



Research Paper

Effect of Different Levels of Irrigation Water and Vermicompost on Yield and Water Productivity of Quinoa Crop in Dehgolan Plain, Iran

Diba Sheykhi Sanandaji¹, Gholamreza Heydari², Parviz Fathi^{3*}, Habib Khodaverdiloo⁴ and Zahed Sharifi⁵

¹PhD Scholar, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

²Assoc. Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

³Assoc. Professor, Department of Water Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

⁴Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

⁵Assoc. Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

Article information

Received: February 06, 2023

Revised: March 06, 2023

Accepted: March 06, 2023

Keywords:

Drip Irrigation

Harvest Index

Organic Fertilizer

Water Use Efficiency

*Corresponding author:

p.fathi@uok.ac.ir



Abstract

In this study, at the University of Kurdistan's Dehgolan research field, we systematically examined the impact of varied vermicompost and irrigation levels on Quinoa yield and water efficiency in 2022. The experiment followed a split-plot design in a randomized complete block structure. Irrigation levels ranged from 50% to 125%, and vermicompost rates varied from 0 to 15 tons/ha. A drip-tape irrigation system was employed, with water quantities measured using a volumetric meter. The highest seed yield (2375 kg/ha) occurred at 125% water requirement with 15 tons/ha vermicompost, while the greatest biological yield (5560 kg/ha) resulted from 100% water requirement and 15 tons/ha vermicompost. The treatment with 50% water requirement demonstrated superior water consumption productivity and use efficiency. Applying 15 tons/ha vermicompost significantly improved water use efficiency. Notably, the highest quinoa harvest index emerged at 125% of crop water requirement. These findings highlight the potential benefits of optimizing irrigation and vermicompost levels for enhanced Quinoa yield and water use efficiency in agroecosystems.

How to cite this paper: Sheykhi Sanandaji, D., Heydari, G., Fathi, P., Khodaverdiloo, H. and Sharifi, Z. (2024). Effect of different levels of irrigation water and vermicompost on yield and water productivity of quinoa crop in Dehgolan Plain, Iran. *Environ. Water Eng.*, 10(1), 37-48. <https://doi.org/10.22034/ewe.2023.384881.1843> [In Persian]



© Authors, Published by **Environment and Water Engineering** journal. This is an open-access article distributed under the CC BY (license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) is a crop classified within the Chenopodiaceae subfamily of the Amaranthaceae family. Indigenous to the Andes region spanning Bolivia, Peru, and Chile, this ancient crop boasts a history exceeding 5000 years. Characterized by roots with extensive penetration capabilities and wide, alternate leaves giving rise to diverse inflorescences, quinoa plants exhibit variable heights ranging from 20 to 300 cm. The duration of their growth phase spans 95 to 125 days contingent upon cultivar selection and prevailing climatic conditions. In the context of contemporary challenges, burgeoning population dynamics and diminishing water resources, particularly in arid and semi-arid regions, have introduced complexities associated with water allocation across various consumption sectors. As the largest consumer of water, the agricultural sector contends with escalating demands from the industrial and urban domains. Strategic alterations to crop patterns, emphasizing the adoption of crops with lower water requirements, present a viable avenue for mitigating water consumption within the agricultural sector. Vermicompost, a composite of vermi (earthworms) and compost (organic fertilizer), is derived through the collaborative activity of earthworms and microorganisms (bacteria, fungi, and actinomycetes). This process unfolds during a non-thermal and aerobic decomposition of industrial, urban, and agricultural waste. Vermicompost serves to enhance the physical, chemical, and biological attributes of soil, mitigating adverse effects associated with water stress and consequently fostering crop growth. This research endeavors to systematically explore the influence of varied irrigation water levels and vermicompost application on crop water productivity within the Dehgolan Plain, situated in the Kurdistan province of Iran.

Material and Methods

In 2021, this study was conducted at the research farm of Kurdistan University situated in the Dehgolan Plain. The geographic area experiences an average annual rainfall of 350 mm, with average annual maximum and minimum temperatures of 23 and 6.6 degrees, respectively. Soil samples were procured from diverse depths of the field before quinoa seed sowing and

subjected to comprehensive physical and chemical analyses.

Employing a split-plot design within a completely randomized block configuration, the primary and secondary experimental factors encompassed four levels of irrigation water (50%, 75%, 100%, and 125% of water requirement) and four vermicompost levels (0, 5, 10, and 15 tons per hectare), each replicated thrice. Sub-plot dimensions were standardized at 3 x 4 meters, with a spacing of 0.5 and 1 meter between main and secondary plots, respectively, to mitigate marginal effects.

Utilizing a drip-tape irrigation system, the vermicompost was meticulously weighed and incorporated into the field soil before quinoa planting. Irrigation tapes were spaced at 50 cm intervals within each plot. Irrigation water quantities were accurately measured using a volumetric meter on the main pipe, where the main, water supply, and irrigation tape diameters were set at 56, 32, and 15 mm, respectively. The irrigation interval was consistent at 7 days, and the soil moisture balance method determined the depth of irrigation water.

Upon conclusion of the growing season, comprehensive assessments were made, encompassing grain yield, biological yield, harvest index, water productivity, and water use efficiency. These parameters were systematically evaluated to provide insights into the impact of varied irrigation and vermicompost levels on quinoa cultivation in the specified agricultural setting.

Results

Table 1 reveals statistically significant effects of irrigation and vermicompost fertilizer levels on seed yield, biological yield, water productivity, and irrigation water use efficiency, with a significance level of 1%. Additionally, irrigation levels demonstrated a statistically significant impact on the harvest index at the 5% probability level. The interaction between irrigation levels and vermicompost fertilizer exerted a significant effect on seed yield and biological yield at the 1% probability level, specifically when the irrigation depth was set at 75% of the crop water requirement.

Table 1 Analysis of Variance Results for the Impact of Irrigation Levels and Vermicompost Fertilizer on Grain Yield, Biological Yield, Water Productivity, Irrigation Water Efficiency, and Harvest Index.

ANOVA	Df	Seed yield (kg/ha)	Biological yield (kg/ha)	Water Productivity (kg/m ³)	Irrigation Water Use Efficiency (kg/m ³)	Harvest Index (%)
Replication	2	8924.86 ^{ns}	206634.36 ^{ns}	0.0025 ^{ns}	0.0025 ^{ns}	11.24 ^{ns}
Irrigation (I)	3	301995.32 ^{**}	1643836.52 ^{**}	0.03 ^{**}	0.02927 ^{**}	29.05 [*]
Error I	6	9602.69	58546.68	0.001	0.0013	11.09
Vermicompost (V)	3	223492.28 ^{**}	1046225.31 ^{**}	0.035 ^{**}	0.0357 ^{**}	11.14
I × V	9	20561.08 [*]	129455.31 ^{**}	0.002 ^{ns}	0.0017 ^{ns}	33.42 ^{ns}
Error 2	24	7954.74	24170.77	24166.8	0.0018	8.35
CV%		5.41	3.85	9.34	9.32	7.07

ns: non-significant, *: significant at $P \leq 0.05$, **: significant at $P \leq 0.01$, respectively

Figure 1 illustrates that the disparity in harvest index between I2 and I3 irrigation treatments (equivalent to 75% and 100% of water requirement) did not exhibit statistical significance. However, the treatment with a 50% water requirement yielded the lowest harvest index, while the highest harvest index was observed in the irrigation treatment set at 125% of the water requirement for quinoa.

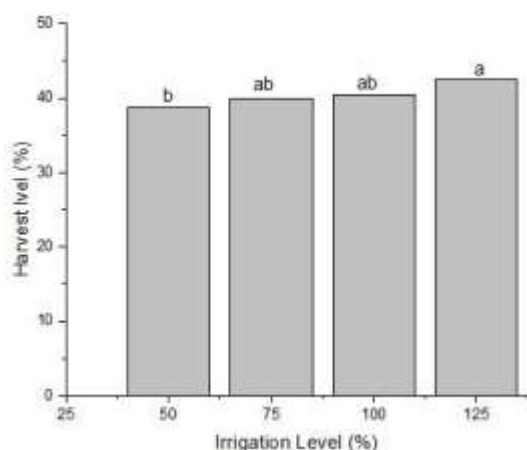


Fig. 1 Average Comparison of the Effect of Different Irrigation Levels on Harvest Index.

Results indicate that the optimal conditions for seed yield (2357.5 kg/ha) and biological yield (5415.9 kg/ha) were achieved with an irrigation water depth equal to 100% of the crop water requirement and a vermicompost fertilizer rate of 15 tons/ha. Furthermore, the highest water productivity (0.53 kg/m³) and water use

efficiency (0.53 kg/m³) were attained at varying irrigation water levels. These findings contribute valuable insights into the intricate interplay between irrigation practices, vermicompost application, and their collective impact on quinoa productivity metrics.

Conclusions

The findings from this study reveal that the optimal conditions for maximizing seed yield (2374.5 kg/ha) and biological yield (5415.9 kg/ha) were achieved through the application of a 100% crop water requirement and vermicompost fertilizer at a rate of 15 tons/ha. In light of these results, it is recommended that, for lands situated in the Dehgolan plain of Kurdistan province, Iran, the judicious utilization of irrigation water depth set at 100% of the water requirement, coupled with vermicompost fertilizer at the rate of 15 tons/ha, is conducive to achieving a commendable yield (2132 kg/ha) and concurrently ensuring high water consumption productivity (0.53 kg/ha). These findings offer practical insights into agronomic strategies tailored to optimize productivity and resource utilization in the specified agricultural context.

Data Availability

The data used in this research can be sent by the corresponding author via email.

Conflicts of interest

The authors of this paper declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.



ISSN: 2476-3683

محیط زیست و مهندسی آب

Homepage: www.jewe.ir

مقاله پژوهشی

اثر سطوح مختلف آب آبیاری و ورمی کمپوست بر عملکرد و بهره‌وری آب گیاه کینوا در دشت دهگلان

دیا شیخی سنندجی^۱، غلامرضا حیدری^۲، پرویز فتحی^{۳*}، حبیب خداوردیلو^۴ و زاهد شریفی^۵

^۱ دانشجوی دکتری، گروه ژنتیک و تولید گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

^۲ دانشیار، گروه ژنتیک و تولید گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

^۳ دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

^۴ استاد، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

^۵ دانشیار، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخ دریافت: [۱۴۰۱/۱۱/۱۷]
تاریخ بازنگری: [۱۴۰۱/۱۲/۱۵]
تاریخ پذیرش: [۱۴۰۱/۱۲/۱۵]

واژه‌های کلیدی:

آبیاری قطره‌ای
شاخص برداشت
کارایی مصرف آب
کود آلی

آزمایشی با هدف بررسی اثر سطوح مختلف آبیاری و کود ورمی کمپوست بر عملکرد و میزان بهره‌وری آب آبیاری محصول کینوا انجام شد. این آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سال ۱۴۰۰ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه کردستان واقع در شهرستان دهگلان انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل چهار سطح آبیاری شامل ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵٪، نیاز آبی گیاه کینوا و متغیر فرعی شامل چهار سطح کود ورمی کمپوست صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ ton/h بود. روش آبیاری مورد استفاده در این آزمایش‌ها از نوع سامانه آبیاری قطره‌ای-نواری بود. میزان آب آبیاری توسط یک کنتور حجمی تعبیه شده بر روی لوله اصلی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد بالاترین عملکرد دانه کینوا معادل ۲۳۷۵ kg/ha در تیمار ۱۲۵٪ نیاز آبی و ۱۵ ton/ha ورمی کمپوست، عملکرد بیولوژیک kg/ha ۵۵۶۰ در تیمار ۱۰۰٪ نیاز آبی و ۱۵ ton/ha ورمی کمپوست مشاهده شد. بیش‌ترین مقادیر بهره‌وری آب مصرفی و کارایی مصرف آب در تیمار ۵۰٪ نیاز آبی بود. همچنین کاربرد ۱۵ ton/ha ورمی کمپوست موجب افزایش معنی‌دار بهره‌وری آب مصرفی و کارایی مصرف آب در مقایسه با تیمار شاهد شد. بالاترین شاخص برداشت کینوا در تیمار ۱۲۵٪ نیاز آبی گیاه به دست آمد. این یافته‌ها مزایای بالقوه بهینه‌سازی سطوح آبیاری و ورمی کمپوست را برای افزایش عملکرد کینوا و راندمان مصرف آب در اکوسیستم‌های کشاورزی نشان می‌دهد.

*نویسنده مسئول:

p.fathi@uok.ac.ir



نحوه استناد به این مقاله:

شیخی سنندجی، دیا، حیدری، غلامرضا، فتحی، پرویز، خداوردیلو، و شریفی، زاهد. (۱۴۰۳). اثر سطوح مختلف آب آبیاری و ورمی-کمپوست بر عملکرد و بهره‌وری آب گیاه کینوا در دشت دهگلان. محیط زیست و مهندسی آب، 10(1)، 48-37

<https://doi.org/10.22034/ewe.2023.384881.1843>



۱- مقدمه

کینوا گیاهی با نام علمی *Chenopodium quinoa Willd*، از زیرخانواده *Chenopodiaceae* و خانواده *Amaranthaceae* می‌باشد. این گیاه، بومی منطقه آند در بولیوی، پرو و شیلی است که قدمت آن به بیش از ۵۰۰۰ سال می‌رسد (Hemalatha et al. 2018). این گیاه دارای ریشه‌هایی با نفوذپذیری عمیق، برگ‌های پهن و متناوب با گل‌آذین متنوع می‌باشد. ارتفاع بوته کینوا از ۲۰ تا ۳۰۰ cm متفاوت بوده و طول دوره رشد آن بسته به رقم و شرایط آب و هوایی محل رشد از ۹۵ تا ۱۲۵ روز متفاوت است (Rathore and Kumar 2021).

افزایش جمعیت و کاهش کمیت و کیفیت منابع آبی در مناطق خشک و نیمه‌خشک سبب شده است تا پیچیدگی مسائل مرتبط با تأمین آب بخش‌های مختلف مصرف، دوچندان اهمیت یابند. بخش کشاورزی به‌عنوان بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب، در رقابت با تقاضای رو به رشد بخش‌های صنعتی و شهری قرار دارد. مدیریت تلفات تبخیر یکی از مؤلفه‌های اصلی در مدیریت آب مصرفی کشاورزی است. به‌کارگیری سامانه‌های آبیاری با کارایی بالا نظیر سامانه آبیاری قطره‌ای یکی از راهکارهای مؤثر جهت افزایش بهره‌وری آب و صرفه‌جویی در مصرف آب در بخش کشاورزی به شمار می‌رود. اصلاح الگوی کشت به‌ویژه استفاده از محصولات جایگزین کم-مصرف در الگوی کشت از دیگر راهکارهای مؤثر جهت کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی است (Afshar et al. 2020). کودهای شیمیایی رایج‌ترین نوع کودهای مصرفی در اراضی کشاورزی می‌باشند. مصرف بی‌رویه این کودها باعث ایجاد مخاطرات زیست‌محیطی ازجمله آلودگی آب‌های سطحی، زیرزمینی و تالاب‌ها، آلودگی و کاهش کیفیت خاک، کاهش میزان ماده آلی خاک و ورود عناصر سمی این کودها (نظیر نیترات) به زنجیره غذایی انسان می‌شود. به‌خاطر همین مشکلات، توصیه شده است که کودهای آلی جایگزین کودهای شیمیایی شود (Adekiya and Agbede 2017).

استفاده از کودهای آلی علاوه بر مزایای اقتصادی و حفاظت از محیط‌زیست، باعث حفظ و استفاده پایدار از منابع آب و خاک نیز می‌شود. ورمی کمپوست، متشکل از ورمی (کرم‌های خاکی) و کمپوست (کود آلی) که از فعالیت کرم‌های خاکی به همراه

ریزجاندارانی نظیر باکتری‌ها، قارچ‌ها و اکتینومیست‌ها روی پسماندهای صنعتی، شهری و کشاورزی در طی یک فرآیند غیرحرارتی و هوازی حاصل می‌شود. ورمی کمپوست به‌طور مستقیم با داشتن عناصر پرمصرف و کم‌مصرف ضروری مورد نیاز گیاه و همچنین فاکتورهای رشد ازجمله ویتامین‌ها، اسیدهای آمینه و هورمون‌ها و غیرمستقیم با افزایش فعالیت فراوانی ریز جانداران خاک و همچنین با افزایش و بهبود ساختمان خاک سبب بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک و تعدیل اثرات منفی ناشی از تنش خشکی و به‌تبع آن سبب افزایش رشد گیاه می‌شود (Jabeen and Ahmad 2019; Rezvani et al. 2021). در پژوهشی اثر کاربرد ۲۰ ton/h ورمی کمپوست و دور آبیاری با سه سطح ۷۰، ۱۰۰ و ۱۳۰ mm از تشتک تبخیر مورد مطالعه قرار گرفت و نتایج نشان داد کاربرد ورمی کمپوست باعث افزایش قدرت جذب و نگهداری رطوبت خاک خصوصاً در تیمارهای تنش، افزایش عناصر غذایی سبب بهبود مراحل نمو گیاه شده و افزایش عملکرد دانه کینوا را به همراه دارد (Mohkami et al. 2021). نتایج پژوهش Praveen et al. (2018) در مورد اثر روش‌های آبیاری قطره‌ای و سطحی بر مؤلفه‌های رشد، اجزای عملکرد، عملکرد و بهره‌وری اقتصادی محصول کینوا (*Chenopodium quinoa Willd*) در منطقه حیدرآباد کشور هند را بررسی و گزارش نمودند، در شرایط تنش آبی متوسط، میزان مؤلفه‌های رشدی نظیر ارتفاع بوته و تعداد شاخه و صفات عملکردی نظیر طول خوشه اصلی و تعداد خوشه در بوته محصول کینوا در سامانه آبیاری قطره‌ای به‌طور معنی‌داری بیشتر از سامانه آبیاری سطحی (تیمار شاهد) بود.

در پژوهش دیگری اثر کم‌آبیاری و کاربرد ورمی کمپوست بر کشت مخلوط گیاه کینوا و نخود توسط Hirich et al. (2014) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تأمین مواد آلی در شرایط کم‌آبیاری می‌تواند راه حلی عملی برای جبران اثر منفی تنش کم‌آبی باشد. بیشترین عملکرد دانه ۳/۳ ton/ha برای کینوا و ۶/۵ ton/ha برای نخود تحت آبیاری کامل و کاربرد ۱۰ ton/ha ورمی کمپوست گزارش شد. نتایج مطالعه‌ی فوق‌الذکر نشان داد که کاربرد ورمی کمپوست به مقادیر ۵ و ۱۰ ton/ha به‌طور معنی‌داری به ترتیب باعث

آب آبیاری و کود ورمی کمپوست مورد نیاز جهت حصول بهره وری آب بالاتر محصول کینوا تحت سیستم آبیاری قطره‌ای در شهرستان دهگلان بود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در سال زراعی ۱۴۰۰، در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه کردستان واقع در دشت دهگلان انجام شد. مزرعه مذکور با مختصات جغرافیایی 35° و 18° شمالی و 47° و 18° شرقی و ارتفاع ۱۸۶۶ m از سطح دریا در ۴۱ km شرق سنندج واقع شده است. میانگین بارندگی سالیانه این منطقه برابر ۳۵۰ mm و میانگین سالانه دمای حداکثر و حداقل به ترتیب ۲۳ و $6/6^{\circ}\text{C}$ می‌باشد (Saeedi et al. 2022).

۲-۲- مشخصات آب و خاک مزرعه

ویژگی‌های خاک، ورمی کمپوست و آب آبیاری مورد استفاده در این پژوهش به ترتیب در جدول‌های (۱) و (۲) آورده شده است.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی خاک مزرعه و ورمی کمپوست مورد استفاده در این پژوهش

Table 1 Physicochemical properties of field soil and vermicompost used in this research

Properties	Unit	Soil depth		Vermicompost
		(0-30 cm)	30-60 cm	
Texture	-	clay loam	clay	-
Sand	%	42.84	27.55	-
Clay	%	41.28	32.24	-
Silt	%	15.88	40.21	-
Field Capacity	%	34	34	-
Electrical Conductivity	dS/m	0.49	0.52	1.12
Acidity	-	7.62	7.83	7.95
Nitrogen	%	0.08	0.05	0.9
Available Potassium	mg/kg	320	309	1.52
Available Iron	mg/kg	2/2	2.4	0.55
Available Phosphorus	mg/kg	13.5	15.5	0.76
Organic Carbon	%	0.76	0.74	16.99
Lime	%	0.98	1.16	-

۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵٪ آبی گیاه محصول کینوا و فاکتور فرعی شامل ۴ سطح کود ورمی کمپوست F_1, F_2, F_3 و F_4 به ترتیب برابر صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ ton/ha بود. طول و عرض کرت‌های فرعی طرح به ترتیب برابر با ۴ و ۳ m بود. رقم کینوا مورد

افزایش ۱۱ و ۱۸٪ عملکرد دانه در مقایسه با تیمار عدم کاربرد کود در شرایط تنش کم‌آبی و آبیاری کامل برای گیاه کینوا شد (Hirich et al. 2014). Rathore and Kumar (2021) اثر سطوح مختلف ورمی کمپوست بر عملکرد و اجزای عملکرد محصول کینوا در کشور هند مورد بررسی قرار دادند و گزارش کردند که کاربرد ۵ ton/ha ورمی کمپوست باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته، عملکرد دانه، اجزای عملکرد، کیفیت دانه در مقایسه با تیمار شاهد (عدم کاربرد کود ورمی-کمپوست) گردید. نتایج تحقیق Soltanzadeh et al. (2021) تأثیر کودهای شیمیایی و سطوح مختلف ورمی کمپوست بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه کینوا را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که اثر ورمی کمپوست بر صفات مورفولوژیکی مانند ارتفاع بوته، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، وزن هزار دانه و شاخص برداشت معنی‌دار شد.

پژوهش‌های کمی در رابطه با میزان نیاز آبی و کودی کینوا انجام شده است. لذا، این پژوهش با هدف تعیین مقدار بهینه

۲-۳- طرح آزمایش‌ها

این پژوهش به صورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتور اصلی طرح شامل ۴ سطح آبیاری I_1, I_2, I_3 و I_4 به ترتیب معادل

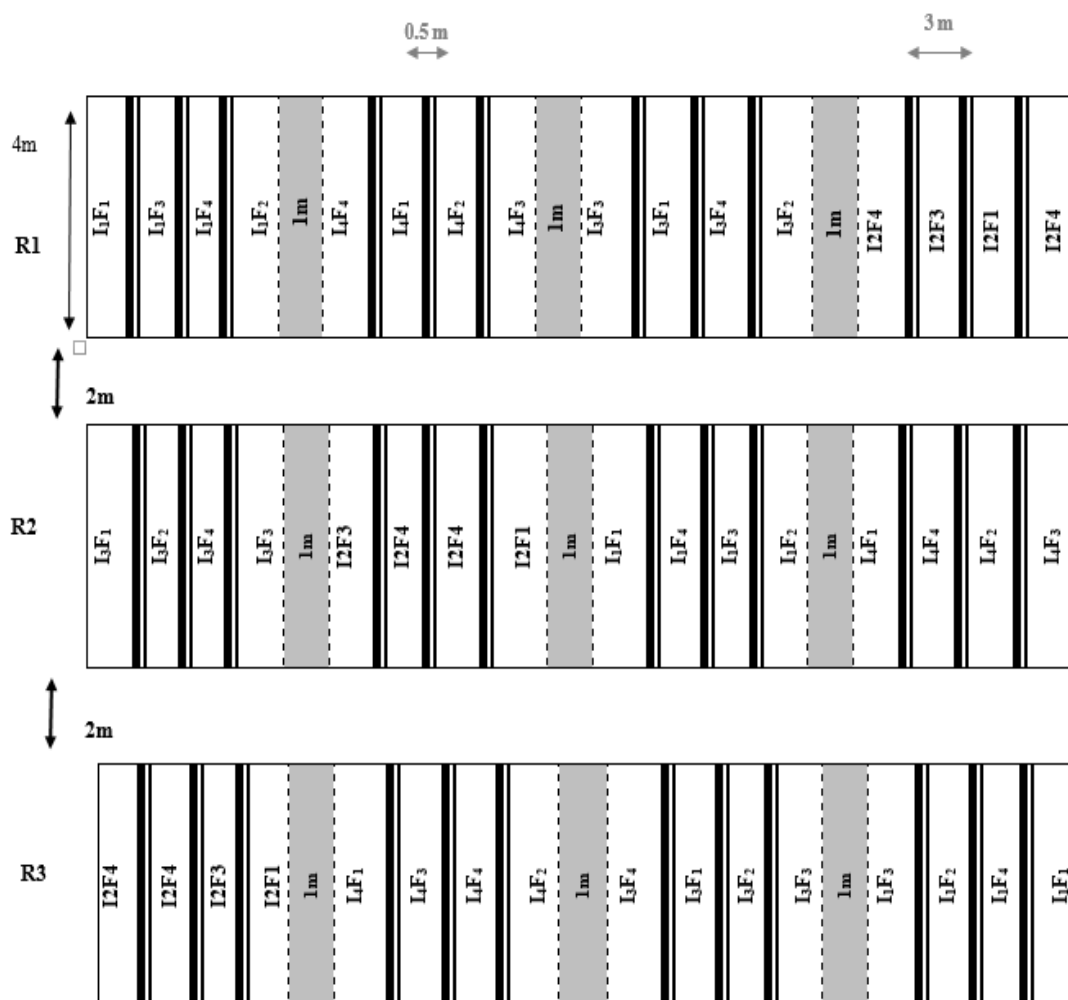
گرفت. در شکل (۱) شمایی از طرح آزمایشی و نحوه قرارگیری تیمارها و تکرارهای آن در مزرعه آورده شده است.

جدول ۲- برخی ویژگی‌های کیفی آب آبیاری

Table 2 Some quality characteristics of irrigation water

Properties	unit	Value
Electrical conductivity	dSm ⁻¹	0.35
Acidity	-	7.50
Total soluble salts	meq/lit	298.75
Sodium absorption ratio	meq/lit	0.756
Sodium	meq/lit	0.52
Calcium	meq/lit	2.80
Magnesium	meq/lit	1.20
Sulphate	meq/lit	0.09
Chlorine	meq/lit	0.50
Carbonate	meq/lit	0.00
Bicarbonate	meq/lit	5.23

کشت در این پژوهش، رقم زودرس تیتی کاکا (Titicaca) تهیه شده در مرکز تحقیقات بذر جهاد کشاورزی استان کردستان بود. این رقم سازگار با کشت در مناطق کوهستانی می‌باشد (Alvar-Beltran et al. 2019). در این پژوهش، ابتدا زمین محل آزمایش‌ها به وسیله گاواهن برگردان‌دار تا عمق ۳۰ cm شخم زده شد. پیش از کاشت بذر، برای خرد کردن کلوخه‌ها و تسطیح زمین از دیسک و ماله استفاده شد. پس از شخم و پیاده‌سازی نقشه کرت‌های آزمایشی، میزان ورمی کمپوست محاسبه شده برای هر کرت، توزین و به وسیله تیلر دستی تا عمق ۳۰ cm با خاک مزرعه مخلوط شد. در هر کرت فرعی، ۶ ردیف کشت با فاصله ۵۰ cm از همدیگر کشت شد. کشت بذر کینوا در اوایل تیرماه و به صورت دستی صورت



شکل ۱- شمایی از طرح آزمایشی و قرارگیری تیمارها و تکرارهای آن

Fig 1 Schematic of the experimental design and locations of treatments and its replications

جدول ۳- عمق آب آبیاری مؤثر و عمق آب مصرفی در انتهای فصل رشد کینوا

Table 3 Depth of effective irrigation water and depth of consumed water at the end of the Quinoa growing season

Treatment	Irrigation water (mm)	Deep Percolation (%)	Water consumed (mm)
I ₁ F ₁	220	11	209
I ₁ F ₂	216	20	196
I ₁ F ₃	209	16	193
I ₁ F ₄	198	8	190
I ₂ F ₁	317	22	295
I ₂ F ₂	313	17	296
I ₂ F ₃	300	15	285
I ₂ F ₄	292	10	282
I ₃ F ₁	417	35	382
I ₃ F ₂	408	27	381
I ₃ F ₃	403	25	378
I ₃ F ₄	401	28	373
I ₄ F ₁	518	42	476
I ₄ F ₂	512	35	477
I ₄ F ₃	506	33	473
I ₄ F ₄	491	26	465

۴-۲- مشخصات سامانه آبیاری

روش آبیاری مورد استفاده در این پژوهش از نوع سامانه آبیاری قطره‌ای-نواری بود. ضخامت نوارهای مورد استفاده ۱۷۵ میکرون، فاصله سوراخ‌های آبد ۲۰ cm، فشار کارکرد برابر ۰/۷ bar و آبدهی برابر ۴ l/hr بود. فاصله نوارهای آبیاری در هر کرت برابر ۵۰ cm بود. میزان آب آبیاری به‌وسیله یک کنتور حجمی تعبیه شده روی لوله اصلی اندازه‌گیری شد. علاوه بر این، برای کنترل و تنظیم میزان آب آبیاری ورودی به هر کرت، شیرهای قطع و وصل در ابتدای لوله لاترال نصب شد. قطر لوله اصلی، آب‌رسان و نوارهای آبیاری به ترتیب برابر ۵۶، ۳۲ و ۵۰ mm در نظر گرفته شد. برای تعیین عمق آب آبیاری از روش بیلان رطوبتی خاک استفاده شد. برای اندازه‌گیری نیاز آبی گیاه و عمق آب آبیاری، یک روز پیش از هر آبیاری، پایش رطوبت ناحیه توسعه ریشه در کرت شاهد عمق آب آبیاری برابر ۱۰۰٪ نیاز آبی و بدون کاربرد ورمی-کمپوست به روش وزنی صورت پذیرفت. عمق آب آبیاری از رابطه (۱) محاسبه شد (Xu et al. 2016).

$$I_g = R_{eff} + (\theta_{fc} - \theta_f) \times D_r / \eta \quad (1)$$

که، I_g ، عمق ناخالص آبیاری در هر بار آبیاری برحسب (mm)، R_{eff} : بارندگی مؤثر در حد دو فاصل آبیاری بر حسب (mm)، θ_{fc} : رطوبت حجمی خاک در حد ظرفیت زراعی بر حسب (%)، θ_f : رطوبت حجمی خاک قبل از آبیاری بر حسب (%)، D_r : عمق توسعه ریشه بر حسب (mm) و η راندمان سامانه آبیاری قطره‌ای (سطحی و زیرسطحی) که برابر ۹۰٪ در نظر گرفته شد. درصد حجمی رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی نیز در مزرعه و با احداث کرتی به مساحت ۱ m² اندازه‌گیری شد (Daillo and Marico 2013). در این پژوهش عمق آب آبیاری مؤثر ناحیه ریشه گیاه از طریق کسر مقدار تلفات نفوذ عمقی از عمق ناخالص آب آبیاری محاسبه گردید. میزان بارندگی مؤثر نیز از روش اداره حفاظت خاک آمریکا به‌دست آمد. مقادیر عمق آب آبیاری، نفوذ عمقی و عمق آب آبیاری مؤثر در تیمارهای مختلف در جدول (۳) نمایش داده شده است.

۴-۲- نمونه‌برداری و اندازه‌گیری متغیرها

در این پژوهش مقدار عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه در انتهای فصل رشد اندازه‌گیری شد. برای این منظور، پس از حذف اثرات حاشیه‌ای هر کرت، اندام هوایی گیاه برداشت شد. برای محاسبه میزان کارایی مصرف آب آبیاری ($IWUE^1$)، بهره‌وری آب و شاخص برداشت که عبارت است از نسبت جزء قابل فروش (دانه) به کل وزن خشک (عملکرد بیولوژیک)، به ترتیب از روابط (۲) تا (۴) استفاده شد (Xu et al. 2016).

$$IWUE = Y / I_w \quad (2)$$

$$wp = \frac{Y}{P_e + i_{we}} \quad (3)$$

$$HI = \frac{GY}{BY} \quad (4)$$

که، $IWUE$: کارایی مصرف آب آبیاری بر حسب kg/m³، Y : عملکرد بر حسب kg/ha، Wp : بهره‌وری مصرف آب بر حسب kg/m³، Y : عملکرد بر حسب kg/ha، P_e : بارندگی مؤثر بر حسب mm³/ha، i_e : میزان آب آبیاری مؤثر فصل رشد بر حسب mm³/ha، HI : عبارت است از نسبت عملکرد اقتصادی (عملکرد

¹Water Use Efficiency Irrigation

برداشت در جدول (۴) نشان داده شده است. نتایج مندرج در جدول (۴) نشان می‌دهد که اثر سطوح آبیاری و اثر سطوح کود ورمی کمپوست بر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک شاخص بهره‌وری آب مصرفی و کارایی مصرف آب آبیاری، در سطح یک درصد معنی‌دار بوده است. همچنین سطوح آبیاری بر شاخص برداشت در سطح پنج درصد اثر معنی‌داری داشت. اثر متقابل سطوح آبیاری و کود ورمی کمپوست نیز بر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در سطح یک درصد معنی‌دار می‌باشد.

دانه، GY) بر عملکرد بیولوژیک (وزن خشک کل، BY) بر حسب kg/ha (Xu et al. 2016).

۲-۶- تحلیل داده‌ها

تحلیل داده‌های به‌دست آمده به‌وسیله نرم‌افزار SAS9.1 انجام شد. برای مقایسه میانگین تیمارها از آزمون ^۱LSD استفاده شد. همچنین رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

۳- یافته‌ها و بحث

نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بر عملکرد دانه و بیولوژیک، بهره‌وری آب مصرفی، کارایی مصرف آب و شاخص

جدول ۴- تحلیل واریانس اثر سطوح آبیاری و کود ورمی کمپوست بر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص بهره‌وری آب مصرفی، کارایی مصرف آب آبیاری و شاخص برداشت

Table 4 Variance analysis of the effect of irrigation levels and vermicompost fertilizer on grain yield, biological yield, water efficiency index, irrigation water efficiency and harvest index

ANOVA	df	Seed Yield (kg/ha)	Biological Yield (kg/ha)	Water Productivity (kg/m ³)	Irrigation Water Use Efficiency (kg/m ³)	Harvest Index (%)
Replication	2	8924.86 ^{ns}	206634.36 ^{ns}	0.0025 ^{ns}	0.0025 ^{ns}	11.24 ^{ns}
Irrigation (I)	3	301995.32**	1643836.52**	0.03**	0.02927**	29.05*
Error 1	6	9602.69	58546.68	0.001	0.0013	11.09
Vermicompost (V)	3	223492.28**	1046225.31**	0.035**	0.0357**	11.14
I × V	9	20561.08*	129455.31**	0.002 ^{ns}	0.0017 ^{ns}	33.42 ^{ns}
Error 2	24	7954.74	24170.77	24166.8	0.0018	8.35
CV%		5.41	3.85	9.34	9.32	7.07

ns غیر معنی‌دار، * و ** به ترتیب معنی‌دار سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشند.

ns: non-significant, *: significant at $P \leq 0.05$, **: significant at $P \leq 0.01$, respectively

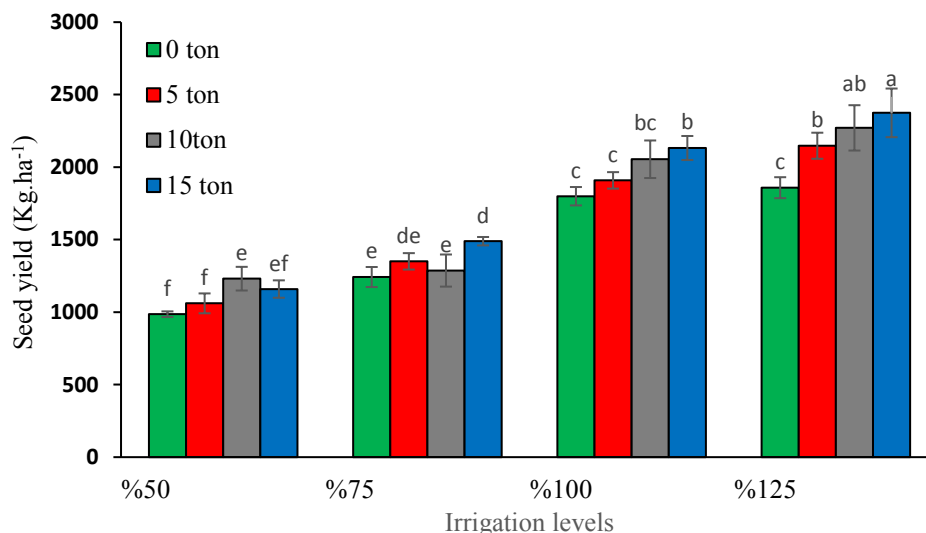
Soltanzadeh et al. این نتیجه می‌تواند به دلیل جذب

بهتر مواد معدنی به دلیل وجود رطوبت کافی در خاک و انتقال بهتر ترکیبات بهبود دهنده فتوسنتز از خاک به گیاه و در نتیجه رشد رویشی بهتر به‌ویژه در مراحل پر شدن دانه باشد (Praveen et al. 2018). از سوی دیگر کود ورمی کمپوست دارای میزان بالایی از مواد غذایی مورد نیاز گیاه می‌باشد که این امر نیز باعث بهبود قابلیت دسترسی گیاه به مواد غذایی در سطوح بالاتر آبیاری و به تبع آن سبب افزایش عملکرد دانه کینوا شود (Alvar-Beltran et al. 2019).

۳-۱- عملکرد دانه

نتایج مقایسه میانگین مربوط به اثر متقابل سطوح مختلف آب آبیاری و ورمی کمپوست بر عملکرد دانه در شکل (۳) نشان داده شده است. نتایج نشان داد که با افزایش سطوح آبیاری و کود ورمی کمپوست عملکرد دانه افزایش می‌یابد. بررسی داده‌های حاصل از آزمایش حاکی از برتری تیمار ۱۲۵٪ نیاز آبی گیاه و ۱۵ ton/ha ورمی کمپوست با عملکردی برابر با kg/ha ۲۳۷۵ بود. کمترین عملکرد دانه نیز در تیمار ۵۰٪ نیاز آبی گیاه و بدون کاربرد ورمی کمپوست kg/ha ۹۵۹ به دست آمد. نتایج حاصل از تحقیق حاضر همسو با تحقیقات (2021)

¹Least Significant Difference



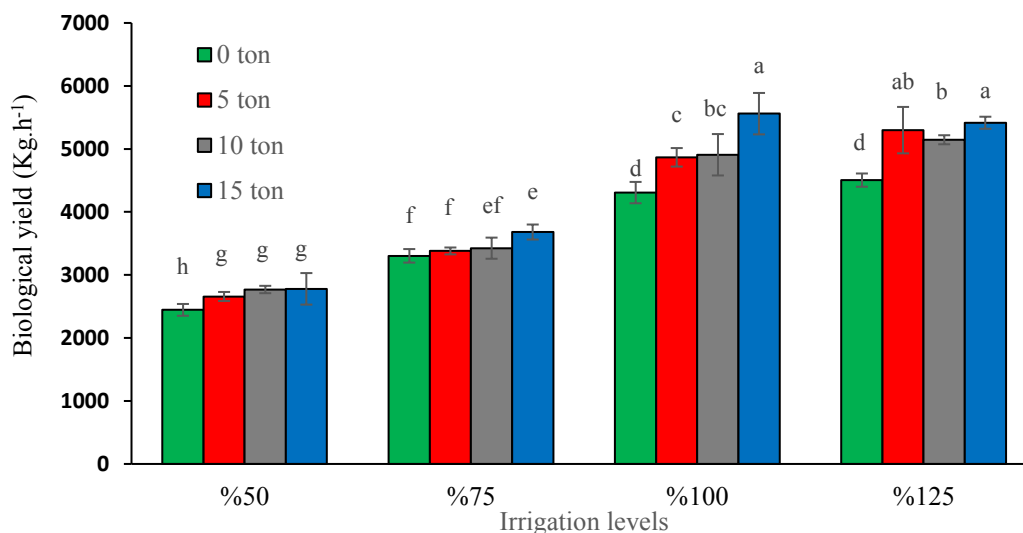
شکل ۳- نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارها بر عملکرد دانه کینوا

Fig. 3 Results of mean comparison related to the interaction of treatments on the Quinoa seed yield

افزایش عملکرد بیولوژیک ناشی از کاربرد کود ورمی کمپوست در تیمارهای دارای تنش آبی نشان دهنده این امر می باشد که در شرایط کم آبیاری، وجود ماده آلی قابل توجه در خاک تا حدود اثرات ناشی از تنش آبی را خنثی می نماید. زیرا مواد آلی، ظرفیت نگهداری آب در خاک را بهبود می بخشد و دسترسی به آب و مواد مغذی برای گیاه را افزایش می دهد (Wesseling et al. 2019). لذا کاربرد میزان مناسب کود آلی در شرایط کم آبیاری می تواند راهکاری مؤثر در جهت حصول عملکرد و بهره وری بالاتر در شرایط کم آبیاری و محدودیت آب باشد.

۳-۲- عملکرد بیولوژیک

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف آب آبیاری و ورمی کمپوست بر عملکرد بیولوژیک کینوا نشان داد، بیشترین عملکرد بیولوژیک کینوا در تیمار ترکیبی ۱۵ ton/ha ورمی کمپوست و ۱۰۰٪ نیاز آبی حاصل شد (شکل ۴). این نتیجه همسو با نتایج پژوهشی در خصوص افزایش قابل توجه تولید عملکرد بیولوژیک با افزایش میزان کود ورمی کمپوست کاربردی در سطوح آبیاری کامل معادل ۱۰۰٪ نیاز آبی گیاه و تنش آبی ۵۰٪ نیاز آبی گیاه می باشد (Hirich et al. 2014).



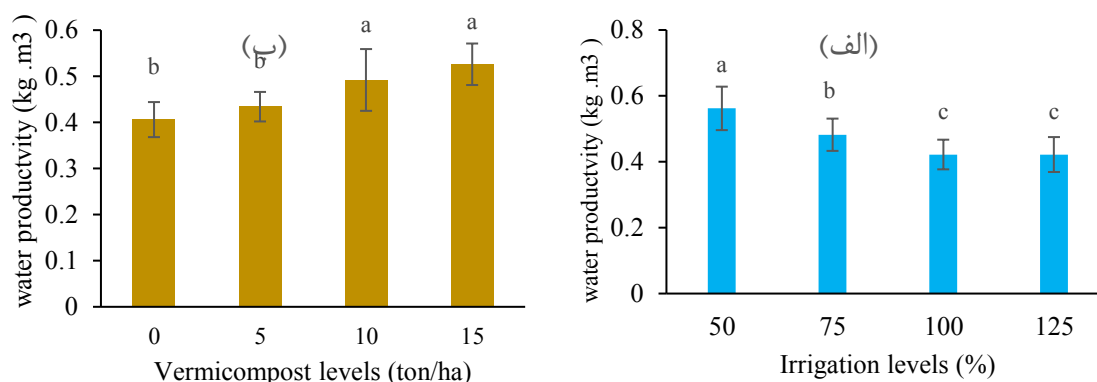
شکل ۴- نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارها بر عملکرد بیولوژیک کینوا

Fig. 4 Results of mean comparison related to the interaction of treatments on the Quinoa biological yield

۳-۳- بهره‌وری آب مصرفی

شکل (۵-الف) بیانگر این مطلب است که با کاهش عمق آب آبیاری، میزان بهره‌وری محصول کینوا افزایش می‌یابد. این نتایج نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌دار بین اثر تیمارهای آبیاری ۵۰ و ۷۵٪ نیاز آبی بر بهره‌وری آب محصول کینوا وجود دارد. حال آنکه اختلاف بین تیمارهای آبیاری ۱۰۰ و ۱۲۵٪ نیاز آبی معنی‌دار نیست. این یافته در هماهنگی با نتایج به دست آمده توسط Topak et al. (2016) می‌باشد. این پژوهشگران گزارش نمودند با افزایش عمق آب آبیاری، میزان بهره‌وری آب محصول کینوا افزایش یافت. کاهش رطوبت موجود در خاک باعث کاهش هدایت روزنه برگ‌ها می‌شود این مسئله نشان می‌دهد که بهبود شاخص بهره‌وری مصرف آب ناشی از بسته شدن روزنه برگ می‌باشد (Pantani et al. 2017).

مشاهده شکل (۵-ب) این نکته را بیان می‌کند که با افزایش میزان کود ورمی کمپوست میزان بهره‌وری آب آبیاری افزایش می‌یابد. به بیانی دیگر افزایش کارایی مصرف آب با تأمین نیاز غذایی و کودی گیاه افزایش می‌یابد. این نتیجه می‌تواند ناشی از بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک توسط ورمی کمپوست و به تبع آن افزایش کمی و کیفی ویژگی‌های رشدی گیاه باشد. چرا که با بهبود کیفیت خاک و وضعیت تغذیه‌ای گیاه میزان رشد و ریشه‌دوانی گیاه در خاک بیشتر شده و گیاه به حجم بیشتری از خاک برای تأمین آب خود دسترسی دارد. از طرفی با افزایش حجم اندام فتوسنتز کننده گیاه و افزایش طول دوره رشد آن میزان بهره‌وری آب را افزایش می‌دهد (Khosravi Shakib et al. 2019).

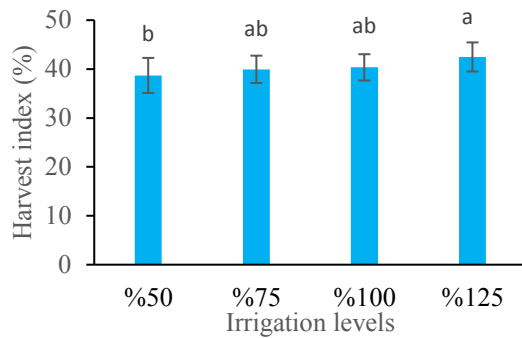


شکل ۵- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف: الف- سطوح آبیاری و ب- ورمی کمپوست بر شاخص بهره‌وری آب مصرفی
Fig. 5 The result of the comparison of the average effect of different levels of: a) irrigation and b) vormicompost levels on the water productivity efficiency index

۳-۴- شاخص کارایی مصرف آب

نتایج مقایسه میانگین اثر مستقل کاربرد ورمی کمپوست و سطوح مختلف آبیاری بر شاخص کارایی مصرف آب در شکل (۶) ارائه شده است. با کاهش عمق آب آبیاری و افزایش کود ورمی کمپوست مصرفی، میزان کارایی مصرف آب آبیاری افزایش یافت. نتایج سایر پژوهش‌ها نیز نشان می‌دهد که کم آبیاری سبب بهبود شاخص کارایی مصرف آب محصول کینوا خواهد شد. میزان میانگین کارایی مصرف آب برای محصول کینوا رقم تی‌تی‌کاکا برابر 0.53 kg/m^3 آب آبیاری گزارش شده است (Alvar-Beltran et al. 2019). کم آبیاری تنظیم شده، باعث افزایش کارایی مصرف آب گیاه شده اما در کاهش میزان عملکرد محصول اثر کمی دارد. افزایش کارایی مصرف

آب از طریق تنظیم دقیق بازشدگی روزنه‌های برگ صورت می‌گیرد، زیرا گیاهان روزنه‌های خود را برای جذب دی اکسیدکربن باز می‌کنند و در همان زمان آب از دست می‌دهند در نتیجه، تولید زیست‌توده ممکن است کاهش یابد، زیرا تبادل گاز به دلیل بسته شدن روزنه باعث صرفه‌جویی در آب می‌شود (Pantani et al. 2017). کاربرد ورمی کمپوست، هدایت هیدرولیکی خاک، رطوبت در نقطه پژمردگی دائم و ظرفیت زراعی خاک را بهبود داده و باعث افزایش معنی‌دار گنجایش رطوبتی و رطوبت در دسترس خاک می‌گردد. بدین ترتیب گیاه می‌تواند آب بیشتری جذب نموده و عملکرد و کارایی مصرف آب بالاتری را به دست دهد (Mirzaei and Ghamarnia 2017).



شکل ۷- نتایج مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف سطوح آبیاری بر شاخص برداشت

Fig. 9 Comparison results of the average effect of different levels of irrigation levels on harvest index

نتایج پژوهش‌های Tabiei et al. (2022) در مورد بررسی اثر آبیاری و مدیریت تغذیه بر عملکرد و اجزای عملکرد کینوا نیز نشان داد که شاخص برداشت تحت تأثیر تیمار آبیاری قرار نگرفت اما کاربرد سطوح مختلف کود ورمی کمپوست موجب افزایش شاخص برداشت شد که این نتیجه مغایر با نتیجه حاصل از آزمایش حاضر می‌باشد.

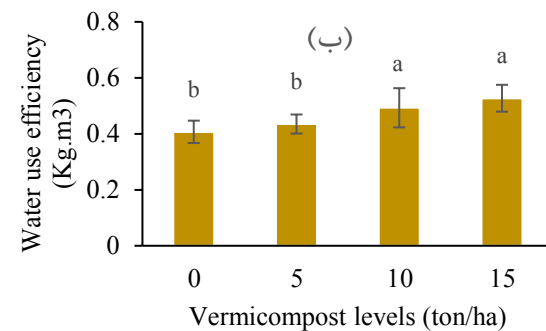
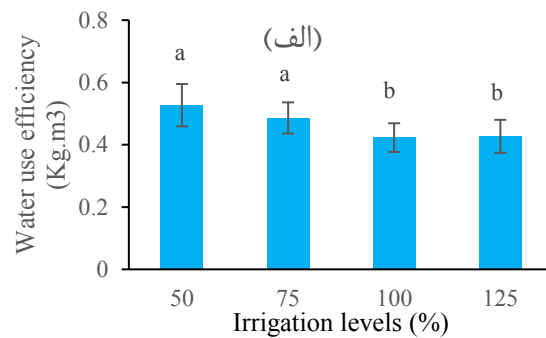
۴- نتیجه‌گیری

۱- حداکثر عملکرد دانه $2357/5 \text{ kg/h}$ و عملکرد بیولوژیک $5415/9 \text{ kg/h}$ در تیمار با عمق آب آبیاری ۱۰۰٪ نیاز آبی گیاه و کود ورمی کمپوست به میزان 15 ton/ha به دست آمد.

۲- بیش‌ترین بهره‌وری آب مصرفی 563 kg/m^2 و کارایی مصرف آب 527 kg/m^2 در سطوح کم آبیاری (۵۰ و ۷۵٪ نیاز آبی گیاه) مشاهده شد. حداکثر شاخص برداشت $41/64\%$ و حداقل مقدار آن $38/69\%$ در تیمار با عمق آب آبیاری برابر $125/125\%$ نیاز آبی حاصل گردید.

۳- اعمال عمق آب آبیاری برابر ۱۰۰٪ نیاز آبی و کود ورمی-کمپوست به میزان 15 ton/h منجر به حصول عملکرد قابل قبول (2132 kg/h) و بهره‌وری آب مصرفی بالا (kg/m^2) گردید.

براساس نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان که کشت و کار گیاه کینوا با سطوح آبیاری و کودی مورد آزمایش به کشاورزان سطح استان توصیه گردد.



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف: الف- سطوح آبیاری و ب- ورمی کمپوست بر شاخص کارایی مصرف آب

Fig. 7 The results of comparing the average effect of different levels of: a) irrigation and b) vormicompost levels on the water use efficiency index

۳-۵- شاخص برداشت

بالاترین شاخص برداشت $41/64\%$ در تیمار آبیاری $125/125\%$ نیاز آبی گیاه بود (شکل ۷). همچنین میزان شاخص برداشت در تیمارهای آبیاری ۷۵ و $100/100\%$ نیاز آبی اختلاف معنی‌دار نداشتند. صفت شاخص برداشت نشان دهنده چگونگی توزیع مواد پرورده بین اندام‌های رویشی و دانه گیاه می‌باشد، بنابراین هر عاملی که میزان این توزیع را تغییر دهد، باعث تغییر در شاخص برداشت می‌شود. این روند در نهایت موجب می‌شود که وزن کل بوته نسبت به وزن دانه رشد بیشتر دارد و موجب کاهش شاخص برداشت شود (Djaman and Irmak 2012). نتایج پژوهش Fazeli et al. (2022) نیز نشان داد به دلیل رابطه مستقیم شاخص برداشت با عملکرد اقتصادی و رابطه معکوس آن با عملکرد بیولوژیک، با افزایش عمق آب آبیاری، مقدار شاخص برداشت افزایش پیدا نمود که دلیل آن بیشتر بودن اثر افزایش عمق آب آبیاری بر عملکرد دانه در مقایسه با عملکرد بیولوژیک و اندام‌های هوایی بود.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که، هیچ‌گونه تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

دسترسی به داده‌ها

داده‌های این پژوهش، حسب درخواست، از طریق ایمیل نویسنده مسئول مقاله قابل ارسال می‌باشد.

References

- Adekiya, A. O., & Agbede, T. M. (2017). Effect of methods and time of poultry manure application on soil and leaf nutrient concentrations, growth and fruit yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). *J. Saudi Soc. Agric. Sci.*, 16, 383-388. DOI: [10.9755/EJFA.V21I1.5154](https://doi.org/10.9755/EJFA.V21I1.5154)
- Afshar, H., Sharifan, H., Ghahraman, B., & Bannayan, M. (2020). Investigation of wheat water productivity in drip irrigation (tape) (Case study of Mashhad and Torbat Heydariyeh). *Iran. J. Irrig. Drain.*, 14(1), 39-48. DOI: [20.1001.1.20087942.1399.14.1.4.7](https://doi.org/20.1001.1.20087942.1399.14.1.4.7) [In Persian]
- Alvar-Beltran, J., Saturnin, C., Dao, A., Marta, A. D., Sanou, J., & Orlandini, S. (2019). Effect of drought and nitrogen fertilisation on quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under field conditions in Burkina Faso. *Ital. J. Agrometeorol.*, 1, 33-43. DOI: [10.13128/ijam-289](https://doi.org/10.13128/ijam-289)
- Daillo, D., & Marico, A. (2013). Field capacity (FC) and permanent wilty point (PWP) of clay soils developed on quaternary alluvium in niger river loop (Mali). *Int. J. Eng. Res. Ind. Appl.*, 3(1), 1085-1089. DOI: [17998579](https://doi.org/17998579)
- Djaman, K., & Irmak, S. (2012). Soil water extraction patterns and crop, irrigation, and vapor transpiration water use efficiency of maize under full and limited irrigation and rain fed settings. *Trans J ASABE.*, 55(2), 1223-1238. DOI: [10.13031/2013.42262](https://doi.org/10.13031/2013.42262)
- Fazeli, F., Akbari, G. A., Akbari, G. A., & Naderi Arefi, A. (2022). Investigation of the effect of irrigation management on morphological traits, yield and yield components of different genotypes of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Environ. Stress. Crop Sci.*, 15(2), 327-334. DOI: [10.22077/escs.2020.3743.1905](https://doi.org/10.22077/escs.2020.3743.1905) [In Persian]
- Hemalatha, P., Bomzan, D. P., Sathyendra Rao, B.V., & Sreerama, Y. N. (2018). Distribution of phenolic antioxidants in whole and milled fractions of quinoa and their inhibitory effects on a-amylase and aglucosidase activities. *Food Chem.*, 199, 330-338. DOI: [10.1016/j.foodchem.2015.12.025](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.12.025)
- Hirich, A., Choukr-Allah, R., & Jacobsen, S. E. (2014). Deficit irrigation and organic compost improve growth and yield of quinoa and pea. *J. Agron. Crop Sci.*, 200(14), 0931-2250. DOI: [10.1111/jac.12073](https://doi.org/10.1111/jac.12073)
- Jabeen, N., & Ahmad, R. (2019). Growth response and nitrogen metabolism of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to vermicompost and biogas slurry under salinity stress. *J. Plant Nutr.*, 40(1), 104-114. DOI: [10.1080/01904167.2016.1201495](https://doi.org/10.1080/01904167.2016.1201495)
- Khosravi Shakib, A., Rezaei Najad, A., Khandan Mirkohi, A., & Kalate Jari, S. (2019). Vermicompost and Manure Compost Reduce Water – Deficit Stress in Pot Marigold (*Calendula officinalis* L. cv. Candyman Orange). *Compost Sci Util.*, 27(1), 61-68. DOI: [10.1080/1065657X.2019.1602489](https://doi.org/10.1080/1065657X.2019.1602489)
- Mirzaei, H., & Ghamarnia, H. (2017). The concurrent effect of Vermicompost and unconventional water on soil physical properties. *Water Irrig. Manag.*, 7(2), 197-210. DOI: [10.22059/JWIM.2017.239662.555](https://doi.org/10.22059/JWIM.2017.239662.555) [In Persian]
- Mohkami, A., Yazdanpanah, N., & Said nejad, (2021). A The effect of vermicompost and biochar application on morphophysiological characteristics of quinoa under drought stress conditions. *Iran. J. Soil Water Res.*, 53(1), 129-140. DOI: [10.22059/ijswr.2021.329540.669058](https://doi.org/10.22059/ijswr.2021.329540.669058) [In Persian]
- Pantani, C., La Rosa, S., Pellegrino, A., Sortino, O., & Saita, A. (2017). Water productivity and yield response factor in two cultivars of processing tomato as affected by deficit irrigation under semi-arid climate conditions. *Acta Hort.*, 1038, 449-454. DOI: [10.17660/ActaHortic.2014.1038.55](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1038.55)

- Praveen Kadam, V., Suneetha Devi, K. B., Hussain, S. A., & Uma Devi, M. (2018). Growth, yield attributes, yield and economics of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as influenced by variable irrigation water supply through drip and surface methods. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.*, 7, 2319-7706. [10.20546/ijcmas.2018.707.398](https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.707.398)
- Rathore, Sh., & Kumar, R. (2021). Vermicompost fertilization and pinching improves the growth, yield, and quality of super food (*Chenopodium quinoa* Willd.) in the western Himalaya. *Acta Physiol. Plant.*, 43(2), 234-251. DOI: [10.1007/s11738-020-03184-z](https://doi.org/10.1007/s11738-020-03184-z)
- Rezvani, H., Fazeli Khaki, F., & Khazaeian, R. (2021). The Effect of Different Levels of Vermicompost and Urea on Quantitative and Qualitative Characteristics of Sesame in Field Condition in Gorgan. *Agri. Sci. Sustain. Product.*, 31 (3), 341-356. DOI: [10.22034/SAPS.2021.41869.2550](https://doi.org/10.22034/SAPS.2021.41869.2550) [In Persian]
- Saeedi, M., Fathi, P., & Kouchakzadeh, M. (2022). Effect of irrigation water on water productivity and yield of winter wheat under surface and subsurface drip irrigation. *Environ. Water Eng.*, 8(1), 192-204 [In Persian]. DOI: [10.22034/jewe.2021.292016.1587](https://doi.org/10.22034/jewe.2021.292016.1587)
- Soltanzadeh, A., Ghanbari, A., Seyedabadi, E., & Dahmardeh, M. (2021). Effects of chemical fertilizers and vermicompost on morphological and chemical characteristics of quinoa (*chenopodium quinoa*). *J. Crop Improv.*, 24(5), 24-35. DOI: [10.22059/JCI.2021.323005.2546](https://doi.org/10.22059/JCI.2021.323005.2546) [In Persian]
- Tabiei, H., Baradan, R., Seghatoleslami, M. J., & Mousavi, S. Gh. (2022). Effect of Irrigation and Nutrition Management on Yield and Yield Components of Quinoa in Birjand Conditions. *Iran. J. Field Crops Res.*, 20(1), 65-80. DOI: [10.22067/jcsc.2021.69421.1036](https://doi.org/10.22067/jcsc.2021.69421.1036) [In Persian]
- Topak, R., Acar, B., Uyanöz, R., & Ceyhan, E. (2016). Performance of partial root-zone drip irrigation for sugar beet production in a semi-arid area. *Agri. Water Manag.*, 176, 180-190. DOI: [10.1016/j.agwat.2016.06.004](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.06.004)
- Wesseling, J., C. Stoof, C. Ritsema, K. Oostindie., & Dekker, L. (2019). The effect of soil texture and organic amendment on the hydrological behaviour of coarse textured soils. *Soil Use Manag.*, 25, 274-283. DOI: [10.1111/j.1475-2743.2009.00224.x](https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2009.00224.x)
- Xu, X., He, P., Pampolino, M.F., Li, Y., Liu, S., Xie, J., Hou, Y., & Zhou, W. (2016). Narrowing yield gaps and increasing nutrient use efficiencies using the Nutrient Expert system for maize in Northeast China. *Field Crop. Res.*, 194, 75-82. DOI: [10.1016/j.fcr.2016.05.005](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.05.005)