

# Crop Science Research in Arid Regions

homepage: <https://cropscience.uoz.ac.ir/>

## Research Article

Volume 7, Issue 3, 2025, P. 493-506

### Effect of deficit irrigation, planting date and biofertilizers on soil bacteria population, root colonization, some morphological traits and quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) yield

Mohammad Jabbari-oranj <sup>\*a</sup>, Hossein Moghadam <sup>b</sup>, Mohammad Reza Jahansouz <sup>b</sup>, Ali Ahmadi <sup>b</sup>, Babak Motesharezadeh <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Ph.D. Graduated of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural, University of Tehran, Karaj, Iran

<sup>b</sup> Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran

<sup>c</sup> Department of Soil Science Engineering, Faculty of Agricultural, University of Tehran, Karaj, Iran

\*Corresponding Author: [mjabbari.oranj@ut.ac.ir](mailto:mjabbari.oranj@ut.ac.ir)

Received: 29 January 2024

Accepted: 23 June 2024

DOI:10.22034/CSRAR.2024.440659.1398

#### How to cite this article:

Jabbari-Oranj, M., Moghadam, H., Jahansouz, M.R., Ahmadi, A. and Motesharezadeh, B., 2025. Effect of deficit irrigation, planting date and biofertilizers on soil bacteria population, root colonization, some morphological traits and quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) yield. *Crop Science Research in Arid Regions*, 7(3), 493-506. <https://doi.org/10.22034/csrar.2024.440659.1398>

#### Abstract

**Introduction:** The most important problem that threatens food security of any country and the world is the lack of adequate water resources, so one of the ways to deal with this crisis is to use plants with low water requirements and high water use efficiency. Among the plants, we can name Quinoa, which is one of the plants that has been less studied and exploited in Iran. Since the planting date has the greatest impact on the physiological characteristics of the crop compared to other cropping treatments, so choosing the appropriate planting date can also create the greatest correlation between plant growth trends and climatic conditions. Undoubtedly, the use of biological fertilizers, in addition to the positive effects it has on all soil properties, is also economically, environmentally and socially fruitful and can be a suitable and desirable alternative to chemical fertilizers. Therefore, the aim of this study was to determine the response to deficit irrigation, planting date and application of different biofertilizers in quinoa.

**Materials and Methods:** This experiment was carried out during two cropping years 2019 and 2020 in a farm located in Moghan region in Iran. In this experiment, Titicaca cultivar of quinoa was cultivated in the form of split factorial design based on a randomized complete block design with three replications. Experimental factors included irrigation at three levels (normal irrigation, irrigation termination at bud stage and termination at seed filling stage) as main plot and factorial combination of planting date at three levels including (27 July, 11 August and 27 August) and three types of Nitrogenous biological fertilizer (seed inoculation with *Azotobacter*, seed inoculation with *Azospirillum* and inoculation with a mixture of *Azotobacter* and *Azospirillum* and control (without inoculation)) were also considered in sub-plots. Leaf Length and leaf Width at the physiological maturity stage was measured by randomly selecting 10 plants using a ruler with millimeter accuracy. At the end of the growing season, the product of two middle planting lines with a length of 4 meters



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

was harvested by observing the half-meter margin effect and after drying in a ventilated oven at 70 °C for 24 hours, grain yield was determined. Kjeldahl method was used to measure nitrogen concentration and the percentage of protein was calculated. Finally, protein yield was obtained from the product of protein percentage in seed yield. The soil bacterial population was determined based on the methods recommended and the gridline interest method was used to determine the root colonization percentage. Experimental data were analyzed before analysis of variance for homogeneity of test errors through Bartlett test and then analyzed using SAS (9.2) software and comparison of means at 5% probability level using Duncan multi-range test.

**Results and discussion:** The results of this study showed that the yield of quinoa increases under the influence of irrigation, planting date and biofertilizers, which is consistent with the results of other researchers' research. Irrigation termination in seed filling stage has no statistically significant difference with normal irrigation treatment, so it can be desirable in water shortage conditions. In terms of the planting date, the 11th of August treatment had the highest seed yield, and the combined use of azotobacter and Azospirillum had a significant effect on the vegetative indices and seed yield of quinoa. Therefore, it seems that the use of bio-fertilizers is one of the best ways to achieve optimal performance, which in the long run can lead to a reduction in the need for chemical inputs in agricultural systems.

**Conclusion:** The results of this research showed that although normal irrigation with the planting date of 11 August and inoculation with Azotobacter and Azospirillum biofertilizers had the highest amount of studied traits, especially seed yield (3049.7 kg/ha), but with the treatment of irrigation termination in the filling stage with the planting date of 11 August and inoculation with biofertilizers was placed in a same statistical group. Therefore, in terms of the importance of water consumption, it can be said that in the conditions of limited water resources, the treatment of irrigation termination during the seed filling stage has the most favorable results. Investigating the studied traits showed the positive effect of the use of biofertilizers, especially the combined use of Azotobacter and Azospirillum in the studied traits. Hence, the combined use of biofertilizers due to their high ability to fix nitrogen and provide nutrients needed by plants such as phosphorus, potassium, siderophore production and iron solubilization, synthesis of phytohormones such as auxin, cytokinin, gibberellin and synthesis of enzymes that grow and affect the growth of the plant, it showed positive effects on the examined traits, especially the seed yield.

**Keywords:** Azospirillum, Azotobacter, Seed inoculation, Seed yield

## اثر کم آبیاری، تاریخ کاشت و کودهای زیستی بر جمعیت باکتری خاک، درصد کلونیزاسیون ریشه، برخی صفات مورفولوژیک و عملکرد کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.)

محمد جباری اورنج<sup>۱\*</sup>، حسین مقدم<sup>۲</sup>، محمدرضا جهانسوز<sup>۲</sup>، علی احمدی<sup>۲</sup>، بابک متشروع زاده<sup>۲</sup>

۱- دانش‌آموخته دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

۲- گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

۳- گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

\* مسئول مکاتبه: [mjabbari.oranj@ut.ac.ir](mailto:mjabbari.oranj@ut.ac.ir)

DOI:10.22034/CSRAR.2024.440659.1398

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۰۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۰۹

### چکیده

به‌منظور بررسی اثر کم آبیاری، تاریخ کاشت و کودهای زیستی بر جمعیت باکتری خاک، درصد کلونیزاسیون ریشه، برخی صفات مورفولوژیک و عملکرد کینوا، آزمایشی در مزرعه‌ای واقع در منطقه مغان استان اردبیل، در دو سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۸ در قالب طرح اسپلیت فاکتوریل بر مبنای طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. تیمارهای آزمایش، شامل آبیاری در سه سطح (آبیاری معمولی، قطع آبیاری در مرحله غنچه‌دهی و قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه) در کرت اصلی و ترکیب فاکتوریل تاریخ کاشت در سه سطح (۵ مرداد، ۲۰ مرداد و ۵ شهریور) و سه نوع کود زیستی نیتروژن‌دار (تلقیح بذر با ازتوباکتر، تلقیح بذر با آروسپیریلوم و تلقیح بذر با مخلوط ازتوباکتر و آروسپیریلوم و شاهد (بدون تلقیح)) نیز در کرت‌های فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که کاربرد آبیاری معمولی با تاریخ کاشت ۵ مرداد و تلقیح توام کودهای زیستی باعث افزایش طول برگ و عملکرد پروتئین گردیده و بیشترین عرض برگ، تعداد شاخه در گل‌آذین، جمعیت باکتری خاک، درصد کلونیزاسیون ریشه و عملکرد دانه (۳۰۴۹/۷ کیلوگرم بر هکتار) از تیمار آبیاری معمولی با تاریخ کاشت ۲۰ مرداد و تلقیح توام کودهای زیستی حاصل شد.

واژه‌های کلیدی: آروسپیریلوم، ازتوباکتر، تلقیح بذر، عملکرد دانه

### مقدمه

ارتفاعات ۴۰۰۰ متری در بولیوی و از عرض‌های ۲ درجه شمالی در کلمبیا تا ۴۰ درجه جنوبی در شیلی کشت می‌شود. این گیاه دارای مسیر فتوسنتزی C<sub>3</sub> بوده و دمای بالاتر از ۳۵ درجه سانتی‌گراد باعث نازایی آن می‌شود. طول دوره رشد آن در ژنوتیپ‌های مختلف بین ۸۵ تا ۱۸۲ روز می‌باشد. کینوا دارای ریشه‌های قوی و عمیق و منشعب بوده و بسته به ارتفاع گیاه می‌تواند تا عمق ۱/۵ متر نفوذ کند (Bois et al., 2006). عملکرد بالقوه کینوا در صورتی که کلیه شرایط مطلوب برای آن فراهم باشد بسته به رقم و منطقه کشت، ۶-۱/۵ تن در هکتار گزارش شده است (FAO, 2011). با توجه به کارایی‌ها و قابلیت تحمل کینوا به شوری و خشکی، مهم‌ترین عاملی که کینوا را مناسب در مناطق خشک و بیابانی مستعد کشت می‌نماید زودرسی آن است، چرا که در انتهای دوره رشد، خشکی یک مشکل مهم برای کینوا محسوب شده و زودرسی یک خط مشی مهم برای کاهش اثرات آن است (Jacobsen et al., 2009). کینوا به‌دلیل انعطاف‌پذیری بالا در برابر شرایط

مهم‌ترین مشکلی که امنیت غذایی کشور و جهان را تهدید می‌کند، کمبود منابع آب مناسب است. از طرفی گستره مناطق خشک و نیمه‌خشک در ایران که بیش از ۱/۵ میلیون کیلومتر مربع است نشان می‌دهد، خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی در این منطقه است (Abolhasani Zeraatkar et al., 2008). از راهکارهای مقابله با این بحران استفاده از گیاهانی با نیاز آبی پایین و کارایی مصرف آب بالا می‌باشد، از آن جمله گیاهان می‌توان کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) را نام برد که در ایران کمتر مورد بررسی و بهره‌برداری قرار گرفته است. کینوا گیاه دولپه‌ای آلوتراپلویئید (2n=4x=36)، از خانواده تاج‌خروس (*Amaranthaceae*)، زیرخانواده اسفناج، جنس سلمه‌تره، گونه کینوا می‌باشد (Ahamed et al., 1996). کینوا یک شبه‌غله بومی منطقه آند در آمریکای جنوبی است که از ۵۰۰۰ تا ۷۰۰۰ سال پیش در این منطقه کشت می‌شده است. کینوا از سطح دریا در شیلی تا

کاشت مناسب و آبیاری کینوا صورت نگرفته است، بنابراین بررسی واکنش به کم آبیاری، تاریخ کاشت و کاربرد کودهای مختلف زیستی در شرایط کم آبیاری ضروری می باشد.

### مواد و روش ها

این آزمایش در طی دو سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۸ در مزرعه ای واقع در منطقه مغان با موقعیت جغرافیایی ۴۸ درجه و ۱۲ دقیقه طول شرقی و عرض جغرافیایی ۳۹ درجه و ۲۷ دقیقه شمالی با ارتفاع ۱۲۰ متر از سطح دریا، که از نظر آب و هوایی و طبقه بندی اقلیمی جزء مناطق معتدل گرم با متوسط بارش سالیانه ۳۰۰-۲۵۰ میلی متر و با میانگین حداکثر دمای سالیانه ۲۰ و میانگین حداقل دمای سالیانه ۸ درجه سانتی گراد بوده اجرا شد. ویژگی های خاک محل آزمایش در عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری مطابق جدول ۱ بود. همچنین آمار هواشناسی منطقه در سال های اجرای آزمایش به شرح جدول ۲ بود.

در این آزمایش گیاه کینوا رقم تی تی کاکا که بذر آن از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه شده بود، به عنوان کشت تابستانه و به صورت طرح اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار کشت گردید. تیمارهای آزمایش شامل آبیاری در سه سطح (آبیاری معمولی، قطع آبیاری در مرحله غنچه دهی و قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه) در کرت اصلی و ترکیب فاکتوریل تاریخ کاشت در سه سطح (۵ مرداد، ۲۰ مرداد و ۵ شهریور) و سه نوع کود زیستی نیتروژن دار (تلقیح بذر با ازتوباکتر، تلقیح بذر با آروسپیریوم و تلقیح بذر با ازتوباکتر و آروسپیریوم و شاهد (بدون تلقیح)) نیز در کرت های فرعی در نظر گرفته شدند. قبل از اجرای آزمایش از خاک محل اجرای طرح نمونه برداری و آنالیز شد و براساس نتایج آزمون خاک کود فسفره مورد نیاز به صورت فسفات آمونیوم و نیتروژن به صورت اوره در زمین پخش و با خاک مخلوط گردید. عملیات کاشت کینوا در تاریخ کاشت های ذکر شده به صورت دستی انجام شد. در این آزمایش فاصله ردیف ۵۰ سانتی متر و فاصله بوته ها روی ردیف ۵ الی ۱۰ سانتی متر (به طور متوسط ۷ سانتی متر با تراکم ۲۸۵۷۰۰ بوته در هکتار) در نظر گرفته شد. جهت دستیابی به تراکم فوق، ابتدا بذرها با تراکم بالا کشت شده و سپس با عملیات تنک تراکم مورد نظر حاصل گردید. برای تلقیح بذر کینوا، کودهای زیستی

شدید محیطی و کیفیت آن به عنوان یک غذای کاربردی می تواند به امنیت غذایی در قرن بیست و یکم کمک کند (Bvenura and Kambizi, 2022; Singh et al., 2022).

رشد و نمو کینوا همانند سایر گیاهان در شرایط تنش کاهش می یابد (Elewa et al., 2017). کمبود آب با کاهش تبادلات گازی برگ سبب کاهش اندازه منبع و مخزن می شود، در نتیجه بارگیری، تخلیه و تسهیم مواد فتوسنتزی در گیاه به هم می ریزد (Farooq et al., 2009).

تنش خشکی سبب کاهش تعداد شاخه فرعی، تعداد شاخه گل دار، عملکرد و اجزای مرتبط با عملکرد، کربوهیدرات، پروتئین، محتوای نیتروژن، فسفر و پتاسیم دانه کینوا می گردد (Dawood, 2018). از آنجا که تاریخ کاشت نسبت به سایر تیمارهای زراعی بیشترین تاثیر را بر خصوصیات فنولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه زارعی می گذارد، بنابراین انتخاب تاریخ کاشت مناسب می تواند بیشترین تطابق را میان روند رشد گیاه و شرایط اقلیمی ایجاد کند (Gharineh et al., 2019).

در سال های اخیر برای نیل به حفظ حیات طبیعی، تنوع زیستی، پایداری منابع خاک و آب و حفظ محیط زیست به کشاورزی پایدار و ارگانیک اهمیت بیشتری داده شده است. بنابراین یکی از اصول مهم کشاورزی پایدار، به حداقل رساندن استفاده از کودهای شیمیایی و جایگزین نمودن آن ها با کودهای زیستی است. کودهای زیستی که جزء ضروری کشاورزی ارگانیک محسوب می شوند، حاوی موجودات زنده با گونه های کارآمد تثبیت کننده نیتروژن و حل کننده فسفات هستند که برای بذر، خاک یا محل های حاوی کمپوست با هدف افزایش تعداد این میکروارگانیسم ها و سرعت بخشیدن به فرآیندهای میکروبی که دسترسی به مواد غذایی را برای آسیمیلاسیون مناسب در گیاهان مهیا می کنند، مورد استفاده قرار می گیرند (Venkataswarlu, 2008). آروسپیریوم و ازتوباکتر از ریزموجودات تثبیت کننده نیتروژن مولکولی هستند که علاوه بر جذب آب و مواد غذایی، در همیاری با ریشه گیاهان، رشد آن ها را تقویت نموده و مقاومت گیاه را در برابر عوامل زنده و غیرزنده محیطی افزایش می دهند و می توانند نقش کلیدی در حاصلخیزی خاک و حفاظت محیط ایفا کنند (Itelima et al., 2018).

از آنجایی که مطالعات زیادی در خصوص تغذیه، تاریخ

در تاریخ کاشت‌های مشخص شده به‌روشنواری یا تیپ انجام شد. در تیمار آبیاری معمولی در هر کرت آزمایشی که ۸ متر مربع بود در هر دور آبیاری ۳۶۰ لیتر آب مصرف گردید که با ۵ بار آبیاری در تیمار آبیاری معمولی مقدار ۲۲۵۰۰۰۰ لیتر معادل ۲۲۵ میلی‌متر آب در کل دوره رشد مصرف گردید و میزان بارندگی طبق آمار هواشناسی در سال اول برابر ۱۰۲ میلی‌متر و در سال دوم برابر ۱۱۲ میلی‌متر بود. از طرفی در منابع، نیاز آبی این گیاه بین ۲۵۴ تا ۳۸۱ میلی‌متر با ترکیب آبیاری و بارندگی بیان شده است (Scanlin and Lewis, 2017).

ازتوباکتر کرکوکوم MG386293 و آزوسپیریلوم برازیلنس MH130055، با تعداد  $10^8$  سلول زنده در یک میلی‌لیتر محلول از هر کدام از باکتری‌ها، از موسسه تحقیقات خاک و آب کشور تهیه گردید. برای هر کیلوگرم بذر مقدار ۱۰۰ میلی‌لیتر کود زیستی با محلول ۲۰ درصد شکر و ۴۰ درصد صمغ عربی به‌عنوان مواد چسبنده به‌کار رفت و در تیمار مخلوط ازتوباکتر و آزوسپیریلوم به‌صورت ۵۰ درصد از هر کود زیستی طبق دستورالعمل موسسه تحقیقات خاک و آب برای بذور ریز استفاده گردید. اولین نوبت آبیاری بلافاصله بعد از پایان کشت

جدول ۱- نتیجه تجزیه خاک محل اجرای آزمایش از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک (آزمایشگاه اکیچی اردبیل)

Table 1- Soil analysis results for 0 to 30 cm depth of experimental field (Akinchi Ardabil Laboratory)

بافت خاک	فسفر	نیتروژن کل	کربن آلی	پتاسیم	شن	سیلت	رس	آهک	اسیدیته	شوری
Soil Texture	P(ave) (ppm)	N Total (%)	Organic carbon (%)	K(ave) (ppm)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Lime (%)	pH	EC (dS m <sup>-1</sup> )
رسی Clay	9.6	0.08	0.76	509	22	32	46	17.5	7.5	1.77

جدول ۲- آمار هواشناسی مربوط به فصل رویش کینوا در دوره دو ساله (۱۳۹۸-۱۳۹۹)

Table 2- Weather data for quinoa growing season during two year (2019 and 2020)

	تبخیر		بارندگی		رطوبت نسبی		میانگین دمای حداقل		میانگین دمای حداکثر	
	Evaporation (mm)		Rainfall (mm)		Relative humidity (%)		Mean min. temperature (°C)		Mean max. temperature (°C)	
	۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱۳۹۸	۱۳۹۹
	2019	2020	2019	2020	2019	2020	2019	2020	2019	2020
مرداد July - Aug	250.6	247.1	0	3.6	47	53	21.8	21.7	33.2	32.1
شهریور Aug - Sep	129.5	220.4	43.2	34.2	64	60	17.9	17.9	27.8	29.8
مهر Sep - Oct	133.4	87.4	10.1	28.0	68	71	15.1	13.9	25.3	24.1
آبان Oct - Nov	87.0	61.4	20.3	10.5	69	78	8.1	10.5	17.9	18.3
آذر Nov - Dec	28.3	15.3	29.2	36.5	78	85	4.4	4.1	11.3	9.1
جمع Total	628.8	631.6	102.8	112.8	-	-	-	-	-	-
میانگین Average	-	-	-	-	65.2	69.4	13.5	13.6	23.1	22.7

\*ماخذ: اداره کل هواشناسی استان اردبیل

دلنه همچنین بررسی جمعیت باکتری خاک محیط ریشه و تعیین درصد کلونیزاسیون ریشه نیز انجام گرفت. جهت انتخاب نمونه‌ها و اندازه‌گیری صفات زراعی، دو خط کناری و همچنین نیم‌متر از دو طرف خطوط میانی به‌عنوان اثر

مبارزه با علف‌های هرز در طول دوره رشد به‌صورت دستی و برای مبارزه با آفات از آفت‌کش‌های شیمیایی کنفیدور و لاروین استفاده گردید. صفات مورد اندازه‌گیری شامل طول برگ، عرض برگ، تعداد شاخه در گل‌آذین اصلی، عملکرد پروتئین و عملکرد

## نتایج و بحث

### طول برگ

نتایج تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که طول برگ در کینوا تحت تاثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفت، همچنین اثر سه‌گانه آبیاری، تاریخ کاشت و کودهای زیستی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳). به‌طوری‌که بیشترین طول برگ از تیمار آبیاری معمولی با تاریخ کاشت ۵ مرداد و تلقیح توام کودهای زیستی از تو باکتر و آزوسپیریوم (۴/۴۵ سانتی‌متر) و کمترین طول برگ از تیمار قطع آبیاری در مرحله غنچه‌دهی با تاریخ کاشت ۲۰ مرداد و عدم تلقیح کود زیستی (۳/۳۷ سانتی‌متر) به‌دست آمد (جدول ۴). اثر تنش آبی بر روی خواص رشدی گیاه کینوا نظیر طول و عرض برگ در سطح ۵ درصد معنی‌دار گردید (Jamali et al., 2020). در پژوهشی تأثیر منابع مختلف کودهای آلی بر افزایش طول و عرض برگ کینوا معنی‌دار گزارش گردید (Amiryousefi et al., 2020; Bilalis et al., 2012). بنابراین افزایش تثبیت نیتروژن توسط کودهای آلی از تو باکتر و آزوسپیریوم و فراهمی رطوبت باعث افزایش رشد رویشی و افزایش صفات مورفولوژیک مثل طول برگ شده است. طول برگ با عرض برگ، تعداد شاخه در گل‌آذین، عملکرد دانه، عملکرد پروتئین، جمعیت باکتری خاک و درصد کلونیزاسیون ریشه رابطه مثبت و معنی‌دار نشان داد (جدول ۵).

### عرض برگ

اثرات ساده سال، آبیاری، تاریخ کاشت و کودهای زیستی بر عرض برگ کینوا در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار گردید، همچنین نتایج مقایسه میانگین‌ها اثر متقابل معنی‌داری بین آبیاری، تاریخ کاشت و کودهای زیستی نشان داد (جدول ۳) به‌طوری‌که بیشترین عرض برگ (۲/۹۲ سانتی‌متر) از تیمار آبیاری معمولی با تاریخ کاشت ۲۰ مرداد و تلقیح توام کود زیستی از تو باکتر و آزوسپیریوم و کمترین عرض برگ (۱/۷۳ سانتی‌متر) از تیمار قطع آبیاری در مرحله غنچه‌دهی با تاریخ کاشت ۵ شهریور و عدم تلقیح کودهای زیستی به‌دست آمد (جدول ۴). تنش آبی بر روی خواص رشدی گیاه کینوا نظیر طول و عرض برگ در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد (Jamali et al., 2020). کودهای زیستی علاوه بر تثبیت نیتروژن، توانایی

حاشیه کنار گذاشته شده و از باقیمانده دو خط وسطی نمونه برداری انجام گردید. طول برگ و عرض برگ، در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک با انتخاب تصادفی تعداد ۵ بوته از هر کرت و ۱۰ برگ از هر بوته و با استفاده از خط کش و با دقت میلی‌متری اندازه‌گیری شد (Jamali et al., 2020). تعداد ۱۰ بوته به‌صورت تصادفی برای تعیین تعداد شاخه در گل‌آذین اصلی در هر بوته، در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک انتخاب و میانگین تعداد آن‌ها در هر بوته تعیین گردید. در پایان فصل رشد، محصول دو خط کاشت وسطی به طول ۴ متر با رعایت نیم‌متر اثر حاشیه از طرفین برداشت شده و پس از خشک شدن در آون تهویه‌دار با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت عملکرد دانه تعیین گردید (Emam and Pirasteh, 2014). برای اندازه‌گیری غلظت نیتروژن و پروتئین از روش کجلدال استفاده گردید (Sharpe et al., 2001). درصد نیتروژن از رابطه ۱ تعیین شد (Emam and Pirasteh, 2014). پس از محاسبه درصد نیتروژن و قرار دادن آن در رابطه ۲ درصد پروتئین محاسبه گردید (Estrella, 2008).

$$(1) \quad \text{درصد نیتروژن نمونه} = \frac{0.014 \times 100 \times \text{نرمالیته اسید حجم} \times \text{مصرفی اسید مصرفی میلی لیتر}}{\text{وزن نمونه به گرم}}$$

(۲)  $5.93 \times \text{درصد نیتروژن} = \text{درصد پروتئین دانه}$   
در نهایت از حاصل ضرب درصد پروتئین در عملکرد دانه، عملکرد پروتئین حاصل شد.

جمعیت باکتری خاک براساس روش‌های توصیه شده محققان تعیین گردیده است (Fallah Wollum et al., 1982; Nosratabad, 2013). برای تعیین درصد کلونیزاسیون ریشه، از روش خطوط متقاطع (Gridline Interest Method) استفاده شد (Phillips and Hayman, 1970).  
 $100 \times (\text{تعداد کل برخوردها} / \text{تعداد نقاط آبی}) = \text{درصد کلونیزاسیون ریشه}$

در پایان، قبل از تجزیه واریانس برای اطمینان از یکنواختی واریانس‌ها داده‌های آزمایشی از طریق آزمون بارتلت مورد بررسی قرار گرفته و سپس با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه (۹/۲) تجزیه شدند. رسم نمودارها توسط نرم‌افزار Excel و مقایسه میانگین‌ها نیز در سطح ۵ درصد با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن صورت گرفت.

شاخه در گل آذین، عملکرد دانه، عملکرد پروتئین، جمعیت باکتری خاک و درصد کلونیزاسیون ریشه همبستگی مثبت و معنی دار نشان داد (جدول ۵).

حل کنندگی فسفر خاک، ترشح انواع هورمون‌های محرک رشد، آنزیم‌های طبیعی و انواع آنتی‌بیوتیک‌ها را دارند که موجب رشد ریشه و توسعه بخش‌های هوایی گیاه می‌شوند (Spaepen and Dobbelaere, 2011). عرض برگ در کینوا با طول برگ، تعداد

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب صفات مورد مطالعه در کینوا تحت کم آبیاری، تاریخ کاشت و کودهای زیستی

منبع تغییرات Sources Of Variation	درجه آزادی Df	میانگین مربعات Mean of Squares						
		طول برگ Leaf length	عرض برگ Laf width	تعداد شاخه در گل آذین No. of branches in the inflorescence	عملکرد پروتئین Protein Yield	عملکرد دانه Seed Yield	باکتری خاک Soil bacterial population	کلونیزاسیون ریشه Root colonization (%)
سال Year	1	0.21**	0.79**	34.80**	177.24**	1310.78*	20.91**	490.21**
خطا ۱ Error1	4	0.01	0.02	0.01	1.27	63.66	0.08	7.35
آبیاری Irrigation (I)	2	1.05**	8.10**	97.98**	281.39**	1754.89**	10.85**	167.76**
سال×آبیاری (Year×Irrigation)	2	0.01	0.02	0.09	1.45	55.30	0.08	5.16*
خطا ۲ Error2	8	0.01	0.05	0.07	1.76	52.10	0.04	0.85
تاریخ کاشت Planting date (P.D)	2	0.54**	0.28**	54.08**	654.27**	1545.20**	0.22*	29.32**
کود Fertilizer (F)	3	2.67**	1.93**	21.35**	571.46**	2854.21**	4.43**	518.81**
تاریخ کاشت×کود Planting date×Fertilizer	6	0.07*	0.08*	1.94*	17.92*	1012.16*	0.02	3.57*
سال×تاریخ کاشت Year×planting date	2	0.01	0.02	0.02	3.08	60.89	0.02	1.78*
سال×کود Year×Fertilizer	3	0.01	0.03	0.07	4.97	63.12	0.02	22.52**
سال×تاریخ کاشت×کود Year×Planting date×Fertilizer	6	0.03	0.01	0.07	2.35	52.36	0.01	0.24
آبیاری×تاریخ کاشت Irrigation×planting date	4	0.84**	0.05*	3.77**	120.36**	6466.88**	0.19*	8.87*
آبیاری×کود Fertilizer×Irrigation	6	0.14**	0.15**	1.51*	89.75**	1493.74**	0.19*	7.35*
آبیاری×تاریخ کاشت×کود Year×planting date×Irrigation	12	0.09*	0.04*	0.6*	34.36*	814.50*	0.56*	2.03*
سال×آبیاری×تاریخ کاشت Year×Irrigation×planting date	4	0.02	0.02	0.04	1.68	53.60	0.01	0.55
سال×آبیاری×کود Year×Irrigation×Fertilizer	6	0.02	0.02	0.04	1.82	53.71	0.05	0.65
سال×آبیاری×تاریخ کاشت×کود (Y×I×P.D×F)	12	0.02	0.01	0.05	1.92	59.457	0.02	0.07
اشتباه آزمایشی Error	44	0.02	0.03	0.39	19.76	355.36	0.02	0.99
ضریب تغییرات CV (%)		3.29	7.28	7.44	12.01	8.47	6.41	9.45

به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد \*\* و \*

\* and \*\* indicate significant at 5% and 1% probability level, respectively.

### تعداد شاخه در گل آذین

نتایج تجزیه مرکب داده‌ها، اثرات ساده سال، آبیاری، تاریخ کاشت و کودهای زیستی را از نظر تعداد شاخه در گل آذین کینوا معنی‌دار نشان داد. همچنین تجزیه مرکب اثرمتقابل معنی‌داری بین اثرات سه‌گانه آبیاری، تاریخ کاشت و کودهای زیستی در سطح احتمال ۵ درصد نشان داد (جدول ۳). به‌طوری‌که مشاهده می‌شود بیشترین تعداد شاخه در گل آذین (۱۱/۳۳) از تیمار آبیاری معمولی با تاریخ کاشت ۲۰ مرداد و تلقیح توام بذر با کودهای زیستی از توپاکتر و آزوسپیریلوم و کمترین تعداد شاخه در گل آذین (۵/۸۷) از تیمار قطع آبیاری در مرحله غنچه‌دهی با تاریخ کاشت ۵ شهریور و عدم تلقیح بذر با کود زیستی به‌دست آمد (جدول ۴).

تنش رطوبتی و تاخیر در کاشت و همچنین عدم تلقیح کودهای زیستی باعث کاهش ۴۹ درصدی تعداد شاخه در گل آذین شده است. در بررسی‌های انجام گرفته نیز تنش خشکی سبب کاهش تعداد شاخه گل دار کینوا شده است (Dawood, 2018).

تعداد شاخه در گل آذین با طول برگ، عرض برگ، عملکرد دانه، عملکرد پروتئین، جمعیت باکتری خاک و درصد کلونیزاسیون ریشه همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان داد (جدول ۵).

### عملکرد دانه

نتایج تجزیه مرکب داده‌ها تفاوت معنی‌داری بین اثرات ساده سال، آبیاری، تاریخ کاشت و کودهای زیستی از نظر عملکرد دانه در کینوا نشان داد. همچنین تجزیه مرکب داده‌ها اثرات متقابل معنی‌دار سه‌گانه آبیاری، تاریخ کاشت و کودهای زیستی با احتمال ۵ درصد را نشان داد (جدول ۳). به‌طوری‌که بیش‌ترین عملکرد دانه (۳۰۴۹/۷ کیلوگرم بر هکتار) از تیمار آبیاری معمولی با تاریخ کاشت ۲۰ مرداد و تلقیح توام کودهای زیستی از توپاکتر و آزوسپیریلوم بود، هرچند که بیش‌ترین مقدار عملکرد دانه در این شرایط به‌دست آمد ولی از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با تیمار قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه با تاریخ کاشت ۲۰ مرداد و تلقیح توام کودهای زیستی (۳۰۰۶ کیلوگرم بر هکتار) نداشت. بنابراین این تیمار به‌سبب کاهش مصرف آب برتری داشته و کمترین عملکرد دانه (۱۲۵۳/۳ کیلو

گرم بر هکتار) از تیمار قطع آبیاری در مرحله غنچه‌دهی با تاریخ کاشت ۵ شهریور و عدم تلقیح بذر با کود زیستی به‌دست آمد (جدول ۴). گزارش‌های زیادی مبنی بر کاهش عملکرد در شرایط تنش رطوبتی و تاثیر تاریخ کاشت و کودهای زیستی بر عملکرد دانه وجود دارد (Dawood, 2018).

کمبود رطوبت سبب کاهش تولید و انتقال فتوآسیمیلات‌ها به دانه شده، از طرفی کاهش طول دوره رشد سبب پر نشدن معمولی دانه و تولید دانه‌های کوچک‌تر در شرایط تنش رطوبتی می‌شود. همچنین این کاهش به‌علت آثار منفی تنش بر روی سطح برگ، فتوسنتز، پوشش گیاهی، سرعت رشد محصول و عملکرد و اجزای مرتبط با عملکرد است (Patten and Glick, 2002).

تاخیر در کاشت تأثیر زیادی بر تقسیم ماده خشک گیاهی به دانه دارد و باعث کاهش کارایی انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها شده همچنین گزارش شده است که کینوا در دوره پر شدن دانه، به دمای بالاتر از ۲۵ درجه و کمتر از ۲۰ درجه سانتی‌گراد حساس است و دمای خارج از این محدوده به‌شدت باعث کاهش عملکرد می‌شود (Samadzadeh et al., 2020).

بر این اساس در تاریخ کاشت ۵ مرداد و ۲۰ مرداد به‌سبب اینکه مرحله گلدهی تا پر شدن دانه مصادف با اواخر شهریور و اوایل مهرماه بود و در این زمان میانگین دما در منطقه بین ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد بود می‌تواند تأثیر مثبت در عملکرد دانه داشته باشد. در همین ارتباط یافته‌های پژوهش مشابهی روی کینوا در بیرجند نشان داد که تاریخ کاشت اواسط مرداد که گرده‌افشانی آن با دماهای نسبتاً مناسب در اواخر شهریور مواجه بود، توانست رشد زایشی کینوا را به‌طور مطلوبی بهبود بخشد (Mostafaei et al., 2023).

عملکرد دانه کینوا با طول برگ، عرض برگ، تعداد شاخه در گل آذین، عملکرد پروتئین، جمعیت باکتری خاک و درصد کلونیزاسیون ریشه همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان داد (جدول ۵).

### عملکرد پروتئین

نتایج تجزیه مرکب داده‌ها تفاوت معنی‌داری بین اثرات ساده سال، آبیاری، تاریخ کاشت و کودهای زیستی از نظر عملکرد پروتئین در کینوا در سطح احتمال ۱ درصد را نشان

زیستی حاصل شد (جدول ۴).

رطوبت محیط از عوامل مهم و موثر بر جمعیت و فعالیت‌های میکروبی خاک از جمله تنفس میکروبی می‌باشد، رطوبت خاک به‌طور مستقیم بر وضعیت فیزیولوژیک باکتری‌ها تأثیر دارد زیرا دسترسی به آب، دسترسی به مواد آلی را نیز تنظیم می‌کند که به‌نوبه خود بر جمعیت میکروبی خاک تأثیر دارد (Chen et al., 2006).

گزارش شده است که در خاک‌های تیمار شده با انواع کودهای آلی شاخص زیستی جمعیت میکروبی تأثیر مثبتی از کودهای آلی گرفته و موجب افزایش سلامت خاک شده است (Igalavithana et al., 2017). جمعیت باکتری خاک با طول برگ، عرض برگ، تعداد شاخه در گل‌آذین، عملکرد دانه، عملکرد پروتئین و درصد کلونیزاسیون ریشه همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان داد (جدول ۵).

#### درصد کلونیزاسیون ریشه

نتایج تجزیه مرکب داده‌ها تأثیر معنی‌داری بین اثرات ساده سال، آبیاری، تاریخ کاشت و کودهای زیستی در سطح احتمال ۱ درصد از لحاظ درصد کلونیزاسیون ریشه نشان داد، همچنین تجزیه مرکب داده‌ها اثرمتقابل معنی‌داری بین آبیاری، تاریخ کاشت و کودهای زیستی در سطح احتمال ۵ درصد داشت (جدول ۳). به‌طوری‌که بیشترین درصد کلونیزاسیون ریشه (۱۶/۵۳ درصد) از تیمار آبیاری معمولی با تاریخ کاشت ۲۰ مرداد و تلقیح توام ازتوباکتر و آزوسپیریلوم و کمترین درصد کلونیزاسیون ریشه (۴/۶۴ درصد) از تیمار قطع آبیاری در مرحله غنچه‌دهی با تاریخ کاشت ۵ شهریور و عدم تلقیح با کودهای زیستی حاصل شد (جدول ۴).

درصد کلونیزاسیون ریشه می‌تواند به خصوصیات زیستی ریزموجودات، قدرت رقابت آن‌ها با سایر میکروب‌ها، خصوصیات ریشه گیاه، خواص فیزیکی خاک و محیط گیاه میزبان وابسته باشد (Mahmoudzadeh et al., 2016).

مقدار رطوبت خاک به‌مقدار زیادی کلونیزاسیون را تحت تأثیر قرار می‌دهد. لذا شاید بتوان رطوبت بیشتر و تعادل عناصر غذایی در خاک نظام‌های زراعی اکولوژیک و کم‌نهاد را دلیل کلونیزاسیون بیشتر ریشه در آن‌ها دانست (Gehring et al., 2006).

داد، همچنین تجزیه مرکب داده‌ها اثرمتقابل معنی‌داری بین اثرات سه‌گانه آبیاری، تاریخ کاشت و کودهای زیستی در سطح احتمال ۵ درصد نشان داد (جدول ۳). به‌طوری‌که بیش‌ترین عملکرد پروتئین (۵۸۰/۹ کیلوگرم بر هکتار) از تیمار آبیاری معمولی با تاریخ کاشت ۵ مرداد و تلقیح توام کودهای زیستی ازتوباکتر و آزوسپیریلوم و کمترین عملکرد پروتئین دانه (۱۶۶/۴ کیلوگرم بر هکتار) از تیمار قطع آبیاری در مرحله غنچه‌دهی با تاریخ کاشت ۵ شهریور و عدم تلقیح کود زیستی به‌دست آمد (جدول ۴). تنش خشکی سبب کاهش عملکرد و اجزای مرتبط با عملکرد، کربوهیدرات و پروتئین دانه کینوا گردید (Dawood, 2018). در یک مطالعه مروری میزان پروتئین ژنوتیپ‌های کینوا در مکان‌های مختلف از ۱۱ تا ۱۸ درصد متغیر بود (Angeli et al., 2020).

م تفاوت بودن مقدار پروتئین خام در گیاه کینوا تحت تأثیر تاریخ کاشت به‌دلیل شرایط محیطی متفاوت گزارش گردید (Gonzalez et al., 2012).

به‌کار بردن کودهای زیستی به‌صورت تلقیح همزمان از طریق اثرات هم‌افزایی با بالا بردن هورمون‌های افزایش‌دهنده رشد، مهار عوامل بیماری‌زا و کاهنده رشد گیاهی باعث افزایش عملکرد دانه و به‌تبع آن افزایش عملکرد پروتئین را به‌دنبال دارد. عملکرد پروتئین دانه با طول برگ، عرض برگ، تعداد شاخه در گل‌آذین، عملکرد دانه، جمعیت باکتری خاک و درصد کلونیزاسیون ریشه همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان داد (جدول ۵).

#### جمعیت باکتری خاک

نتایج تجزیه مرکب داده‌ها تأثیر معنی‌داری بین اثرات ساده سال، آبیاری، تاریخ کاشت و کودهای زیستی در سطح احتمال ۱ درصد از لحاظ جمعیت باکتری خاک نشان داد، همچنین تجزیه مرکب داده‌ها اثرمتقابل سه‌جانبه معنی‌داری بین آبیاری، تاریخ کاشت و کودهای زیستی در سطح احتمال ۵ درصد داشت (جدول ۳). به‌طوری‌که بیشترین جمعیت باکتری خاک (cfu/gr)  $3 \times 10^6$  از تیمار آبیاری معمولی با تاریخ کاشت ۲۰ مرداد و تلقیح توام ازتوباکتر و آزوسپیریلوم و کمترین جمعیت باکتری خاک (cfu/gr)  $1/47 \times 10^6$  از تیمار قطع آبیاری در مرحله غنچه‌دهی با تاریخ کاشت ۵ مرداد و عدم تلقیح با کودهای

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل سه جانبه (آبیاری، تاریخ کاشت، کودهای زیستی) بر صفات مورد ارزیابی کینوا

Table 4- Comparison of the mean of the three-way effect Irrigation, planting date, biofertilizers on quinoa

		طول برگ	عرض برگ	تعداد شاخه در گل آذین	
		Leaf Length (cm)	Leaf Width (cm)	Number of branches in the inflorescence	
آبیاری معمولی Normal irrigation	کاشت ۵ مرداد 27 July	Non-Inoculation	3.80 l-o	2.35 f-k	7.17 j-n
		Azotobacter	4.07 e-h	2.78 a-c	9.70 b-d
		Azospirillum	4.15 c-h	2.78 a-c	9.13 c-g
		Azoto+Azos	4.45 a	2.70 a-d	9.73 b-d
	کاشت ۲۰ مرداد 11 August	Non-Inoculation	3.67 op	2.38 e-j	9.38 c-f
		Azotobacter	4.02 g-z	2.65 a-e	10.13 bc
		Azospirillum	4.03 g-z	2.67 a-d	10.87 ab
		Azoto+Azos	4.38 ab	2.92 a	11.33 a
	کاشت ۵ شهریور 27 August	Non-Inoculation	3.77 m-o	2.28 h-m	7.95 g-l
		Azotobacter	4.20 c-f	2.62 b-f	8.67 d-i
		Azospirillum	4.25 b-d	2.77 a-c	8.27 f-j
		Azoto+Azos	4.15 c-h	2.80 ab	8.73 d-i
قطع آبیاری در مرحله غنچه‌دهی Irrigation termination at bud stage	کاشت ۵ مرداد 27 July	Non-Inoculation	3.82 k-o	1.80 rs	6.57 m-o
		Azotobacter	4.30 a-c	2.23 i-o	8.07 g-k
		Azospirillum	3.97 h-i	2.00 n-s	7.60 h-n
		Azoto+Azos	4.28 a-d	2.20 j-p	7.80 h-m
	کاشت ۲۰ مرداد 11 August	Non-Inoculation	3.37 q	1.87 q-s	7.17 j-n
		Azotobacter	3.68 n-p	2.05 m-q	7.47 i-n
		Azospirillum	3.52 pq	1.93 p-s	7.67 h-n
		Azoto+Azos	3.68 n-p	2.07 l-r	7.60 h-n
	کاشت ۵ شهریور 27 August	Non-Inoculation	3.65 op	1.73 s	5.87 o
		Azotobacter	4.00 h-j	1.98 o-s	6.73 l-o
		Azospirillum	3.88 i-m	1.85 rs	6.40 no
		Azoto+Azos	3.73 m-o	2.02 m-r	6.47 no
قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه Irrigation termination at seed filling stage	کاشت ۵ مرداد 27 July	Non-Inoculation	3.65 op	2.03 m-r	7.80 h-m
		Azotobacter	4.12 c-h	2.73 a-c	9.47 c-f
		Azospirillum	3.98 h-k	2.63 b-e	9.53 c-e
		Azoto+Azos	4.28 a-d	2.33 g-l	9.87 b-d
	کاشت ۲۰ مرداد 11 August	Non-Inoculation	3.73 m-o	2.13 l-q	9.13 c-g
		Azotobacter	4.22 b-e	2.53 b-h	9.73 b-d
		Azospirillum	4.18 c-g	2.60 b-g	10.13 bc
		Azoto+Azos	4.38 ab	2.58 b-g	10.87 ab
	کاشت ۵ شهریور 27 August	Non-Inoculation	3.53 p	1.93 p-s	6.92 k-o
		Azotobacter	4.10 d-h	2.50 c-i	7.67 h-n
		Azospirillum	3.85 j-n	2.27 j-n	8.80 d-h
		Azoto+Azos	4.27 b-d	2.43 h-n	8.33 e-j

در هرستون میانگین‌های با حروف مشابه، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

In each column, means followed by the same letters are not significantly difference at the 5% level.

تلقیح بود (Jiriae et al., 2014).

درصد کلونیزاسیون ریشه با طول برگ، عرض برگ، تعداد شاخه در گل آذین، عملکرد دانه، عملکرد پروتئین و جمعیت باکتری خاک همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان داد (جدول ۵).

تلقیح با کودهای زیستی باکتریایی باعث افزایش رشد ریشه‌ها به موازات افزایش درصد کلونیزاسیون ریشه صورت می‌گیرد، تلقیح بذر گندم با آزوسپیریلوم، کلونیزاسیون ریشه را در گندم تا ۹ درصد افزایش داده و بیشترین درصد کلونیزاسیون ریشه معادل ۳۵/۹۳ درصد بوده که ۹ درصد بیشتر از تیمار عدم

ادامه جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل سه جانبه (آبیاری، تاریخ کاشت، کودهای زیستی) بر صفات مورد ارزیابی کینوا

Table 4- Comparison of the mean of the three-way effect Irrigation, planting date, biofertilizers on quinoa

		عملکرد پروتئین Protein Yield	عملکرد دانه Seed Yield	جمعیت باکتری خاک	کلونیزاسیون ریشه	
				Soil bacterial population	Root colonization (%)	
آبیاری معمولی Normal irrigation	کاشت ۵ مرداد 27 July	Non-Inoculation	279.3 i-l	2328.4 c-l	2.03 f-k	6.49 i-m
		Azotobacter	418.5 c-g	2642.6 a-g	2.63 a-e	12.06 b-g
		Azospirillum	468.6 b-e	2807.3 a-d	2.70 a-d	14.51 a-c
		Azoto+Azos	580.9 a	2897.5 a-c	2.92 ab	15.19 ab
	کاشت ۲۰ مرداد 11 August	Non-Inoculation	307.1 h-l	2398.1 c-k	2.00 f-l	6.59 i-m
		Azotobacter	396.5 e-h	2521.9 a-i	2.65 a-e	11.75 b-h
		Azospirillum	425.5 c-g	2663.8 a-g	2.70 a-d	12.93 b-d
		Azoto+Azos	504.7 a-d	3049.7 a	3.00 a	16.53 a
	کاشت ۵ شهریور 27 August	Non-Inoculation	253.2 j-m	2140.0 k-q	2.13 e-j	7.11 l-m
		Azotobacter	366.9 e-l	2459.6 b-j	2.50 a-f	8.73 e-l
		Azospirillum	427.8 c-g	2781.5 a-e	2.70 a-d	9.77 d-j
		Azoto+Azos	519.3 a-c	2869.2 a-d	2.88 ab	11.17 c-h
قطع آبیاری در مرحله غنچه‌دهی Irrigation termination at bud stage	کاشت ۵ مرداد 27 July	Non-Inoculation	239.0 k-m	1825.2 k-q	1.47 l	5.44 lm
		Azotobacter	352.1 f-j	1983.7 h-o	1.73 i-l	8.53 f-m
		Azospirillum	363.9 e-i	1923.5 j-p	1.73 i-l	10.06 d-i
		Azoto+Azos	410.2 d-h	1937.4 i-p	2.00 f-l	11.70 b-h
	کاشت ۲۰ مرداد 11 August	Non-Inoculation	179.8 m	1342.2 qr	1.53 kl	5.61 k-m
		Azotobacter	283.3 i-l	1583.4 n-r	1.73 i-l	8.12 g-m
		Azospirillum	338.7 f-k	1834.7 k-q	1.77 i-l	9.11 d-l
		Azoto+Azos	336.4 g-k	1650.8 m-r	1.93 g-l	11.02 c-h
	کاشت ۵ شهریور 27 August	Non-Inoculation	166.4 m	1253.3 g-o	1.70 j-l	4.65 m
		Azotobacter	266.5 i-m	1485.0 a-h	1.90 h-l	5.68 k-m
		Azospirillum	287.1 i-l	1536.8 c-k	2.07 f-j	8.09 h-m
		Azoto+Azos	364.7 e-i	1765.4 a-f	2.10 f-j	8.81 e-l
قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه Irrigation termination at seed filling stage	کاشت ۵ مرداد 27 July	Non-Inoculation	263.5 i-m	2112.2 g-o	1.90 h-l	5.93 j-m
		Azotobacter	432.0 c-g	2561.3 a-h	2.20 d-j	8.93 e-l
		Azospirillum	419.7 c-g	2397.0 c-k	2.27 c-i	11.46 b-h
		Azoto+Azos	547.6 ab	2730.9 a-f	2.40 b-h	12.67 b-e
	کاشت ۲۰ مرداد 11 August	Non-Inoculation	280.5 i-l	2212.6 e-m	1.93 g-l	5.80 j-m
		Azotobacter	426.1 c-g	2554.4 a-h	2.47 a-g	9.13 d-l
		Azospirillum	443.3 c-f	2552.7 a-h	2.53 a-f	9.23 d-l
		Azoto+Azos	578.2 a	3006.0 ab	2.67 a-e	12.57 b-e
	کاشت ۵ شهریور 27 August	Non-Inoculation	217.7 lm	1682.1 m-r	1.77 i-l	6.35 i-m
		Azotobacter	338.4 f-k	1966.5 i-p	2.23 c-j	9.57 d-k
		Azospirillum	405.5 d-h	2315.7 c-l	2.40 b-h	12.20 d-f
		Azoto+Azos	444.2 c-f	2296.8 d-l	2.75 a-c	11.56 b-h

در هر ستون میانگین‌های با حروف مشابه، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

In each column, means followed by the same letters are not significantly difference at the 5% level.

جدول ۵- ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه کینوا تحت تأثیر آبیاری، تاریخ کاشت و کودهای زیستی

Table 5- Correlation coefficients between studied quinoa traits under the influence of irrigation, planting date and biofertilizers

صفات Traits	1	2	3	4	5	6	7
1	1.00						
2	0.68**	1.00					
3	0.57**	0.81**	1.00				
4	0.79**	0.77**	0.75**	1.00			
5	0.66**	0.88**	0.83**	0.84**	1.00		
6	0.62**	0.80**	0.73**	0.71**	0.72**	1.00	
7	0.69**	0.77**	0.70**	0.82**	0.64**	0.83**	1.00

به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد\*\* و\*

\* and \*\* indicate significant at 5% and 1% probability level, respectively.

۱= طول برگ Leaf length, ۲= عرض برگ Leaf Width, ۳= تعداد شاخه در گل آذین Number of branches in the inflorescence, ۴= عملکرد پروتئین Protein Yield, ۵= عملکرد دانه Seed Yield, ۶= جمعیت باکتری خاک Soil bacterial population, ۷= کلونیزاسیون ریشه Root colonization

## نتیجه گیری کلی

و آزوسپیریلوم در صفات مورد مطالعه بود. بنابراین استفاده توام از کودهای زیستی به دلیل توانایی بالا در تثبیت نیتروژن و فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه همچون فسفر، پتاسیم، تولید سیدروفور و محلول سازی آهن، سنتز فیتوهورمون ها از جمله اکسین، سیتوکنین، جیبرلین و سنتز آنزیم هایی که رشد و نمو گیاه را تحت تاثیر قرار می دهند، اثرات مثبتی بر صفات مورد بررسی به خصوص عملکرد دانه نشان داد.

## عدم تعارض منافع

نگارندگان اعلام می کنند که هیچ گونه تعارض منافی ندارند.

نتایج این پژوهش نشان داد که هرچند آبیاری معمولی با تاریخ کاشت ۲۰ مرداد و تلقیح توام کودهای زیستی ازتوباکتر و آزوسپیریلوم بیشترین میزان صفات مورد مطالعه به خصوص عملکرد دانه (۳۰۴۹/۷ کیلوگرم در هکتار) را داشت ولی با تیمار قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه با تاریخ کاشت ۲۰ مرداد و تلقیح توام کودهای زیستی در یک گروه آماری قرار گرفت. بنابراین به لحاظ اهمیت مصرف آب می توان گفت که در شرایط محدودیت منابع آبی تیمار قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه مطلوب ترین نتیجه را دارد. بررسی صفات مورد مطالعه نمایانگر تاثیر مثبت کاربرد کودهای زیستی به ویژه کاربرد توام ازتوباکتر

## References

- Abolhasani Zeraatkar, M., Lakzian, A., Haghnia, Gh., Astaraei, A. and Sarcheshme poor, M., 2008. The study of salt and drought tolerance of *Sinorhizobium meliloti* isolated from Kerman province. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 6(1), pp.1–10. [In Persian]. <https://doi.org/10.22067/gsc.v6i1.1170>
- Ahamed, N.T., Singhal, R.S., Kulkarni, P.R., Kale, D.D. and Pal, M., 1996. Studies on *Chenopodium quinoa* and *Amaranthus paniculatas* starch as biodegradable fillers in LDPE films. *Carbohydrate Polymers*, 31(3), pp.157–160.
- Amiryousefi, M. R., Tadayon, M. R. and Ebrahimi, R., 2020. Effect of chemical and biological fertilizers on some physiological traits, yield components and yield of quinoa plant. *Journal of Crop Production and Processing*, 10(2), pp. 1–17. <https://doi.org/10.47176/jcpp.10.2.209112>
- Angeli, V., Silva, P.M., Massuela, D.C., WaleedKhan, M., Hamer, A., Khajehei, F., Graeff-Honinger, S. and Piatti, C., 2020. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): An overview of the potentials of the “Golden Grain” and socio-economic and environmental aspects of its cultivation and marketization. *Foods*, 9(2), 216. <https://doi.org/10.3390/foods9020216>
- Bilalis, D., Kakabouki, I., Karkanis, A., Travlos, I., Triantafyllidis, V. and Hela, D., 2012. Seed and saponin production of organic quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) for different tillage and fertilization. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 40(1), pp.42–46. <https://doi.org/10.15835/nbha4017400>
- Bois, J.F., Winkel, T., Lhomme, J.P., Raffailac, J.P. and Rocheteau, A., 2006. Response of some Andean cultivars of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to temperature. Effects on germination, phenology, growth and freezing. *European Journal of Agronomy*, 25, pp.299-308.
- Bvenura, C. and Kambizi, L., 2022. Future grain crops. In *Future Foods*, Academic Press, pp.81–105. <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-91001-9.00032-3>
- Chen, M.M., Zhu, Y.G., Su, Y.H., Chen, B.D., Fu, B.J. and Marschner, P., 2006. Effects of soil moisture and plant interactions on the soil microbial community structure. *European Journal of Soil Biology*, 43, pp.31–38. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2006.05.001>

- Dawood, M.G., 2018. Improving drought tolerance of quinoa plant by foliar treatment of trehalose. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 19(5), pp.245–254.
- Elewa, T.A., Sadak, M.S. and Saad, A.M., 2017. Proline treatment improves physiological responses in quinoa plants under drought stress. *Bioscience Research*, 14(1), pp.21–33.
- Emam, Y. and Pirasteh Anousheh, E., 2014. *Farm and laboratory methods in agricultural sciences*. Mashhad University Jihad Publications. [In Persian].
- Estrella, D.A.R., 2008. *Amino acid composition and nitrogen to protein conversation factors for three legumes and tow pseudo-cereals* [Degree thesis]. Quito.
- Fallah Nosratabad, A.R., 2013. Evaluation of relationships between soil properties and total bacteria and fungi in soils of Guilan. *Journal of Soil Management and Sustainability*, 2(2), pp.49–68. [In Persian].
- FAO, (Food and Agricultural Organization of the United Nations)., 2011. Quinoa; an acient crop to contribute to world food security. 63p.
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D.B.S.M.A. and Basra, S.M.A., 2009. Plant drought stress: Effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*, 29, pp.185–196. <https://doi.org/10.1051/agro:2008021>
- Gehring, C.A., Mueller, R.C. and Whitham, T.G., 2006. Environmental and genetic effects on the formation of ectomycorrhizal and arbuscular mycorrhizal in cottonwoods. *Oecologia*, 149, pp.158–164. <https://doi.org/10.1007/s00442-006-0437-9>
- Gharineh, M.H., Bakhshandeh, A., Andarzian, B. and Shirali, M., 2019. Effects of sowing dates and irrigation levels on morphological traits and yield of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in Khuzestan. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 50(3), pp.149–156. [In Persian]. <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2018.209566.654135>
- Gonzalez, A., Konishi, Y., Bruno, M., Valoy, M. and Prado, F.E., 2012. Interrelationships among seed yield, total protein and amino acid composition of ten quinoas (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars from two different agro-ecological regions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92, pp.1222–1229. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4686>
- Igalavithana, A.D., Lee, S.S., Nabeel Khan Niazi, N.K., Lee, Y.H., Kim, K.H., Park, J.H., Moon, D.H. and Ok, Y.S., 2017. Assessment of soil health in urban agriculture: Soil enzymes and microbial properties. *Sustainability*, 9, pp.1–14. <https://doi.org/10.3390/su9020310>
- Itelima, J.U., Bang, W.J., Onyimba, I.A., Sila, M.D. and Egbere, O.J., 2018. Bio-fertilizers as key player in enhancing soil fertility and crop productivity: A review. *Direct Research Journal of Agriculture and Food Science*, 6(3), pp.73–83.
- Jamali, S., Goldani, M. and Zeynodin, S.M., 2020. Evaluation the effects of periodic water stress on yield and water productivity on quinoa. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 13(6), pp.1687–1697. [In Persian].
- Jacobsen, S.E., Liu, F. and Jensen, C.R., 2009. Does root-sourced ABA play a role for regulation of stomata under drought in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Scientia Horticulturae*, 122(2), pp.281–287.

- Jiriaie, M., Esfandiari, F. and Aynehband, A., 2014. Evaluation the some root traits of treated wheat with mycorrhiza and *Azospirillum*. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 4(1), pp.61–73.
- Mahmoudzadeh, M., Rasouli Sadaghiani, M.H., Asgari Lajayer, H. and Sefidkon, F., 2016. Biochemical changes in terpenoids, essential oil content and yield in peppermint (*Mentha piperita* L.) under bacterial and fungal treatments under greenhouse conditions. *Journal of Soil and Plant Interactions*, 7(2), pp.151–162. [In Persian]. <https://doi.org/10.18869/acadpub.ejgcst.7.2.151>
- Mostafaei, M., Jami Al-Ahmadi, M., Salehi, M. and Shahidi, A., 2023. Investigation of physiological and yield characteristics of quinoa as affected by different levels of irrigation and plant density. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 21(1), pp.29–46. [In Persian]. <https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.74044.1126>
- Patten, C.L. and Glick, B.R., 2002. The role of bacterial indoleacetic acid in the development of the plant root system. *Applied and Environmental Microbiology*, 68, pp.3795–3801. <https://doi.org/10.1128/aem.68.8.3795-3801.2002>
- Phillips, J.M. and Hayman, D.S., 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*, 55(1), pp.158–161. [https://doi.org/10.1016/s0007-1536\(70\)80110-3](https://doi.org/10.1016/s0007-1536(70)80110-3)
- Samadzadeh, A., Zamani, G. and Fallahi, H.R., 2020. Possibility of quinoa production under South-Khorasan climatic condition as affected by planting densities and sowing dates. *Applied Field Crop Research*, 33(1), pp.82–104. [In Persian].
- Scanlin, L. and Lewis, K.A., 2017. Quinoa as a sustainable protein source: Production, nutrition, and processing. In S. Nadathur, J.P.D. Wanasundara, & L. Scanlin (Eds.), *Sustainable protein sources* (pp. 223–238). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-802778-3.00014-7>
- Sharpe, R.R., Harper, L.A., Giddens, J.E. and Langdale, G.W., 2001. Nitrogen use efficiency and nitrogen budget for conservation-tilled wheat. *Soil Science Society of America Journal*, 52, pp.1349–1398. <https://doi.org/10.2136/sssaj1988.03615995005200050035x>
- Singh, M.P., Soni, K., Bhamra, R., and Mittal, R.K., 2022. Superfood: Value and need. *Current Nutrition & Food Science*, 18(1), pp.65–68. <https://doi.org/10.2174/1573401317666210420123013>
- Spaepen, S. and Dobbelaere, S., 2011. Effects of *Azospirillum brasilense* indole-3-acetic acid production on inoculated wheat plants. *Plant and Soil*, 312, pp.15–23. <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9560-1>
- Venkateshwarlu, B., 2008. Role of bio-fertilizers in organic farming. In *Organic farming in rain fed agriculture* (pp. 85–95). Central Institute for Dry Land Agriculture, Hyderabad.
- Wollum, A.G., 1982. Cultural methods for soil microorganisms. *Journal of Agronomy and Soil Science*, 2, pp.781–801. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c37>