, R., Morales, B., Miranda, R., Cusicanqui, J. and Taboada, C. 2008. Introducing deficit irrigation to stabilize yields of quinoa (Chenopodium quinoa Willd.). European journal of agronomy. 28(3): 427-436.

Hinojosa, L., Kumar, N., Gill, K.S. and Murphy, K.M. 2019. Spectral reflectance indices and physiological parameters in quinoa under contrasting irrigation regimes. Crop Science. 59(5):1927-1944.

Hirose, Y., Fujita, T., Ishii, T. and Ueno, N. 2010. Antioxidative properties and flavonoid composition of Chenopodium quinoa seeds cultivated in Japan. Food Chemistry. 119(4):1300-1306.

Khaled, S., Khalil, G.A.N., Hussein, A.H.A., Darwish, K.M. and Ibrahim, O.M. 2021. Impact of Irrigation Deficit on Yield, and Water Productivity of Quinoa. Journal of the Advances

Water Management in Agriculture
Vol. 9, No. 2 Autumn and Winter 2023, 91-102

نشریه مدیریت آب در کشاورزی
جلد ۹، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۱، ص. ۱۰۲-۹۱

Effects of different levels of irrigation and nitrogen fertilizer on the yield and yield components of quinoa cultivar Giza-1

S. Jamali[1], M. Naderianfar[2*] and H. Ansari[3]

Abstract

In recent years, the quinoa plant has been used extensively due to its favorable cultivation conditions in harsh climates. The cultivation of this plant is important given that Iran is located in an arid and semi-arid region. In the present study, the effects of different levels of water stress and nitrogen fertilizer were investigated on the yield and yield components of quinoa cultivar Giza-1. A factorial experiment in a completely randomized design based on potted planting with three replications was conducted in the research greenhouse at the Ferdowsi University of Mashhad in 2019. Periodic water stress factor consisted of four levels (without stress (control), stress in the total growth period, stress during the flowering stage, and stress during grain filling stage) and nitrogen fertilizer factor comprised three levels (0, 50, and 100 kg ha−1). To apply stress in different growth periods, the plants were irrigated at 50% of soil field capacity. The results of mean comparisons indicated that height, the number of offshoots, spike length, spike width, stem diameter, grain yield (GY, 134.8 g), and water use efficiency (WUE, 0.27 kg/m3) were significantly affected by water stress at 1% level and the number of spikes at 5% level. The interaction of water stress and nitrogen fertilizer significantly influenced the number of spikes, stem diameter, and GY at the 1% level and WUE at the 5% level. Overall, the highest GY was observed without stress treatment under irrigation at 450 mm and using 50 kg ha−1 of nitrogen fertilizer. The best yield-water-nitrogen production function is a linear function (Y = -0.835 + 0.034 I + 0.012 N) that can be fitted on quinoa cultivar Giza-1 based on the applied statistical indices and ranking of functions in the conditions of this study.

Keywords: Deficit irrigation, Morphological traits, Production function, Water use efficiency

[1] Ph.D. Student, Department of Water Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
[2] Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Kerman, Iran (*Corresponding Author Email: Naderian.mohamad@ujiroft.ac.ir)
[3] Professor, Department of Water Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
Received: 27 Jun 2022
Accepted: 29 Aug 2022