



Effect of deficit irrigation on quinoa performance and water use efficiency in greenhouse conditions

Yazdan Mohamadi¹ | Houshang Ghamarnia² | Mehdi Jovzi³

1. Department of Water Engineering, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: mohamadi.yazdan@razi.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Water Engineering, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: hghamarnia@razi.ac.ir
3. Soil and Water Research Department, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Kermanshah, Iran. E-mail: m.jovzi@areeo.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received 24 December 2024
Received in revised form
19 January 2025
Accepted 8 March 2025
Published online 11 October 2025

Keywords:

Biological yield
Grain yield
Harvest index
Kermanshah

ABSTRACT

This study examined the effects of different levels of deficit irrigation on the performance and plant parameters of quinoa in the research greenhouse of the College of Agriculture and Natural Resources, Razi University, over two cropping years (2018 and 2019). The experiment was conducted using a randomized complete block design with five replications. The treatments included irrigation levels of 40%, 60%, 80%, and 100% (control) of the calculated water requirement based on Class A evaporation pan. The results showed that deficit irrigation had a significant effect (at a 1% probability level) on plant height, biological yield, thousand-seed weight, peduncle length, number of lateral branches, root dry weight, and harvest index. Additionally, the results indicated that as the deficit irrigation percentage increased, grain yield and biological yield decreased. For the irrigation levels of 100%, 80%, 60%, and 40%, the two-year average biological yields were 7445.5, 7316, 6410, and 5333 kg/ha, respectively, while the grain yields were 2068.14, 2026.56, 1987.47, and 1874.45 kg/ha, respectively. Moreover, water use efficiency based on biological yield for the mentioned irrigation levels was 0.55, 0.67, 0.88, and 1.23 kg/m³, respectively, and based on grain yield, it was 1.98, 2.43, 2.83, and 3.53 kg/m³, respectively. The overall results of this study suggest that applying deficit irrigation at 80% of the water requirement can achieve significant improvements in water use efficiency without noticeable reductions in grain and biological yields, making quinoa a suitable crop for cultivation in arid and semi-arid regions.

Cite this article: Mohamadi, Y., Ghamarnia, H., & Jovzi, M. (2025). Effect of deficit irrigation on quinoa performance and water use efficiency in greenhouse conditions. *Journal of Water and Irrigation Management*, 15 (2), 207-219.

DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2025.387260.1195>



© The Author(s).

DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2025.387260.1195>

Publisher: University of Tehran Press.



تأثیر کم آبیاری بر عملکرد و کارایی مصرف آب گیاه کینوا در شرایط گلخانه

یزدان محمدی^۱ | هوشنگ قمرنیا^۲ | مهدی جوزی^۳

۱. گروه مهندسی آب، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: mohamadi.yazdan@razi.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی آب، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: hghamarnia@razi.ac.ir

۳. بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: m.jovzi@areeo.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۰۴

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۰/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۱۸

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۷/۱۹

کلیدواژه‌ها:

شاخص برداشت

عملکرد بیولوژیک

عملکرد دانه

کرمانشاه

در این مطالعه به بررسی تأثیر سطوح مختلف کم آبیاری بر عملکرد و پارامترهای گیاهی محصول کینوا در گلخانه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی در دو سال زراعی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ پرداخته شد. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با پنج تکرار اجرا شد. تیمارهای اعمال شده شامل سطوح ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ (تیمار شاهد) درصد نیاز آبی محاسبه شده با تست تبخیر کلاس A بود. نتایج نشان داد اثر کم آبیاری بر روی صفات ارتفاع بوته، عملکرد بیولوژیک، وزن هزاردانه، طول پدانکل، تعداد شاخه جانبی، وزن خشک ریشه و شاخص برداشت در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد. همچنین، نتایج نشان داد با افزایش درصد کم آبیاری، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک کاهش می‌یابند. برای سطوح آبیاری ۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد میانگین دو ساله عملکرد بیولوژیک به ترتیب ۷۴۴۵/۵، ۷۳۱۶، ۶۴۱۰ و ۵۳۳۳ و عملکرد دانه ۲۰۶۸/۱۴، ۲۰۲۶/۵۶، ۱۹۸۷/۴۷ و ۱۸۷۴/۴۵ کیلوگرم بر هکتار شد. همچنین کارایی مصرف آب براساس عملکرد بیولوژیک برای سطوح آبیاری مذکور به ترتیب ۰/۵۵، ۰/۶۷، ۰/۸۸ و ۱/۲۳ و براساس عملکرد دانه ۱/۹۸، ۲/۴۳، ۲/۸۳ و ۳/۵۳ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد. نتایج کلی این پژوهش نشان داد که می‌توان با اجرای کم آبیاری به میزان ۸۰ درصد نیاز آبی، بدون کاهش محسوس در عملکرد دانه و بیولوژیک و با افزایش معنی دار کارایی مصرف آب از این محصول به منظور کشت در مناطق خشک و نیمه خشک استفاده نمود.

استناد: محمدی، یزدان؛ قمرنیا، هوشنگ و جوزی، مهدی (۱۴۰۴). تأثیر کم آبیاری بر عملکرد و کارایی مصرف آب گیاه کینوا در شرایط گلخانه. نشریه

مدیریت آب و آبیاری، ۱۵ (۲)، ۲۱۹-۲۰۷. DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2025.387260.1195>



۱. مقدمه

ایران به دلیل قرار گرفتن در کمربند خشک و نیمه‌خشک جهان از جمله کشورهایی است که با محدودیت منابع آبی روبه‌رو است. بررسی‌های وضعیت بارش ایران در ۵۰ سال گذشته نشان می‌دهد که حجم بارش روند نزولی داشته است. به دلیل اضافه‌برداری صورت گرفته از منابع آب زیرزمینی در سطح کشور، از مجموع ۶۰۹ محدوده مطالعاتی، تنها ۱۸۹ محدوده آزاد بوده و مابقی یعنی ۴۲۰ محدوده به‌عنوان دشت‌های ممنوعه و ممنوعه بحرانی دسته‌بندی شده‌اند (Asadi and Abdolmanafi, 2022). بررسی‌ها نشان می‌دهد بخش کشاورزی بیش‌ترین مصرف‌کننده آب است. سهم برداشت آب مصرفی در بخش کشاورزی در دنیا ۶۹ درصد و در ایران ۹۲ درصد است (Marzban et al., 2019). لذا می‌توان گفت احتمال رخداد بحران شدید آب در ایران بسیار زیاد است که این مسئله امنیت اقتصادی، اجتماعی و بحران مربوط به امنیت غذایی را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد (Ghafarimoghadam et al., 2021). حفاظت از آب و استفاده کارآمد از آب بخش مهمی از توسعه پایدار کشاورزی است (Bai et al., 2023). در واقع بحران و محدودیت منابع آب سبب تغییر نحوه عملیات کشاورزی و الگوی کشت شده که این مسئله سبب کاهش عملکرد تولید در مناطق خشک و نیمه‌خشک و در نتیجه کاهش درآمد کشاورزان و سودآوری محصولات زراعی می‌شود. لذا، امروزه مدیریت آب در این بخش نقش مهمی را در مصرف منابع آب کشور ایفا می‌کند. در این راستا یافتن راه کارهای مناسب جهت مصرف آب امری ضروری است (Nezamia et al., 2008; Pasban Eslam, 2011; Ehsany et al., 2019). گزینه‌های استراتژیکی موردنیاز به‌منظور دستیابی به کشاورزی پایدار شامل الگوهای کشت جایگزین (کشت محصولات کم‌مصرف آب)، برنامه‌ریزی آبیاری و توسعه انواع محصولات مقاوم به تنش خشکی است (Qadir et al., 2003). کم‌آبیاری به‌عنوان یکی از گزینه‌های استراتژیک در برابر خشک‌سالی به‌منظور کاهش مصرف آب و در عین حال به حداقل رساندن اثرات نامطلوب بر عملکرد گیاه در مناطق خشک و نیمه‌خشک پیشنهاد می‌شود (English and Nakamura, 1989; English and Raja, 1996; Mugabe and Nyakatawa, 2000; Mao et al., 2003; Panda et al., 2003; Zhang et al., 2004; Talebnejad et al., 2022). چنانچه میزان آب مصرفی زیاد و دور آبیاری کمتر از حد معمول باشد، تبخیر از سطح خاک افزایش یافته و راندمان مصرف آب نیز کاهش می‌یابد. انتخاب گیاه مناسب و تنظیم دور آبیاری از مهم‌ترین عواملی هستند که مدیریت و برنامه‌ریزی کم‌آبیاری مزارع را تعیین می‌کنند (Tavakkol Afshari et al., 2023). با توجه به موارد گفته‌شده، می‌توان بیان داشت در کشورهای در حال توسعه کشت محصولاتی با آسیب‌پذیری کمتر در برابر تنش‌های محیطی به‌ویژه در دوران خشک‌سالی، می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی کارایی مصرف آب آبیاری را بهبود بخشد. در این راستا محصولاتی مانند کینوا با نام علمی *Chenopodium quinoa* Willd به‌دلیل سازگاری با شرایط نامطلوب محیطی نظیر خشک‌سالی و اکوسیستم‌های مختلف کشاورزی موردتوجه جهانی قرار گرفته است (García-Parra et al., 2020; Choukr-Allah et al., 2016; Talebnejad et al., 2022).

کینوا گیاهی دولپه از خانواده تاج‌خروسیان می‌باشد که به‌دلیل سازگاری با شرایط مختلف اقلیمی نظیر خشک‌سالی یا تنش آبی (Talebnejad and Sepaskhah, 2015a; Talebnejad and Sepaskhah, 2016; Mostafaei et al., 2023)، شوری و یخبندان به‌عنوان یک گیاه در جهت تأمین امنیت غذایی و کاشت در مناطق خشک شناخته شده است (Andreotti et al., 2022; Mostafaei et al., 2023). کینوا از هزاران سال قبل کشت و دانه‌های آن به‌عنوان یک منبع غذایی مهم مورد استفاده قرار می‌گرفته است. در اواسط دهه ۱۹۷۰ کینوا توسط انجمن ملی علوم به‌عنوان یکی از ۲۳ گیاه امیدوارکننده و توصیه‌شده برای مطالعه، با هدف بهبود تغذیه و کیفیت زندگی جمعیت کشورهای در حال توسعه در نظر گرفته شد (Cecilia Araujo Farro, 2008). کینوا از طرف سازمان خواروبار جهانی نیز به‌عنوان یک استراتژی برای امنیت

غذایی دنیا معرفی شده است (Razzaghi *et al.*, 2011). در سال ۲۰۲۰ میزان سطح زیر کشت کینوا ۱۸۸۷۸ هکتار و حجم تولید این محصول، ۱۷۵۱۸۸ تن در جهان بوده است (FAOSTAT, 2020; Mostafaei *et al.*, 2023). در سال‌های اخیر استفاده از گیاه کینوا به‌منظور بررسی تأثیر کم‌آبیاری بر رشد و عملکرد آن، موردتوجه بسیاری از پژوهش‌گران در سراسر جهان قرار گرفته است (Kaya *et al.*, 2015; Talebnejad *et al.*, 2022; Fatemi Kiyan *et al.*, 2022; Mostafaei *et al.*, 2023). پژوهش‌ها نشان داده است تنش خشکی موجب کاهش رشد و عملکرد کینوا می‌شود (Fuentes and Bhargava, 2011). گزارش Stikic *et al.* (2012) نشان داد که کینوا دارای خواص زراعی و پتانسیل غذایی بسیار خوبی حتی در شرایط خشکی و بدون مصرف کود است. در مطالعه آن‌ها عملکرد دانه ۱/۷۲ تن در هکتار و کیفیت دانه خوب با میزان پروتئین در محدوده ۱۵/۱۶ تا ۱۷/۴۱ درصد بود. در پژوهشی Jamali *et al.* (2019) به بررسی تأثیر کم‌آبیاری روی گیاه کینوا رقم Titicaca پرداختند و نتایج آن‌ها نشان داد که کم‌آبیاری منجر به کاهش وزن هزاردانه، ارتفاع بوته، وزن خشک اندام هوایی و ریشه و عملکرد دانه در بوته شد. همچنین بیان داشتند بین تیمارهای ۱۰۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی، تفاوت معنی‌داری در عملکرد مشاهده نشد. همچنین Aly *et al.* (2018) بیان داشتند که با کاهش میزان آب آبیاری گیاه کینوا در شرایط آب‌وهوایی عربستان سعودی، طول ریشه، ارتفاع، وزن تر اندام هوایی، ریشه و عملکرد گیاه کاهش می‌یابد. در پژوهشی Bahadori *et al.* (2022) به بررسی اثر تنش آبی در مراحل مختلف رشد گیاه (سبزی‌نگی، گلدهی و پر کردن دانه) کینوا در شرایط مزرعه‌ای در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد کم‌آبیاری در مراحل مختلف رشد گیاه سبب کاهش پارامترهای هدایت روزنه‌ای، شاخص سطح برگ، پتانسیل آب برگ، عملکرد دانه و بهره‌وری آب و افزایش دمای پوشش سبز گیاه گردید. همچنین Tavakkol Afshari *et al.* (2023) به بررسی اثر تاریخ کاشت (۱۶ تیرماه، دو و ۱۶ مردادماه) و رژیم‌های کم‌آبیاری (دور آبیاری هفت، ۱۴ و ۲۱) بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و عملکرد گیاه کینوا پرداختند. نتایج نشان داد تاریخ کاشت ۱۶ مردادماه همراه با دور آبیاری ۱۴ روز به‌منظور دستیابی به عملکرد مطلوب همراه با کاهش میزان مصرف آب آبیاری در شرایط آب‌وهوایی مشهد مناسب‌ترین سناریو است. در پژوهش دیگری Talebnejad and Sepaskhah (2016) به بررسی اثرات کم‌آبیاری (۵۵، ۸۰ و ۳۰ درصد نیاز آبی) و آب زیرزمینی کم‌عمق شور (۰/۳، ۰/۵۵ و ۰/۸ متر) در لایسمترهای گلخانه‌ای پرداختند و بیان نمودند کاهش ۷۰ درصدی آب آبیاری منجر به کاهش ۳۶ درصد عملکرد دانه کینوا در مقایسه با ماکزیمم عملکرد دانه گردید. نتایج نشان داد شاخص عملکرد دانه نسبت به عملکرد ماده خشک به تنش آبی حساس‌تر است. گزارش Ahmadi *et al.* (2019) نشان داد که کینوا (رقم Q₅) محصولی است که نه‌تنها می‌تواند تنش آبی را تحمل کند، بلکه می‌تواند به‌طور بالقوه رشد کند و عملکرد دانه قابل‌قبولی در مناطق گرم و نیمه‌خشک داشته باشد.

با توجه به بررسی نتایج پژوهش‌های انجام‌شده بر روی گیاه کینوا به‌عنوان یک گیاه مقاوم در مقابل تنش آبی، پژوهشی که بیان‌کننده تأثیر کم‌آبیاری به میزان ۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی بر روی عملکرد دانه و بیولوژیک و کارایی مصرف آب گیاه کینوا براساس این پارامترها در شرایط گلخانه‌ای اجرا نشده بود. لذا، در این پژوهش موضوع در شرایط گلخانه در طی دو سال بررسی گردیده است.

۲. مواد و روش‌ها

۲.۱. مشخصات منطقه مورد مطالعه

این مطالعه در دو سال زراعی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ در گلخانه تحقیقاتی گروه مهندسی آب واقع در پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه در غرب ایران با مختصات جغرافیایی ۴۷ درجه و ۹ دقیقه شرقی و ۳۴ درجه و ۲۱ دقیقه

شمالی و ارتفاع ۱۳۱۹ متر از سطح دریا انجام شد. در شکل (۱) نمایی از محل اجرای طرح ارائه شده است، شکل (۱-ا) موقعیت شهر کرمانشاه، شکل (۱-ب) نمایی کلی از دانشکده پردیس کشاورزی و منابع طبیعی و شکل (۱-ج) نمایی از گلخانه تحقیقاتی. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه مورد مطالعه با نمونه‌برداری از خاک منطقه و انجام آزمایش‌های خاک‌شناسی به دست آمد و در جدول (۱) ارائه شده است. کیفیت آب مورد استفاده در این پژوهش نیز در جدول (۲) نشان داده شده است. میانگین داده‌های ماهانه هواشناسی در هر دو سال مطالعه در جدول (۳) ارائه شده است. به‌منظور محاسبه پارامترهای حداکثر و حداقل دما و رطوبت نسبی از حس‌گرهای داخل گلخانه استفاده شد.

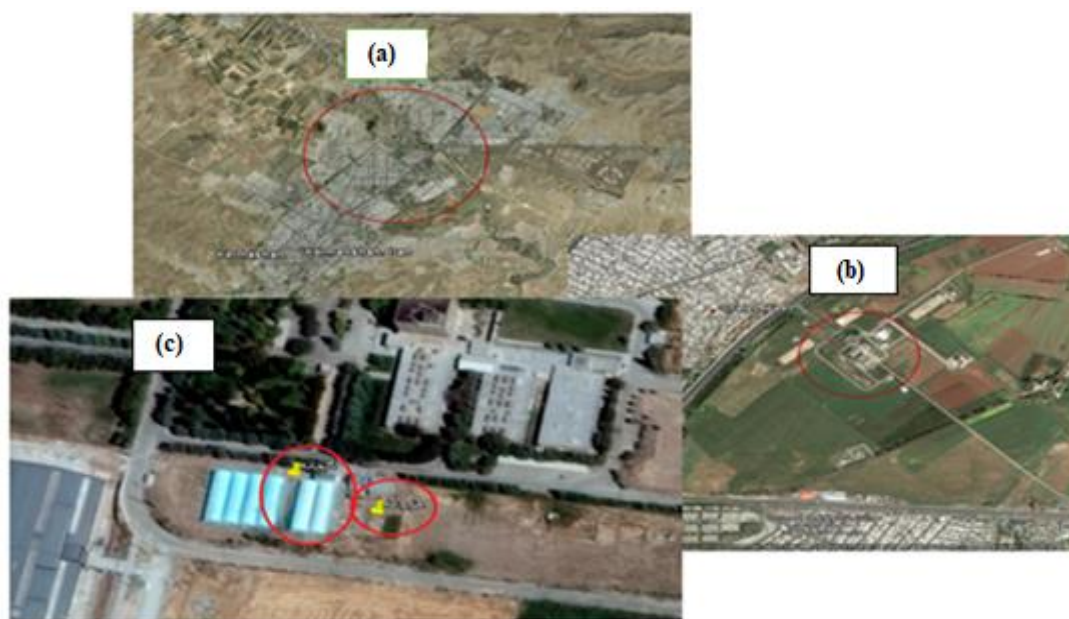


Figure 1. Geographical location of the study area: a) Kermanshah city, b) Agricultural and Natural Resources College of Razi University, and c) Location of the research greenhouse

Table 1. Physical and chemical properties of the soil of the study area

Soil depth (cm)	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	Texture (-)	Bulk density (g cm ⁻³)	pH (-)	Electrical conductivity (dS m ⁻¹)	P (ppm)	K (ppm)	Organic carbon (%)
0-100	51.9	44.2	3.7	Silty clay	1.3	7.3	1.2	26	440	1.38

Table 2. Chemical characteristics of water in the studied area

Electrical conductivity (dS m ⁻¹)	TDS (mg lit ⁻¹)	pH (-)	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺ + Mg ²⁺	Na ⁺	SAR ((mmol l ⁻¹) ^{0.5})
0.99	631	6.9	0.01	6.20	1.8	1.15	8.18	1.09	0.54

Table 3. Meteorological information of the region during the experiment (inside the greenhouse)

Year	Month	Max relative humidity (%)	Min relative humidity (%)	Max temperature (°C)	Min temperature (°C)
2018	April	74.52	40.6	25.28	9.93
	May	86.13	36.81	24.68	16.63
	June	56.64	20.04	35.21	23.79
	July	41.24	14.42	40.46	26.54
	August	42.13	15.55	43.10	28.77
2019	April	91.52	24.40	22.45	8.33
	May	77.13	18.81	27.88	14.03
	June	53.64	15.04	37.51	24.29
	July	43.24	14.42	39.56	25.34
	August	42.13	17.55	42.10	28.37

۲.۲. مشخصات و شرایط آماده‌سازی محیط کشت

در این پژوهش، به‌منظور بررسی تأثیر سطوح مختلف کم‌آبیاری بر عملکرد گیاه کینوا از گلدان‌های پلی‌اتیلنی با قطر خارجی ۴۰ سانتی‌متر (قطر داخلی ۳۸ سانتی‌متر) و ارتفاع ۳۵ سانتی‌متر در محیط گلخانه استفاده شد. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی به‌صورت کشت گلدانی با پنج تکرار و سطوح کم‌آبیاری ۱۰۰ درصد (آبیاری کامل)، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه اجرا شد. به‌منظور آماده‌سازی محیط کشت، گلدان‌ها با استفاده از خاک منطقه (عبور داده‌شده از الک دو میلی‌متری) با چگالی ۱/۳۵ گرم بر سانتی‌مترمکعب پر گردید. لازم به ذکر است برای جلوگیری از نشست خاک در گلدان، خاک گلدان‌ها به‌صورت لایه‌های ۱۰ سانتی‌متری با دست متراکم و گلدان‌ها به‌صورت لایه‌ای پر شدند. هم‌چنین جهت بهبود زهکشی و تهویه مناسب محیط کشت، ابتدا یک لایه سنگ‌ریزه در کف گلدان ریخته شد و پنج سانتی‌متری بالایی گلدان‌ها نیز خالی در نظر گرفته شد. در تاریخ ۱۶ فروردین‌ماه ۱۳۹۷ و ۱۹ فروردین‌ماه ۱۳۹۸، تعداد ۱۰ بذر گیاه کینوا در عمق ۱/۵ سانتی‌متری کاشته شد. پس از رسیدن به مرحله چهار برگ، تراکم بوته‌ها در هر گلدان به سه بوته تقلیل یافت. لازم به ذکر است که آبیاری همه تیمارهای مورد مطالعه تا مرحله استقرار گیاه (مرحله هشت برگ) به‌طور مساوی و به میزان نیاز آبی گیاه انجام شد و سپس اعمال تیمارها اجرا گردید.

۳.۲. تعیین نیاز آبی و کارایی مصرف آب

به‌منظور تعیین نیاز آبی گیاه، از تشتک تبخیر کلاس A استفاده شد. در روش تشتک نیاز است که پارامترهای میزان تبخیر از تشتک (Epan)، ضریب تشتک (Kp) و ضریب گیاهی (Kc) در نظر گرفته شود. مقدار تبخیر و تعرق واقعی گیاه (ETc) در دوره‌های مختلف رشد از رابطه (۱) محاسبه شد:

$$ETc = Kc \times Kp \times Epan \quad \text{رابطه (۱)}$$

به‌منظور تعیین میزان نیاز آبی گیاه کینوا، متوسط ضرایب گیاهی کینوا در طول دو سال انجام آزمایش و دوره‌های ابتدایی رشد، توسعه، میانی و انتهایی به‌ترتیب ۰/۶، ۰/۹، ۱/۲ و ۰/۷۵ در نظر گرفته شد (Talebnejad and Sepaskhah, 2015b; Mohammadi et al., 2024). دور آبیاری نیز با توجه به نیاز آبی گیاه پنج روز لحاظ شد. مقدار ضریب تشت ۰/۸ در نظر گرفته شد.

پس از برداشت گیاه کینوا پارامترهایی نظیر ارتفاع بوته، عملکرد بیولوژیک (کل زیست‌توده بالای خاک)، عملکرد دانه، وزن هزاردانه، طول پدانکل، تعداد شاخه‌های جانبی، درصد پروتئین دانه و وزن خشک ریشه اندازه‌گیری شد. در نهایت پس از به‌دست‌آوردن عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک، با استفاده از روابط (۲) و (۳) به‌ترتیب کارایی مصرف آب براساس عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک محاسبه شد.

$$WUE_{GY} = \frac{GY}{I} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$WUE_{BY} = \frac{BY}{I} \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در این روابط، WUE_{GY} : کارایی مصرف آب براساس عملکرد دانه (کیلوگرم بر مترمکعب)، WUE_{BY} : کارایی مصرف آب براساس عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم بر مترمکعب)، I : کل آب آبیاری (مترمکعب در هکتار)، GY : عملکرد دانه برحسب کیلوگرم در هکتار و BY : عملکرد بیولوژیک برحسب کیلوگرم در هکتار می‌باشد.

۴.۲. آنالیز آماری

صفات مورد بررسی این پژوهش با استفاده از برنامه SAS تجزیه و تحلیل شد و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD انجام گردید.

۳. نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴) نشان داد که اثر سال بر روی صفات ارتفاع بوته، وزن هزاردانه و وزن خشک ریشه کینوا در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثر کم‌آبیاری بر روی صفات ارتفاع بوته، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، وزن هزاردانه، طول پدانکل، تعداد شاخه جانبی، پروتئین دانه، وزن خشک ریشه و شاخص برداشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. همچنین، اثر متقابل سال $\times$ کم‌آبیاری بر روی ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد و بر روی عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید.

Table 4. The results of the analysis of variance (mean square) of the effect of irrigation on the studied traits in different years

Source of variation	df	Plant height	Biological yield	Grain yield	1000 grain weight	Peduncle length	Number of side branches	Grain protein	Root dry weight	Harvest index
Year	1	76.06**	171966.5 ^{ns}	80.26 ^{ns}	0.02**	0.002 ^{ns}	0.4 ^{ns}	0.14 ^{ns}	4.16*	0.001 ^{ns}
Repeat	4	153.28	701339.1	10390.23	0.05	0.78	1.3	0.44	4.01	0.002
Irrigation	3	341.87**	9547582.81**	91795.7**	0.28**	21.79**	25.3**	16.08**	40.52**	0.013**
Repeat $\times$ Year	4	74.12**	339053.96*	6585.68 ^{ns}	0.24**	1.75**	4.33**	1.31 ^{ns}	22.65**	0.002 ^{ns}
Year $\times$ Irrigation	3	59.89**	360229.8*	2959.41 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.05 ^{ns}	0.4 ^{ns}	0.55 ^{ns}	0.13 ^{ns}	0.001 ^{ns}
Error	24	5.34	114948.17	4998.41	0.001	0.14	0.18	1.07	0.81	0.0008
Coefficient of variation (%)	-	5.85	5.11	3.56	1.18	3.52	4.73	6.18	12.38	9.71

Notes: ns: non-significant. * Significant at the 5% of probability level ($P < 0.05$). ** Significant at the 1% of probability level ($P < 0.01$).

۳.۱. ارتفاع بوته

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سال $\times$ کم‌آبیاری (شکل ۲) نشان داد که در هر دو سال آزمایش با کاهش سطح آبیاری نیاز آبی گیاه از ۱۰۰ به ۴۰ درصد ارتفاع بوته به شکل معنی‌داری کاهش یافت. بیش‌ترین ارتفاع بوته (۴۵/۸۸ سانتی‌متر) تحت تأثیر تیمار اثر متقابل ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه در سال ۱۳۹۷ حاصل شد. همچنین، کم‌ترین ارتفاع بوته (۲۷/۱۴ سانتی‌متر) تحت تأثیر تیمار اثر متقابل آبیاری با ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه در سال ۱۳۹۷ به‌دست آمد (شکل ۲).

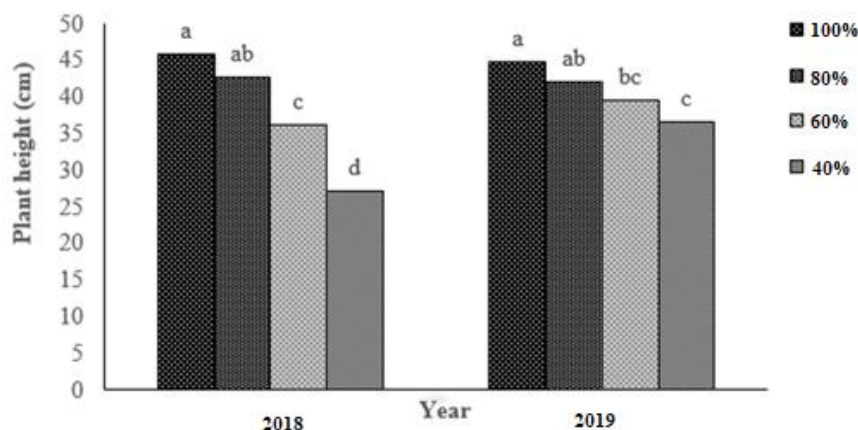


Figure 2. Mean comparison of the interaction effect of year $\times$ irrigation on quinoa plant height

۳.۲. عملکرد بیولوژیک

براساس نتایج به‌دست‌آمده از مقایسه میانگین داده‌ها (شکل ۳) در هر دو سال آزمایش با کاهش سطح آبیاری از ۱۰۰ به ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه، عملکرد بیولوژیک کینوا کاهش معنی‌دار داشت. بیش‌ترین عملکرد بیولوژیک با ۷۵۴۵ کیلوگرم در هکتار و کم‌ترین آن با ۵۰۰۳ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب تحت تأثیر تیمارهای ۱۰۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه در سال ۱۳۹۷ حاصل شد.

(شکل ۳). همچنین، در سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ تفاوت معنی‌داری از لحاظ آماری بین تیمارهای ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه بر روی عملکرد بیولوژیک کینوا مشاهده نشد. نتایج این پژوهش با نتایج Amiri *et al.* (2021) همسویی داشت.

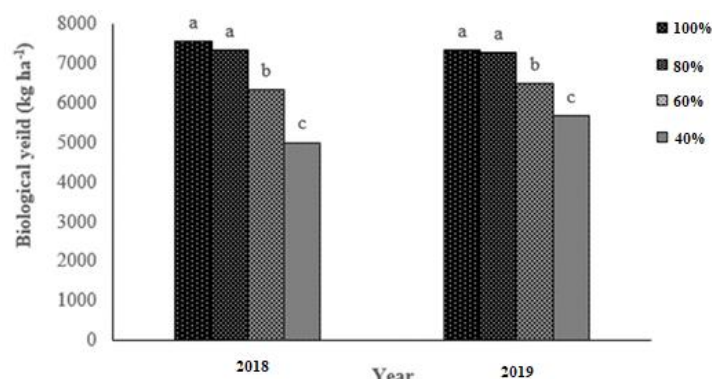


Figure 3. Mean comparison of the interaction effect of year × irrigation on biological yield of quinoa plant

۳.۳. عملکرد دانه

عملکرد دانه کینوا در سال‌های مختلف آزمایش تفاوت معنی‌داری از نظر آماری نداشت (جدول ۵). بیش‌ترین عملکرد دانه (۱۹۸۳/۸۲ کیلوگرم در هکتار) در سال ۱۳۹۸ حاصل شد. براساس نتایج به‌دست‌آمده حاصل از مقایسه میانگین دو ساله داده‌ها (جدول ۶) با کاهش سطح آبیاری عملکرد دانه کینوا کاهش یافت. بیش‌ترین کاهش عملکرد دانه (۱۸۴۷/۴۵ کیلوگرم در هکتار) به میزان ۱۱ درصد در تیمار ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه حاصل شد. نتایج این پژوهش با نتایج Jamali *et al.* (2019) بر روی گیاه کینوا و Karimzadeh *et al.* (2017) بر روی لوبیا چیتی همسویی داشت.

Table 5. Mean comparison of the effect of year on the studied traits of quinoa plant

Year	Grain yield (kg ah ⁻¹)	1000 grain weight (g)	Peduncle length (cm)	Number of side branches (-)	Grain protein (%)	Root dry weight (gr plant ⁻¹)	Harvest index (%)
2018	1980.90 ^a	2.67 ^a	10.61 ^a	9.05 ^a	16.82 ^a	6.92 ^a	0.31 ^a
2019	1983.82 ^a	2.72 ^a	10.63 ^a	9.25 ^a	16.70 ^a	7.57 ^a	0.29 ^a

Notes: The dissimilar letters in each column represent a significant difference between the treatments at the 5% probability level using LSD Test.

Table 6. Mean comparison (two-year) of the effect of irrigation on the studied traits of quinoa plant

Percentage of water requirement (%)	Grain yield (kg ah ⁻¹)	1000 grain weight (g)	Peduncle length (cm)	Number of side branches (-)	Grain protein (%)	Root dry weight (gr plant ⁻¹)	Harvest index (%)
100	2068.14 ^a	2.875 ^a	12.05 ^a	10.50 ^a	15.48 ^c	9.64 ^a	35 ^a
80	2026.56 ^{ab}	2.791 ^b	11.57 ^b	10.20 ^a	16.25 ^{bc}	7.83 ^b	31 ^b
60	1987.47 ^b	2.655 ^c	10.05 ^c	8.90 ^b	16.85 ^b	6.66 ^c	27 ^c
40	1847.45 ^c	2.491 ^d	8.81 ^d	7.00 ^c	18.47 ^a	4.85 ^d	27 ^c

Notes: The dissimilar letters in each column represent a significant difference between the treatments at the 5% probability level using LSD Test.

۳.۴. وزن هزاردانه

براساس نتایج به‌دست‌آمده از مقایسه میانگین اثر سال، وزن هزاردانه کینوا در سال‌های مختلف آزمایش تفاوت معنی‌داری از نظر آماری نداشت (جدول ۵). بیش‌ترین وزن هزاردانه (۲/۷۲ گرم) در سال ۱۳۹۸ و کم‌ترین وزن هزاردانه (۲/۶۷ گرم) در سال ۱۳۹۷ حاصل شد. اما براساس نتایج به‌دست‌آمده حاصل از مقایسه میانگین دو ساله داده‌ها (جدول ۶) نشان داد با کاهش سطح آبیاری وزن هزاردانه کینوا کاهش معنی‌داری داشته است، به‌طوری‌که بیش‌ترین (۲/۸۷ گرم) و کم‌ترین (۲/۴۹ گرم) وزن هزاردانه به‌ترتیب در تیمار ۱۰۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه کینوا حاصل شد.

۳.۵. طول پدانکل

بین سال‌های مختلف آزمایش از نظر تأثیر بر طول پدانکل گیاه کینوا از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۶) نشان داد که طول پدانکل با کاهش سطوح آبیاری به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. بیش‌ترین طول پدانکل با ۱۲/۰۵ سانتی‌متر و کم‌ترین آن با ۸/۸۱ سانتی‌متر به‌ترتیب تحت تأثیر تیمار ۱۰۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه حاصل شد (جدول ۶).

۳.۶. تعداد شاخه جانبی

براساس نتایج جدول (۵) هرچند تعداد شاخه جانبی در سال‌های مختلف متغیر بود، اما تفاوت معنی‌داری بین دو سال آزمایش وجود نداشت. اما تعداد شاخه جانبی کینوا تحت تأثیر کاهش سطح آبیاری به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۶). به‌طوری‌که بیش‌ترین تعداد شاخه جانبی با ۱۰/۵۰ و کم‌ترین آن با ۷/۰۰ عدد به‌ترتیب در تیمارهای ۱۰۰ و ۴۰ درصد آبیاری حاصل شد. همچنین بین تیمارهای ۱۰۰ و ۸۰ درصد آبیاری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۶).

۳.۷. درصد پروتئین دانه

نتایج مقایسه میانگین اثر سال نشان داد که بین سال‌های مختلف آزمایش از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری بر درصد پروتئین دانه کینوا مشاهده نشد (جدول ۵). براساس نتایج به‌دست‌آمده حاصل از مقایسه میانگین دو ساله داده‌ها (جدول ۶) با کاهش سطح آبیاری از ۱۰۰ به ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه باعث افزایش درصد پروتئین دانه کینوا شد. به‌طوری‌که بیش‌ترین درصد پروتئین دانه کینوا با ۱۸/۴۷ درصد و کم‌ترین آن با ۱۵/۴۸ درصد به‌ترتیب در تیمارهای ۴۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه حاصل شد. همچنین، بین تیمار ۶۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه از نظر تأثیر بر درصد پروتئین دانه تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۶).

۳.۸. وزن خشک ریشه

وزن خشک ریشه کینوا در سال‌های مختلف آزمایش تفاوت معنی‌داری از نظر آماری نداشت (جدول ۵). براساس نتایج به‌دست‌آمده از مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۶) وزن خشک ریشه تک‌بوته تحت تأثیر کاهش سطح آبیاری، کاهش یافت. به‌طوری‌که کم‌ترین وزن خشک ریشه با ۴/۸۵ گرم در تیمار ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه حاصل شد که در مقایسه با تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی باعث کاهش ۴۹/۶۸ درصد وزن خشک ریشه گردید (جدول ۶).

۳.۹. شاخص برداشت

نتایج پژوهش حاضر نشان داد بین سال‌های مختلف آزمایش از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری بر روی شاخص برداشت کینوا مشاهده نشد (جدول ۵). بررسی مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۶) نشان داد که با کاهش سطح نیاز آبی گیاه به ۴۰ درصد، شاخص برداشت کاهش معنی‌داری یافت. به‌طوری‌که بیش‌ترین (۳۵ درصد) شاخص برداشت تحت تأثیر تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی به‌دست آمد.

۳.۱۰. کارایی مصرف آب براساس عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۷) نشان داد که اثر سطوح کم‌آبیاری در دو سال زاعی بر روی کارایی مصرف آب

(براساس عملکرد دانه و بیولوژیک) در سطح احتمال یک درصد ($p < 0.01$) معنی‌دار شد. میزان کل آب مصرفی گیاه کینوا و نتایج مقایسه میانگین کارایی مصرف آب (براساس عملکرد دانه و بیولوژیک) در جدول (۸) ارائه شده است. براساس نتایج حاصل از پژوهش کل آب مصرفی گیاه کینوا در محیط گلخانه در طی فصل رشد در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی در سال اول (۱۳۹۷) و دوم (۱۳۹۸) کشت به‌ترتیب برابر ۳۶۱/۸۹ و ۳۹۱/۹۱ میلی‌متر بود (جدول ۸). با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در دو سال کشت، بیش‌ترین کارایی مصرف آب کینوا براساس عملکرد بیولوژیک و دانه در تیمار ۴۰ درصد نیاز آبی به‌ترتیب ۳/۴۴ و ۱/۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب در سال ۱۳۹۷ و ۳/۶۱ و ۱/۱۹ کیلوگرم بر مترمکعب در سال ۱۳۹۸ به‌دست آمد. هم‌چنین کم‌ترین کارایی مصرف آب کینوا براساس عملکرد بیولوژیک و دانه در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی به‌ترتیب ۲/۰۷ و ۰/۵۷ کیلوگرم بر مترمکعب در سال ۱۳۹۷ و ۱/۸۷ و ۰/۵۲ کیلوگرم بر مترمکعب در سال ۱۳۹۸ حاصل شد. در هر دو سال آزمایش با کاهش سطح آبیاری از ۱۰۰ به ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه کینوا کاهش معنی‌دار داشت، اما کارایی مصرف آب براساس عملکرد دانه و بیولوژیک افزایش معنی‌دار یافت. هم‌چنین با کاهش میزان آب آبیاری از ۶۰ به ۴۰ درصد، تفاوت معنی‌دار در عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک مشاهده گردید. در سال ۱۳۹۷ با کاهش میزان آب آبیاری از ۱۰۰ به ۸۰ درصد تفاوت معنی‌دار در کارایی مصرف آب براساس عملکرد دانه و بیولوژیک مشاهده شد. با کاهش میزان آب آبیاری از ۸۰ به ۶۰ درصد تفاوت معنی‌داری در کارایی مصرف براساس عملکرد بیولوژیک مشاهده نگردید. در دو سال آزمایش با کاهش میزان آب آبیاری از ۱۰۰ به ۴۰ درصد، تفاوت معنی‌دار در کارایی مصرف آب براساس عملکرد دانه و بیولوژیک مشاهده گردید. نتایج ما با نتایج Amiri et al. (2021) و Esmaeili et al. (2015) همسویی داشت.

با توجه به نتایج حاصله می‌توان گفت با افزایش درصد کم‌آبیاری، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک کاهش می‌بایند. از آنجایی که عملکرد دانه تولیدی از کینوا برای ما بسیار مهم است، بنابراین می‌توان براساس عملکرد دانه درباره بهترین گزینه کم‌آبیاری تصمیم‌گیری نمود. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد هرچند که افزایش کم‌آبیاری از ۱۰۰ به ۸۰ درصد در سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ به‌ترتیب باعث کاهش ۲/۶ و ۰/۹۲ درصدی عملکرد بیولوژیک و ۲/۵۵ و ۱/۶ درصدی عملکرد دانه نسبت به تیمار شاهد شد، اما این کاهش‌ها نسبت به تیمار شاهد غیرمعنی‌دار بود (جدول ۸). لذا با توجه به بررسی‌های انجام‌شده می‌توان با اجرای کم‌آبیاری به میزان ۸۰ درصد نیاز آبی، بدون کاهش محسوس در عملکرد دانه و بیولوژیک و با افزایش معنی‌دار کارایی مصرف آب از این محصول به‌منظور کشت در مناطق خشک و نیمه‌خشک استفاده نمود.

Table 7. The results of the analysis of variance (mean square) of the effect of different irrigation levels on water use efficiency based on grain yield and biological yield

Year	Source of variation	df	WUE _{GY}	WUE _{BY}
2018	Repeat	4	0.003	0.23
	Irrigation	3	0.44**	1.68**
	Error	12	0.002	0.09
	Coefficient of variation	-	5.72	10.94
2019	Repeat	4	0.002	0.04
	Irrigation	3	0.43**	2.74**
	Error	12	0.002	0.02
	Coefficient of variation	-	5.26	6.04

Notes: ns: non-significant. * Significant at the 5% of probability level ($P < 0.05$). ** Significant at the 1% of probability level ($P < 0.01$).

Table 8. The results of mean comparison of the effect of irrigation on water use efficiency based on grain yield and biological yield

Year	Percentage of water requirement (%)	Biological yield (kg ha ⁻¹)	Grain yield (kg ha ⁻¹)	Total water consumption (mm)	WUE _{GY} (kg m ⁻³)	WUE _{BY} (kg m ⁻³)
2018	100	7545 ^a	2085.08 ^a	361.89	2.07 ^c	0.57 ^d
	80	7354 ^a	2033.29 ^{ab}	290.32	2.53 ^b	0.70 ^c
	60	6340 ^b	1980.97 ^b	217.74	2.91 ^b	0.91 ^b
	40	5003 ^c	1824.62 ^c	145.16	3.44 ^a	1.25 ^a
	100	7345 ^a	2051.20 ^a	391.91	1.87 ^d	0.52 ^d
2019	80	7278 ^a	2019.83 ^a	313.53	2.32 ^c	0.64 ^c
	60	6481 ^b	1993.96 ^a	235.15	2.75 ^b	0.84 ^b
	40	5663 ^c	1870.29 ^b	156.76	3.61 ^a	1.19 ^a

Notes: The dissimilar letters in each column and year represent a significant difference between the treatments at the 5% probability level using LSD Test.

۴. نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر، استفاده از گیاه کینوا به‌منظور بررسی تأثیر کم‌آبیاری بر رشد و عملکرد آن موردتوجه بسیاری از پژوهش‌گران در سراسر جهان قرار گرفته است. نتایج بسیاری از پژوهش‌ها نشان داده است که کینوا گیاهی مقاوم در برابر تنش‌های آبی است. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر کم‌آبیاری بر رشد و عملکرد گیاه کینوا در محیط گلخانه در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ اجرا گردید. تیمارهای آبیاری شامل ۱۰۰ (تیمار شاهد)، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه موردنظر قرار گرفتند. نتایج نشان داد خشکی اثر نامطلوبی بر خصوصیات فیزیکی و عملکردی کینوا نظیر ارتفاع بوته، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، وزن هزاردانه، طول پدانکل، تعداد شاخ جانبی، وزن خشک ریشه و شاخص برداشت داشت. کاهش سطح آبیاری از ۱۰۰ به ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه باعث افزایش درصد پروتئین دانه کینوا شد. بیش‌ترین و کم‌ترین میانگین دو ساله عملکرد بیولوژیک برابر ۷۴۴۵/۵۰ و ۵۳۳۳ کیلوگرم بر هکتار و عملکرد دانه برابر ۲۰۶۸/۱۴ و ۱۸۴۷/۴۵ کیلوگرم بر هکتار به‌ترتیب در تیمارهای ۱۰۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی به‌دست آمد. بیش‌ترین و کم‌ترین میانگین دو ساله کارایی مصرف آب برای تیمارهای ۴۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبیاری براساس عملکرد بیولوژیک به‌ترتیب ۳/۵۳ و ۱/۹۷ کیلوگرم بر مترمکعب و براساس عملکرد دانه به‌ترتیب ۱۱/۲۲ و ۰/۵۵ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد کاربرد تیمار آبیاری ۸۰ درصد نیاز آبی تأثیر معنی‌داری در کاهش عملکرد بیولوژیک و دانه گیاه کینوا نداشت، لذا می‌توان با اجرای کم‌آبیاری به میزان ۸۰ درصد نیاز آبی، بدون کاهش محسوس در عملکرد دانه و بیولوژیک و با افزایش معنی‌دار کارایی مصرف آب از این محصول به‌منظور کشت در مناطق خشک و نیمه‌خشک استفاده نمود.

۵. تشکر و قدردانی

از گروه مهندسی آب دانشگاه رازی، که امکانات موردنیاز این پژوهش را در اختیار قرار دادند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۶. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۷. منابع

- Ahmadi, S. H., Solgi, S., & Sepaskhah, A. R. (2019). Quinoa: A super or pseudo-super crops Evidences from evapotranspiration, root growth, crop coefficients, and water productivity in a hot and semi-arid area under three planting densities. *Agricultural Water Management*, 225, 105784.
- Aly, A. A., Al-Barakah, F. N., & El-Mahrouky, M. A. (2018). Salinity Stress Promote Drought Tolerance of *Chenopodium Quinoa* Willd. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 49(11), 1331-1343.
- Amiri, S. R., Salimi, K., & Ziaei, S. M. (2021). The effect of deficit irrigation on yield and water use efficiency of lentil (*Lens culinaris* Medik.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 14(1), 75-83. (In Persian)
- Andreotti, F., Bazile, D., Biaggi, C., Callo-Concha, D., Jacquet, J., Jemal, O. M., & van Noordwijk, M. (2022). When neglected species gain global interest: Lessons learned from quinoa's boom and bust for teff and minor millet. *Global Food Security*, 32, 100613.
- Asadi, M., & Abdolmanafi, N. (2022). *The Intensification of the Groundwater Resources Crisis and the Necessity of Consumption Management*. Tehran, Iran: Research Center of the Islamic Consultative Assembly press. (In Persian)
- Bahadori, M. R., Razzaghi, F., & Sepaskhah, A. R. (2022). Effect of Water Stress at Different Growth Stages on Growth and Yield of Quinoa under Field Conditions. *Journal of Water and Soil Science*, 26(3), 317-328. (In Persian)

- Bai, C., Zuo, J., Watkins, C. B., Wang, Q., Liang, H., Zheng, Y., & Ji, Y. (2023). Sugar accumulation and fruit quality of tomatoes under water deficit irrigation. *Postharvest Biology and Technology*, 195, 112112.
- Cecilia Araujo Farro, P. (2008). Desenvolvimento de filmes biodegradáveis a partir de derivados do grão de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willdenow) da variedade "Real". Universidade Estadual de Campinas.
- Choukr-Allah, R., Rao, N. K., Hirich, A., Shahid, M., Alshankiti, A., Toderich, K., & Butt, K. U. R. (2016). Quinoa for Marginal Environments: Toward Future Food and Nutritional Security in MENA and Central Asia Regions. *Frontiers in Plant Science*, 7, 346.
- Ehsany, M., Mehregan, N., & Balali, H. (2019). The Impact of Groundwater Exploitation on the Farmers' Income of the Desert and Non-Desert Regions of Iran. *Journal of Water Management in Agriculture*, 5(2), 29-36. (In Persian).
- English, M., & Nakamura, B. (1989). Effects of Deficit Irrigation and Irrigation Frequency on Wheat Yields. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 115(2), 172-184.
- English, M., & Raja, S. N. (1996). Perspectives on deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, 32(1), 1-14.
- Esmaili, M., Farhadi Bansouleh, B., & Ghobadi, M. (2015). Effects of Deficit Irrigation on Quantity and Quality of Soybean Crop Yield in Kermanshah Region. *Water and Soil*, 29(3), 551-559. (In Persian).
- FAOSTAT. (2020). <https://www.fao.org/faostat/en/>
- Fatemi Kiyani, H., Tatari, M., Tokalo, M. R., Salehi, M., & Hajmohammadnia Ghalibaf, K. (2022). The effect of deficit irrigation and fertilizer on quantitative and qualitative yield of quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Italian Journal of Agrometeorology*, 1, 83-99.
- Fuentes, F., & Bhargava, A. (2011). Morphological Analysis of Quinoa Germplasm Grown Under Lowland Desert Conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 197(2), 124-134.
- García-Parra, M.A., Roa-Acosta, D.F., Stechauner-Rohringer, R., García-Molano, F., Bazile, D., & Plazas-Leguizamón, N. (2020). Effect of Temperature on the Growth and Development of Quinoa Plants (*Chenopodium quinoa* Willd.): A Review on a Global Scale. *Sylwan*, 164(5), 411-423.
- Ghafarimoghadam, Z., Moradi, E., Hashemi Tabar, M., & Sardar Shahraki, A. (2021). An Analysis of the Water Crisis under Different Scenarios in the Agriculture Sector of Sistan Region: The Approach of Future Studies. *Journal of Water Research in Agriculture*, 35(2), 201-216. (In Persian)
- Jamali, S., Sharifan, H., & Sajadi, F. (2019). The Effect of different Seawater and Deficit Irrigation Regimes on Leaf properties of Quinoa. *Journal of Water and Irrigation Management*, 8(2), 177-191. (In Persian)
- Karimzadeh, H., Nezami, A., Kafi, M., & Tadayon, M.R. (2017). Effect of deficit irrigation on yield and yield component of pinto bean genotypes in Shahrekord. *Iranian Journal of Pulses Research*, 8, 113-126. (In Persian)
- Kaya, Ç. I., Yazar, A., & Sezen, S. M. (2015). SALTMED Model Performance on Simulation of Soil Moisture and Crop Yield for Quinoa Irrigated Using Different Irrigation Systems, Irrigation Strategies and Water Qualities in Turkey. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 4, 108-118.
- Mao, X., Liu, M., Wang, X., Liu, C., Hou, Z., & Shi, J. (2003). Effects of deficit irrigation on yield and water use of greenhouse grown cucumber in the North China Plain. *Agricultural Water Management*, 61(3), 219-228.
- Marzban, H., Sadraei Javaheri, A., Zibaei, M., Nazemosadat, S. M. J., & Karimi, L. (2019). Study of the Status of Resources and Water Consumption in Iran and Improving the Situation. *Journal of Water and Wastewater*, 30(4), 16-32. (In Persian)
- Mohammadi, Y., Ghamarnia, H., & Jovzi, M. (2024). Investigating the effect of shallow and saline waterlogging levels on the yield and efficiency of water consumption of quinoa (*Chenopodium Quinoa* Wild) plant in the greenhouse environment. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 18(1), 155-172. (In Persian)
- Mostafaei, M., Jami Al-Ahmadi, M., Salehi, M., & 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), 29-46. (In Persian).
- Mugabe, F. T., & Nyakatawa, E. Z. (2000). Effect of deficit irrigation on wheat and opportunities of growing wheat on residual soil moisture in southeast Zimbabwe. *Agricultural Water Management*, 46(2), 111-119.
- Nezamia, A., Khazaei, H.R., Boroumand Rezazadeh, Z., & Hosseini, A. (2008). Effects of drought stress and defoliation on sunflower (*Helianthus annuus*) in controlled conditions. *Desert*, 12(2), 99-104.

- Panda, R. K., Behera, S. K., & Kashyap, P. S. (2003). Effective management of irrigation water for wheat under stressed conditions. *Agricultural Water Management*, 63(1), 37–56.
- Pasban Eslam, B. (2011). Study of Possibility of Delayed Planting of Oilseed Rape (*Brassica napus* L.) in East Azarbaijan in Iran. *Seed and Plant Production*, 27(3), 269-284. (In Persian)
- Qadir, M., Boers, T. M., Schubert, S., Ghafoor, A., & Murtaza, G. (2003). Agricultural water management in water-starved countries: challenges and opportunities. *Agricultural Water Management*, 62(3), 165-185.
- Razzaghi, F., Ahmadi, S. H., Adolf, V. I., Jensen, C. R., Jacobsen, S. E., & Andersen, M. N. (2011). Water Relations and Transpiration of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Under Salinity and Soil Drying. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 197(5), 348-360.
- Stikic, R., Glamoclija, D., Demin, M., Vucelic-Radovic, B., Jovanovic, Z., Milojkovic-Opsenica, D., & Milovanovic, M. (2012). Agronomical and nutritional evaluation of quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.) as an ingredient in bread formulations. *Journal of Cereal Science*, 55(2), 132-138.
- Talebnejad, R., & Sepaskhah, A. R. (2015a). Effect of deficit irrigation and different saline groundwater depths on yield and water productivity of quinoa. *Agricultural Water Management*, 159, 225-238.
- Talebnejad, R., & Sepaskhah, A. R. (2015b). Effect of different saline groundwater depths and irrigation water salinities on yield and water use of quinoa in lysimeter. *Agricultural Water Management*, 148, 177-188.
- Talebnejad, R., & Sepaskhah, A.R. (2016). Modification of Transient State Analytical Model under Different Saline Groundwater Depths, Irrigation Water Salinities and Deficit Irrigation for Quinoa. *International Journal of Plant Production*, 10(3), 365-389.
- Talebnejad, R., Bahrami, M., & Sepaskhah, A. R. (2022). Planting dates and irrigation regimes influence on growth and yield of quinoa (*Chenopodium quinoa*) in a semi-arid area. *Iran Agricultural Research*, 40(2), 103-120. (In Persian)
- Tavakkol Afshari, M., Nezami, A., Ahmadi-Lahijani, M. J., Nabati, J., & Karimzadeh Soureshjani, H. (2023). Effect of planting date and irrigation deficiency on the physiological, biochemical, and yield component of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) in Mashhad. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 16(2), 403-418. (In Persian)
- Zhang, Y., Kendy, E., Qiang, Y., Changming, L., Yanjun, S., & Hongyong, S. (2004). Effect of soil water deficit on evapotranspiration, crop yield, and water use efficiency in the North China Plain. *Agricultural Water Management*, 64(2), 107-122.