

Modelling the effects of drought stress and weeds competition on quinoa  
(*Chenopodium quinoa* Willd.) yield

Maryam Naraghi<sup>1</sup>, Nasser Majnoun Hosseini<sup>\*2</sup>, Mostafa Oveisi<sup>3</sup>, Hamid Rahimian Mashhadi<sup>4</sup>,  
Mahmoud Bagheri<sup>5</sup>

1,2,3,4. Agronomy And Plant Breeding Department, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran.

5. Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research Education and Extension, Karaj, Iran.

(Received: July 11, 2021 - Accepted: September 28, 2021)

ABSTRACT

Quinoa is a pseudo cereal from Amaranthaceae family, which is currently considered as a suitable alternative for plants with high water consumption due to its high nutritional value and stresses tolerance, especially drought and salinity. Meanwhile, reduction in crop yield caused by weeds competing for water, light and nutrients is well known. Hence, a study was conducted in Karaj to investigate the competitive capacity of quinoa with weeds under normal irrigation and drought stress and also to determine the required time for weed control. The experiment was arranged in split plot randomized complete block design with four replications consisted of irrigation levels (60, 80 and 100 mm evaporation from the evaporation pan) as main plots and weed control levels (0, 7, 14, 28 days of control and control in all seasons) as subplots. The highest quinoa grain (331 g/m<sup>2</sup>) and biological yields (1262 g/m<sup>2</sup>) were obtained under normal irrigation in weeds free treatment. Also, the lowest grain and biological yields were 139 and 723 g/m<sup>2</sup>, respectively that obtained under high drought stress in weeds infestation during growing season. In one month weeds free treatment under medium drought stress, grain and biological yields were 290 and 1010.25 g/m<sup>2</sup>, which show that despite the competitive potency of summer weeds, quinoa has good competitiveness in drought stress, and with one month of weed control, can achieve performance close to full control. In logistic model fitting to the grain yield, the maximum and minimum values of  $y_0$  and  $a$ , i.e. upper and lower limits, were observed in normal irrigation and high drought stress, respectively; although, the maximum and minimum values of GDD<sub>50</sub> were obtained in high drought stress and normal irrigation, respectively.

**Keywords:** Critical period, biological yield, deficit-irrigation, modeling, weed control.

مدلسازی عملکرد کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) تحت تأثیر تنش خشکی و رقابت علف‌های هرز

مریم نراقی<sup>۱</sup>، ناصر مجنون حسینی<sup>۲</sup>، مصطفی اویسی<sup>۳</sup>، حمید رحیمیان مشهدی<sup>۴</sup>، محمود باقری<sup>۵</sup>

۱ و ۲ و ۳ - به ترتیب دانشجو، استاد، دانشیار و استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران، کرج.

۴ - استادیار، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۴/۲۰ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۷/۶)

چکیده

کینوا شبه‌غله‌ای از خانواده تاج‌خروسیان است که در حال حاضر، به دلیل ارزش غذایی بالا و تحمل تنش‌ها به‌ویژه خشکی و شوری، به‌عنوان جایگزین مناسبی برای گیاهان با مصرف آب بالا مطرح است. از طرفی، علف‌های هرز با رقابت بر سر عواملی مانند آب، نور و مواد معدنی با گیاه زراعی، همواره از عوامل محدودکننده عملکرد بوده‌اند. بنابراین جهت بررسی قدرت رقابتی کینوا با علف‌های هرز در شرایط نرمال و تنش خشکی و نیز تعیین زمان لازم برای کنترل علف‌های هرز، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خردشده با چهار تکرار در کرج اجرا شد. سطوح آبیاری در کرت‌های اصلی (۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) و سطوح کنترل در کرت‌های فرعی (صفر، هفت، ۱۴، ۲۸ روز کنترل و کنترل در تمام فصل) قرار گرفتند. بیشترین عملکرد دانه و عملکرد زیستی کینوا در آبیاری نرمال و کنترل کامل علف‌هرز و به‌ترتیب برابر با ۳۳۱ و ۱۲۶۲ گرم در مترمربع و کمترین آن‌ها در تنش شدید و عدم کنترل مشاهده شد و به‌ترتیب ۱۳۹ و ۷۲۳ گرم در مترمربع بود. در تیمار یک ماه کنترل و تنش ملایم، عملکرد دانه و عملکرد زیستی به‌ترتیب برابر با ۲۹ و ۱۰۱۰/۲۵ گرم در مترمربع بود که نشان می‌دهد، با وجود قدرت رقابتی علف‌های هرز تابستانه، کینوا در تنش خشکی توان رقابتی مناسبی داشته است و در صورت یک ماه کنترل علف‌های هرز، عملکردی نزدیک به کنترل کامل حاصل می‌شود. در برازش عملکرد دانه به مدل لجستیک، بیشترین و کمترین مقادیر پارامترهای  $y_0$  و  $a$ ، یعنی حد بالا و پایین، به‌ترتیب در آبیاری نرمال و تنش شدید مشاهده شد و ولی بیشترین و کمترین مقدار پارامتر GDD<sub>50</sub> به‌ترتیب در تنش شدید و آبیاری نرمال به‌دست آمد.

**واژه‌های کلیدی:** دوره بحرانی، عملکرد زیستی، کم‌آبیاری، کنترل علف‌هرز، مدلسازی.

## مقدمه

خشکی، سرما و شوری، مقاومت بالایی دارد و نیاز آن به نهاده‌ها مانند آب و مواد مغذی کم است (Jacobsen *et al.*, 2005; Garcia *et al.*, 2007).

نتایج مطالعه‌ای که به منظور بررسی اثر تنش‌های آبی دوره‌ای بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام کینوا در مشهد انجام شد نشان داد که با توجه به کمبود منابع آبی در اکثر نقاط کشور، اعمال تنش آبی در مرحله دانه بستن برای آبیاری گیاه کینوا مناسب است.

بررسی اثر کم‌آبیاری بر عملکرد دانه در منطقه گرگان نشان داد که بین تیمارهای ۱۰۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه در صفت عملکرد دانه تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد؛ بنابراین می‌توان این گیاه را با ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه در گرگان کاشت (Jamali, 2016). همچنین نتایج پژوهش دیگری نشان داد که بین تیمارهای بدون تنش، تنش در مرحله دو تا شش و شش تا ۱۲ برگ، در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. اعمال تنش در مرحله سفت شدن دانه نیز نسبت به شاهد، تفاوت معنی‌داری ایجاد نکرد (Geerts *et al.*, 2006).

کینوا گیاهی گرمادوست است که ضمن سازگاری با شرایط نامساعد محیطی، از پتانسیل رشد بالایی برخوردار است و در قیاس با سایر محصولات، کاهش عملکرد ناشی از تنش در کینوا کمتر است. از طرفی، اغلب علف‌های هرز تابستانه C<sub>4</sub> هستند و مقاومت خوبی به خشکی و گرما دارند؛ به این ترتیب علف‌هرز می‌تواند عامل محدودکننده‌ای در کشت و زراعت کینوا باشد. علف‌هرز مستقیماً بر عملکرد اثر می‌گذارد، زیرا بر سر عواملی مانند آب، نور و مواد معدنی با گیاه زراعی رقابت می‌کند که این رقابت پایدار، معمولاً منجر به کاهش کمیت و کیفیت محصول می‌شود (Guglielmini *et al.*, 2017; Lowry & Smith, 2018). در مطالعه‌ای روی رقابت علف‌هرز با گیاه زراعی در کشت مخلوط کینوا و سیب‌زمینی، مبارزه با هرز علف‌های هرز در کشت مخلوط کینوا و سیب‌زمینی، باعث کاهش شدت رقابت بین کینوا و علف‌های هرز در جذب منابع موجود شد و در نتیجه بوته‌های کینوا به دلیل جذب مواد غذایی موجود در ریزوسفر، رطوبت، فضا و نور کافی، از رشد

پیش‌بینی‌ها برای تأثیر تغییرات اقلیم بر کشاورزی ایران در سال ۲۰۵۰ میلادی (۱۴۳۰ شمسی) نشان می‌دهد که میانگین دمای سالانه مناطق مختلف کشور، ۳/۵ تا ۴/۵ درجه سانتیگراد افزایش و بارش سالانه هفت تا ۱۴ درصد کاهش می‌یابد (Koocheki *et al.*, 2016). تغییرات اقلیمی با تأثیر بر بارش و دما، رشد و نمو گیاهان زراعی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. در اثر پیامدهای تغییر اقلیم در بعضی محصولات مهم زراعی از جمله گندم، برنج، ذرت، نخود و چغندر قند تا سال ۲۰۵۰، افت شدید عملکرد پیش‌بینی شده است (Kang *et al.*, 2003; Koocheki & Nassiri Mahallati, 2016). همچنین نتایج بسیاری از تحقیقات نشان داده است که تغییرات اقلیمی، مراحل نموی را در بسیاری از گیاهان زراعی مانند گندم، چغندر قند و ذرت را کوتاه‌تر خواهد کرد (Tao *et al.*, 2009; Koocheki & Nassiri, 2016).

با توجه به جدی بودن موضوع تغییر اقلیم و بحران آب در کشور، کشت گیاهان زراعی متداول، اقتصادی نیست و باید گیاهان با نیاز آبی کمتر، سازگار با شرایط خشکی و کم‌آبی، متحمل به تنش‌های محیطی و... را معرفی و جایگزین نمود؛ یکی از این گیاهان، شبه‌غله کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) است. کینوا ارزش غذایی بالایی دارد و از ۵۰۰۰ سال پیش، بخش مهمی از غذای مردم منطقه آند در آمریکای جنوبی را تشکیل می‌دهد (Bazile *et al.*, 2015). این گیاه به همان شیوه غلات استفاده می‌شود، اما بر خلاف گندم و برنج، حاوی مجموعه‌ای متعادل از انواع اسیدهای آمینه ضروری و فاقد گلوتن است؛ بنابراین برای بیماران دیابتی و مبتلایان به سلیاک، دانه آن جایگزین خوبی برای غلات محسوب می‌شود (Jacobsen *et al.*, 2010). کینوا در ایران، گیاهی جدید به شمار می‌رود و امکان کشت و تولید محصول مناسب آن در استان‌های کرمان، خوزستان، سیستان و بلوچستان، یزد و البرز گزارش شده است (Sepahvand *et al.*, 2011). تولید آن به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، موجب تنوع در محصولات زراعی، تولید پایدار و امنیت غذایی می‌شود (Jamali *et al.*, 2016)، چرا که این گیاه در برابر

کینوا با علف‌هرز در شرایط نرمال آبیاری و تنش آبی و تعیین زمان لازم برای کنترل علف‌های هرز جهت جلوگیری از افت اقتصادی عملکرد کینوا در شرایط نرمال آبیاری و تنش آبی اجرا شد.

### مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در بهار و تابستان ۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران واقع در کرج (۵۰ درجه و ۵۴ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۵۵ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ۱۳۱۲ متر از سطح دریا) اجرا شد. برخی از مشخصات خاک و پارامترهای اقلیمی منطقه آزمایش در طول فصل زراعی در (جدول ۱) و (نمودار ۱) آمده است.

مطلوبی برخوردار شدند که موجب افزایش تعداد و شاخص سطح برگ در تیمارهای کنترل علف‌هرز در مقایسه با تیمار شاهد شد (Jalali et al., 2021). حضور و رقابت علف‌های هرز در مزرعه کینوا باعث شد تا تعداد دانه در بوته از ۴۳۱۲ به ۱۶۲ کاهش یابد؛ درحالی‌که در تیمار کنترل علف‌های هرز، تعداد دانه در بوته از ۱۸۱ به ۵۱۱۰ افزایش یافت. همچنین محتوای پلی‌فنول کل، تحت تأثیر تنش حاصل از رقابت علف‌های هرز افزایش و در تیمارهای کنترل علف‌های هرز کاهش یافت (Merino et al., 2019).

با وجود اهمیت و تأثیر علف‌های هرز بر عملکرد و رشد و نمو گیاه زراعی، تحقیقات درباره رقابت علف‌هرز با گیاه زراعی کینوا محدود است و به‌ویژه در سطح استان البرز، تحقیقی در این زمینه صورت نگرفته است. بنابراین آزمایش پیش‌رو با هدف بررسی توان رقابتی

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

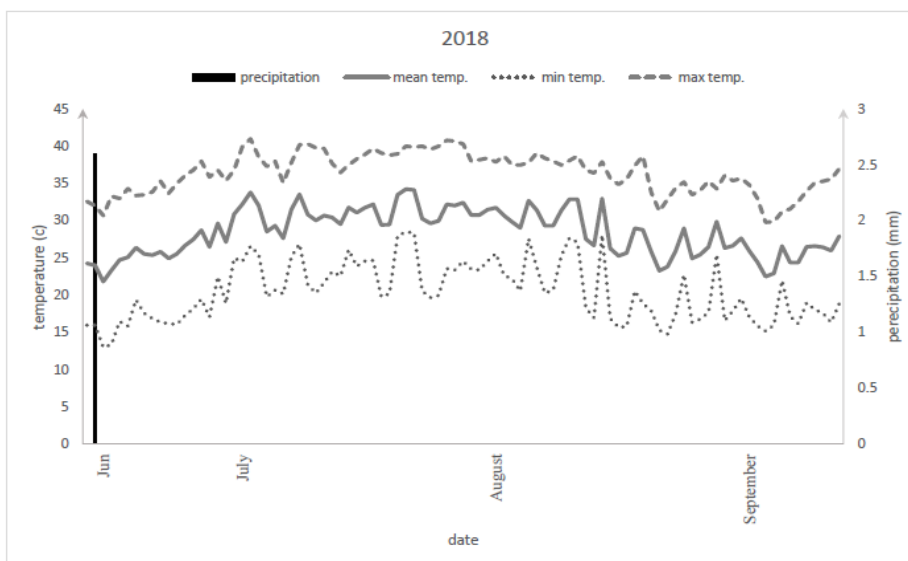
Table 1. Physicochemical properties of field soil

available P (mg/kg)	available K (mg/kg)	total N (%)	Organic carbon (%)	EC (ds/m)	pH	texture
13.7	164	0.093	0.73	1.56	8.2	loamy clay

گلدھی استفاده شد.

زمین طرح متشکل از ۶۰ کرت به ابعاد ۲/۵ در سه متر و هر کرت شامل شش ردیف بود. فاصله بین ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها روی هر ردیف ۱۰ سانتی‌متر بود و فاصله بین دو کرت، ۱/۵ متر و فاصله بین تکرارها ۲/۵ متر در نظر گرفته شد. بذر کینوا رقم تیتیکاکا از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر تهیه و در ۲۱ خرداد به صورت دستی کشت شد. بذرها به‌صورت سطحی و در عمق یک سانتی‌متری خاک کاشته و روی آن‌ها با لایه نازکی از ورمی‌کمپوست پوشانده شد. آبیاری بلافاصله بعد از کاشت صورت گرفت و پس از استقرار بوته‌ها و با در نظر گرفتن تراکم ۲۵ بوته در مترمربع، بوته‌ها تنک شدند.

آزمایش به صورت اسپلیت پلات با چهار تکرار اجرا شد. کرت‌های اصلی شامل سه سطح آبیاری (آبیاری نرمال (آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر)، تنش ملایم (آبیاری پس از ۸۰ میلی‌متر تبخیر) و تنش شدید (آبیاری پس از ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A)) و کرت‌های فرعی شامل پنج سطح کنترل علف‌هرز (بدون کنترل، هفت، ۱۴، ۳۰ روز کنترل و کنترل در تمام فصل) بودند. عملیات تهیه زمین شامل شخم عمیق در پاییز و انجام شخم تکمیلی و دیسک و افزودن ۷۵ کیلوگرم در هکتار از کودهای سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم در زمان تهیه زمین بودند. کود اوره به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار، ۵۰ درصد زمان کاشت و ۵۰ درصد به صورت سرک اضافه شد. جهت استحکام ساقه و پیشگیری از خوابیدگی، از کود پتاس قبل از



نمودار ۱- داده‌های هواشناسی منطقه در طول اجرای آزمایش

Figure 1. Meteorology data of the experimental area during the research

بودن، سپس به علف‌های هرز اجازه رویش و رقابت با کینوا تا پایان فصل داده شد.

در پایان فصل رشد و پس از حذف ۰/۵ متر از ابتدا و انتهای ردیف‌ها و دور ردیف کناری هر کرت به عنوان اثر حاشیه، کودراتی به مساحت ۰/۵ مترمربع به‌طور تصادفی در هر کرت قرار داده شد و تمام بوته‌های گیاه زراعی و علف‌های هرز کفبر و به تفکیک در پاکت‌های کاغذی به آزمایشگاه منتقل شد. نمونه‌ها پس از شناسایی و شمارش، جهت تعیین وزن خشک به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتیگراد در آون قرار گرفتند و سپس وزن شدند. برداشت کینوا در بیست- و پنجم شهریورماه انجام شد. همچنین در همان تاریخ و پس از حذف ۰/۵ متر از هر طرف کرت به‌عنوان اثر حاشیه، سطح باقیمانده در هر کرت به مقدار سه مترمربع جهت تعیین عملکرد دانه برداشت شد.

برای محاسبه درجه روز-رشد از رابطه زیر استفاده شد:

$$GDD = \sum_{i=1}^n T_{ave} - T_b \quad \text{رابطه ۳}$$

که در آن، GDD: واحدهای دمایی تجمع یافته در درجه روزها، n: تعداد روز اندازه‌گیری دما،  $T_{ave}$ : میانگین دما و  $T_b$ : دمای پایه جوانه‌زنی کینوا و معادل یک درجه سانتیگراد است (Bois et al., 2006).

برای پیش‌بینی وزن خشک علف‌های هرز در سطوح مختلف کنترل، از رابطه لجستیک سه پارامتره و برای

تیمارهای رطوبتی پس از اطمینان از استقرار گیاه تا زمان برداشت اعمال شدند. روزانه داده‌های تبخیر از تشت تبخیر کلاس A مستقر در ایستگاه هواشناسی واقع در مزرعه یادداشت شد تا زمان رسیدن به تیمار دور آبیاری مشخص شود. برای آبیاری از روش قطره‌ای استفاده شد. به‌منظور اطمینان از حجم آب ورودی به کرت‌ها، یک کنتور در ابتدای فلکه اصلی تعبیه شد. برای تعیین حجم آب در هر آبیاری، قبل از هر آبیاری از خاک هر کرت تا عمق توسعه ریشه نمونه‌برداری شد. نمونه در آزمایشگاه وزن شد و پس از ۲۴ ساعت قرار گرفتن در آون در دمای ۸۰ درجه سانتیگراد، خشک و دوباره وزن شد تا بتوان درصد رطوبت وزنی را محاسبه کرد. سپس با استفاده از رابطه‌های ۱ و ۲، حجم آب آبیاری تعیین شد:

$$H = (F_c - a_i) \times D \times b \quad \text{رابطه ۱}$$

$$V = \left( \frac{H}{1000} \right) \times A \quad \text{رابطه ۲}$$

که در آن‌ها، H: ارتفاع آب داخل کرت،  $F_c$ : رطوبت خاک در ظرفیت مزرعه،  $a_i$ : رطوبت خاک قبل از آبیاری، D: عمق توسعه ریشه، b: جرم مخصوص ظاهری خاک، V: حجم آب آبیاری در کرت و A: مساحت کرت است.

برای تیمارهای کنترل، از فلور طبیعی علف‌های هرز در مزرعه استفاده شد. کرت‌ها تا مراحل یادشده در هر تیمار ب صورت دستی وجین شده و عاری از علف‌هرز

هر چه RMSE که اختلاف نسبی بین مشاهدات و مقادیر پیش‌بینی شده را نشان می‌دهد کوچک‌تر باشد، مطلوب‌تر است.  $R^2_{adj}$ ، توصیفی از قابلیت پیش‌بینی مدل را ارائه می‌کند و هر چه به یک نزدیک‌تر باشد، بیانگر برازش بهتر مدل به داده‌هاست. با توجه به نرمال بودن داده‌ها، تبدیل داده‌ها صورت نگرفت. برای برازش مدل‌ها و رسم گراف‌ها از نرم افزار سیگماپلات استفاده شد و تجزیه واریانس داده‌ها با نرم‌افزار R انجام شد.

### نتایج و بحث

ترکیب گونه‌های علف‌هرز در مزرعه به تفکیک گونه و خانواده در (جدول ۲) آمده است. تاج‌خروس ریشه قرمز، قیاق، سلمه‌تره و خرفه گونه‌های غالب بودند و تراکم سایر علف‌های هرز، کمتر از سه بوته در مترمربع بود. نتایج تجزیه واریانس در جدول ۳ آمده است.

پیش‌بینی عملکرد دانه و زیستی کینوا در سطوح مختلف کنترل، از رابطه لجستیک چهار پارامتره استفاده شد:

$$y = \frac{a}{1 + \left(\frac{x}{GDD50}\right)^b} \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$y = y_0 + \frac{a}{1 + \left(\frac{x}{GDD50}\right)^b} \quad \text{رابطه (۵)}$$

که در آن‌ها،  $y$  در رابطه سه پارامتره: وزن خشک علف-های‌هرز،  $y$  در رابطه چهار پارامتره: عملکرد دانه و عملکرد زیستی کینوا،  $y_0$ : حد پایین،  $a$ : مجانب بالا،  $b$ : شیب منحنی و  $GDD50$ : مقداری از درجه-روز رشد است که در آن وزن خشک یا عملکرد به ۵۰٪ مقدار نهایی خود می‌رسد.

برازش مدل‌ها با شاخص میانگین مربعات ریشه خطا (RMSE) و ضریب دقت اندازه‌گیری ( $R^2_{adj}$ ) ارزیابی شد:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Pi - Oi)^2}{n}} \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$R^2_{adj} = 1 - \frac{\sum (Oi - Pi)^2}{\sum (Oi - \bar{O})^2} \quad \text{رابطه (۷)}$$

که در این دو معادله،  $Pi$  و  $O_i$  به ترتیب مقادیر اندازه‌گیری شده، پیش‌بینی شده و میانگین مشاهدات است.

جدول ۲- تراکم گونه‌های غالب علف‌هرز در مزرعه به تفکیک گونه و خانواده

Table 2. Density of dominant weeds in the field based on family and species

نام فارسی	Scientific name	Family name	Density (plant/m <sup>2</sup> )
تاج‌خروس ریشه قرمز	<i>Amaranthus rolflexus</i> L.	Amaranthaceae	54.5
خرفه	<i>Portulaca oleracea</i> L.	Portulacaceae	42.75
قیاق	<i>Sorghum halepense</i> L.	Poaceae	36.75
سلمه‌تره	<i>Chenopodium album</i> L.	Chenopodiaceae	34.75
پیچک صحرایی	<i>Convolvulus arvensis</i> L.	Convolvulaceae	<3
توق	<i>Xanthium strumarium</i> L.	Asteraceae	<3
تاتوره	<i>Datura stramonium</i> L.	Solanaceae	<3
تاج‌خروس خوابیده	<i>Amaranthus blitoides</i> S.Watson	Amaranthaceae	<3
بندعلف هفت	<i>Polygonum aviculare</i> L.	Polygonaceae	<3
تاجریزی	<i>Solanum nigrum</i> L.	Solanaceae	<3

بیشترین مقادیر زیست توده علف‌هرز به ترتیب در تیمارهای هفت، ۱۴ و ۳۰ روز کنترل به ترتیب به میزان ۵۶۹، ۳۸۰/۵ و ۱۲۹/۷ گرم در مترمربع به دست آمد. با توجه به مقادیر مشاهده شده، با یک ماه کنترل علف‌های هرز در مزرعه کینوا، زیست توده علف‌های هرز به شدت کاهش یافت و تقریباً به یک ششم تیمار رقابت کامل رسید. بنابراین بین زیست توده علف‌های هرز و

### زیست توده علف‌های هرز

زیست توده علف‌های هرز با طول دوره کنترل رابطه معکوسی داشت و با افزایش دوره کنترل، زیست توده علف‌های هرز نیز سیر نزولی داشت و نهایتاً در کنترل کامل به صفر رسید. در تیمار بدون کنترل (رقابت در طول فصل)، بیشترین مقدار زیست توده علف‌هرز به میزان ۶۱۰/۳ گرم در مترمربع مشاهده شد. پس از آن،

طول دوره کنترل، ارتباط معکوس وجود داشت (جدول ۴، شکل ۲)؛ این موضوع در سایر تحقیقات نیز اثبات شده است.

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر سطوح آبیاری و دوره‌های کنترل علف‌های هرز بر عملکرد دانه و زیستی کینوا و زیست توده علف‌های هرز

Table 3. Variance analysis of the quinoa grain and biological yields and weed biomass affected by irrigation levels and weed control periods.

Sources of variance	df	MS		
		quinoa grain yield	quinoa biological yield	weed biomass
Replication	3	0.14**	2442.21 <sup>ns</sup>	791.84**
irrigation levels	2	1.81*	612712.21*	70754.31*
Error (Ea)	6	0.003	1566.55	18.82
Weed interference (W)	4	4.07*	74624.19*	603626.14*
irrigation×weed interference	8	0.003 <sup>ns</sup>	1173.96*	9323.06*
Error (Eb)	36	0.002	7.5	20.79
CV(%)		2.02	0.28	1.63

ns, \* and \*\*: غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns, \* and \*\*: not significant and significant at 5% and 1% of probability levels, respectively.

توده علف‌هرز و طول دوره کنترل در مزارع ذرت، لوبیا، سویا و... نیز گزارش شده است. افزایش طول دوره عاری از علف‌هرز به دلیل کاهش وزن خشک علف‌های هرز، باعث افزایش عملکرد سویا شد. در تیمارهایی که علف‌هرز بیشترین تجمع ماده خشک را داشت، عملکرد زیستی سویا حداقل بود (Van acker *et al.*, 1993, Eftekhari *et al.*, 2006). افزایش طول دوره کنترل، تراکم علف‌های هرز در مزرعه ذرت را کاهش داد (Chitband *et al.*, 2016). با افزایش طول دوره‌های آلودگی علف‌هرز در مزرعه لوبیا، زیست توده علف‌هرز نیز افزایش یافت (Stagnari & Pisante, 2011).

در بررسی دوره بحرانی تداخل علف‌هرز در کینوا، زیست توده علف‌های هرز مستقیماً تحت تأثیر افزایش مدت دوره تداخل علف‌های هرز قرار گرفت و تا زمان برداشت افزایش یافت که احتمالاً ناشی از سایه‌اندازی علف‌های هرز بلندتر روی گیاه زراعی (و ممانعت از رشد و توسعه گیاه اصلی) و نیز جوانه‌زنی جمعیت‌های جدید علف‌های هرز در طول فصل بود (Merino *et al.*, 2019). فعالان در حوزه کشت ارگانیک کینوا باور دارند که حضور علف‌های هرز، مشکلی اساسی در مزرعه است، به‌خصوص اگر آلودگی سلمه‌تره زیاد باشد، زیرا هم-خانواده کینوا است و کنترل را بسیار سخت‌تر می‌کند (Jacobsen *et al.*, 2010). رابطه معکوس بین زیست

جدول ۴- پارامترهای مدل لجستیک سه پارامتره برای داده‌های زیست توده نهایی علف‌های هرز، تحت تأثیر تیمارهای کنترل علف‌های هرز در سه سطح آبیاری

Table 4. Three parameters logistic model of final weed biomass affected by weed control treatments at three irrigation levels

Irrigation	a	b	GDD <sub>50</sub>	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub>	RMSE
Normal irrigation	610.23 (8.71)	2.73 (0.13)	414.08 (10.78)	0.99	0.99	20
Medium drought stress	538.74 (8.37)	2.43 (0.12)	364.66 (10.49)	0.99	0.99	18.03
High drought stress	397.09 (6.24)	2.74 (0.15)	410.52 (11.71)	0.99	0.99	14.30

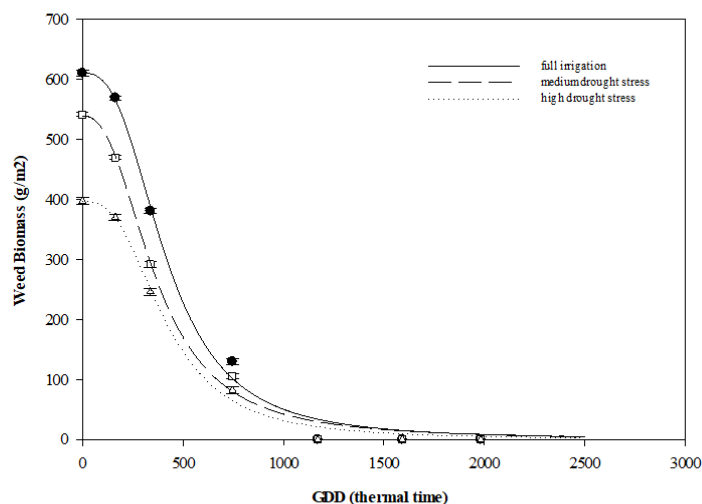
اعداد داخل پرانتز، بیانگر خطای استاندارد است. Numbers in parentheses are standard error.

استفاده از منابع غذایی موجود، منجر به کاهش منابع غذایی در دسترس گیاه و به تبع آن کاهش رشد و ارتفاع گیاه زراعی خواهد شد (Zimdahl, 2007). علاوه بر این، تنش‌های غیرزیستی مانند خشکی و کم‌آبی، نه فقط روی عملکرد محصول، بلکه بر زیست توده علف‌هرز نیز

علف‌های هرز از یک سو از طریق سایه‌اندازی و کاهش میزان نور در دسترس گیاه زراعی و یا از طریق تولید برخی مواد شیمیایی آللوپاتیک رشد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Jabran and Chauhan, 2018) و از سوی دیگر رقابت بین علف‌های هرز و گیاهان زراعی در

تأثیر دارد. که با تیمار کنترل کامل در طول فصل (عدم رقابت) اختلاف زیادی نداشت. این مقدار در تنش ملایم و شدید خشکی، کاهش بیشتری داشت و به ترتیب برابر با ۱۰۵/۳ و ۸۲/۱۲ گرم در مترمربع بود که با تیمار کنترل در تمام فصل در سطوح مشابه تنش خشکی اختلاف زیادی نداشت.

در این آزمایش، تنش ملایم و شدید خشکی در تیمار تداخل کامل (عدم کنترل)، زیست توده علف‌هرز را کاهش داد که به ترتیب برابر با ۵۴۱/۴ و ۳۹۷ گرم در مترمربع بود. در تیمار کنترل علف‌هرز به مدت یک ماه همراه با آبیاری نرمال، زیست توده علف‌های هرز به شدت کاهش یافت و به ۱۲۹/۷۵ گرم در مترمربع رسید



شکل ۲- اثر دوره‌های کنترل علف‌های هرز بر زیست توده نهایی علف‌های هرز در سطوح مختلف آبیاری  
Figure 2. Effect of weed control treatments on final weed biomass at different irrigation levels

آن‌ها، سرعت رشد کینوا تا ۳۰ روز پس از ظهور (در مقایسه با سایر دوره‌ها) بسیار کند و از روز ۳۰ تا ۹۰ دارای سرعت رشد بیشتر شد و سپس کاهش یافت (Jalali *et al.*, 2021)، که این کاهش رشد (پس از ۹۰ روز)، احتمالاً به دلیل شروع مرحله رشد زایشی گیاه است که موجب تخصیص بخش اعظم فتواسیمپلات‌ها برای نمو و تجمع در بذر می‌شود (de Oliveira Vergara *et al.*, 2019).

از این رو به نظر می‌رسد که به دلیل کند بودن سرعت رشد کینوا در ابتدای فصل رشد، در شرایط عدم کنترل علف‌هرز (تیمار شاهد)، علف‌های هرز در رقابت با کینوا موفق‌تر عمل نموده و از طریق سایه‌اندازی و استفاده بیشتر از منابع موجود (آب، مواد غذایی، نور، فضا و...)، موجب کاهش رشد و ارتفاع بوته‌های کینوا می‌شوند، در حال که تیمارهای مبارزه با علف‌های هرز، از طریق کاهش رقابت بین علف‌های هرز و کینوا، به‌ویژه در ابتدای فصل رشد (در زمان رشد کند کینوا)، تأثیر منفی

### عملکرد زیستی و عملکرد دانه کینوا

بیشترین عملکرد زیستی کینوا (۱۲۶۲ گرم در مترمربع) در آبیاری نرمال و کنترل کامل علف‌هرز بدست آمد. در اثر حضور علف‌های هرز، عملکرد زیستی نیز کاهش یافت که در تیمارهای تداخل کامل (عدم کنترل)، هفت، ۱۴ و ۳۰ روز کنترل به ترتیب برابر با ۱۰۲۰/۷، ۱۱۴۱، ۱۱۷۱/۵ و ۱۲۴۱/۲ گرم در مترمربع بود. عملکرد زیستی در تیمار کنترل علف‌هرز به مدت یک ماه نسبت به تیمار کنترل در تمام طول فصل کاهش کمی داشت و در واقع به کنترل در تمام طول فصل نزدیک بود. این تفاوت کم نشان می‌دهد که برای دستیابی به عملکرد زیستی مطلوب کافی است یک ماه علف‌های هرز در مزرعه کنترل شود. سرعت رشد کینوا بسته به مرحله رشدی متفاوت است؛ در ابتدای دوره، سرعت کمی دارد و سپس زیاد شده و در انتهای فصل مجدداً کاهش می‌یابد. تحقیقات (Jalali *et al.*, 2021) نیز این موضوع را تأیید می‌کند. بنابر نتایج آزمایش

علف‌های هرز بر رشد کینوا را کاهش داده‌اند.

جدول ۵- پارامترهای مدل لجستیک چهار پارامتره برای داده‌های عملکرد زیستی کینوا تحت تأثیر تیمارهای کنترل علف‌های هرز در سه سطح آبیاری

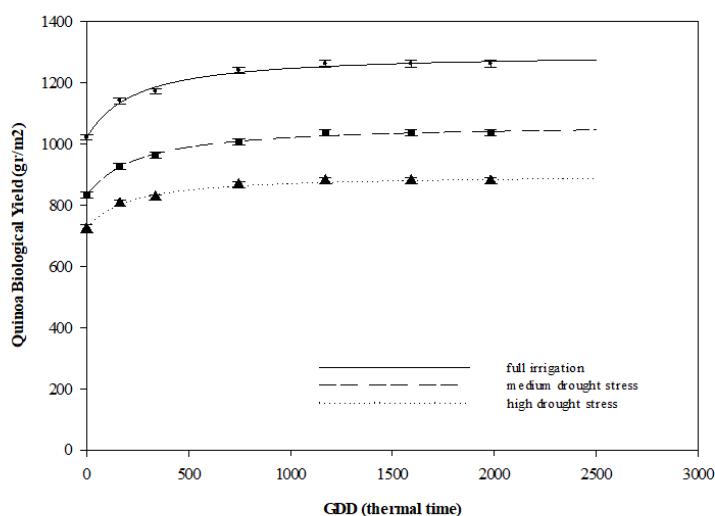
Table 5. Four parameters logistic model of quinoa biological yield data affected by weed control treatments at three irrigation levels

irrigation	a	b	GDD <sub>50</sub>	y <sub>0</sub>	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub>	RMSE
normal irrigation	274.5 (30.6)	-1 (0.3)	229.8 (53.7)	1021.3 (9.9)	0.95	0.94	19.89
medium drought stress	231.4 (30)	-1 (0.3)	248.4 (68.9)	833.8 (9.3)	0.94	0.93	18.71
high drought stress	177.2 (29.7)	-1 (0.4)	202.5 (70.2)	723.2 (9.5)	0.90	0.89	19.19

اعداد داخل پرانتز بیانگر خطای استاندارد است. Numbers in parentheses are standard error.

مقادیر عملکرد زیستی در تنش شدید خشکی به دست آمد که در کنترل کامل و رقابت کامل علف‌های هرز به ترتیب ۸۷۹/۷ و ۷۲۳ گرم در مترمربع بود. در سطح تنش شدید نیز تیمار ۳۰ روز کنترل علف‌هرز، اختلاف زیادی با کنترل در تمام فصل نداشت و عملکرد زیستی به دست آمده ۸۶۷ گرم در مترمربع بود.

اعمال تیمار تنش ملایم خشکی نیز عملکرد زیستی را کمی کاهش داد (جدول ۵، شکل ۳). در تنش ملایم خشکی، بیشترین و کمترین عملکرد زیستی در تیمارهای کنترل و رقابت با علف‌های هرز (۱۰۳۵/۷ و ۸۳۳/۵ گرم) در طول فصل مشاهده شد. عملکرد زیستی در تیمار ۳۰ روز کنترل به تیمار کنترل در تمام فصل نزدیک و ۱۰۰۸ گرم در مترمربع بود. کمترین



شکل ۳- اثر دوره‌های کنترل علف‌های هرز بر عملکرد زیستی کینوا در سطوح مختلف آبیاری

Figure 3. Effect of weed control treatments on quinoa biological yield at different irrigation levels

بررسی، بین ۲۷۰ تا ۲۰۹۲ کیلوگرم در هکتار بود. در تنش ملایم، کاهش عملکرد بسته به رقم تا ۲۷٪ و در تنش شدید، تا ۷۴٪ شاهد رسید (Telahigue et al., 2017).

با کاهش مقدار آب، تجمع مواد فتوسنتزی و سرعت رشد نسبی کاهش می‌یابد. افت قابل توجه سرعت رشد نسبی، بیانگر کاهش ماده خشک تولیدشده در اثر کاهش رشد شاخ و برگ در مرحله رشد سبزینه‌ای است

نتایج آزمایشی در تونس نشان داد که تنش ملایم و شدید، باعث کاهش عملکرد زیستی و عملکرد دانه گیاه کینوا می‌شود. در شرایط آبیاری نرمال، عملکرد زیستی، بیشترین و برابر با ۲۹۵۳ کیلوگرم در هکتار بود. در اثر تنش شدید خشکی، وزن خشک تا ۷۳٪ کاهش یافت. عملکرد دانه نیز در تیمار با آبیاری نرمال، اختلاف معنی‌داری با تنش ملایم و تنش شدید نداشت. مقدار عملکرد در شرایط بدون تنش در شش رقم مورد



عملکرد دانه کینوا وجود دارد، به طوری که به ازای افزایش ۶۱۰ گرم در مترمربع وزن خشک علف‌های‌هرز، عملکرد دانه کینوا، ۱۳۷ گرم در مترمربع کاهش یافت. نتایج آزمایشی در مشهد که به بررسی اثر دوره‌های مختلف کنترل علف‌هرز روی عملکرد کنجد پرداخته است، با نتایج این آزمایش هماهنگ بود. در نتایج آن تحقیق آمده است که به ازای افزایش هر کیلوگرم وزن خشک علف‌های‌هرز، عملکرد دانه کنجد ۱۹۷ گرم در واحد سطح کاهش می‌یابد (Zarghani *et al.*, 2013).

به هر حال با دقت در داده‌های مذکور می‌توان به راحتی تشخیص داد که بین عملکرد دانه در تیمار کنترل علف‌های‌هرز به مدت یک ماه با کنترل کامل در طول فصل، اختلاف کمی (۰/۱۵ تن در هکتار) وجود دارد؛ بنابراین کنترل علف‌های‌هرز مزرعه در یک ماه اول دوره رشد ضروری است.

در این آزمایش، اعمال تنش باعث افت عملکرد شد (جدول ۶، شکل ۴). تنش ملایم و شدید، عملکرد را نسبت به آبیاری نرمال به ترتیب ۳۰ و ۵۷ گرم در مترمربع کاهش داد که برابر با ۳۰۱ و ۲۷۴ گرم در مترمربع بود.

تحقیقات نشان می‌دهد که با کاهش میزان آبیاری در حد ۷۵٪ آبیاری نرمال، کشاورز فقط با پنج درصد افت عملکرد مواجه می‌شود که این نسبت به میزان آبی که صرفه جویی می‌شود مقدار ناچیزی است و صرفه اقتصادی دارد (Kaouter *et al.*, 2017). در زراعت دیم کینوا در بولیوی در سال‌های بسیار خشک، عملکرد افت زیادی داشت، اما نتایج نشان داد که در کم‌آبیاری و در صورت برنامه‌ریزی دقیق، تنها با نصف آب مورد نیاز گیاه در آبیاری نرمال، عملکردی بین ۱۲۰ تا ۲۰۰ گرم در مترمربع به دست می‌آید (Geerts *et al.*, 2007). بعضی کارشناسان معتقدند، هرچند میزان عملکرد در واحد سطح در اثر اعمال تنش آبی و یا کم‌آبیاری کم می‌شود، ولی با آب صرفه‌جویی‌شده می‌توان اراضی بیشتری را زیر کشت برد؛ در نتیجه سود حاصل افزایش می‌یابد (Yousefi & Bosh, 2015). به نظر می‌رسد که افزایش مدت آبیاری با تسریع در پیر شدن برگ‌ها، کاهش توسعه برگ‌ها و افزایش ریزش برگ‌های پایینی، باعث

که می‌تواند یکی از علل کاهش عملکرد زیستی و تولید دانه باشد (Molden *et al.*, 2001). تحقیقات نشان داده است که گیاه کینوا جهت مقابله با خشکی و افزایش راندمان آب، روزه‌های برگ خود را می‌بندد که خود موجب حفظ پتانسیل برگ و سرعت فتوسنتز در طول خشک شدن خاک می‌شود (Jacobsen *et al.*, 2009).

حتی در برخی تحقیقات ثابت شده است که قرارگرفتن زودهنگام کینوا در معرض تنش، در مقاومت آن در مراحل بعدی رشد مؤثر است و اثر مثبتش بروز می‌یابد. بنابراین در اوایل رشد رویشی، سرعت رشد کمتر در پاسخ به تنش آبی، به کاهش تعرق کلی از سطح برگ کمک می‌کند و بدین ترتیب از اتلاف بیش از حد آب جلوگیری می‌کند؛ هرچند که به نظر نمی‌رسد که این استراتژی برای ارقامی با بلوغ زودرس جوابگو باشد. (Sun *et al.*, 2014). همان‌گونه که نتایج آزمایشی درباره دو رقم زودرس کینوا نشان داد که در اثر اعمال دوره‌های تنش خشکی، رشد گیاه به طور معنی داری کاهش یافت و نرخ کاهش رشد بین ۲۲ تا ۲۶ درصد بود. (Oudou *et al.*, 2019).

حداکثر عملکرد دانه کینوا (۳۳۱ گرم در مترمربع)، در شرایط بدون علف‌هرز در آبیاری نرمال، به دست آمد. Razzaghi *et al.* (2011) نیز عملکرد کینوا رقم تیتیکاکا را در شرایط بدون تنش، ۳۳ گرم در مترمربع گزارش کردند که به نتایج این آزمایش در شرایط آبیاری نرمال نزدیک است. در اثر رقابت علف‌های‌هرز، عملکرد دانه کاهش یافت که در تیمارهای تداخل کامل (عدم کنترل)، هفت، ۱۴ و ۳۰ روز کنترل به ترتیب برابر با ۱۹۴، ۲۲۷، ۲۶۲ و ۳۱۶ گرم در مترمربع بود. درصد کاهش محصول به نوع گیاه زراعی، تراکم، مرحله ظهور در طول رقابت با علف‌هرز و دوره‌های رقابت و کنترل علف‌هرز بستگی دارد (Bosnic & Swanton, 1997; Knezevic *et al.*, 1997). از طرفی بر اساس قانون ثبات نهایی عملکرد، افزایش تجمع ماده خشک در علف‌های‌هرز، تلفات عملکرد در گیاه زراعی را در پی خواهد داشت (Zarghani *et al.*, 2013). نتایج حاصل از این بررسی نیز ضمن تأیید این قانون نشان داد که رابطه غیرخطی و معکوسی بین وزن خشک علف‌های‌هرز و

این صفات کاهش یافت. همچنین نتایج نشان داد که سطوح آبیاری در مقایسه با رقابت علف‌های هرز، عامل مؤثرتری بر شاخص‌های رشد و عملکرد دانه ذرت بود (Marashi *et al.*, 2016).

کاهش شاخص سطح برگ و در نتیجه کاهش جذب نور می‌شود (Marashi *et al.*, 2016). در آزمایشی روی ذرت، اثر سطوح مختلف آبیاری بر ماده خشک کل و عملکرد دانه معنی‌دار بود و با افزایش مدت آبیاری، تمام

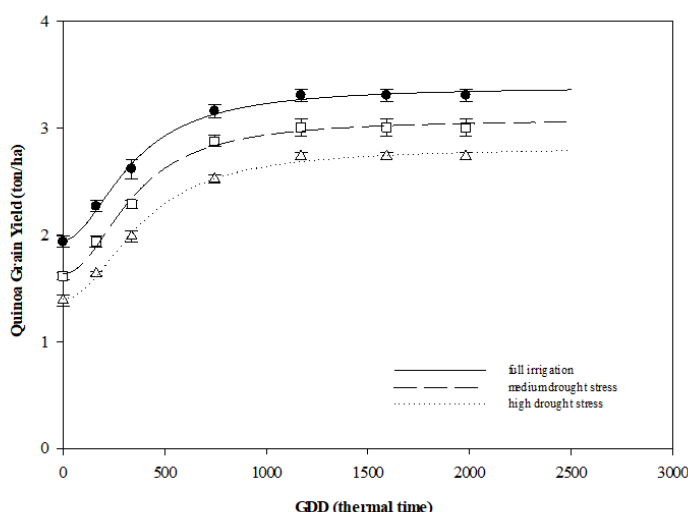
جدول ۶- پارامترهای مدل لجستیک چهار پارامتره برای داده‌های عملکرد دانه کینوا تحت تأثیر تیمارهای کنترل علف‌های هرز در سه سطح آبیاری

Table 6. Four parameters logistic model of quinoa grain yield data affected by weed control treatments at three irrigation levels

irrigation	a	b	GDD <sub>50</sub>	y <sub>0</sub>	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub>	RMSE
normal irrigation	1.43 (0.1)	-1.93 (0.3)	339.53 (36.8)	1.94 (0.06)	0.95	0.95	0.123
medium drought stress	1.44 (0.09)	-2.05 (0.38)	344.35 (34.4)	1.63 (0.06)	0.95	0.95	0.122
high drought stress	1.418 (0.06)	-2.04 (0.25)	386.08 (27.4)	1.4 (0.03)	0.98	0.97	0.08

Numbers in parentheses are standard error.

اعداد داخل پرانتز بیانگر خطای استاندارد است.



شکل ۴- اثر دوره‌های کنترل علف‌های هرز بر عملکرد دانه کینوا در سطوح مختلف آبیاری

Figure 4. Effect of weed control treatments on quinoa grain yield at different irrigation levels

اعمال تنش شدید روی گیاه کینوا، تنها ۲۰ درصد عملکرد نسبت به تیمار شاهد (بدون تنش) به دست آمد و افت شدید عملکرد دانه رخ داد. همچنین کارایی مصرف آب (WUE) در تیمارهای تنش در مراحل گلدهی، به طور معنی‌داری در مقایسه با تنش در سایر مراحل کاهش یافت (Geerts *et al.*, 2007). در آزمایش دیگری در مراکش مشخص شد که عملکرد زیستی و عملکرد دانه کینوا در آبیاری کامل به طور معنی‌داری بیش از آبیاری دیم و در آبیاری دیم بیش از کم‌آبیاری است (Fghire *et al.*, 2015).

از طرفی، آزمایش‌هایی نیز انجام شده است که خلاف نتایج بالا را نشان می‌دهند. بنابر داده‌های حاصل از آن آزمایشات، تنش خشکی در گیاه کینوا، افت شدید عملکرد را در پی دارد. در آزمایشی که در اهواز انجام شد، دو تیمار شوری و حجم آب آبیاری، عملکرد دانه کینوا را به طور معنی‌داری کاهش داد، به طوری که بیشترین میزان عملکرد در آبیاری نرمال (۵۳۰ گرم در مترمربع) و کمترین مقدار آن در تنش شدید، ۵۰ درصد آبیاری نرمال (۳۲۹ گرم در مترمربع) بود. اما بر خلاف عملکرد دانه، با کاهش حجم آب آبیاری، عملکرد زیستی گیاه (۸۸۰ تا ۱۲۴۰ گرم در مترمربع) کاهش معنی‌داری نشان نداد (Peyghan *et al.*, 2020). در اثر

## نتیجه‌گیری کلی

دوره رشد، سرعت رشد کمتری دارد و در رقابت با علف‌های هرز، ضعیف است؛ بنابراین تا یک ماه کنترل علف‌های هرز در مزرعه ضروری به نظر می‌رسد. تنش شدید در این آزمایش، زیست توده علف‌هرز را ۳۵ درصد، عملکرد زیستی کینوا را ۳۰ درصد و عملکرد دانه را ۱۷ درصد (نسبت به آبیاری نرمال) کاهش داد. می‌توان نتیجه گرفت که علف‌های هرز مزرعه در مقایسه با کینوا مقاومت کمتری در مقابل تنش خشکی دارند. عملکرد دانه کینوا در تنش ملایم، ۹۱ درصد بود و حتی در تنش شدید، ۸۳ درصد آبیاری نرمال تولید دانه داشت. بنابراین مشخص شد که با وجود قدرت رقابتی علف‌های هرز تابستانه، کینوا در تنش خشکی توان رقابتی مناسبی دارد و در صورت یک ماه کنترل علف‌های هرز، عملکردی نزدیک به کنترل کامل به دست می‌آید.

تغییر آب و هوای ایران به سمت گرم و خشک و شور شدن تدریجی خاک‌های زراعی کشور از سوپی و تحمل زیاد گیاه کینوا در مقابل خشکی، شوری و یخ‌زدگی از سوی دیگر، به‌طور منطقی بیانگر این است که کینوا به‌عنوان گیاهی مناسب برای رسیدن به کشاورزی پایدار، تغذیه مناسب و تولید صنعتی جایگزین خوبی برای گیاهان با نیاز آبی بالا و حساس به تنش خشکی است. با اعمال تنش ملایم خشکی در کشت و زراعت کینوا، با حذف بخش کمی از آب آبیاری که تأثیر معنی‌داری بر رشد و عملکرد گیاه ندارد، می‌توان در مصرف آب صرفه‌جویی کرد و بهره‌وری اقتصادی را بالا برد، ضمن این‌که در شرایط تنش ملایم، کینوا در رقابت با علف‌های هرز از مقاومت بهتر و توان رقابتی بیشتری برخوردار است. اما باید توجه داشت که این گیاه در اوایل

## REFERENCES

- Bazile, D., Bertero, D. & Nieto, C. (2015). *State of the art report on quinoa around the world in 2013* (2nd Ed.). FAO & CIRAD, Rome.
- Bois, J. F., Winkel, T., Lhomme, J. P., Raffailac, J. & Rocheteau, A. (2006). Response of some Andean cultivars of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to temperature: Effects on germination, phenology, growth and freezing. *European Journal Agronomy*, 25, 299–308.
- Bosnic, A. C. & Swanton, C. J. (1997). Influence of barnyard grass (*Echinochloa crus-galli*) time of emergence and density on corn (*Zea mays*). *Weed Science*, 43, 276 – 282.
- Chitband, A., Rashidi, O., Jahedipour, S., Mansouji, A. & Amini, I. (2016). The effect of weed control and interference periods on growth characteristics and yield of maize. *Journal of Weed Ecology*, 3(2), 127-142. (in Persian)
- De Oliveira Vergara, R., Martins, A. B. N., Pedro, T., Radke, A. K., Gadotti, G. I., Villela, F. A., da Motta Xavier, F., Eberhardt, P. E. R., Cavalcante, J. A. & Meneguzzo, M. R. R. (2019). Plant growth and physiological quality of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seeds grown in Southern Rio Grande do Sul, Brazil. *Australian Journal of Crop Science*, 13(5), 597-678.
- Eftekhari, A., Shriani Rad, A. H., Rezaei, A. M., Salehian, H. & Ardakani, M. R. (2006). Determining of critical period of weeds control in Soybean (*Glycine max* L.) in Sari region. *Iranian Journal of Crop Science*, 7(4), 33- 47. (in Persian)
- Fghire, R., Wahbi, S., Anaya, F., Issa Ali, O., Benhabib, O. & Ragab, R. (2015). Response of quinoa to different water management strategies: Field experiments and SALTMED model application results. *Irrigation and Drainage*, 64(1), 29–40. doi:10.1002/ird.1895.
- Garcia, M., Raes, D., Jacobsen, S. & Michel, T. (2007). Agroclimatic constraints for rainfed agriculture in the Bolivian Altiplano. *Journal of Arid Environments*, 71, 109–121.
- Geerts, S., Raes, D., Garcia, M., Vacher, J., Mamani, R., Huanca, R., Morales, B., Miranda, R., Cusicanqui, J. & Taboada, C. (2007). Introducing deficit irrigation to stabilize yields of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *European Journal of Agronomy*, 28, 427–436.
- Geerts, S., Mamani R. S., Garcia M & Raes, D. (2006). Response of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to differential drought stress in the Bolivian Altiplano: Towards a deficit irrigation strategy within a water scarce region. *First International Symposium on Land and Water Management for Sustainable Irrigated Agriculture*. Adana, Turkey, 114-119.
- Guglielmini, A. C., Verdú, A. C. & Satorre, E. H. (2017). Competitive ability of five common weed species in competition with soybean. *International Journal of Pest Management*, 63(1), 30-36.
- Jabran, K. & Chauhan, B. S. (2018). Overview and Significance of Non-Chemical Weed Control. *Non-Chemical Weed Control*, 14, 1-8.

13. Jacobsen, S. E., Jørgen, L. & Rasmussen, C. (2010). Weed harrowing and inter-row hoeing in organic grown quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Outlook on Agriculture*, 39(3) 223–227.
14. Jacobsen, S. E., Liu, F. & Jensen, C. R. (2009). Does root-sourced ABA play a role for regulation of stomata under drought in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Scientia Horticulturae*, 122, 281–287.
15. Jacobsen, S. E., Monteros, C., Christiansen, J. & Bravo, L. (2005). Plant responses of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to frost at various phenological stages *European Journal of Agronomy*, 22, 131–139.
16. Jalali, M., Eslami, S. V., Mahmoodi, S. & Aien, A. (2021). Effect of weeds control on crop growth and yield in additive quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) and potato (*Solanum tuberosum* L.) intercropping. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 18(4), 451-464. (in Persian)
17. Jamali, S. (2016). Investigating the combined effect of different levels of salinity and irrigation on yield and yield components of quinoa. MSc. Thesis. Faculty of Soil and Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran. (in Persian)
18. Jamali, S., Sharifan, H., Hezarjaribi, A. & Sepahvand, N. A. (2016). The effect of different levels of salinity on germination and growth indices of two cultivars of quinoa. *Journal of Soil and Water Conservation*, 6, 98-110. (in Persian)
19. Kang, Y., Khan, S. & Ma, X. (2003). Climate change impacts on crop yield, crop water productivity and food security-A review. *Agricultural and Forest Meteorology*, 117, 97-122.
20. Kaoutar, F., Abdelaziz, B., Ouafae, C., Redouane, J. & Ragab, R. (2017). Yield and dry matter simulation using the saltmed model for five quinoas (*Chenopodium quinoa*) accessions under deficit irrigation in South Morocco. *Irrigation and Drainage*, 66(3), 340–50.
21. Knezevic, S. Z., Horak, M. J. & Vanderlip, R. L. (1997). Relative time of redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.) emergence is critical in pigweed sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) competition. *Weed Science*, 45, 502–505.
22. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M. & Jafari, L. (2016). Evaluation of Climate Change Effect on Agricultural Production of Iran: I. Predicting the Future Agroclimatic Conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 13(4), 651-664. (in Persian)
23. Koocheki, A. & Nassiri Mahallati, M. (2016). Climate Change Effects on Agricultural Production of Iran: II. Predicting Productivity of Field Crops and Adaptation Strategies. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 14(1), 1-20. (in Persian)
24. Lowry, C. J. & Smith, R. G. (2018). *Weed control through crop plant manipulations* (3th ed.). Academic Press: Cambridge, MA, USA.
25. Merino, J., Pedreros, A., Fischer, F. & López, M. (2019) Critical period of weed interference on total polyphenol content in quinoa. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 79(3), 405-414.
26. Marashi, S. K., Behdarvand, P., Majdam, M. & Sakinejad, T. (2016). Investigate the effect of different levels of irrigation, nitrogen and weeds competition on growth indices and grain yield of maize (SC. 704 hybrid). *Crop Physiology Journal*, 8(31), 75-61. (in Persian)
27. Merino, J., Pedreros, A., Fischer, S. D. López, M. (2019). Critical period of weed interference on total polyphenol content in quinoa. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 79(3), 42-53.
28. Molden, D., Murry-Rust, H., Sakthivadival, R. & Makin, I. (2001). A water productivity framework for understanding and action. *Workshop on Water Productivity*. Wadduwe, Sri Lanka, 12 -13.
29. Oudou, I. A., Fghire, F., Anaya, F., Benlhabib, O. & Wahbi, S. (2019). Physiological and morphological responses of two quinoa cultivars (*Chenopodium quinoa* willd.) to drought stress. *Gesunde Pflanzen*, 71, 123–133.
30. Peyghan, K., Golabi, M. & Albaji, M. (2020). Simulation of quinoa (*Chenopodium quinoa*) yield and soil salinity under salinity and water stress using the SALTMED model. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. (Published online) <https://doi.org/10.1080/00103624.2020.1836203>
31. Razzaghi, F., Ahmadi, S. H. Adolf, V.I., Jensen, C. R., Jacobsen, S. E. & Andersen, M. (2011). Water relations and transpiration of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under salinity and soil drying. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 197, 348-360.
32. Sepahvand, N. A., Tavazoa, M. & Kahbazi, M. (2011). Adaptation and evaluation of quinoa, a valuable new crop in Iran. in: *Proceedings of 2nd International Symposium on Underutilized Plant Species*. Kuala Lumpur, Malaysia, 135-141.
33. Stagnari, F & Pisante, M. (2011). The critical period for weed competition in French bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Mediterranean areas. *Crop Protection*, 30(2), 179-184.
34. Sun, Y., Liu, F., Bendevis, M., Shabala, S. & Jacobsen, S. E. (2014). Sensitivity of two Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) varieties to progressive drought stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 200, 12–23.

35. Telahigue, D., Ben Yahia L., Aljane, F., Belhouchett K. & Toumi, L. (2017). Grain yield, biomass productivity and water use efficiency in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under drought stress. *Journal of Scientific Agriculture*, 1, 222-232.
36. Tao, F., Yokozawa, M. & Zhang, Z. (2009). Modelling the impact of weather and climate variability on crop productivity over a large area: Anew process-based model development, optimization, and uncertainties analysis. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149, 1266-1278.
37. Van acker C. R., Swanton, C. J. & Weise. S. F. (1993). The critical period of weed control in soybean (*Glycine max*), *Weed Science*, 41, 194-200.
38. yousefi, A. & Bosh, Z. (2015). Evaluation of sunflower response to weed interference in low irrigation conditions. *Journal of Water Research in Agriculture*, 28(2), 431-441. (in Persian)
39. Zarghani, H., Nezami, A., Khajeh-Hosseini, M. & Izadi, E. (2013). The effect of weeding time on yield and yield components of sesame (*Sesamum indicum* L.). *Iranian Journal of Field Crop Research*, 10(4), 690-698. (in Persian)
40. Zimdahl, R. L. (2007). Weed-crop competition, a review. *International Plant Protection Center* (2nd Ed.). Oregon State University, USA.