

Original article

Effect of different irrigation regimes and planting date on yield and physiological characteristics of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) in the relatively warm and semi-arid region of Dehdasht

Roghayeh Rangian¹, Amin Mirshekari^{2*}, Hojatollah Latifmanesh^{3*}, Shahrokh Jahanbin³

1. M.Sc. in Crop Physiology, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran

2. Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran

3. Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran

Received 28 April 2025; Revised 15 August 2025; Accepted 19 August 2025

Extended abstract

Introduction

Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) has become highly valued worldwide due to its exceptional nutritional content and resilience in harsh environmental conditions, particularly in arid and semi-arid regions. This adaptability makes quinoa a valuable crop option in areas prone to water scarcity and challenging climate conditions. In regions with limited water resources, optimal irrigation strategies and suitable planting dates are crucial for maximizing quinoa's yield and physiological performance. Given these challenges, this study sought to assess the effects of different irrigation regimes and planting dates on yield and key physiological indices of quinoa in the semi-arid climate of Dehdasht, Kohgiluyeh, and Boyer-Ahmad Province, where efficient water use is essential.

Materials and methods

The experiment was carried out in 2020 as a split-plot design based on a randomized complete block design (RCBD) with three replications. The main plot factor was planting date at three levels: August 5 (early sowing), August 20 (intermediate), and September 5 (late sowing). The sub-plot factor was irrigation regime at three levels based on cumulative evaporation from a Class A evaporation pan: 40 mm, 80 mm, and 120 mm. Irrigation treatments were applied after the establishment phase. The measured parameters included chlorophyll content (a, b, and total), relative water content (RWC), leaf area index (LAI), plant height, number of lateral branches, panicle length, biological yield, grain yield, water use efficiency (WUE), grain protein content, and harvest index (HI).

Results and discussion

The analysis of variance revealed that planting date, irrigation regime, and their interaction significantly influenced most traits at the 1% probability level. The highest grain yield (1092 kg.ha⁻¹), plant height (107.2 cm), and relative water content were recorded under irrigation after 40 mm evaporation combined with the August 20 planting date. This combination also led to the highest chlorophyll content, biological yield, and harvest index, indicating optimal physiological functioning and favorable alignment of plant development with environmental conditions. In contrast, the lowest chlorophyll content and grain yield occurred under the 120 mm evaporation treatment and the earliest planting date (August 5), likely due to the combined effects of moisture stress and high temperature during early vegetative growth, which accelerated phenological stages and reduced the growth duration. The late planting date (September 5) exhibited moderately high water use efficiency due to shortened vegetative

* Corresponding authors: Amin Mirshekari. E-Mail: a_mirshekari@yu.ac.ir
Hojatollah Latifmanesh. E-Mail: h.latifmanesh@yu.ac.ir

periods, though yield and harvest index were negatively affected by lower temperatures during the reproductive phase. Interestingly, grain protein content was highest in the most severe water stress (120 mm evaporation), reflecting a compensatory mechanism often observed in crops under drought conditions. Water use efficiency was also maximized in the 120 mm irrigation regime with late sowing, indicating effective use of water under limited availability, albeit at the cost of reduced biomass and yield. These results suggest that planting quinoa on August 20 and irrigating after 40 mm of evaporation provides an optimal balance between growth conditions and water availability, enhancing both physiological efficiency and yield output. The findings emphasize the importance of synchronizing planting schedules with seasonal climatic patterns and selecting appropriate irrigation intervals to achieve sustainable quinoa production in drought-prone areas.

Conclusion

In the semi-arid and relatively warm climate of Dehdasht, adjusting the planting date and irrigation regime significantly affected quinoa's physiological and agronomic performance. The best outcomes were obtained when planting was done on August 20 and irrigation followed 40 mm of evaporation. This strategy offers a practical approach for maximizing quinoa yield while ensuring efficient water use, making it suitable for regions facing increasing water scarcity and climate variability.

Keywords: Chlorophyll content, Grain protein, Harvest index, Water use efficiency

اثر رژیم‌های مختلف آبیاری و تاریخ کاشت بر عملکرد و شاخص‌های فیزیولوژیکی کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd) در منطقه گرم و نیمه خشک دهدشت

رقیه رنگیان^۱، امین میرشکاری^{۲*}، حجت اله لطیف‌منش^۳، شاهرخ جهان‌بین^۳

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج

۲. دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج

۳. استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج

مشخصات مقاله	چکیده
واژه‌های کلیدی: پروتئین دانه شاخص برداشت کارایی مصرف آب محتوای کلروفیل	به‌منظور بررسی اثر رژیم‌های مختلف آبیاری و تاریخ کاشت بر عملکرد و شاخص‌های فیزیولوژیکی گیاه کینوا در منطقه نیمه‌خشک دهدشت، آزمایشی به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. عامل اصلی شامل تاریخ کاشت در سه سطح (۵ و ۲۰ مردادماه و ۵ شهریورماه) و عامل فرعی شامل رژیم‌های آبیاری پس از تبخیر ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌متر آب از تشتک تبخیر بود. نتایج نشان داد که بیشترین محتوای کلروفیل برگ، تعداد شاخه‌های جانبی و عملکرد زیستی در پایین‌ترین سطح تنش آبی (۴۰ میلی‌متر تبخیر) حاصل شد، در حالی که بیشترین درصد پروتئین دانه در بالاترین سطح تنش (۱۲۰ میلی‌متر تبخیر) مشاهده گردید. حداکثر کارایی مصرف آب در تیمار آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر و تاریخ کاشت ۵ مردادماه ثبت شد. همچنین، در تیمار آبیاری پس از ۴۰ میلی‌متر تبخیر و تاریخ کاشت ۲۰ مردادماه، بیشترین محتوای نسبی آب برگ، شاخص سطح برگ، ارتفاع بوته، طول پانیکول، عملکرد دانه و شاخص برداشت حاصل شد. در مقابل، کمترین عملکرد دانه و شاخص برداشت مربوط به تیمار آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر و تاریخ کاشت ۵ شهریورماه بود. نتایج نشان داد که آبیاری پس از ۴۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک و تاریخ کاشت ۲۰ مردادماه می‌تواند صفات اقتصادی گیاه کینوا را بهبود داده و به‌عنوان گزینه‌ای مناسب برای حصول عملکرد مطلوب در منطقه مورد آزمایش و مناطق مشابه پیشنهاد گردد.

مقدمه

دانه‌هایش نیز مربوط می‌شود (Repo-Carrasco-Valencia et al., 2010). دانه‌های کینوا دارای محتوای بالای پروتئین (حدود ۱۴ تا ۲۰ درصد) و غنی از اسیدهای آمینه ضروری نظیر لیزین و متیونین هستند، که نسبت به غلات دیگر کیفیت تغذیه‌ای بالاتری را فراهم می‌نمایند (Granado-Rodríguez et al., 2021).

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل بازدارنده رشد گیاهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک است که با کاهش پتانسیل آب گیاه، موجب افت فشار تورژسانس، بسته شدن روزنه‌ها و در نهایت کاهش کارایی فتوسنتز می‌شود (Gupta

کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd) گیاهی یکساله، دولپه، از خانواده تاج‌خروسیان (Amaranthaceae)، بومی مناطقی از آمریکای جنوبی و کوه‌های آند است و متوسط عملکرد آن بسته به شرایط آب و هوایی از ۵۰۰ کیلوگرم تا ۴ تن در هکتار متغیر می‌باشد (Mamdi et al., 2015). کینوا با شرایط خشکی، خاک‌های شور، نوسانات گسترده دمایی در طول روز و همچنین با چالش‌های زیستی و غیرزیستی سازگاری بالایی دارد (Karami et al., 2020). برتری کینوا در کشت، علاوه بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی مطلوب آن در برابر تنش‌های زنده و غیرزنده، به ارزش تغذیه‌ای بالای

فیزیولوژیک را به طور معناداری دگرگون کند. این تغییرات بیشتر تحت تأثیر فاکتورهایی همچون دمای روزانه، طول روز (فتوپریود)، و رطوبت محیطی هستند که مستقیماً بر سرعت توسعه فنولوژیکی اثرگذارند (Valdivia-Cea et al., 2021). علاوه بر شرایط محیطی، عوامل مدیریتی مانند شیوع آفات، بیماری‌ها، تراکم علف‌های هرز و هزینه‌های تولید نیز در تعیین زمان بهینه کاشت دخیل‌اند. بر این اساس، تنظیم دقیق تاریخ کاشت می‌تواند به عنوان یک ابزار عملی برای فرار از تنش‌های اقلیمی و بهبود بازده گیاهان زراعی مانند کینوا به کار گرفته شود (Mirsafi et al., 2024).

شرایط اقلیمی به عنوان یکی از مهم‌ترین عناصر موثر در رشد و توسعه گیاهان شناخته می‌شوند. عواملی چون دما، میزان بارندگی و شدت یا زمان وقوع بادهای شدید از جمله این موارد هستند. تاریخ کاشت نیز غالباً با سایر اقدامات مدیریتی زراعی در تعامل قرار دارد. در نتیجه، برای دستیابی به بالاترین عملکرد دانه در کینوا، تعیین زمان کاشت مناسب از اهمیت بالایی برخوردار است. در مطالعه‌ای که در مجتمع گلخانه‌ای جهاد کشاورزی شهرستان خلیل‌آباد از توابع استان خراسان رضوی انجام شد، بیشترین عملکرد دانه کینوا (۲۳۸۷ کیلوگرم در هکتار) در تاریخ کاشت ۱۵ اسفند و کمترین آن (۷۵ کیلوگرم در هکتار) در تاریخ کاشت ۳۰ اردیبهشت به‌دست آمد، افزایش دما به‌ویژه در مرحله گلدهی و گرده‌افشانی باعث افت شدید تعداد دانه و در نهایت کاهش شدید عملکرد دانه شد (Hosseini et al., 2021). ارزیابی تأثیر تاریخ کاشت بر عملکرد دانه کینوا در یزد نشان داد که زمان مناسب کاشت یکی از عوامل کلیدی در تعیین عملکرد این گیاه است و دمای نامطلوب در زمان گرده‌افشانی به طور قابل توجهی موجب افت عملکرد دانه شد (Salehi et al., 2019).

در اقلیم‌های خشک از جمله ایران و شهرستان‌هایی مانند دهدشت، به دلیل تقاضای تبخیر زیاد اتمسفر، نیاز آبیاری گیاهان افزایش می‌یابد، اما منابع آب قابل‌دسترس در این مناطق محدود باقی می‌ماند و همچنین مسئله تاریخ کاشت برای برخی گیاهان مانند کینوا بسیار ضروری است، زیرا این گیاه به تاریخ کاشت حساس بوده و برخورد زمان ساقه‌روی (ورود به فاز زایشی)، آن با روزهای بلند و خیلی گرم مانع از به ساقه رفتن این گیاه می‌شود. با توجه به لزوم معرفی گونه‌های جدیدی مانند کینوا که کارایی مصرف آب بالاتری در مناطق مختلف کشور دارند، و همچنین تکرار

(et al., 2020). در شرایط محدودیت منابع آبی، راهبردهایی چون صرفه‌جویی در آب و بهره‌گیری از روش‌های کم‌آبیاری برای توسعه سطح زیر کشت پیشنهاد می‌شود. بنابراین شناسایی مرحله حساس نیاز آبی گیاه و مدیریت صحیح آبرسانی، نقش مهمی در ارتقای بهره‌وری آب و پایداری کشاورزی دارد (Ergo et al., 2018). با اینکه اعمال تنش خشکی در بسیاری تحقیقات منجر به کاهش رشد و عملکرد کینوا شده است اما پاسخ‌های فیزیولوژیک ناشی از افزایش رشد ریشه این اثرات را کاهش داده است و علیرغم اینکه کینوا گیاهی سه‌کربنه است اما از کارایی مصرف آب بالایی برخوردار است (Gámez et al., 2019). افزایش کارایی مصرف آب تحت شرایط کم‌آبیاری لزوماً به معنای افزایش عملکرد نیست، بلکه نشان‌دهنده افزایش نسبت عملکرد تولیدشده به مقدار آب مصرفی است. گیاهان مقاوم به خشکی از طریق تنظیم روزنه‌ای، کاهش تعرق و سازگاری‌های فیزیولوژیک می‌توانند مصرف آب را کاهش داده و کارایی مصرف آب را افزایش دهند (Blum, 2009). به دلیل ارتباط تنگاتنگ محتوای نسبی آب برگ با میزان تعرق، این ویژگی به عنوان شاخصی معتبر برای سنجش میزان تحمل گیاهان نسبت به خشکی مطرح است. مطالعات زیادی کاهش محتوای آب برگ در پاسخ به تنش خشکی در گونه‌های مختلف گیاهی را گزارش کرده‌اند. با بررسی اثر تنش خشکی روی محتوای نسبی آب برگ کینوا بیان شده که تنش خشکی موجب کاهش میزان آب نسبی گردید. به‌طوری که در بالاترین سطح تنش خشکی (۹- بار) کاهش ۴۶ درصدی محتوای نسبی آب برگ نسبت به تیمار شاهد مشاهده شد (Soleimani-Nia et al., 2021). در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی، به ترتیب عملکرد دانه کینوا برابر با ۲۳۶۴.۷ و ۱۷۰۱.۸ کیلوگرم در هکتار ثبت شد. کاهش عملکرد ناشی از خشکی معادل ۲۸ درصد گزارش گردید (Salk Miraji et al., 2020).

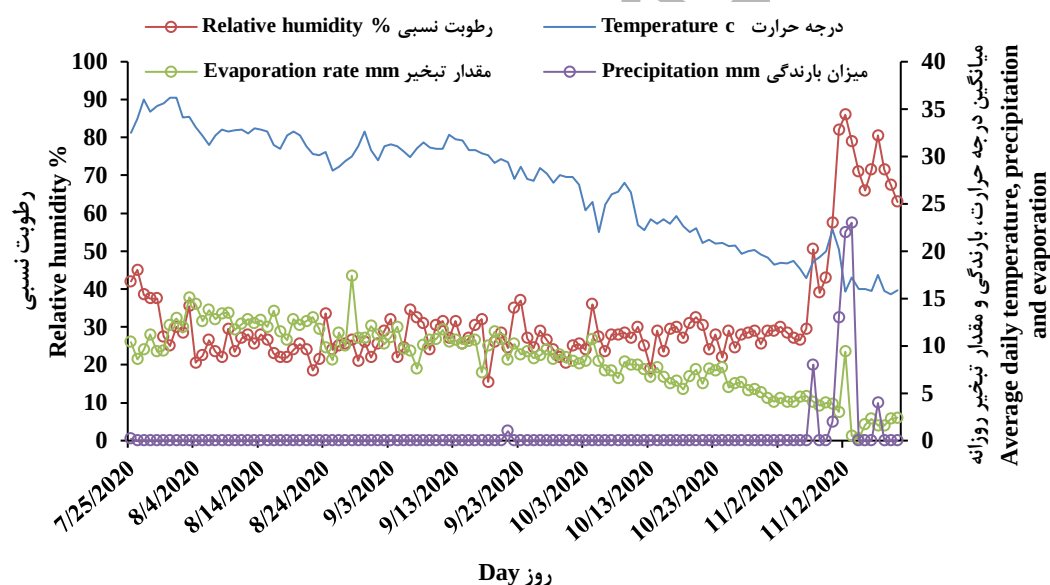
تاریخ کاشت یکی از عوامل مدیریتی بسیار مؤثر در زراعت محسوب می‌شود که نقش کلیدی در تنظیم مراحل فنولوژیکی، رشد و نمو، و عملکرد نهایی گیاه در طول فصل رشد ایفا می‌کند. انتخاب زمان مناسب کاشت، با ایجاد هم‌زمانی مراحل حساس رشدی گیاه با شرایط بهینه دمایی، نوری و رطوبتی، موجب بهبود بهره‌وری و کیفیت محصول می‌شود (Mendoza et al., 2023).

مطالعات جدید نشان می‌دهند که تغییر در تاریخ کاشت می‌تواند طول دوره‌های پیش‌گلدهی، گلدهی و رسیدگی

آزمایش‌های رژیم‌های مختلف آبیاری و تاریخ کاشت مناسب جهت یافتن بهترین زمان کشت و کمترین میزان آب مصرفی این گونه‌ها، این پژوهش به‌منظور اثر رژیم‌های مختلف آبیاری و تاریخ کاشت بر عملکرد و شاخص‌های فیزیولوژیک کینوا در منطقه دهدشت اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در تابستان سال ۱۳۹۹ در شهرستان دهدشت واقع در استان کهگیلویه و بویر احمد با عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۷۹ دقیقه و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۶ دقیقه با ارتفاع از سطح دریا حدود ۹۹۰ متر و میانگین بلند مدت بارندگی سالانه ۵۰۲ میلی‌متر، که دارای شرایط آب و هوایی نیمه خشک و گرم می‌باشد (Raygani and Islami,



شکل ۱. وضعیت درجه حرارت، بارندگی، رطوبت نسبی و مقدار تبخیر در طول دوره پژوهش.

Fig. 1. Temperature, precipitation, relative humidity, and evaporation rate during the research period.

عامل دوم یک متر و فاصله‌ی بین دو بلوک نیز ۳ متر در نظر گرفته شد. در تاریخ ۵ مرداد ماه بر اساس نقشه طرح، عملیات کاشت انجام گرفت. کاشت بذور (ژنوتیپ کینوای مورد کشت Titicaca بود که از مرکز ملی تحقیقات شوری یزد تهیه شد) روی ردیف‌های ۵۰ سانتی‌متری با عمق حدود ۲ سانتی‌متر به‌وسیله دست به‌صورت متراکم کشت شدند. در مرحله ۵ تا ۶ برگ‌ی بوته‌ها جهت دستیابی به تراکم مورد نظر (۳۰ بوته در متر مربع)، بوته‌ها تنک شدند (هدف از انتخاب این تراکم پایین، کنترل بهتر اثرات مستقل تاریخ کاشت و

به‌منظور آماده‌سازی زمین، ابتدا شخم اولیه با گاوآهن قلمی به عمق ۲۵ سانتی‌متر در خرداد ماه و عملیات خاکورزی ثانویه شامل دو مرحله دیسک عمود برهم، عملیات تسطیح زمین توسط تسطیح‌گر (لولر) و همچنین ایجاد جوی و پشته قبل از کاشت در مردادماه انجام گردید، سپس کرت‌بندی و ایجاد پشته‌ها صورت گرفت. کرت‌های فرعی شامل ۷ پشته به فاصله‌ی ۵۰ سانتی‌متر از یکدیگر ایجاد گردید. طول هر کرت فرعی ۵ متر و عرض ۴ متر در نظر گرفته شد. فاصله‌ی کرت‌های عامل اول از یکدیگر را ۳ متر، فاصله‌ی بین کرت‌های

در مرحله ابتدایی پس از کاشت، مورچه‌ها با جمع‌آوری بذرها موجب کاهش تراکم بوته شدند که کنترل آن با استفاده از سموم حشره‌کش مناسب صورت گرفت. همچنین در مرحله رشد رویشی، خسارت ناشی از لارو حشرات برگ‌خوار از جمله کرم برگ‌خوار چغندر قند (*Spodoptera exigua*) مشاهده شد. در مرحله دانه‌بندی نیز به دلیل مشاهده خسارت مجدد توسط این آفت، از سم حشره‌کش کلرپیریفوس (*Chlorpyrifos*) بر اساس دستور مصرف، برای کنترل آفات استفاده شد.

رژیم‌های آبیاری در شرایط نیمه‌خشک و منابع آبی محدود منطقه دهدشت بود. اولین آبیاری بلافاصله پس از هر تاریخ کاشت به صورت کرتی و میزان آب مصرفی توسط کنتور اندازه‌گیری شد. آبیاری تمامی کرت‌های مورد آزمایش تا زمان استقرار کامل گیاه به‌طور ۴ روزه صورت گرفت و بعد از استقرار گیاه در مرحله ۵ برگی رژیم‌های آبیاری با توجه به میزان تبخیر آب از تشتک تبخیر انجام شد. عملیات کنترل علف‌های هرز به صورت وجین دستی در طی مراحل مختلف رشد گیاه انجام گرفت. در طول اجرای این پژوهش، گیاه کینوا در مراحل مختلف رشد با آفات متعددی مواجه گردید.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1. Physical and chemical properties of the soil at the test site

نیتروژن Nitrogen	آهک Lime	هدایت الکتریکی Electrical Conductivity	واکنش خاک (pH)	کربن آلی Organic Carbon	بافت خاک Soil texture
0.09	32	0.6	7.3	0.9	لومی Loam
	%	ds m ⁻¹		%	

جدول ۱. ادامه

Table 1. Continued

فسفر Phosphorus	پتاسیم Potassium	آهن Iron	منگنز Manganese	روی Zinc	مس Copper
8	148	3.4	3.1	2.9	2.6
			mg kg ⁻¹		

پروتئین دانه، از طریق حاصل‌ضرب درصد نیتروژن دانه گیاه در عدد ۶/۲۵، محاسبه شد (Emami, 1996). کارایی مصرف آب از نسبت عملکرد زیستی به میزان آب مصرفی گیاه بدست می‌آید که از معادله ۱ محاسبه گردید (Howell, 1994).

$$[۲] \quad \text{عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)} \\ \text{میزان آب مصرفی (مترمکعب در هکتار)} = \text{کارایی مصرف آب}$$

جهت اندازه‌گیری ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، طول پانیکول از طریق ۵ نمونه تصادفی برداشت شده از هر کرت استفاده شد. برای تعیین صفات عملکرد زیستی و عملکرد دانه، دو مترمربع از هر واحد آزمایش با رعایت اثر حاشیه برداشت شد. شاخص برداشت نیز از نسبت عملکرد اقتصادی (عملکرد بذر) به عملکرد زیستی (مجموع وزن خشک کل اندام‌های هوایی گیاه) به دست آمد. در طول اجرای پژوهش، مراحل فنولوژیک گیاه کینوا شامل زمان گلدهی، رسیدگی فیزیولوژیک و رسیدگی کامل، در کلیه تیمارهای ترکیبی تاریخ کاشت و سطوح مختلف تنش آبی ثبت شد (جدول ۲).

در مرحله گلدهی از برگ‌های جمع‌آوری شده (برگ‌های بالایی جوان و کاملاً باز شده بوته‌ها در صبح زود) محتوای کلروفیل برگ در دو طول موج ۶۴۶ و ۶۶۳ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل ۲۱۰ Ez Lambda قرائت شد (Arnon, 1949). برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب (RWC)، از روش میشر و کادهاری (Mishra and Chaudhary, 1999) استفاده شد. در نهایت مقدار محتوای نسبی آب برگ‌ها با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد: که در این رابطه Fw وزن تر برگ، DW وزن خشک برگ و SW وزن اشباع برگ می‌باشند.

$$[۱] \quad \text{محتوای نسبی آب برگ} = \left(\frac{FW - DW}{SW - DW} \right) \times 100$$

برای اندازه‌گیری شاخص سطح برگ از دستگاه سطح برگ‌سنج مدل CI-202, USA استفاده گردید. شاخص سطح برگ از تقسیم سطح برگ بر سطح زمینی که توسط آن اشغال شده محاسبه شد (Arshad et al., 2016). درصد

جدول ۲. مراحل فنولوژیک گیاه کینوا در تاریخ‌های مختلف کاشت و سطوح مختلف تنش خشکی

Table 2. Phenological stages of quinoa plant at different planting dates and drought stress levels

تاریخ کاشت Planting Date	سطح تنش آبی Irrigation Stress Level	تاریخ گلدهی Flowering Date	تاریخ رسیدگی فیزیولوژیک Physiological Maturity	تاریخ رسیدگی کامل Full Maturity
۵ مرداد 26 July	۴۰ میلی‌متر تبخیر 40 mm evaporation	۱۴۰۲/۰۶/۱۹ 10 Sep 2023	۱۴۰۲/۰۸/۰۵ 27 Oct 2023	۱۴۰۲/۰۸/۲۰ 11 Nov 2023
۵ مرداد 26 July	۸۰ میلی‌متر تبخیر 80 mm evaporation	۱۴۰۲/۰۶/۱۴ 5 Sep 2023	۱۴۰۲/۰۷/۳۰ 22 Oct 2023	۱۴۰۲/۰۸/۱۴ 5 Nov 2023
۵ مرداد 26 July	۱۲۰ میلی‌متر تبخیر 120 mm evaporation	۱۴۰۲/۰۶/۰۹ 31 Aug 2023	۱۴۰۲/۰۷/۲۵ 17 Oct 2023	۱۴۰۲/۰۸/۰۸ 30 Oct 2023
۲۰ مرداد 11 Aug	۴۰ میلی‌متر تبخیر 40 mm evaporation	۱۴۰۲/۰۶/۲۹ 20 Sep 2023	۱۴۰۲/۰۸/۱۵ 6 Nov 2023	۱۴۰۲/۰۸/۳۰ 21 Nov 2023
۲۰ مرداد 11 Aug	۸۰ میلی‌متر تبخیر 80 mm evaporation	۱۴۰۲/۰۶/۲۴ 15 Sep 2023	۱۴۰۲/۰۸/۰۷ 29 Oct 2023	۱۴۰۲/۰۸/۲۲ 13 Nov 2023
۲۰ مرداد 11 Aug	۱۲۰ میلی‌متر تبخیر 120 mm evaporation	۱۴۰۲/۰۶/۲۰ 11 Sep 2023	۱۴۰۲/۰۷/۲۵ 17 Oct 2023	۱۴۰۲/۰۸/۰۸ 30 Oct 2023
۵ شهریور 27 Aug	۴۰ میلی‌متر تبخیر 40 mm evaporation	۱۴۰۲/۰۷/۰۵ 27 Sep 2023	۱۴۰۲/۰۸/۲۱ 12 Nov 2023	۱۴۰۲/۰۹/۰۵ 26 Nov 2023
۵ شهریور 27 Aug	۸۰ میلی‌متر تبخیر 80 mm evaporation	۱۴۰۲/۰۷/۰۲ 24 Sep 2023	۱۴۰۲/۰۸/۱۸ 9 Nov 2023	۱۴۰۲/۰۹/۰۱ 22 Nov 2023
۵ شهریور 27 Aug	۱۲۰ میلی‌متر تبخیر 120 mm evaporation	۱۴۰۲/۰۶/۲۹ 20 Sep 2023	۱۴۰۲/۰۸/۱۶ 7 Nov 2023	۱۴۰۲/۰۸/۲۸ 20 Nov 2023

افزایش احتمالاً به دلیل کاهش دما، کاهش شدت تنش نوری و بهبود شرایط رطوبتی در تاریخ کاشت دیر هنگام بوده است. جهان‌بخش و همکاران (Jahanbakhsh et al 2021) نشان دادند که در شرایط خشکی، کاهش کلروفیل با افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده مانند کلروفیل‌از و پراکسیداز مرتبط است و تنش موجب محدود شدن فتوسنتز و اختلال در رنگ‌دانه‌های برگ می‌شود. همچنین، تحقیق دیگری بر تأثیر تاریخ کاشت نشان داد که کاهش دمای محیطی در تاریخ‌های کاشت دیرتر، نقش مهمی در حفظ رنگ‌دانه‌ها و افزایش غلظت کلروفیل داشته است (Mendoza et al., 2023).

در شرایط تنش خشکی، کاهش انتقال مواد معدنی و عناصر غذایی ضروری برگ در اثر کاهش مکشی ناشی از ترق در آوند چوب سبب افزایش تولید گونه اکسیژن فعال (ROS) در سلول‌های برگ می‌شود. ROSها سبب پراکسیداسیون و در نتیجه تجزیه رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌شوند و اثر بازدارنده بر فعالیت‌های مختلف دستگاه فتوسنتزی بخصوص فعالیت فتوسیستم II می‌گذارد و باعث تخریب غشای تیلاکوئیدی، از بین رفتن ساختار سلولی و اختلال در آنزیم‌های

تجزیه تحلیل آماری با استفاده از نرم افزار SAS نسخه ۹/۱ و مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد انجام شد. تجزیه واریانس به صورت دوطرفه برای بررسی اثرات مستقل و متقابل تاریخ کاشت (عامل اصلی) و رژیم آبیاری (عامل فرعی) انجام شده است. شکل‌ها نیز با استفاده از نرم افزار Excel 2016 ترسیم گردید.

نتایج و بحث

محتوای کلروفیل

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که رژیم آبیاری و تاریخ کاشت، هر کدام به تنهایی تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ بر میزان کلروفیل کل برگ‌های کینوا دارند (جدول ۵). با افزایش شدت تنش خشکی، مقدار کلروفیل به‌طور معناداری کاهش یافت. کم‌ترین کلروفیل کل در سطح آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک حاصل گردید که با سطح آبیاری پس از ۴۰ و ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک به ترتیب اختلاف ۶۷/۷۵ و ۴۳/۳۳ درصدی داشت (جدول ۳). همچنین، تأخیر در تاریخ کاشت از ۵ مرداد به ۵ شهریور، موجب افزایش محتوای کلروفیل کل گردید (جدول ۴). این

در سلول‌های برگ می‌شود. ROSها سبب پراکسیداسیون و در نتیجه تجزیه رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌شوند و اثر بازدارنده بر فعالیت‌های مختلف دستگاه فتوسنتزی بخصوص فعالیت فتوسیستم II می‌گذارد و باعث تخریب غشای تیلاکوئیدی، از بین رفتن ساختار سلولی و اختلال در آنزیم‌های سلول می‌شود (Shirzadi et al., 2021). مطالعات جدید نشان می‌دهند که تنش خشکی و گرما موجب کاهش میزان کلروفیل برگ در گیاه کینوا می‌شود. این پدیده عمدتاً به دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های تخریب‌کننده مانند کلروفیلاز و پراکسیداز و همچنین تولید بیشتر گونه‌های فعال اکسیژن در شرایط تنش است که باعث تجزیه سریع‌تر کلروفیل و کاهش ظرفیت فتوسنتزی می‌شود.

سلول می‌شود (Shirzadi et al., 2021). مطالعات نشان می‌دهند که تنش خشکی با ایجاد اختلال در تعادل آب سلولی و افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن، می‌تواند موجب آسیب به ساختارهای فتوسنتزی، کاهش فعالیت فتوسیستم II و افت ظرفیت فتوسنتزی گیاه شود (Chaves et al., 2009). این پدیده عمدتاً به دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های تخریب‌کننده مانند کلروفیلاز و پراکسیداز و همچنین تولید بیشتر گونه‌های فعال اکسیژن در شرایط تنش است که باعث تجزیه سریع‌تر کلروفیل و کاهش ظرفیت فتوسنتزی می‌شود. در شرایط تنش خشکی، کاهش انتقال مواد معدنی و عناصر غذایی ضروری برگ در اثر کاهش مکشی ناشی از تعرق در آوند چوب سبب افزایش تولید گونه اکسیژن فعال (ROS)

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر رژیم‌های آبیاری بر برخی صفات کینوا

Table 3. Comparison of the mean effect of irrigation regimes on some quinoa traits

عملکرد زیستی Biological Yield	تعداد شاخه‌های جانبی Number of lateral branches	درصد پروتئین دانه Seed protein content percentage	محتوای کلروفیل Chlorophyll content
kg ha ⁻¹		%	mg g ⁻¹ fresh leaf tissue
2258.79 ^a	20.22 ^a	13.34 ^c	3.69 ^a
Irrigation after 40 mm of pan evaporation			
2145.86 ^b	17.10 ^b	16.10 ^b	2.10 ^b
Irrigation after 80 mm of pan evaporation			
2072.34 ^c	13.70 ^c	20.84 ^a	1.19 ^c
Irrigation after 120 mm of pan evaporation			

میانگین‌هایی که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار با یکدیگرند (آزمون دانکن در سطح ۵ درصد). Means in each column followed by the same letter(s) are not significantly different according to Duncan's test at 5% probability level.

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر تاریخ کاشت بر برخی صفات کینوا

Table 4. Comparison of the mean effect of planting dates on some quinoa traits

عملکرد زیستی Biological Yield	تعداد شاخه‌های جانبی Number of lateral branches	درصد پروتئین دانه Seed protein content	کلروفیل Chlorophyll	تاریخ کاشت Planting dates
kg ha ⁻¹		%	mg g ⁻¹ fresh leaf tissue	
2158.10 ^b	16.29 ^b	19.26 ^a	1.89 ^a	۵ مرداد July 26
2345.11 ^a	17.48 ^a	18.40 ^a	2.40 ^b	۲۰ مرداد August 10
1953.26 ^c	17.59 ^a	13.34 ^b	2.69 ^c	۵ شهریور August 26

میانگین‌هایی که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار با یکدیگرند (آزمون دانکن در سطح ۵ درصد). Means in each column followed by the same letter(s) are not significantly different according to Duncan's test at 5% probability level.

جدول ۵. تجزیه واریانس دوطرفه (میانگین مربعات) اثر رژیم‌های آبیاری و تاریخ کاشت برای برخی صفات کینوا

Table 5. Two-way analysis of variance (mean squares) for the effects of different irrigation regimes and planting dates on some agronomic and physiological traits of quinoa

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	شاخص سطح			
			کلروفیل Chlorophyll	محتوای نسبی آب برگ Leaf relative water content (RWC)	برگ Leaf area index (LAI)	ارتفاع گیاه Height of plant
Replication	تکرار	2	0.02 ^{ns}	0.016 ^{ns}	0.001 ^{ns}	3.04 ^{ns}
Planting date (A)	تاریخ کاشت	2	1.47 ^{**}	1176.82 ^{**}	0.81 ^{**}	228.32 ^{**}
Error a	خطای a	4	0.01	2.19	0.002	19.35
Irrigation regime (B)	رژیم آبیاری	2	14.39 ^{**}	3307.11 ^{**}	5.91 ^{**}	82.37 ^{**}
A*B	تاریخ کاشت × رژیم آبیاری	4	0.01 ^{ns}	88.88 ^{**}	0.13 ^{**}	68.09 ^{**}
Error b	خطای b	12	0.04	8.25	0.002	3.95
CV (%)	ضریب تغییرات		8.58	4.05	14.62	1.97

Table 5. Continued

جدول ۵. ادامه

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	تعداد شاخه‌های جانبی Number of lateral branches		طول پانیکول Length of panicle	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد زیستی Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	کارایی مصرف آب Water use efficiency
Replication	تکرار	2	0.37 ^{ns}		1.27 ^{ns}	6.25 ^{ns}	525.21 ^{ns}	0.36 ^{ns}	0.1 ^{ns}
Planting date (A)	تاریخ کاشت (A)	2	4.65 ^{ns}		6.26*	90600.25*	345727.94**	526.72**	0.012**
Error of a	خطای a	4	0.77		4.18	27.53	1742.83	1742.83	0.0012
Irrigation regime (B)	رژیم آبیاری (B)	2	96.30**		120.34**	107289.81**	83.75.20**	0.64**	0.11**
A*B	تاریخ کاشت × رژیم آبیاری	4	10.13 ^{ns}		20.95**	8546.75**	1397.14 ^{ns}	22.84**	0.0028**
Error of b	خطای b	12	3.37		2.16	30.55	2031.83	8.29	0.00001
CV (%)	ضریب تغییرات		10.72		2.98	0.69	2.10	7.75	0.017

^{ns}, * و ** به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار، معنی‌دار در سطوح ۵٪ و ۱٪ را نشان می‌دهد

ns, *, and ** indicate non-significant differences, significant differences at the 5% level, and significant differences at the 1% level, respectively

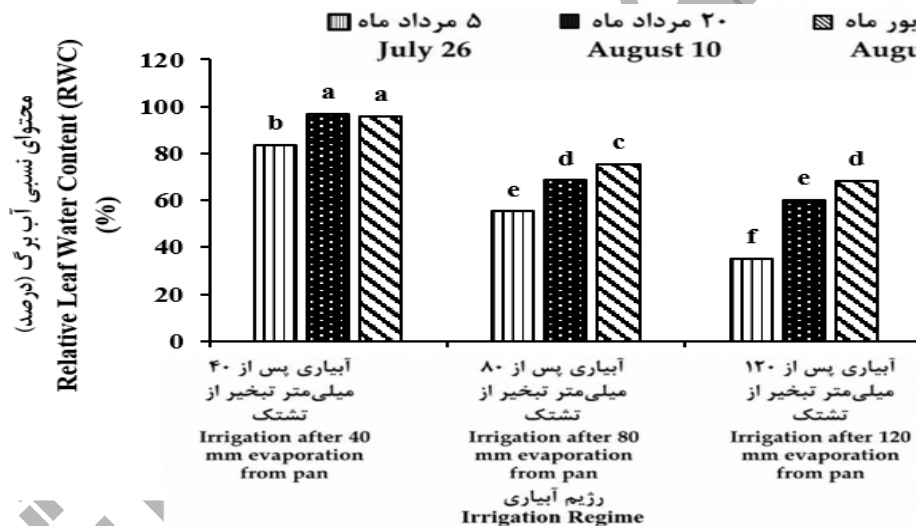
برگ و بسته شدن روزنه‌ها، به افت کلروفیل منجر شود. در مقابل، تاریخ‌های ۲۰ مرداد و ۵ شهریور که با دمای مناسب‌تر و رطوبت قابل قبول‌تری همراه هستند، شرایط مناسبی را برای حفظ یا افزایش غلظت کلروفیل فراهم می‌کنند. این

همچنین مشخص شده است که شرایط مدیریتی از جمله زمان کاشت نیز نقش مهمی در تنظیم میزان کلروفیل دارد؛ به‌گونه‌ای که کاشت در زمان نامناسب، نظیر ۵ مردادماه که با دمای بالا همراه است، می‌تواند با افزایش تبخیر، کاهش آب

موضوع در مطالعات محمدپور و همکاران (Mohamadpoor et al., 2025) و موسوی (Mousavi Sardou, 2024) نیز تأیید شده است؛ آن‌ها گزارش کردند که شرایط خشکی و گرمای شدید در مناطق گرم باعث افت شدید رنگدانه‌های فتوسنتزی از جمله کلروفیل a و b در کینوا می‌شود. همچنین کاربرد تیمارهای تغذیه‌ای و مدیریت تاریخ کاشت به عنوان راهکارهایی برای کاهش اثرات منفی تنش و حفظ کلروفیل برگ مطرح شده‌اند.

محتوای نسبی آب برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد تیمارهای آبیاری و تاریخ کاشت و برهم‌کنش آن‌ها در سطح احتمال ۰/۰۱ بر محتوای نسبی آب برگ کینوا معنی‌دار شد (جدول ۵). نتایج مقایسه



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم آبیاری و تاریخ کاشت بر محتوای نسبی آب برگ در کینوا. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون دانکن با یکدیگر ندارند.

Fig. 2. Comparison of the average interactive effect of irrigation regime and planting date on the relative leaf water content in quinoa. Means that share at least one common letter do not have a significant difference at the five percent probability level based on Duncan's test

اختلاف دمای سایه‌انداز نسبت به محیط بیشتر باشد، گیاه در وضعیت رطوبتی مناسب‌تری قرار دارد.

بر اساس نتایج آزمایش‌های محمدپور و همکاران (Mohamadpoor et al., 2025)، تحت تنش خشکی، کاهش معنی‌دار محتوای نسبی آب برگ در کینوا ثبت شد. اثر تاریخ کاشت بر محتوای نسبی آب برگ گیاه ارزن مورد مطالعه قرار گرفت و نتایج نشان داد که تاریخ کاشت ۱ تیرماه بیشترین محتوای نسبی آب برگ و تاریخ کاشت ۱۵ تیرماه با ۷۸/۵ درصد دارای کمترین محتوای نسبی آب برگ بود

خشکی باعث بسته‌شدن روزنه‌ها از طریق افزایش تجمع هورمون آبسازیک شده و به دنبال آن، محتوای نسبی آب برگ کاهش می‌یابد. بین رطوبت خاک و میزان آب برگ، رابطه‌ای مستقیم وجود دارد؛ به‌طوری که با کاهش رطوبت در ناحیه ریشه، میزان آب برگ نیز کاهش یافته و گیاه در معرض تنش قرار می‌گیرد. مطالعات اخیر نشان داده‌اند که دمای سایه‌انداز گیاه می‌تواند به عنوان شاخص غیرمستقیم برای وضعیت رطوبتی گیاه مورد استفاده قرار گیرد. در واقع، هرچه

تبخیر از تشتک اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید (شکل ۳).

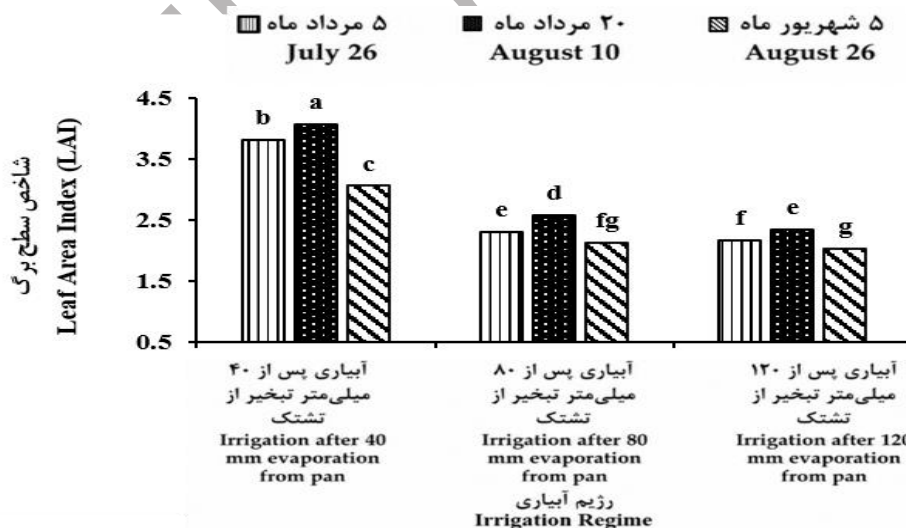
تنش خشکی باعث کاهش تعداد برگ و شاخص سطح برگ (LAI) در گیاه کینوا می‌شود. این کاهش ناشی از اختلال در تورژسانس سلولی، محدود شدن تقسیم سلول‌ها و بسته شدن روزنه‌ها در شرایط کم‌آبی است. در نتیجه، رشد برگ‌ها کند شده و سطح فتوسنتز کاهش می‌یابد.

پژوهش اسلام و همکاران (Aslam et al., 2025) نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش چشمگیر LAI و رشد برگ در کینوا شد؛ با این حال، کاربرد سلنیوم باعث بهبود شاخص سطح برگ تا ۵۳/۲۰ درصد گردید. همچنین، جمشیدینی و همکاران (Jamshideyni et al., 2025) نیز گزارش کردند که استفاده از ورمی کمپوست و اسید گاما آمینوبوتیریک توانست رشد برگ و LAI را در شرایط کم‌آبی به‌طور معنی‌داری بهبود بخشد. همچنین، میرسافی و همکاران (Mirsafi et al., 2024) نشان دادند که روش کاشت و آبیاری ناقص نیز نقش مهمی در حفظ شاخص سطح برگ و عملکرد کینوا در فصل خشک دارد.

(Nematpour and Eshghizadeh, 2019). در زمینه زمان کاشت نیز مشخص شده است که کاشت دیرتر در فصل رشد، به‌ویژه در مناطقی با تنش گرمای انتهای فصل، باعث بهبود وضعیت آبی گیاه می‌شود. دلیل آن، هم‌زمانی مراحل حساس رشد گیاه با شرایط دمایی معتدل‌تر و افزایش ظرفیت جذب آب توسط گیاه است.

شاخص سطح برگ

مطابق نتایج جدول ۵ اثر تاریخ کاشت و آبیاری و برهمکنش آن‌ها بر شاخص سطح برگ کینوا (در سطح احتمال ۰/۰۱) معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین برهمکنش آبیاری و تاریخ کاشت نشان داد بیشترین شاخص سطح برگ از سطح ۴۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک و در تاریخ کاشت ۲۰ مرداد ماه به‌دست آمد و کم‌ترین آن از سطح ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک و در تاریخ کاشت ۵ شهریور ماه حاصل گردید. همچنین نتایج نشان داد بین تاریخ کاشت ۵ مرداد ماه در سطح آبیاری پس از ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک و تاریخ کاشت ۲۰ مرداد ماه در سطح آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر



شکل ۳ مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم آبیاری و تاریخ کاشت بر شاخص سطح برگ در کینوا. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون دانکن با یکدیگر ندارند.

Fig. 3. Comparison of the average interactive effect of irrigation regime and planting date on the leaf area index in quinoa. Means that share at least one common letter do not have a significant difference at the five percent probability level based on Duncan's test

معنی‌دار بود (جدول ۵). طبق نتایج مقایسه میانگین با افزایش سطوح تنش وارد شده به گیاه درصد پروتئین دانه افزایش یافت. بیشترین درصد پروتئین دانه (۲۰/۸۸ درصد) از تیمار

درصد پروتئین دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر رژیم آبیاری و تاریخ کاشت بر درصد پروتئین دانه کینوا در سطح احتمال ۱٪

آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک و کمترین مقدار از پایین‌ترین سطح تنش (۴۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک) به‌دست آمد (جدول ۳). این افزایش عمدتاً به دلیل کاهش تشکیل آندوسپرم نشاسته‌ای و افزایش سهم جنین و پوسته است که غنی از پروتئین می‌باشند. همچنین، انتقال مجدد نیتروژن از برگ به دانه‌ها در شرایط خشکی افزایش یافته و بر سنتز پروتئین اثرگذار است (Gámez et al., 2019).

در مطالعه‌ای دیگر، افزایش درصد پروتئین در شرایط تنش با کاهش عملکرد دانه همراه بود که نشان‌دهنده رابطه معکوس بین عملکرد و درصد پروتئین است (Mirsafi et al., 2024). نتایج مقایسه میانگین اثر تاریخ کاشت بر درصد پروتئین دانه کینوا نشان داد با تغییر تاریخ کاشت از ۵ مرداد ماه به ۵ شهریور ماه درصد پروتئین کاهش یافت. بیشترین درصد پروتئین دانه از تاریخ کاشت ۵ مرداد ماه و کمترین آن از تاریخ کاشت ۵ شهریور ماه حاصل گردید که با یکدیگر اختلاف ۳۰/۷۳ درصدی داشتند. همچنین بین تاریخ کاشت ۵ مرداد ماه و ۲۰ مرداد ماه تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴). تاریخ کاشت زود هنگام، به دلیل طولانی‌تر بودن فصل رشد و فراهم‌بودن شرایط نوری و دمایی مناسب، فرصت بیشتری برای جذب و انتقال نیتروژن به دانه‌ها فراهم می‌کند که می‌تواند منجر به افزایش درصد پروتئین شود (Saddiq et al., 2021). در مقابل، کاشت‌های دیر هنگام معمولاً با کوتاه‌شدن دوره رشد و محدودیت جذب نیتروژن مواجه شده و این امر کاهش درصد پروتئین را به دنبال دارد.

ارتفاع گیاه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تاریخ کاشت، رژیم آبیاری و برهم‌کنش آن‌ها بر ارتفاع بوته کینوا در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها (شکل ۴) نشان داد بیشترین ارتفاع گیاه (۱۰۷/۲۲ سانتی‌متر) در تاریخ کاشت ۲۰ مرداد با آبیاری پس از ۴۰ میلی‌متر تبخیر، و کمترین ارتفاع (۸۸/۱۱ سانتی‌متر) در تاریخ ۵ مرداد با آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر به‌دست آمد. در تمام سطوح تنش، تاریخ کاشت ۲۰ مرداد عملکرد بهتری نسبت به دیگر تاریخ‌ها داشت. با افزایش شدت تنش خشکی، ارتفاع بوته کاهش یافت، ولی بین برخی تیمارها تفاوت معنی‌داری دیده نشد. کاهش ارتفاع بوته تحت تنش خشکی به دلیل افت فشار تورژسانس سلولی و کاهش فتوسنتز اتفاق می‌افتد که در

نهایت رشد مریستم و تقسیم سلولی را محدود می‌سازد (Ziaei et al., 2020).

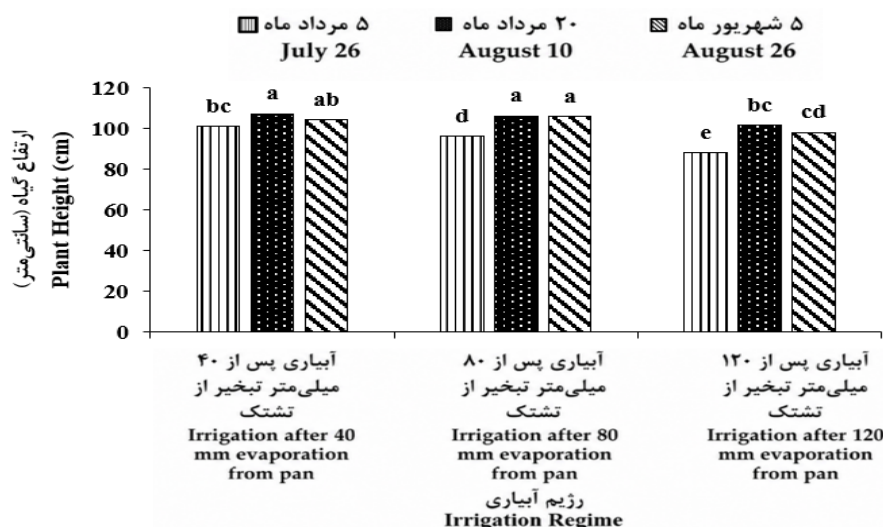
کاهش طول دوره رشد می‌تواند موجب کاهش رشد رویشی و در نهایت کاهش ارتفاع بوته شود (Stoleru et al., 2023). به‌نظر می‌رسد کاهش ارتفاع بوته در تاریخ کاشت ۵ مرداد، ناشی از شرایط نامناسب محیطی و کوتاه شدن دوره رشد بوده است. در مقابل، شرایط مطلوب‌تر در تاریخ ۲۰ مرداد سبب افزایش فرصت رشد و در نتیجه افزایش ارتفاع بوته شد. در تاریخ ۵ شهریور نیز به دلیل کوتاه شدن دوره رشد، ارتفاع گیاه نسبت به ۲۰ مرداد کاهش یافت. این نتایج با یافته‌های دکا و همکاران (Deka et al., 2015) هم‌خوانی دارد که در آن نیز تأخیر در کاشت منجر به کاهش رشد رویشی و کاهش ارتفاع بوته گزارش شد.

تعداد شاخه‌های جانبی

بر اساس نتایج جدول ۵، اثر آبیاری و تاریخ کاشت بر تعداد شاخه‌های جانبی گیاه کینوا در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود، اما اثر برهم‌کنش آن‌ها معنی‌دار نشد. به‌طور کلی با افزایش شدت تنش خشکی، تعداد شاخه‌های جانبی کاهش یافت. بیشترین مقدار این صفت در آبیاری پس از تبخیر ۴۰ میلی‌متر و کمترین آن در ۱۲۰ میلی‌متر مشاهده شد (شکل ۹). همچنین تأخیر در تاریخ کاشت تا ۵ شهریور سبب افزایش تعداد شاخه‌های جانبی گردید، در حالی که کاشت زود هنگام (۵ مرداد) با کمترین مقدار همراه بود (جدول ۴). کاهش تعداد شاخه‌های جانبی تحت تنش خشکی به سازوکارهای فیزیولوژیکی گیاه نسبت داده می‌شود. کینوا در شرایط تنش، با کاهش توسعه اندام‌های رویشی مانند شاخه‌های جانبی، منابع انرژی را به سمت بقاء و تولید بذر هدایت می‌کند. تحقیقات اخیر نیز نشان می‌دهند که تحت تنش، گیاهان با محدود کردن رشد رویشی و هدایت منابع به رشد زایشی، استراتژی اجتناب از تنش را پیاده می‌کنند. مطالعه‌ای توسط تانگ و همکاران (Tang et al., 2024) نشان داد که تحت تنش خشکی، ارتفاع گیاه، تعداد شاخه‌های جانبی و وزن خشک کاهش می‌یابد که مستقیماً بر عملکرد اثر دارد. همچنین پژوهش لودج و همکاران (Laouedj et al., 2023) نشان داد در مناطق بیابانی، تراکم کاشت و مدیریت آبیاری تأثیر زیادی بر رشد رویشی کینوا، از جمله تعداد شاخه‌های جانبی دارد. نتایج تحقیق صمدزاده و همکاران (Samadzadeh et al., 2020) نیز در اقلیم خراسان جنوبی

مناسب و مدیریت تنش آبی نقش کلیدی در حفظ توسعه شاخه‌های جانبی و افزایش توان فتوسنتزی در گیاه کینوا دارد.

نشان دادند که تاریخ کاشت مناسب باعث افزایش تعداد شاخه‌های جانبی شده و تنش خشکی این صفت را به شدت کاهش می‌دهد. بنابراین، به‌نظر می‌رسد انتخاب تاریخ کاشت



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم آبیاری و تاریخ کاشت بر ارتفاع گیاه در کینوا. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون دانکن با یکدیگر ندارند.

Fig. 4. Comparison of the mean interaction effect of irrigation regime and planting date on plant height in quinoa. Means that share at least one common letter do not differ significantly at the five percent probability level according to Duncan's test.

به‌طور کلی، افزایش شدت تنش خشکی موجب کاهش عملکرد دانه شد. این کاهش می‌تواند به دلیل محدود شدن رشد رویشی، کاهش سطح برگ، کاهش ظرفیت فتوسنتزی، اختلال در رشد اندام‌های زایشی و کاهش انتقال مواد فتوسنتزی به دانه باشد. مطالعات انجام‌شده روی کینوا نیز نشان داده‌اند که تنش خشکی و دمای بالا می‌توانند موجب کاهش زیست‌توده، عملکرد دانه و صفات مرتبط با عملکرد شوند (Yang et al., 2016; Gámez et al., 2019).

علاوه بر تنش آبی، زمان کاشت نیز نقش تعیین‌کننده‌ای در عملکرد کینوا دارد؛ زیرا تغییر تاریخ کاشت می‌تواند شرایط دمایی و رطوبتی طی مراحل گلدهی و پر شدن دانه را تغییر دهد. بنابراین، تطبیق مراحل حساس رشد گیاه با شرایط مطلوب محیطی می‌تواند موجب افزایش رشد اندام‌های زایشی، بهبود تشکیل دانه و افزایش عملکرد شود (Nagib et al., 2020).

در مقابل، گرمای زیاد در تاریخ ۵ مردادماه باعث کوتاه‌شدن دوره زایشی و کاهش طول پانیکول شد، و در تاریخ

طول پانیکول

بر اساس نتایج جدول ۵، تأثیر تاریخ کاشت در سطح احتمال ۵٪ و اثر آبیاری و برهم‌کنش آن‌ها در سطح احتمال ۱٪ بر طول پانیکول کینوا معنی‌دار بود. با افزایش شدت تنش خشکی، طول پانیکول کاهش یافت. در آبیاری پس از ۴۰ و ۸۰ میلی‌متر تبخیر، تاریخ کاشت ۲۰ مردادماه بیشترین طول پانیکول را نشان داد، در حالی که کمترین مقدار آن در تاریخ ۵ مردادماه مشاهده شد.

در تیمار ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر نیز بیشترین طول پانیکول مربوط به کاشت ۲۰ مردادماه بود، ولی اختلاف معنی‌داری با کاشت ۵ شهریورماه نداشت. کمترین طول پانیکول در این سطح تنش، در کاشت ۵ مردادماه ثبت شد (شکل ۵).

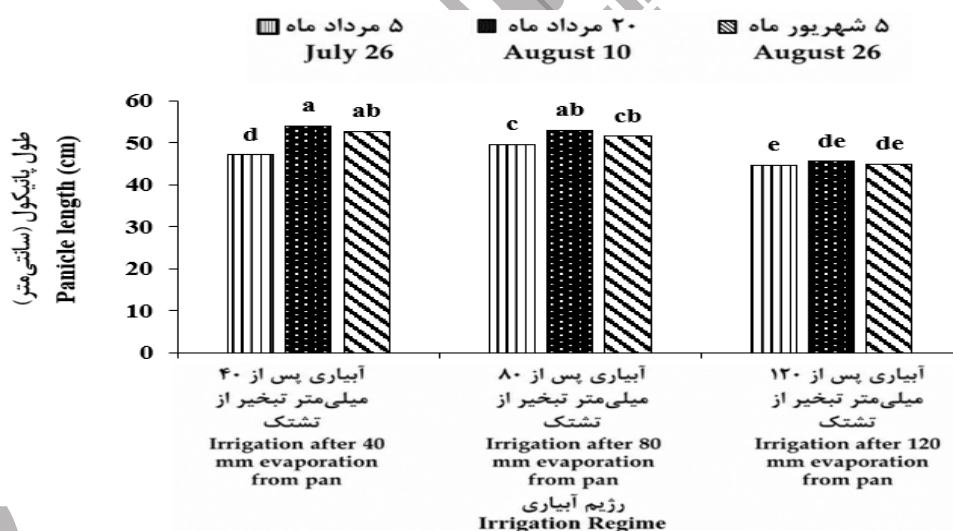
کاهش طول پانیکول تحت تنش خشکی به دلیل محدودشدن تقسیم، رشد و طویل شدن سلول‌های آن در شرایط کم‌آبی است. کاهش رطوبت خاک منجر به محدودیت در رشد زایشی، کوتاه‌شدن فصل رشد و در نهایت کاهش طول پانیکول می‌شود (Yang et al., 2016; Maliro et al., 2017).

انتقال ماده خشک به دانه می‌شود (Chaves et al., 2009; Gámez et al., 2019). در کینوا، تنش خشکی به‌ویژه در مراحل حساس رشد می‌تواند با کاهش زیست‌توده، تغییر تخصیص مواد فتوسنتزی و کاهش اجزای عملکرد، عملکرد نهایی دانه را کاهش دهد (Yang et al., 2016). علاوه بر این، زمان‌بندی نامناسب کاشت نیز بر عملکرد تأثیر گذاشت. در کاشت ۵ مرداد، دوره گلدهی با دمای بالا هم‌زمان شد و باعث کاهش عملکرد شد. همچنین، در کاشت ۵ شهریور، بارندگی‌های پایان فصل با مرحله گلدهی تداخل داشت و کاهش معنی‌داری در عملکرد ایجاد کرد. بنابراین، بنابراین، تنظیم صحیح تاریخ کاشت از طریق تطبیق مراحل حساس رشدی گیاه با دما، طول روز و رطوبت مناسب، می‌تواند باعث رشد بهتر، افزایش سطح برگ، توسعه کامل‌تر اندام‌های زایشی، و در نتیجه افزایش عملکرد دانه شود (Bertero et al., 1999; Nagib et al., 2020). بهترین عملکرد زمانی حاصل می‌شود که رطوبت کافی و شرایط محیطی مطلوب با مراحل کلیدی رشد گیاه هم‌زمان گردد.

۵ شهریورماه نیز افت دما در انتهای فصل، کاهش رشد و ذخیره مواد فتوسنتزی را به دنبال داشت.

عملکرد دانه

بر اساس نتایج جدول ۵، تاریخ کاشت در سطح احتمال ۵٪، اثر آبیاری و برهمکنش آن‌ها در سطح احتمال ۱٪ تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه داشتند. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در هر سه سطح تنش خشکی، تاریخ کاشت ۲۰ مرداد بالاترین عملکرد دانه را به خود اختصاص داد. برای مثال، در سطح تنش ۴۰ میلی‌متر تبخیر، عملکرد به ۱۰۹۴ کیلوگرم در هکتار رسید، در حالی که در تاریخ کاشت ۵ شهریور و همین سطح تنش، عملکرد به ۳۰۳ کیلوگرم در هکتار کاهش یافت (شکل ۶). کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی را می‌توان به محدود شدن رشد رویشی و زایشی گیاه نسبت داد. کمبود آب با کاهش توسعه سطح برگ، کاهش رشد اندام‌های هوایی، محدود شدن گسترش اندام‌های زایشی و کاهش ظرفیت فتوسنتزی، در نهایت موجب کاهش تولید و



شکل ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم آبیاری و تاریخ کاشت بر طول پانیکول در کینوا. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون دانکن با یکدیگر ندارند.

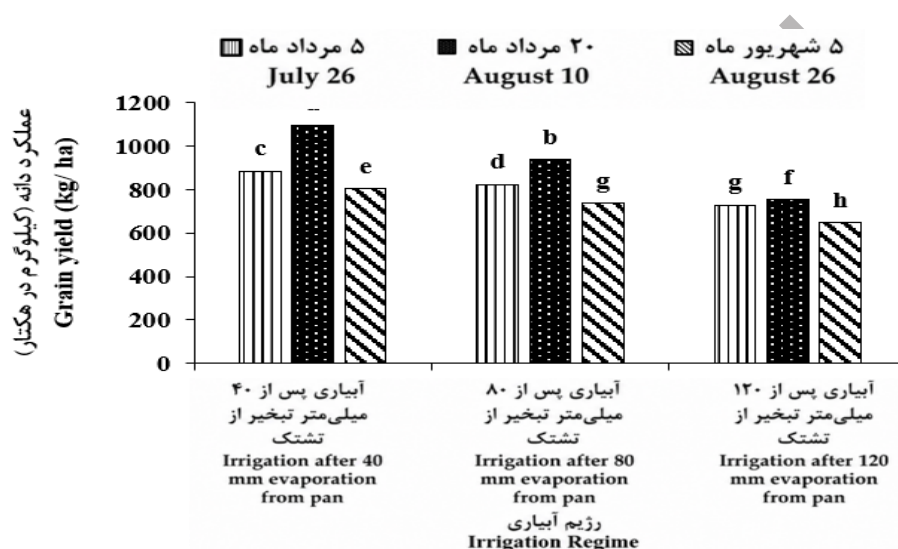
Fig. 5. Comparison of the average interaction effect of irrigation regime and planting date on panicle length in quinoa. Means that share at least one common letter do not differ significantly at the five percent probability level according to Duncan's test.

نیمه‌خشک و منابع آبی محدود منطقه دهدشت بود. همچنین، کاهش تراکم بوته می‌تواند در برخی شرایط، از رقابت درون‌بوته‌ای کاسته و به رشد بهتر اندام‌های هوایی منجر شود. با این حال، باید اذعان داشت که یکی از دلایل کاهش عملکرد دانه در این تحقیق، می‌تواند ناشی از همین

در این پژوهش، تراکم بوته معادل ۳۰ بوته در مترمربع انتخاب شد که نسبت به مقادیر توصیه‌شده در برخی منابع داخلی و بین‌المللی (بین ۱۰۰ تا ۱۵۰ بوته در مترمربع) پایین‌تر است. هدف از انتخاب این تراکم پایین، کنترل بهتر اثرات مستقل رژیم‌های آبیاری و تاریخ کاشت در شرایط

بوته با رژیم‌های آبیاری و تاریخ کاشت در قالب طرح‌های فاکتوریل یا اسپلیت اسپلیت پلات مدنظر قرار گیرد. همچنین، تحلیل اقتصادی جامع با در نظر گرفتن عملکرد دانه، شاخص برداشت، و هزینه‌های نهاده‌ها (بذر، آبیاری و ...) می‌تواند در تعیین تراکم بهینه برای کشت اقتصادی کینوا در شرایط اقلیمی منطقه دهدشت بسیار مفید باشد.

تراکم پایین باشد. مطالعات متعددی مانند مطالعه اعتباری و همکاران (Etebari et al., 2022) نشان داده‌اند که تراکم‌های بالاتر می‌توانند عملکرد اقتصادی بهتری در کینوا ایجاد نمایند، به‌ویژه در شرایط بدون تنش یا با آبیاری مناسب. لذا ضروری است که این موضوع به‌عنوان یک عامل محدودکننده عملکرد مورد توجه قرار گیرد. از این رو، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی، بررسی اثر متقابل تراکم



شکل ۶. مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم آبیاری و تاریخ کاشت بر عملکرد دانه در کینوا. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون دانکن با یکدیگر ندارند.

Fig. 6. Comparison of the average interaction effect of irrigation regime and planting date on grain yield in quinoa. Means that share at least one common letter do not differ significantly at the five percent probability level according to Duncan's test.

عملکرد زیستی

در تاریخ ۲۰ مرداد (۲۳۴۵ کیلوگرم در هکتار) و کمترین آن در ۵ شهریور (۱۹۵۳ کیلوگرم در هکتار) ثبت شد (جدول ۴). کاهش شاخص سطح برگ در تاریخ‌های ۵ مرداد و ۵ شهریور در این پژوهش احتمالاً ناشی از قرار گرفتن مراحل حساس رشد گیاه در شرایط نامناسب دمایی بوده است. در تاریخ کاشت ۵ مرداد، افزایش دما در دوره رشد زایشی می‌تواند موجب کوتاه شدن دوره رشد و کاهش تجمع ماده خشک شود، در حالی که در تاریخ کاشت ۵ شهریور، کاهش دمای انتهای فصل ممکن است با محدود کردن رشد زایشی و کاهش سرعت پر شدن دانه، عملکرد زیستی و عملکرد دانه را کاهش داده باشد. حساسیت مراحل رشد کینوا به شرایط دمایی و طول دوره رشد، اهمیت انتخاب تاریخ کاشت مناسب را نشان می‌دهد (Bertero et al., 1999).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که رژیم آبیاری و تاریخ کاشت، هرکدام به‌تنهایی اثر معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ بر عملکرد زیستی کینوا دارند (جدول ۵). بیشترین عملکرد زیستی (۲۲۵۸ کیلوگرم در هکتار) در آبیاری پس از ۴۰ میلی‌متر تبخیر ثبت شد و با افزایش شدت تنش (۸۰ و ۱۲۰ میلی‌متر)، عملکرد زیستی به‌ترتیب حدود ۵.۹۰ و ۸.۲۵ درصد کاهش یافت (جدول ۳).

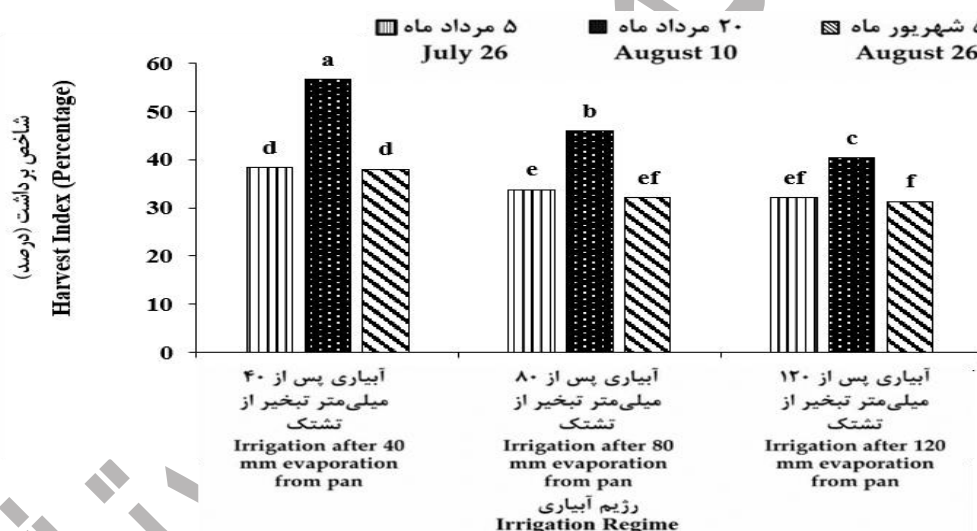
تنش خشکی با کاهش توسعه سطح برگ، کاهش هدایت روزنه‌ای و محدود کردن ورود دی‌اکسید کربن به برگ، ظرفیت فتوسنتزی گیاه را کاهش داده و در نتیجه تولید ماده خشک و عملکرد زیستی را محدود می‌سازد. کاهش سطح برگ در شرایط کم‌آبی موجب کاهش سطح فعال فتوسنتزی گیاه شده و محدودیت در تجمع زیست‌توده را به دنبال دارد (Chaves et al., 2009). از نظر تاریخ کاشت، بیشترین عملکرد زیستی

شاخص برداشت

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که رژیم آبیاری، تاریخ کاشت و برهم‌کنش آن‌ها در سطح احتمال ۱٪ اثر معنی‌داری بر شاخص برداشت کینوا دارند (جدول ۵). با افزایش شدت تنش خشکی، شاخص برداشت کاهش یافت و تاریخ کاشت ۲۰ مرداد نسبت به دیگر تاریخ‌ها بالاترین شاخص برداشت را نشان داد. بیشترین مقدار شاخص برداشت (۲۶٪/۵۶) مربوط به تاریخ ۲۰ مرداد و آبیاری پس از ۴۰ میلی‌متر تبخیر، و کمترین مقدار (۲۶٪/۳۱) در تاریخ ۵ شهریور و آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر ثبت شد (شکل ۷). شاخص برداشت بیانگر کارایی انتقال مواد فتوسنتزی به دانه است و به شدت تحت تأثیر آب در دسترس قرار دارد؛ (Flexas et al., 2004; Nohong and Nompou, 2015).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که رژیم آبیاری، تاریخ کاشت و برهم‌کنش آن‌ها در سطح احتمال ۱٪ اثر معنی‌داری بر شاخص برداشت کینوا دارند (جدول ۵). با افزایش شدت تنش خشکی، شاخص برداشت کاهش یافت و تاریخ کاشت ۲۰ مرداد نسبت به دیگر تاریخ‌ها بالاترین شاخص برداشت را نشان داد. بیشترین مقدار شاخص برداشت (۲۶٪/۵۶) مربوط به تاریخ ۲۰ مرداد و آبیاری پس از ۴۰ میلی‌متر تبخیر، و کمترین مقدار (۲۶٪/۳۱) در تاریخ ۵ شهریور و آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر ثبت شد (شکل ۷).

شاخص برداشت بیانگر کارایی انتقال مواد فتوسنتزی به دانه است و به شدت تحت تأثیر آب در دسترس قرار دارد؛ (Flexas et al., 2004; Nohong and Nompou, 2015).



شکل ۷. مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم آبیاری و تاریخ کاشت بر شاخص برداشت در کینوا.

Fig. 7. Comparison of the average interaction effects of irrigation regimes and planting dates on the harvest index in quinoa

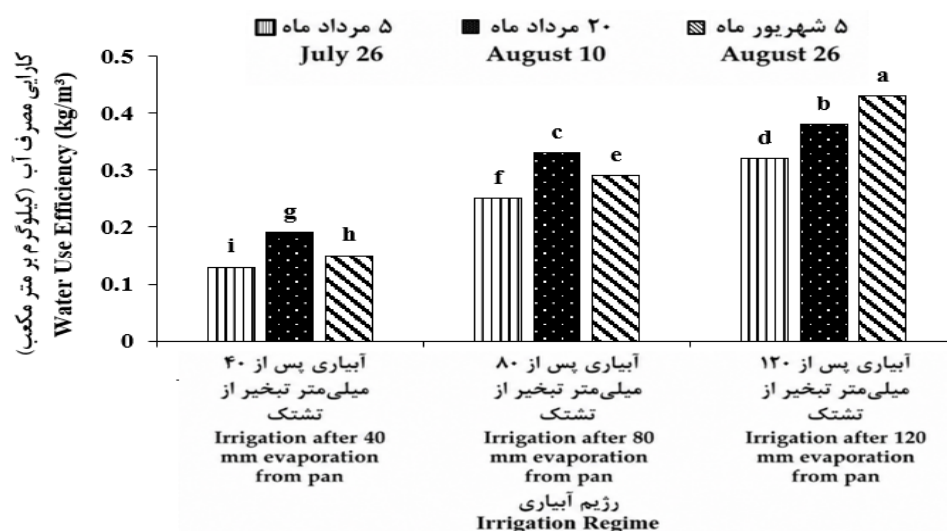
در شرایط کم‌آبی، گیاه با کاهش هدایت روزنه‌ای و محدود کردن تعرق، از کاهش سریع وضعیت آبی خود جلوگیری می‌کند. با این حال، کاهش بیش از حد باز شدن روزنه‌ها می‌تواند ورود دی‌اکسید کربن به برگ را محدود کرده و موجب کاهش فتوسنتز و تجمع ماده خشک شود (Chaves et al., 2009). این پاسخ باعث افزایش نسبت فتوسنتز به تعرق می‌شود و در نتیجه تجمع ماده خشک نسبت به مصرف آب بهبود می‌یابد. مطالعات احمدی و همکاران (Ahmadi et al., 2019) نشان داده‌اند که کینوا تحت تنش خشکی می‌تواند هدایت روزنه‌ای و پتانسیل آب برگ را کنترل کرده

کارایی مصرف آب

بر اساس نتایج جدول ۵، اثر آبیاری، تاریخ کاشت و برهم‌کنش آن‌ها بر کارایی مصرف آب در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. با افزایش شدت تنش خشکی، کارایی مصرف آب افزایش یافت. در آبیاری پس از ۴۰ و ۸۰ میلی‌متر تبخیر، تاریخ کاشت ۲۰ مرداد ماه بیشترین کارایی را داشت، در حالی که در آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر، ۵ شهریور ماه بیشترین کارایی مصرف آب را نشان داد. در این سطح تنش، تاریخ ۵ شهریور نسبت به تاریخ‌های ۵ و ۲۰ مرداد، به ترتیب ۲۵ و ۱۱/۶۲ درصد عملکرد بهتری داشت (شکل ۸).

عملکرد پایین‌تر در تاریخ کاشت ۵ مردادماه احتمالاً ناشی از قرار گرفتن مراحل حساس رشد گیاه در شرایط دمایی نامناسب و افزایش نیاز تبخیری محیط بوده است. افزایش دما در مراحل زایشی می‌تواند موجب کوتاه شدن دوره رشد، کاهش تجمع ماده خشک و محدود شدن عملکرد دانه شود (Yang et al., 2016).

و نسبت جذب دی‌اکسیدکربن به دفع آب را تا دو برابر افزایش دهد. این سازگاری باعث می‌شود حتی در شرایط خشکی، عملکرد گیاه نزدیک به آبیاری کامل باقی بماند. افزایش چشمگیر کارایی مصرف آب در تیمار با تبخیر ۱۲۰ میلی‌متر، علاوه بر ویژگی‌های فیزیولوژیک کینوا، به مصرف کمتر آب نیز نسبت داده شده است (Akhtar et al., 2014). در مقابل،



شکل ۸. مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم آبیاری و تاریخ کاشت بر کارایی مصرف آب در کینوا. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون دانکن با یکدیگر ندارند.

Fig. 8. Comparison of the average interaction effect of irrigation regime and planting date on water use efficiency in quinoa. Means with at least one common letter do not have a significant difference at the 5% probability level based on Duncan's test.

(۲۳۴۵/۱۱) کیلوگرم در هکتار) و شاخص برداشت (۵۶/۶۰ درصد) متعلق به تاریخ کاشت ۲۰ مرداد و در تنش ۴۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک بود که در مقایسه با دو تاریخ کاشت دیگر (۵ مرداد و ۵ شهریور) افزایش معنی‌داری را از خود نشان داد؛ بنابراین می‌توان گفت بهترین تاریخ کاشت کینوا در منطقه خشک و نیمه‌خشک دهدشت، تاریخ ۲۰ مردادماه و بهترین سطح رژیم آبیاری برای گیاه کینوا در منطقه دهدشت رژیم آبیاری بعد از تبخیر ۴۰ میلی‌متر آب است.

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج این پژوهش نشان داد تنش خشکی و تاریخ کاشت، صفات مورفو-فیزیولوژیک و عملکردی گیاه کینوا را تحت تأثیر قرار داد و با افزایش سطوح تنش خشکی از میزان صفات مورد بررسی کاسته شد، اما بر کارایی مصرف آب و پروتئین دانه افزوده شد. بیشترین محتوای نسبی آب برگ (۹۶/۷۷ درصد)، عملکرد دانه (۱۰۹۴ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد زیستی

منابع

- Ahmadi, S.H., Solgi, S., Sepaskhah, A.R., 2019. Quinoa: A super or pseudo-super crop? Evidence 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. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105784>
- Akhtar, S.S., Andersen, M.N., Liu, F., 2014. Biochar enhances yield and quality of tomato under reduced irrigation. *Agricultural Water*

- Management. 138, 37-44.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.02.016>
- Arnon, D.E., 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenol oxidase (*Beta vulgaris*). Plant Physiology. 24, 1-15.
- Arshad, M.N., Ahmad, A., Wajid, A., Rasul, F., Khaliq, T., Awais, M., Fatima, H.N., 2016. Quantification of growth, yield and radiation use efficiency of sunflower at different irrigation and nitrogen levels under semi-arid conditions of Faisalabad. Journal of Agricultural Research. 54, 647-656.
- Aslam, M.U., Raza, M.A.S., Iqbal, R., Ahmad, S., Haider, I., Mustafa, A.E.M.A., Rizwana, H., Aghayeva, S., Gruda, N.S., 2025. Significance of selenium in improving the yield and quality of quinoa under drought. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 25. 1466–1479.
<https://doi.org/10.1007/s42729-025-02214-4>
- Bertero, H.D., King, R.W., Hall, A.J., 1999. Photoperiod-sensitive development phases in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Field Crops Research. 60(3), 231–243.
[https://doi.org/10.1016/S0378-290\(98\)00128-2](https://doi.org/10.1016/S0378-290(98)00128-2)
- Blum, A., 2009. Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. Field Crops Research. 112(2–3), 119–123.
<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.03.009>
- Chaves, M.M., Flexas, J., Pinheiro, C., 2009. Photosynthesis under drought and salt stress: Regulation mechanisms from whole plant to cell. Annals of Botany. 103(4), 551–560.
<https://doi.org/10.1093/aob/mcn125>
- Deka, K.K., Das Milu, R., Bora, P., Mazumder, N., 2015. Effect of sowing dates and spacing on growth and cluster bean (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) in subtropical climate of Assam. Indian Journal of Agricultural Research. 49, 250-254.
- Emami, A., 1996. Methods of Plant Analysis. Technical Bulletin No. 982. Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. 130 p. [In Persian]
- Ergo, V.V., Lascano Vega, R., Parola, R., Carrera, C.S., 2018. Heat and water stressed field-grown soybean: A multivariate study on the relationship between physiological-biochemical traits and yield. Environmental and Experimental Botany. 148, 1-11.
<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.12.023>
- Etebari, A. R., Galeshi, S., Anaghali, A., Torabi, B., 2022. Studying the effect of planting date and density on quinoa plant under saline and dryland conditions. Journal of Crop Production. 15, 219-235. [In Persian].
<https://doi.org/10.22069/ejcp.2022.19996.2489>
- Flexas, J., Bota, J., Loreto, F., Cornic, G., Sharkey, T.D., 2004. Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C3 plants. Plant Biology. 6, 269-279. <https://doi.org/10.1055/s-2004-820867>
- Gómez, A.L., Soba, D., Zamarreño, Á.M., García-Mina, J.M., Aranjuelo, I., Morales, F., 2019. Effect of water stress during grain filling on yield, quality and physiological traits of Illpa and Rainbow quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars. Plants, 8, 173.
<https://doi.org/10.3390/plants8060173>
- Granado-Rodríguez S, Aparicio N, Matías J, Pérez-Romero LF, Maestro I, Gracés I, Pedroche JJ, Haros CM, Fernandez-Garcia N, Navarro del Hierro J, Martin D, Bolaños L and Reguera M., 2021. Studying the impact of different field environmental conditions on seed quality of quinoa: The case of three different years changing seed nutritional traits in southern Spain. Frontiers in Plant Science. 12, 649132.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2021.649132>
- Gupta, A., Rico-Medina, A., Caño-Delgado, A. I., 2020. The physiology of plant responses to drought. Science, 368(6488), 266–269.
<https://doi.org/10.1126/science.aaz7614>
- Hosseini, S. H., Rahimi Karizaki, A., Biabani, A., Nakhzari Moghaddam, A., Talee, F., 2020. Investigation of physiological growth indices and yield of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) under the influence of different planting dates. Crop Production Journal, 13, 99-116. [In Persian].
- Hosseini, S. H., Rahimi Karizaki, A., Biabani, A., Nakhzari Moghaddam, A., Talaii, F., 2021. Investigation of the effect of planting date on phenological stages, morphological characteristics, yield, and yield components of quinoa (*Chenopodium Quinoa* L.). Journal of Agricultural Crop Production, 14, 17-32. [In Persian].
<https://doi.org/10.22069/ejcp.2021.17388.2287>

- Howell, T.A., 1994. Irrigation Engineering: Evapotranspiration. In: Arntzen, C.J., Ritter, E.M. (Eds.), Encyclopedia of Agricultural Science. Academic Press, San Diego, CA, USA, pp. 345–356
- Jahanbakhsh, S., Moradi, R., Khajoei-Nejad, G., Naghizadeh, M., 2020. Effect of planting date, drought stress and salicylic acid on yield and biochemical characteristics of quinoa. Iranian Journal of Field Crop Science. 51(4), 55-71. [In Persian].
<https://doi.org/10.22059/ijfcs.2020.284610.654622>
- Jamshideyni, M., Behdani, M.A., Parsa, S., Khoramdel, S., 2025. Different levels of vermicompost and gamma-aminobutyric acid under drought stress can positively affect quinoa growth parameters, malondialdehyde content, and amino acids. Plant Productions. <https://doi.org/10.22055/ppd.2025.47985.2207>
- Karami, R., Faraji, H., Movahedi Dehnavi, M., Khoshroo, A. R., 2020. Interaction of nitrogen and plant density on quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) growth and yield. Crop Production Journal, 13, 111-124. [In Persian].
- Laouedj, H., Kherraz, K., Touati, S., Messoudi, M., Ghemam Amara, D., Kadour, A., 2023. Effect of plating density on *Chenopodium Quinoa* Willd growth and yield in desert areas. NeuroQuantology, 21, 997–1006.
<https://doi.org/10.48047/nq.2023.21.01.NQ20077>
- Maliro, M. F. A., Guwela, V. F., Nyaika, J., & Murphy, K. M. (2017). Preliminary studies of the performance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes under irrigated and rainfed conditions of Central Malawi. Frontiers in Plant Science, 8, 227.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00227>
- Mamdi, A., Tohkel-Afshari, R., Dadkhahi, E., 2015. Introduction to the Seed Characteristics and Properties of Quinoa: A New Crop for Iran. In: Proceedings of the Third National Congress of Scientific Student Associations of Agriculture and Natural Resources. 6 May 2015, Karaj, Iran [In Persian]
- Mendoza V., Mendoza R., Dmitriev D.V., 2023. Introduction and adaptation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars in Krasnodar region of Russia. Vegetable Crops of Russia. 6, 117-122.
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-117-122>
- Mirsafi, S.M., Sepaskhah, A.R., Ahmadi, S.H., 2024. Physiological traits, crop growth, and grain quality of quinoa in response to deficit irrigation and planting methods. BMC Plant Biology. 24, 809
<https://doi.org/10.1186/s12870-024-05523-5>
- Mishra, A., Choudhuri, M.A., 1999. Effects of salicylic acid on heavy metal-induced membrane deterioration mediated by lipoxygenase in rice. Biologia Plantarum. 42, 409–415.
<https://doi.org/10.1023/A:1002469303670>
- Mohamadpoor, G., Farzaneh, S., Khomari, S., Raeisi Sadati, S.Y., Seyed Sharifi, R., Esmailpour, B., Azarshab, K., 2025. Effect of humic acid and seaweed extract application on some biochemical traits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under irrigation cut-off in two locations of Kermanshah province. Plant Productions. 48, 105- 123. [In Persian].
- Mousavi Sardou, S. F., 2024. The effect of foliar application of glycine betaine on biochemical, physiological, and agronomic traits of quinoa plant (*Chenopodium quinoa* Wild.) under different irrigation regimes. Crop Science Research in Arid Regions, 6, 139-155. [In Persian].
<https://doi.org/10.22034/csrar.2024.457698.1417>
- Nagib, S.R., Gahory, A.M.O., Hassan, A.A., 2020. Productivity and quality of quinoa yield (*Chenopodium quinoa* Willd.) as affected by planting date and plant spacings. Scientific Journal of Flowers & Ornamental Plants. 7(4), 541–548.
<https://doi.org/10.21608/sjfop.2020.139786>
- Nematpour, E., Eshghizadeh, H. R., 2020. Effect of drought stress, nitrogen chemical fertilization, and planting date on some agro-physiological traits of two millet varieties. Plant Process and Function. 8, 171-186. [In Persian].
- Nohong, B., Nompo, S., 2015. Effect of water stress on growth, yield, proline and soluble sugars contents of Signal grass and Napier grass species. American Eurasian Journal of Sustainable Agriculture, 9, 14-21.
- Raygani, E., Islami, M., 2018. Investigation of the impact of natural (environmental) factors on the formation and sustainability of the historic city of Dehdasht. Iranian-Islamic City Studies. 8, 51-62. [In Persian].

- Repo-Carrasco-Valencia, R., Hellström, J.K., Pihlava, J.M., Mattila, P.H., 2010. Flavonoids and other phenolic compounds in Andean indigenous grains: Quinoa (*Chenopodium quinoa*), kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) and kiwicha (*Amaranthus caudatus*). Food Chemistry, 120(1), 128–133. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.09.087>
- Saddiq, M. S., Iqbal, S., Hafeez, M. B., Wang, X., Khan, S., 2021. Effect of water stress on grain yield and physiological characters of quinoa genotypes. Agronomy. 11, 1934. <https://doi.org/10.3390/agronomy11101934>
- Salehi, M., Soltani, V., Dehghani, F., 2019. Effect of planting date on phenological stages and grain yield of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) under saline conditions. Environmental Stresses in Crop Sciences. 12, 923-932. [In Persian]. <https://doi.org/10.22077/escs.2019.1514.1341>
- Salk Miraji, H., Tavakoli, A., Sepahvand, N.A., 2020. Effect of cytokinin foliar application on morphological traits and yield of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under optimal irrigation and drought stress conditions. Ecophysiology of Field Crops. 4, 479–498. [In Persian]
- Samadzadeh, A., Zamani, G., Fallahi, H., 2020. Possibility of quinoa production under South-Khorasan climatic condition as affected by planting densities and sowing dates. Applied Field Crops Research, 33, 82-104. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/aj.2020.125793.1392>
- Shirzadi, N., Nasr Esfahani, M., Haji Hashemi, M., 2021. The identification of physiological and biochemical changes in leaves and shoots of *Stevia rebaudiana* under low temperature stress. Plant Research Journal (Iranian Journal of Biology), 34(2), 467–480. [In Persian]
- Soleimani-Nia, Z., Mohtadi, A., Movahedi Dehnavi, M., 2021. Response of some physiological and morphological traits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) to zinc application under drought stress conditions. Plant Process and Function Journal. 10, 171-186. [In Persian].
- Stoleru, V., Sellami, M.H., Gavrilescu, M., et al., 2023. Worldwide development of agronomic management practices for quinoa cultivation: A systematic review. Frontiers in Agronomy. <https://doi.org/10.3389/fagro.2023.1215441>
- Tang, P., Ren, A., Jiang, Z., Wang, R., Cui, K., Wu, X., Sun, M., 2024. Evaluation of Quinoa varieties for adaptability and yield potential in low altitudes and correlation with agronomic traits. Agronomy. 14, 852. <https://doi.org/10.3390/agronomy14040852>
- Valdivia-Cea, W., Bustamante, L., Jara, J., Fischer, S., Holzapfel, E., Wilckens, R., 2021. Effect of soil water availability on physiological parameters, yield, and seed quality in four quinoa genotypes (*Chenopodium quinoa* Willd.). Agronomy. 11, 1012. <https://doi.org/10.3390/agronomy11051012>
- Yang, A., Akhtar, S. S., Amjad, M., Iqbal, S., Jacobsen, S. E. (2016). Growth and physiological responses of quinoa to drought and temperature stress. Journal of Agronomy and Crop Science, 202(6), 445–453. <https://doi.org/10.1111/jac.12167>
- Ziaei, S.M., Salimi, K., Amiri, S.R., 2020. Investigation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) cultivation under different irrigation intervals and foliar spraying in Saravan region. Scientific Journal of Crop Physiology. 12, 113-125. [In Persian].