



اثر تاریخ کاشت و محلول پاشی سالیسیلیک اسید بر فنولوژی و برخی ویژگی های کمی و کیفی کینوا^۱ تحت شرایط تنش خشکی

صالح جهانبخش^۱، غلامرضا خواجهی نژاد^۲، روح اله مرادی^{۳*}، مهدی نقی زاده^۲

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۲. دانشیار گروه مهندسی زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۳. استادیار گروه مهندسی تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی بردسیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۲/۱۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۱/۳۱

چکیده

این آزمایش باهدف بررسی مناسب ترین تاریخ کاشت و میزان مقاومت گیاه به تنش خشکی به صورت کرت های دو بار خردشده بر پایه طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در دانشکده کشاورزی بردسیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل تاریخ کاشت (۱۵ فروردین، ۱۵ اردیبهشت و ۱۵ خرداد) به عنوان عامل اصلی، سطوح مختلف آبیاری (۹۰، ۶۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی) به عنوان عامل فرعی و محلول پاشی (سالیسیلیک اسید با غلظت ۱ میلی مولار و آب به عنوان شاهد) به عنوان فاکتور فرعی-فرعی بودند. نتایج نشان داد که تأخیر در کاشت باعث کوتاه شدن طول دوره رشد گیاه شد. تنش خشکی دوره رشد و درجه روز رشد دریافتی گیاه را کاهش داد. طول ریشه در تاریخ کاشت اردیبهشت (۳۱/۸۱ سانتی متر) حدود ۲۰ و ۴۱ درصد بالاتر از تاریخ کاشت فروردین و خرداد بود. در دو تاریخ کاشت فروردین (۲۸/۲۷ سانتی متر) و اردیبهشت (۳۵/۹۲ سانتی متر)، بیشترین طول ریشه در سطح آبیاری ۶۰ درصد ظرفیت زراعی ولی در تاریخ کاشت خرداد (۲۱/۲۷ سانتی متر) در سطح عدم تنش به دست آمد. به طور میانگین عملکرد دانه در تاریخ کاشت اردیبهشت (۶۵۲/۹۱ کیلوگرم در هکتار) حدود ۱۲ درصد بیشتر از فروردین و ۳۰ درصد بیشتر از خرداد بود. کاهش آب مصرفی تا ۶۰ درصد ظرفیت زراعی تأثیر معنی داری بر عملکرد دانه نداشت، ولی میزان این شاخص در ۳۰ درصد ظرفیت زراعی به ترتیب حدود ۱۳ و ۱۰ درصد کمتر از دو سطح اول بود. محلول پاشی سالیسیلیک اسید تنها در شرایط تنش شدید باعث افزایش معنی دار عملکرد دانه نسبت به محلول پاشی آب شد. رابطه درصد روغن دانه با عملکرد دانه مثبت ($r=0/82$) و رابطه درصد پروتئین با عملکرد دانه منفی ($r=-0/78$) بود. کارایی مصرف آب در تاریخ کاشت اردیبهشت به ترتیب حدود ۱۷ و ۱۵ درصد بیشتر از تاریخ کاشت فروردین و خرداد بود. با کاهش میزان آب مصرفی، کارایی مصرف آب به طور معنی داری افزایش یافت. به طور کلی، نتایج نشان داد که کشت در اردیبهشت ماه مناسب ترین تاریخ کاشت گیاه کینوا برای منطقه بردسیر است. همچنین، این گیاه مقاومت خوبی به تنش خشکی داشته و استفاده از سالیسیلیک اسید نیز می تواند در کاهش اثرات منفی تنش خشکی بر رشد و نمو این گیاه مؤثر باشد.

واژه های کلیدی: پروتئین، درجه روز رشد، روغن، ریشه، کارایی مصرف آب

مقدمه

هزار تن است (FAO, 2018). این گیاه انعطاف پذیری بالایی در سازگاری به فتوپریود، ارتفاع از سطح دریا، دما و خصوصیات خاک دارد. به طوری که، در مناطقی با ارتفاع ۴۰۰-۰ متر از سطح دریا، pH بین ۶ تا ۸/۵ و مناطقی با

کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) گیاهی یک ساله از خانواده اسفناجیان (Chenopodiaceae) و بومی منطقه آند در آمریکای جنوبی است (Ramesh, 2016). سطح زیر کشت این گیاه در جهان حدود ۱۲۶ هزار هکتار با تولید ۱۰۳

al., 2003). علاوه بر این، بشر از طریق برخی علوم زیستی و به کار بردن ترکیبات خارجی روی گیاه، آن‌ها را در مقابله با این شرایط همراهی می‌کند. این ترکیبات شامل اسمولیت‌های آلی، هورمون‌های گیاهی و مواد معدنی هستند (Hayat et al., 2008). یکی از این مواد سالیسیلیک است که در گروه فنل‌ها قرار داشته و عمل محافظتی آن در مقابل تنش‌های زیستی و غیر زیستی احتمالاً به توان تحریک‌کنندگی این ماده در بیان ژن‌های ایجاد مقاومت در مقابل تنش‌های محیطی برمی‌گردد (Moharekar et al., 2003). همچنین مکانیسم عمل اسید سالیسیلیک در برابر تنش‌ها به نقش آن در تنظیم آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی گونه‌های اکسیژن فعال نسبت داده شده است (Shi and Zhu, 2009). این ماده همچنین به‌عنوان یک پیغام‌رسان در ایجاد مقاومت در مقابل تنش‌های محیطی نقش دارد، هرچند مکانیسم عمل آن به لحاظ پیام‌رسان بودن آن هنوز به‌طور کامل شناخته نشده است (Shakirova et al., 2003). مطالعات زیادی در رابطه با اثر سالیسیلیک اسید بر مقاومت به تنش خشکی گیاهان صورت گرفته است (Hayat et al., 2008; Mehrabian Moghaddam et al., 2011).

برای مناطق با اقلیم گرم که دمای زمستان پایین‌تر از ۵- درجه سانتی‌گراد نباشد مانند نواحی سواحل جنوبی ایران کشت پاییزه کینوا توصیه شده است (Salehi and Dehghani, 2017)، ولی برای مناطقی با زمستان‌های سرد و تابستان‌های نسبتاً گرم مانند منطقه بردسیر کرمان، تاریخ کاشت دقیقی در دسترس نیست؛ بنابراین، اهداف این تحقیق شامل تعیین مناسب‌ترین تاریخ کاشت گیاه کینوا، تعیین نیاز بهینه آبیاری آن و بررسی نقش سالیسیلیک اسید در مقاومت گیاه کینوا به تنش خشکی بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۹۷-۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی بردسیر واقع در ۵۰ کیلومتری جنوب غربی شهر کرمان با عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۸۹ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۶ درجه و ۵۹ دقیقه شرقی و ارتفاع ۲۰۸۰ متری از سطح دریا اجرا شد. میانگین دمای سالیانه برای این شهرستان ۱۳/۸ درجه سانتی‌گراد و بارندگی سالیانه ۱۰۸ میلی‌متر است. آزمایش به‌صورت کرت‌های دو بار خردشده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بود. تیمارهای آزمایش شامل تاریخ کاشت (۱۵ اسفند، ۱۵

اقلیم خشک، نیمه‌خشک، حاره‌ای و مرطوب قابلیت کشت دارد. دوره رشد گیاه بسته به منطقه مورد کشت بین ۷۰ تا ۲۴۰ روز متغیر است (Yang et al., 2016). محصول اصلی این گیاه دانه آن است که ارزش غذایی بالایی از نظر پروتئین، توازن اسیدآمین، چربی غیراشباع، ویتامین‌ها و مواد معدنی دارد (Fischer et al., 2017).

تعیین مناسب‌ترین تاریخ کاشت یعنی تعیین زمانی که رشد رویشی و زایشی گیاه بیشترین هماهنگی را با عوامل اقلیمی داشته و گیاه کمتر با شرایط نامساعد محیطی روبه‌رو شود (Qulipor et al., 2003). تاریخ کاشت تیماری است که نسبت به سایر تیمارهای زراعی بیشترین تأثیر را بر ویژگی‌های فنولوژیکی و رشدی گیاهان می‌گذارد (Pourghasemian et al., 2018). در مناطقی که دارای اقلیم با رژیم رطوبتی خشک با تابستان‌های گرم و زمستان‌های سرد می‌باشند، کشت بهاره گیاه کینوا توصیه شده است (Salehi and Dehghani, 2017). گرین و همکاران (Geren et al., 2014) شش تاریخ کاشت متفاوت کینوا از ۱۰ اسفند تا ۱۰ خرداد را در کشور ترکیه مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که بهترین عملکرد دانه در تاریخ کاشت ۲۵ فروردین حاصل شد. پروین و همکاران (Parvin et al., 2013) نیز بیشترین عملکرد گیاه را در تاریخ کاشت ۷ اردیبهشت برای کشور بنگلادش گزارش نمودند. بررسی تأثیر تاریخ کاشت‌های متفاوت بر عملکرد کینوا در کشور مراکش نشان داد که کشت پاییزه این گیاه نسبت به کشت بهاره عملکرد بهتری دارا بود (Hirich et al., 2014). همچنین، عملکرد ۴/۷ تن برای کینوای کشت‌شده در اردیبهشت در یک اقلیم نیمه‌خشک گزارش شد (El Youssfi et al., 2012).

کاهش منابع آب جهت تولید محصولات کشاورزی از دغدغه‌های برنامه‌ریزان اغلب کشورها به‌خصوص کشورهای مناطق خشک و نیمه‌خشک است (Moradi and Pourghasemian, 2018). از آنجایی که این موضوع در درازمدت می‌تواند بحران‌های جدی اقتصادی، اجتماعی و سیاسی را به وجود آورد، بایستی به‌صورت جدی مورد توجه و برای آن به‌طور اصولی سرمایه‌گذاری گردد. کینوا به‌عنوان یک گیاه مقاوم به تنش خشکی و شوری معرفی شده است (González et al., 2009; Kammann et al., 2011) که یکی از مهم‌ترین مکانیسم‌های فرار از خشکی این گیاه انعطاف‌پذیری فنولوژی و چرخه رشد گیاه در زمان فرارگیری در معرض تنش خشکی شناخته شده است (Jacobsen et

این آزمایش در سال زراعی قبل آیش بود. قبل از اجرای آزمایش، نمونه خاک به صورت تصادفی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر از زمین محل اجرای آزمایش برداشت و به منظور تعیین میزان ماده آلی، عناصر غذایی پرمصرف، pH و EC به آزمایشگاه منتقل شد (جدول ۱).

فروردین، ۱۵ اردیبهشت، ۱۵ خرداد، ۱۵ تیر و ۱۵ مرداد به عنوان عامل اصلی، سطوح مختلف آبیاری (۹۰، ۶۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی) به عنوان عامل فرعی و محلول پاشی (سالیسیلیک اسید با غلظت ۱ میلی مولار و آب به عنوان شاهد) به عنوان فاکتور فرعی-فرعی بودند. زمین محل اجرای

Table 1. Soil physical and chemical properties

اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	ماده آلی Organic Matter (%)	پتاسیم K (ppm)	فسفر P (ppm)	نیتروژن کل Total N (%)	بافت Texture
7.50	1.43	0.39	287	11.3	0.09	Sandy clay loam لومی-رسی-شنی

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

مورد بررسی بین ۱۱۷۳ تا ۴۱۴۰ مترمکعب در هکتار متغیر بود. کنترل علف‌هرز به صورت وجین دستی در مواقع لزوم اجرا شد. اطلاعات اقلیمی منطقه مورد مطالعه با استفاده از داده‌های نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی (دو کیلومتری محل اجرای آزمایش) در شکل ۱ نشان داده شده است. میزان درجه روز رشد (GDD) برای تیمارهای مختلف بر اساس معادله ۱ انجام شد.

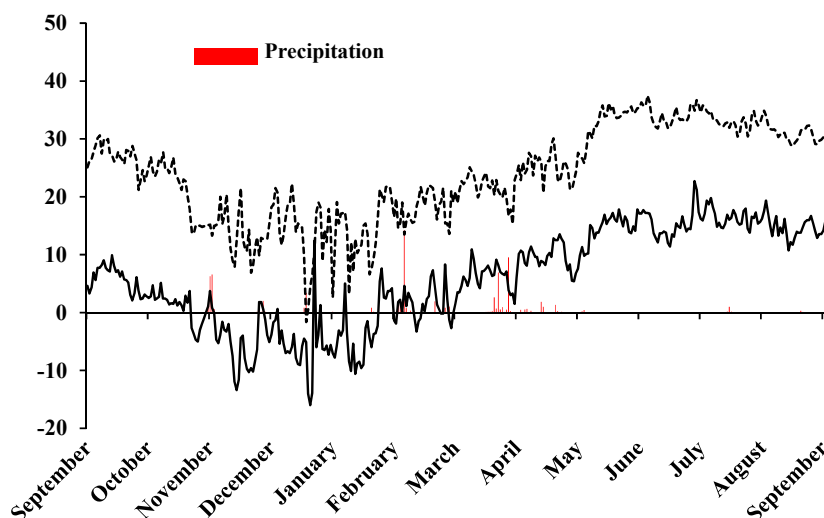
$$GDD = \sum \left(\frac{T_{max} + T_{min}}{2} \right) - T_{base} \quad [2]$$

در این فرمول T_{max} ، T_{min} و T_{base} به ترتیب دمای بیشینه، کمینه و صفر فیزیولوژیک کینوا می‌باشند. دمای پایه برای گیاه سه درجه سانتی‌گراد است (Hirich et al., 2014).

اندازه‌گیری سطح برگ در مرحله ۵۰ درصد گلدهی برای هر تاریخ کاشت با استفاده از دستگاه Leaf Area Meter مدل Licor انجام شد. در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک (زرد شدن گل‌آذین‌ها) تعداد پنج بوته به طور تصادفی انتخاب و صفات و ویژگی‌هایی از جمله: طول و وزن ریشه، ارتفاع و قطر گل‌آذین و وزن هزار دانه بررسی شد. برای تعیین عملکرد نهایی در هر کرت از چهار ردیف میانی با در نظر گرفتن اثر حاشیه به طول نیم متر برداشت صورت گرفت. جهت اندازه‌گیری درصد روغن از روش سوکسله (Johnson and Ulrich, 1959) و پروتئین از روش کج‌دال (Nelson and Somers, 1973) استفاده شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۲ انجام شد و میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند. مقایسات میانگین برای برهمکنش تیمارهای مورد بررسی به صورت برش‌دهی انجام شد.

قبل از کاشت به دلیل درصد بالای شن بافت خاک، مقدار ۱۰ تن کود گاوی پوسیده به زمین اضافه و مخلوط شد. کرت‌هایی به ابعاد ۳×۳ متر ایجاد شد. در هر کرت شش ردیف کاشت به فاصله ۵۰ سانتی‌متر از یکدیگر ایجاد شده و بذر کینوا رقم Titicaca که از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شده بود روی پشته با فاصله ۱۵ سانتی‌متر و در عمق سه سانتی‌متر به صورت کپه‌ای در تاریخ‌های ذکر شده کشت شد. به منظور جلوگیری از تداخل اثر تیمارهای آبیاری و جلوگیری از نشت آب، بین هر فاکتور اصلی دو متر فاصله در نظر گرفته شد. کودهای شیمیایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم بر اساس آزمون خاک و نیاز کودی گیاه (Salehi and Deghani, 2017) به ترتیب به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات تریپل و ۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم اعمال گردید. با رسیدن گیاه به ارتفاع پنج سانتی‌متر، عملیات تنک کردن انجام شد. جهت اعمال تیمارهای تنش خشکی، ده روز بعد از سبز شدن و استقرار کامل گیاهچه‌ها با استفاده از دستگاه TDR (Time Domain Reflectometry) ساخت شرکت اکل کمپ هلند میزان رطوبت خاک تعیین و پس از کالیبراسیون در محدوده توسعه ریشه آبیاری بر اساس تیمارهای مورد نظر در کل دوره رشد انجام گرفت (Calamita et al., 2012). برای این کار از پروب‌های سطحی با طول ۳۰ سانتی‌متر استفاده شد. زمانی که رطوبت خاک به هر یک از مقادیر مشخص شده می‌رسید، آبیاری به صورت نشتی تا رسیدن به نقطه داغ آب انجام می‌شد. بر اساس داده‌های دستگاه، رطوبت (حجمی) ظرفیت زراعی ۲۹/۸ درصد و رطوبت (حجمی) پژمردگی دائم ۱۸/۷ درصد بود. مقدار آب مصرفی با استفاده از کنتور حجمی ثبت شد که میزان آن در طول فصل رشد بر اساس تیمارهای



شکل ۱. تغییرات میزان بارندگی (میلی‌متر) و دمای حداکثر و حداقل (درجه سانتی‌گراد) منطقه مورد بررسی در سال زراعی ۹۶-۹۷
Fig. 1. Trend of precipitation (mm), and maximum and minimum temperature (°C) in studied area at 2017-2018

نتایج و بحث

همزمانی مرحله سبز شدن تا گلدهی برای تاریخ کاشت خرداد با دماهای بالاتر (شکل ۱) باوجود تعداد روز کمتر منجر به بیشتر شدن GDD برای این تاریخ کاشت نسبت به تاریخ کاشت فروردین شد. این موضوع تأیید شده است که قرارگیری گیاه در معرض دماهای بالاتر باعث تسریع در مراحل رشد آن می‌شود (Ahmadi et al., 2010) که با این تحقیق مطابقت داشت. سجاد و همکاران (Sajjad et al., 2014) تعداد روز از کاشت تا گلدهی کینوا در پاکستان را ۴۶ روز گزارش نمودند.

در تاریخ کاشت فروردین و اردیبهشت اختلافی از نظر تعداد روز از سبز شدن تا گلدهی و میزان GDD مورد نیاز بین آبیاری ۹۰ و ۶۰ درصد مشاهده نشد ولی مقدار این دو شاخص در سطوح آبیاری یادشده بیشتر از آبیاری ۳۰ درصد بودند (جدول ۲). در تاریخ کاشت سوم با کاهش حجم آب مصرفی، تعداد روز از سبز شدن تا گلدهی و میزان GDD کاهش یافت. اعظم علی و اسکویبر (Azam-Ali and Squire, 2000) اشاره کرده‌اند که GDD و زمان دمایی (thermal time) گیاه تحت تأثیر تشعشع خورشید قرار نمی‌گیرند ولی نسبت به تنش خشکی واکنش نشان می‌دهند. دیگر محققین نیز (Stockle et al., 2003; Brisson et al., 2003) تنش خشکی را عاملی مؤثر بر تسریع در رسیدگی و پیری گیاه عنوان نموده‌اند.

از بین تاریخ‌های کاشت، تنها سه تاریخ کاشت فروردین، اردیبهشت و خرداد بذر تولید نمود و به همین جهت در نتایج دیگر تاریخ‌های کاشت حذف شد. سپهوند و همکاران (Sepahvand et al., 2011) نیز در بررسی دو رقم سانتاماریا و ساجاما، بذر این دو رقم را در کرج در ماه‌های اسفند و اردیبهشت کشت نمودند و نتیجه گرفتند که در تاریخ کاشت اسفند گیاهان دچار تنش دمایی شده و بذر تولید نکردند.

فناوری

زمان لازم برای خروج گیاهچه کینوا از خاک در هر سه تاریخ کاشت یکسان (۳ روز) بود (جدول ۲). گزارش شده است که در تاریخ کاشت‌های مختلف با دامنه دمایی ۱۵ تا ۳۲ درجه سانتی‌گراد، بذور کینوا در طول ۵ تا ۹ روز سبز می‌شوند (Bazile et al., 2015) که در این تحقیق سبز شدن سریع‌تر اتفاق افتاد. تعداد روز از سبز شدن تا گلدهی تحت تأثیر تاریخ کاشت و سطوح مختلف آبیاری متفاوت بود (جدول ۲). دامنه تعداد روز از کاشت تا گلدهی در تاریخ کاشت فروردین ۳۶ تا ۴۰ روز، در اردیبهشت ۱۹ تا ۲۰ روز و خرداد ۲۰ تا ۲۵ روز بود. از نظر میزان GDD دریافتی گیاه در این مرحله، تاریخ کاشت خرداد بیشترین (۴۸۴ درجه) و اردیبهشت کمترین (۲۵۶ درجه) مقدار را دارا بود. این موضوع به دلیل دوره کوتاه‌تر کاشت تا گلدهی در اردیبهشت‌ماه بود. از طرف دیگر،

ریشه در هر سه تاریخ کاشت فروردین (۲۲/۵۳ سانتی‌متر)، اردیبهشت (۲۸/۱۴ سانتی‌متر) و خرداد (۱۵/۳۴ سانتی‌متر) در بالاترین سطح تنش خشکی مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با دیگر سطوح تنش خشکی نشان داد. در همه سطوح آبیاری، تاریخ کاشت اردیبهشت بیشترین و خرداد کمترین میزان طول ریشه را دارا بودند (جدول ۵). تنش خشکی دارای اثرات زیادی بر الگوی رشد گیاهان است، یکی از مهم‌ترین این اثرات تغییر سیستم ریشه در شرایط نقصان رطوبت خاک است که به دنبال آن جذب آب و مواد غذایی و همچنین رشد رویشی اندام‌های هوایی تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Slahvrzy, 2007). این موضوع اثبات شده است که یکی از عوامل مهم در مقاومت به خشکی و اجتناب از آن، جذب آب کافی است. از طرفی، طول ریشه یکی از فاکتورهای اساسی در میزان جذب آب است. در واقع بالا بودن مجموع طول ریشه‌ها به‌منظور بهره‌برداری ریشه از بخش وسیع‌تری از خاک و افزایش نقاط جذب آب و عناصر غذایی، می‌تواند برای گیاه حائز اهمیت باشد (Ganjali, 2005). این بدین معناست که گیاه در شرایط تنش طول ریشه بیشتری دارد (Bosque Sanchez et al., 2003). کیان و فری (Qian and Fry, 1996) هنگامی که محتوای رطوبت حجمی خاک در اعماق مختلف را اندازه گرفتند اظهار داشتند که تحت شرایط خشکی در لایه‌های سطحی خاک رطوبت به‌سرعت کاهش می‌یابد و این در حالی است که از محتوای رطوبتی در اعماق پایین‌تر خاک با سرعت کندتری کاسته می‌شود. لذا بدیهی است که گیاه برای جذب آب طول ریشه را افزایش داده و بنابراین بیشترین طول ریشه مخصوصاً در گیاهان مقاوم، جهت اجتناب از خشکی در سطوح خفیف تنش مشاهده شود. از طرف دیگر، گزارش شده است که در شرایط تنش شدید به دلیل کاهش اندام هوایی و فتوسنتزی گیاه، انرژی کافی برای گسترش ریشه وجود ندارد (Reddy et al., 2004). این موضوع در تحقیق حاضر نیز صادق بوده و بیشترین طول ریشه در سطح متوسط تنش مشاهده شد. در آزمایشی تأیید شده است که تنش خشکی در اوایل فصل رشد گیاه کینوا موجب نفوذ سریع‌تر ریشه گیاه در عمق شده و گیاه به تنش خشکی مقاوم‌تر می‌شود (Azurita-Silva et al., 2015). در آزمایش دیگر گزارش شد که در شرایط بدون محدودیت آب، رشد ریشه در طول چهار هفته به عمق ۵۰ سانتی‌متر می‌رسد ولی با افزایش تنش آبی در همین مدت به عمق ۷۵ سانتی‌متر رسید (Zurita Silva et al., 2015).

تعداد روز از گلدهی تا رسیدگی کینوا بین ۶۰ تا ۸۵ روز تحت تأثیر تیمارهای مورد استفاده متغیر بود (جدول ۲). بیشترین میزان این شاخص در تاریخ کاشت اردیبهشت و کمترین میزان در تاریخ کاشت خرداد مشاهده شد. با افزایش سطح تنش خشکی، تعداد روز از گلدهی تا رسیدگی و همچنین میزان GDD مورد نیاز کاهش نشان داد. طول دوره رشد کینوا نیز بین ۸۰ تا ۱۱۵ روز متغیر بود که با تأخیر در کاشت و همچنین کاهش میزان آب مصرفی، طول این دوره کاهش یافت. پایین‌وجود، بیشترین دامنه GDD (۱۸۸۹/۸ تا ۱۹۸۵/۴) دریافتی گیاه طی دوره رشد در تاریخ کاشت اردیبهشت به دست آمد. میزان GDD دریافتی گیاه کینوا برای تاریخ‌های مختلف کاشت در ایالت تلانگانای هندوستان بین ۱۸۵۷ تا ۲۱۱۹ متغیر بود (Ramesh, 2016). دامنه حدود ۲۰۰۰ تا ۲۲۰۰ برای این گیاه در مراکش گزارش شده است (Hirich et al. 2014). این موضوع نشان می‌دهد که GDD دریافتی گیاه کینوا تحت تأثیر اقلیمی که گیاه در آن رشد می‌کند قرار می‌گیرد. نتایج تحقیقی در یک اقلیم مدیترانه‌ای نشان داد گیاه کینوا برای رسیدن به مرحله رسیدگی دانه در شرایط عدم تنش ۱۸۵۰ و در شرایط تنش آبی ۱۷۸۰ GDD دریافت نمود (Becker et al., 2017). مطالعات نشان داده است که طول دوره رشد گیاه بسته به رقم و اقلیم بین ۱۰۰ تا ۲۴۰ روز متغیر است (Bhargava et al., 2007). با توجه به موارد ذکر شده به نظر می‌رسد رقم مورد کشت و کار در این آزمایش (Titicaca) از ارقام زودرس است.

طول ریشه

تیمارهای تاریخ کاشت ($P \leq 0.01$)، آبیاری ($P \leq 0.01$) و برهمکنش تاریخ کاشت + آبیاری ($P \leq 0.01$) تأثیر معنی‌داری بر طول ریشه داشتند اما تیمارهای محلول پاشی، آبیاری + محلول پاشی، تاریخ کاشت + محلول پاشی و تاریخ کاشت + آبیاری + محلول پاشی اثری بر این شاخص نشان ندادند (جدول ۳). برهمکنش تاریخ کاشت و آبیاری نشان داد که در تاریخ کاشت فروردین و اردیبهشت بیشترین طول ریشه گیاه کینوا به ترتیب با ۲۸/۲۷ و ۳۵/۹۲ سانتی‌متر در سطح ۶۰ درصد ظرفیت زراعی آبیاری به دست آمد (جدول ۵). در حالی که، این شرایط (۲۱/۲۷ سانتی‌متر) برای تاریخ کاشت خرداد در سطح ۹۰ درصد آبیاری حاصل شد. کمترین طول

جدول ۲. تأثیر تاریخ کاشت، آبیاری و محلول‌پاشی بر تعداد روز (DN) و درجه روز رشد (GDD) گیاه کینوا در مراحل مختلف رشد
 Table 2- Effect of planting date, irrigation, and foliar application on day number (DN) and growth degree day (GDD) of Quinoa at different growth periods

تاریخ کاشت Planting date	آبیاری (ظرفیت زراعی): درصد Irrigation (FC: %)	محلول‌پاشی Foliar application	کاشت تا سبز شدن		سبز شدن تا گلدهی		گلدهی تا رسیدگی		کل دوره رشد	
			Planting - emergence		Emergence- flowering		Flowering- maturity		Total growth period	
			DN	GDD	DN	GDD	DN	GDD	DN	GDD
فروردین April	90	Water	3	25.05	40	418.9	72	1387.7	115	1831.6
		SA	3	25.05	40	418.9	72	1387.7	115	1831.6
	60	Water	3	25.05	40	418.9	70	1350.3	113	1794.3
		SA	3	25.05	40	418.9	70	1350.3	113	1794.3
	30	Water	3	25.05	36	378.6	66	1227.1	105	1630.8
		SA	3	25.05	36	378.6	69	1293.0	108	1696.7
اردیبهشت May	90	Water	3	35.46	20	275.8	85	1674.1	108	1985.4
		SA	3	35.46	20	275.8	85	1674.1	108	1985.4
	60	Water	3	35.46	20	275.8	83	1638.3	106	1949.5
		SA	3	35.46	20	275.8	83	1638.3	106	1949.5
	30	Water	3	35.46	19	256.2	79	1556.8	101	1848.5
		SA	3	35.46	19	256.2	81	1598.1	103	1889.8
خرداد June	90	Water	3	57.54	25	484.6	65	1244.5	93	1786.6
		SA	3	57.54	25	484.6	65	1244.5	93	1786.6
	60	Water	3	57.54	23	445.2	62	1193.3	88	1696.0
		SA	3	57.54	23	445.2	63	1210.3	89	1713.0
	30	Water	3	57.54	20	395.3	57	1111.2	80	1564.0
		SA	3	57.54	20	395.3	60	1164.1	83	1616.9

نسبت طول ریشه به اندام هوایی

شد که رطوبت ناکافی خاک از طریق افزایش تراکم نسبی ریشه توانسته باعث افزایش در نسبت ریشه به اندام هوایی گلرنگ شود (Shahrokhniaand Sepaskhah, 2017). بر اساس نتایج این مطالعه نیز مشخص شد که نسبت ریشه به اندام هوایی تحت شرایط تنش افزایش می‌یابد.

وزن خشک ریشه

تیمارهای تاریخ کاشت و آبیاری و برهمکنش آن‌ها تأثیر معنی‌داری بر این صفت در سطح احتمال یک درصد داشتند ولی دیگر تیمارها اثری بر وزن خشک ریشه نداشت (جدول ۳). برهمکنش تاریخ کاشت و آبیاری نشان داد که به‌طور میانگین تاریخ کاشت اردیبهشت بالاترین میزان وزن خشک ریشه را دارا بود (جدول ۴). تاریخ کاشت‌های فروردین و خرداد در رتبه‌های بعدی قرار داشتند. در تاریخ کاشت‌های فروردین (۷/۴ گرم) و اردیبهشت (۱۰/۸۴ گرم در بوته)، آبیاری با ۶۰ درصد ظرفیت زراعی با تفاوت معنی‌داری بالاترین میزان وزن خشک ریشه را دارا بود ولی در تاریخ

این صفت تنها تحت تأثیر تاریخ کاشت در سطح پنج درصد و آبیاری در سطح یک درصد قرار گرفت و دیگر تیمارهای موردبررسی اثر معنی‌داری بر نسبت طول ریشه به اندام هوایی نداشتند (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که نسبت اندام زیرزمینی به هوایی کینوا در تاریخ کاشت خرداد (۰/۲۹۰) حدود ۶ درصد بیشتر از تاریخ کاشت فروردین و ۹ درصد بیشتر از اردیبهشت بود (جدول ۴). بررسی تأثیر تنش خشکی بر نسبت طول اندام زیرزمینی به هوایی تأیید نمود که بالاترین میزان این شاخص (۰/۳۱۲) در سطح دوم آبیاری (۶۰ درصد ظرفیت زراعی) مشاهده گردید که اختلاف معنی‌داری با سطح ۹۰ درصد (۰/۲۶۲) و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی (۰/۲۵۶) نشان داد (جدول ۴). بهبودیان و میلز (Behboudian and Mills, 1997) اظهار داشتند که در شرایط تنش خشکی ریشه‌ها به دلیل اینکه در معرض تنش خفیف‌تری نسبت به شاخه‌ها قرار دارند معمولاً نسبت ریشه به اندام هوایی افزایش می‌یابد. همچنین، در تحقیقی گزارش

کاشت خرداد اختلاف معنی‌داری بین ۹۰ درصد (۵/۱۹) گرم در بوته) و ۳۰ درصد (۵/۰۸) گرم در بوته) آبیاری وجود نداشت و به‌طور قابل توجهی بالاتر از سطح سوم (۴/۲۳) گرم در بوته) بودند. کمترین وزن خشک ریشه در تمامی تاریخ‌های کاشت در آبیاری با ۳۰ درصد ظرفیت زراعی به دست آمد.

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد ارزیابی در گیاه کینوا تحت تأثیر تیمارهای مورد بررسی

Table 3. Analysis of variance (Mean square) of studied traits of Quinoa as affected by various treatments

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	طول ریشه به		وزن خشک ریشه Root DW	وزن خشک ریشه به اندام هوایی Root/Shoot DW	ارتفاع گل‌آذین Inflorescence height	قطر گل‌آذین Inflorescence diameter
			طول ریشه Root length	اندام هوایی Root /Shoot length				
Replication (R)	بلوک (R)	2	0.746 ^{ns}	0.0003 ^{ns}	0.241 ^{ns}	0.0002 ^{ns}	1.07 ^{ns}	0.011 ^{ns}
Planting date (P)	تاریخ کاشت (P)	2	773.1 ^{**}	0.002 [*]	81.61 ^{**}	0.021 ^{**}	466.1 ^{**}	313.9 ^{**}
	R*P	4	1.12	0.00002	0.619	0.00004	0.214	2.59
Irrigation (I)	آبیاری (I)	2	165.8 ^{**}	0.017 ^{**}	17.82 ^{**}	0.005 ^{**}	106.2 ^{**}	5.11 ^{ns}
	P*I	4	15.71 ^{**}	0.0005 ^{ns}	3.18 ^{**}	0.002 [*]	11.67 ^{**}	4.61 ^{ns}
Error 1	خطای اول	12	2.06	0.0002	0.312	0.00009	0.255	1.08
Foliar application (F)	محلول پاشی (F)	1	0.088 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	0.008 ^{ns}	0.001 [*]	16.67 ^{**}	20.15 ^{**}
	P*F	2	7.45 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.045 ^{ns}	0.00002 ^{ns}	0.960 ^{ns}	1.04 ^{ns}
	I*F	2	1.56 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.0004 ^{ns}	1.16 [*]	0.290 ^{ns}
	P*I*F	4	3.34 ^{ns}	0.0005 ^{ns}	0.011 ^{ns}	0.00003 ^{ns}	0.671 ^{ns}	0.291 ^{ns}
Error 2	خطای دوم	18	2.59	0.0006	0.386	0.0001	0.351	3.03
CV (%)	ضریب تغییرات (%)	-	6.35	9.10	9.97	6.80	3.53	12.90

Table 3. Continued

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	وزن هزار دانه		عملکرد بیولوژیک Biological yield	پروتئین Protein	روغن Oil	کارایی مصرف آب WUE
			وزن هزار دانه 1000-grains weight	عملکرد دانه Grain yield				
Replication (R)	بلوک (R)	2	0.021 ^{ns}	189.3 ^{ns}	1424 ^{ns}	1.23 ^{ns}	0.074 ^{ns}	0.003 ^{ns}
Planting date (P)	تاریخ کاشت (P)	2	0.004 ^{ns}	170556.2 ^{**}	697753 ^{**}	47.11 ^{**}	5.889 ^{**}	0.122 [*]
	R*P	4	0.0009	1056.9	4848	1.06	0.003	0.025
Irrigation (I)	آبیاری (I)	2	0.001 ^{ns}	21235.1 ^{**}	219069 ^{**}	0.17 ^{ns}	0.152 [*]	0.148 ^{**}
	P*I	4	0.0002 ^{ns}	5421.1 ^{**}	13523 ^{ns}	0.142 ^{ns}	0.031 ^{ns}	0.009 ^{ns}
Error 1	خطای اول	12	0.011	1874.08	9955	0.771	0.032	0.007
Foliar application (F)	محلول پاشی (F)	1	0.001 ^{ns}	3091.8 ^{ns}	65307 ^{**}	0.153 ^{ns}	0.112 ^{ns}	0.011 ^{ns}
	P*F	2	0.005 ^{ns}	10.68 ^{ns}	6819 ^{ns}	0.061 ^{ns}	0.052 ^{ns}	0.0001 ^{ns}
	I*F	2	0.005 ^{ns}	5856.6 [*]	26584 [*]	0.123 ^{ns}	0.412 [*]	0.0009 ^{ns}
	P*I*F	4	0.002 ^{ns}	61.63 ^{ns}	1148 ^{ns}	0.08 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.00008 ^{ns}
Error 2	خطای دوم	18	0.035	1056.1	4937	0.719	0.098	0.006
CV (%)	ضریب تغییرات (%)	-	9.41	7.75	11.72	7.93	8.81	9.02

ns, * و ** به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, * and **: non-significant and significant in the level of 5% and 1%, Respectively.

اختلاف معنی‌داری بین هر سه سطح ۹۰ درصد (۰/۲۲۴)، ۶۰ درصد (۰/۲۶۶) و ۳۰ درصد (۰/۱۹۴) آبیاری از لحاظ وزن خشک ریشه به اندام هوایی وجود داشت. میزان این شاخص در تاریخ کاشت خرداد برای سطح اول (۰/۱۶۱) و دوم (۰/۱۶۲) آبیاری به‌طور قابل‌توجهی بیشتر از سطح سوم آبیاری (۰/۱۵۳) بود (جدول ۵). گزارش شده است یکی از پاسخ‌های گیاه به تنش خشکی فرار از این شرایط بوده (Claeys and Inze, 2013) که افزایش نسبت ریشه به اندام هوایی از مهم‌ترین روش‌های فرار از خشکی است (Passioura and Angus, 2010). تأیید شده است که گیاه کینوا برای مقاومت به تنش خشکی در یک خاک شنی نسبت ریشه به اندام هوایی خود را به میزان قابل‌توجهی افزایش داده است (Alvarez-Flores et al., 2014). در تحقیقی گزارش شد که نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی کینوا در شرایط تنش (۰/۷۳) به‌طور معنی‌داری بیشتر از عدم تنش خشکی (۰/۲۱) بود (Gonzalez-Teuber et al., 2018).

در بررسی تأثیر محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید بر نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی نیز مشاهده شد که مقدار این شاخص در شرایط محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید (۰/۱۸۸) به میزان معنی‌داری کمتر از عدم محلول‌پاشی (۰/۱۹۷) بود (جدول ۴). این موضوع تأیید می‌کند که اثر محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید بر بهبود اندام هوایی گیاه کینوا در شرایط تنش بیشتر از ریشه بوده است. این موضوع توسط دیگر محققین نیز تأیید و گزارش شده است (Gutiérrez-Coronado et al., 1998; Askari and Ehsanzadeh, 2015).

همبستگی مثبت و معنی‌داری بین وزن ریشه و اندام هوایی ($r = 0.82$) مشاهده شد و این موضوع تأیید می‌نماید احتمالاً با افزایش وزن خشک اندام هوایی گیاه کینوا در تاریخ کاشت اردیبهشت و شرایط عدم تنش و تنش خفیف، مواد فتوسنتزی بیشتری در اختیار ریشه قرار گرفته و وزن خشک ریشه نیز بهبود می‌یابد. نتایج تحقیقی در کشور آرژانتین نشان داد که وزن خشک ریشه کینوا در شرایط عدم تنش (۸۴/۱ میلی‌گرم) با اختلاف معنی‌داری بیشتر از تنش خشکی (۷۴/۸ میلی‌گرم) بود (González et al., 2009).

نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی

این صفت تحت تأثیر تاریخ کاشت، آبیاری، محلول‌پاشی و برهمکنش تاریخ کاشت + آبیاری قرار گرفت (جدول ۳). نتایج نشان داد که تاریخ کاشت اردیبهشت در همه سطوح آبیاری بیشترین نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی را دارا بود (جدول ۵). کمترین میزان این شاخص برای همه مقادیر آبیاری نیز در تاریخ کاشت خرداد به دست آمد. روند تغییرات وزن خشک ریشه به اندام هوایی تحت تأثیر مقادیر مختلف دور آبیاری در تاریخ‌های مختلف کاشت متفاوت بود. به‌طوری‌که، در تاریخ کاشت فروردین اختلاف معنی‌داری بین آبیاری با ۹۰ درصد ظرفیت زراعی (۰/۱۸۲) و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی (۰/۱۸۹) از نظر این شاخص وجود نداشت و سطح ۶۰ درصد آبیاری با اختلاف معنی‌داری بیشترین (۰/۲۰۶) میزان نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی را در این تاریخ کاشت شامل شد. در تاریخ کاشت اردیبهشت،

جدول ۴. نتایج مقایسه میانگین اثرات ساده صفات مورد ارزیابی در گیاه کینوا تحت تأثیر تیمارهای مورد بررسی

Table 4. Mean comparison results of Quinoa studied traits as affected by various treatments

Treatment	تیمار	طول ریشه	طول ریشه به	وزن خشک	وزن خشک ریشه به	ارتفاع گل‌آذین	قطر گل‌آذین
		Root length (cm)	اندام هوایی Root/Shoot length	ریشه Root DW (g. plant ⁻¹)	اندام هوایی Root/ Shoot DW	Inflorescence height (cm)	Inflorescence diameter (cm)
تاریخ کاشت Planting date	April	25.58 ^b	0.274 ^b	6.85 ^b	0.192 ^b	16.5 ^b	14.25 ^b
	May	31.81 ^a	0.267 ^c	9.09 ^a	0.228 ^a	22.0 ^a	17.25 ^a
	June	18.71 ^c	0.290 ^a	4.83 ^c	0.159 ^c	11.83 ^c	9 ^c
آبیاری Irrigation (FC)	90%	26.19 ^b	0.262 ^b	7.17 ^b	0.189 ^b	19.33 ^a	14.24 ^a
	60%	27.90 ^a	0.312 ^a	7.78 ^a	0.211 ^a	16.49 ^b	13.41 ^b
	30%	22 ^c	0.256 ^b	5.83 ^c	0.178 ^c	14.50 ^c	12.83 ^b
محلول‌پاشی Foliar application	SA	25.41 ^a	0.278 ^a	6.91 ^a	0.188 ^b	17.33 ^a	12.88 ^b
	Water	25.32 ^a	0.275 ^a	6.94 ^a	0.197 ^a	16.22 ^b	14.11 ^a

Table 4. Continued

جدول ۴. ادامه

تیمار Treatment	وزن هزار دانه 1000-seed weight (g)	عملکرد دانه Grain yield (kg ha ⁻¹)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg ha ⁻¹)	پروتئین دانه Grain protein (%)	روغن Oil (%)	کارایی مصرف	
						آب WUE	
تاریخ کاشت Planting date	April	1.98 ^b	578.7 ^b	4765 ^b	3.64 ^b	10.28 ^b	0.253 ^b
	May	2.00 ^a	653.9 ^a	5297 ^a	4.08 ^a	9.30 ^c	0.296 ^a
	June	1.97 ^c	460.8 ^c	4056 ^c	2.95 ^c	12.46 ^a	0.258 ^b
آبیاری Irrigation (FC)	90%	1.99 ^a	591.3 ^a	4999 ^a	3.64 ^a	10.63 ^a	0.156 ^c
	60%	1.99 ^a	576.2 ^a	4801 ^a	3.57 ^{ba}	10.62 ^a	0.281 ^b
	30%	1.97 ^a	525.7 ^b	4327 ^b	3.46 ^b	10.79 ^a	0.371 ^a
محلول پاشی Foliar application	SA	1.98 ^a	572.6 ^a	4816 ^a	3.61 ^a	10.63 ^a	0.272 ^a
	Water	1.98 ^a	556.3 ^a	4596 ^b	3.51 ^a	10.73 ^a	0.266 ^a

برای هر تیمار، حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD نیست.

For each treatment, column means with the same letter are not significantly different by LSD test ($P < 0.05$)

جدول ۵. برهمکنش تاریخ کاشت و سطح آبیاری بر میانگین صفات مورد بررسی در گیاه کینوا

Table 5. Interaction effects of planting date and irrigation level on some studied traits of Quinoa

تیمار Treatment	سطح آبیاری Irrigation level (FC: %)	وزن خشک		وزن خشک ریشه به اندام هوایی Root / Shoot DW	ارتفاع گل آذین Inflorescence height (cm)	عملکرد دانه Grain yield (kg ha ⁻¹)
		طول ریشه Root length (cm)	ریشه Root DW (g. plant ⁻¹)			
تاریخ کاشت Planting date	90	25.94 ^b	7.15 ^b	0.182 ^b	20.12 ^a	596.3 ^a
	60	28.27 ^a	7.4 ^a	0.206 ^a	16.51 ^b	580.5 ^a
	30	22.53 ^c	6.00 ^c	0.189 ^b	13.08 ^c	559.2 ^b
فروردین April	90	31.37 ^b	9.18 ^b	0.161 ^a	24.98 ^a	702.8 ^a
	60	35.92 ^a	10.84 ^a	0.162 ^a	20.49 ^b	683.6 ^b
	30	28.14 ^c	7.27 ^c	0.153 ^b	21.11 ^b	575.2 ^c
اردیبهشت May	90	21.27 ^a	5.19 ^a	0.224 ^b	13.16 ^a	474.9 ^a
	60	19.52 ^b	5.08 ^a	0.266 ^a	12.44 ^a	465.6 ^a
	30	15.34 ^c	4.23 ^b	0.194 ^c	10.10 ^b	442.8 ^b
خرداد June	90	21.27 ^a	5.19 ^a	0.224 ^b	13.16 ^a	474.9 ^a
	60	19.52 ^b	5.08 ^a	0.266 ^a	12.44 ^a	465.6 ^a
	30	15.34 ^c	4.23 ^b	0.194 ^c	10.10 ^b	442.8 ^b

حروف مشترک در هر ستون به صورت برش دهی دارای اختلاف معنی داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD نیست.

Column means with the same letter are not significantly different as slicing by LSD test ($P < 0.05$)

طول گل آذین اصلی

سانتی متر) بود (جدول ۵). در کلیه تاریخ‌های کاشت با کاهش مقدار آبیاری از میزان شاخص یادشده کاسته شد. باین وجود که در تاریخ کاشت فروردین اختلاف معنی داری بین آبیاری با ۹۰ درصد (۲۰/۱۲ سانتی متر)، ۶۰ درصد (۱۶/۵۱ سانتی متر) و ۳۰٪ (۱۳/۰۸ سانتی متر) ظرفیت زراعی وجود داشت ولی میزان طول گل آذین کینوای کشت شده در اردیبهشت در سطح دوم (۲۰/۴۹ سانتی متر) و سوم (۲۱/۱۱ سانتی متر) آبیاری اختلاف معنی داری باهم نشان ندادند. طول گل آذین در سطح عدم تنش (۲۴/۹۸ سانتی متر) با تفاوت معنی داری بیشتر از دو سطح دیگر آبیاری در این تاریخ کاشت بود (جدول ۵). در تاریخ کاشت خرداد، تنش شدید (۳۰٪ ظرفیت زراعی) باعث کاهش معنی دار طول گل آذین نسبت به شرایط بدون تنش (۱۳/۱۶ سانتی متر) شد ولی سطح ۶۰

این شاخص بر اساس نتایج تجزیه واریانس تحت تأثیر تیمارهای تاریخ کاشت، آبیاری، محلول پاشی و برهمکنش تاریخ کاشت و آبیاری در سطح احتمال یک درصد و برهمکنش آبیاری در سالیسیلیک اسید در سطح احتمال ۵ درصد قرار گرفت. از طرف دیگر، برهمکنش تاریخ کاشت و سالیسیلیک اسید و همچنین اثر سه گانه تاریخ کاشت، آبیاری و محلول پاشی اثر معنی داری بر این صفت نداشتند (جدول ۳).

بررسی اثرات متقابل تاریخ کاشت و آبیاری نشان داد که به طور میانگین در همه سطوح آبیاری میزان طول گل آذین اصلی گیاه در کشت اردیبهشت (۲۲ سانتی متر) بیشتر از فروردین (۱۶/۵ سانتی متر) و آن هم بیشتر از خرداد (۱۱/۸۳

کیناز که وظیفه تنظیم تقسیم، تمایز و ریخت‌زایی سلول را بر عهده دارد، فرایندهای فیزیولوژیکی مختلف مثل رشد و تکامل گیاه را تنظیم می‌کند و نقش مؤثری در افزایش ارتفاع گیاه دارد (Shamsaddin Saied and Moradi, 2018).

قطر گل آذین

این شاخص بر اساس نتایج تجزیه واریانس تحت تأثیر تیمارهای تاریخ کاشت و محلول‌پاشی در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت. از طرف دیگر، تیمارهای آبیاری، اثر متقابل تاریخ کاشت و آبیاری، اثر متقابل تاریخ کاشت و محلول‌پاشی، اثر متقابل آبیاری و محلول‌پاشی و اثر سه‌گانه تاریخ کاشت، آبیاری و محلول‌پاشی اثر معنی‌داری بر این صفت نداشتند (جدول ۳).

از بین تاریخ‌های مختلف کاشت، کشت خردادماه میزان قطر گل آذین کمتری (۹ سانتی‌متر) را نسبت به دو تاریخ کاشت فروردین (۱۴/۲۵ سانتی‌متر) و اردیبهشت (۱۷/۲۵ سانتی‌متر) دارا بود (جدول ۴). با توجه به رابطه مثبت و معنی‌دار قطر گل آذین با دیگر خصوصیات رشدی گیاه کینوا این موضوع تأیید می‌شود که رشد مناسب‌تر گیاه در اردیبهشت با بهبود قطر گل آذین همراه بوده است. بررسی تیمارهای محلول‌پاشی نشان داد که استفاده از سالیسیلیک اسید منجر به کاهش ۹/۵۵ درصدی قطر گل آذین نسبت به محلول‌پاشی با آب شد (جدول ۴). به نظر می‌رسد این کاهش قطر گل آذین می‌تواند باعث شود تا این اندام گیاه کمتر در معرض آفتاب و دماهای بالا بوده و تبخیر از گل آذین کاهش یابد و خود در بهبود عملکرد گیاه نقش مثبتی داشته باشد.

درصد آبیاری (۱۲/۴۴ سانتی‌متر) تفاوت معنی‌داری با سطح اول آبیاری نشان نداد. تأیید شده است که زمانی که گیاه تحت تأثیر تنش کم‌آبی قرار می‌گیرد گیاه برای مقابله با تنش بیشتر هم از رشد اندام‌های رویشی و هم زایشی مانند طول گل آذین کاسته و بیشتر به رشد اندام زیرزمینی می‌افزاید (Ramezan and Abbaszadeh, 2016). این موضوع همسو با این تحقیق بود. هر چه میزان تنش بیشتر شود گیاه توان جذب آب و مواد غذایی کافی را نخواهد داشت و انرژی که باید صرف رشد و نمو و تقسیم و تکثیر سلولی شود صرف توسعه ریشه و جذب آب و مواد غذایی می‌گردد (Neumann, 2008). برهمکنش آبیاری و محلول‌پاشی نیز نشان داد که به‌طور میانگین، استفاده از سالیسیلیک اسید باعث افزایش ۷ درصدی طول گل آذین در مقایسه با محلول‌پاشی با آب شد (جدول ۶). در سطح اول آبیاری اختلاف معنی‌داری بین محلول‌پاشی با آب (۱۹/۰۸ سانتی‌متر) و سالیسیلیک اسید (۱۹/۷۱ سانتی‌متر) وجود نداشت ولی در دور دوم و سوم آبیاری محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید به ترتیب منجر به افزایش حدود ۷ و ۱۳ درصدی طول گل آذین اصلی گیاه نسبت به محلول‌پاشی با آب شد (جدول ۶). این موضوع تأیید می‌کند که نقش مثبت سالیسیلیک اسید در هنگام مواجهه گیاه با تنش شکل گرفته است. تحقیقات زیادی اثبات کرده‌اند که سالیسیلیک اسید در شرایط عدم تنش نقش مثبتی بر گیاه نداشته و کارایی آن در زمان تنش بیشتر است. اسید سالیسیلیک باعث افزایش تقسیم سلولی درون مریستم گیاه شده و از این طریق ارتفاع بوته را بهبود می‌بخشد (خارجی جدید). همچنین، گزارش شده است که به نظر می‌رسد اسید سالیسیلیک از طریق سنتز پروتئین‌های خاصی به نام پروتئین

جدول ۶. برهمکنش سطوح آبیاری و محلول‌پاشی بر میانگین صفات موردبررسی در گیاه کینوا

Table 6. Interaction effects of irrigation level and foliar application on some studied traits of Quinoa

Treatment	تیمار	ارتفاع گل آذین	عملکرد بیولوژیک	عملکرد دانه
Irrigation level (FC: %)	Foliar application	Inflorescence height (cm)	Biological yield (kg ha ⁻¹)	Grain yield (kg ha ⁻¹)
90	SA	19.71 ^a	503.3 ^a	592.9 ^a
	water	19.08 ^a	496.5 ^a	589.3 ^a
60	SA	17.00 ^a	484.5 ^a	583.8 ^a
	water	15.98 ^b	475.4 ^a	568.6 ^a
30	SA	15.32 ^a	457.1 ^a	549.1 ^a
	water	13.59 ^b	407.0 ^b	510.4 ^b

حروف مشترک در هر ستون به‌صورت برش دهی دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD نیست. Column means with the same letter are not significantly different as slicing by LSD test (P< 0.05)

وزن هزار دانه

این شاخص تحت تأثیر هیچ‌یک از تیمارهای مورد بررسی قرار نگرفت (جدول ۳). دامنه تغییرات وزن هزار دانه بین ۱/۹۷ تا ۲ گرم بر اساس تیمارهای مورد استفاده متغیر بود (جدول ۴). میزان این شاخص در پاکستان ۲/۶۰ گرم (Sajjad et al., 2014) و در ترکیه ۳/۴۰ گرم (Geren et al., 2014) گزارش شده است. تأیید شده است که وزن هزار دانه گیاه صفتی ژنتیکی بوده و کمتر تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد (Fischer et al., 2017).

عملکرد دانه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس این شاخص تحت تأثیر تیمارهای تاریخ کاشت ($P \leq 0.01$)، آبیاری ($P \leq 0.01$)، اثر متقابل تاریخ کاشت + آبیاری ($P \leq 0.01$) و آبیاری + محلول پاشی ($P \leq 0.05$) قرار گرفت. از طرف دیگر، تیمار محلول پاشی، برهمکنش تاریخ کاشت + محلول پاشی و اثر سه-گانه تاریخ کاشت + آبیاری + محلول پاشی اثر معنی‌داری بر این صفت نداشتند (جدول ۳).

بررسی برهمکنش تاریخ کاشت و آبیاری نشان داد که در همه سطوح آبیاری، تاریخ کاشت اردیبهشت بالاترین و تاریخ کاشت خرداد کمترین میزان عملکرد دانه را دارا بودند (جدول ۵). همان‌طور که قبلاً ذکر شد، طول دوره رشد گیاه در تاریخ کاشت خرداد نسبت به اردیبهشت کمتر بود. محققان زیادی بیان کرده‌اند قرارگیری گیاه در معرض دمای بالاتر سبب افزایش سرعت رشد و نمو می‌شود (Slafer and Rawson, 1996; Ahmadi et al., 2010; Kalate Arabi et al., 2011). کوتاه شدن دوره رشد باعث کاهش جذب تشعشع طی فصل رشد شده و در نهایت کاهش مقدار تولید مواد فتوسنتزی را به دنبال دارد (Hongyong et al., 2007). این موضوع باعث کاهش عملکرد می‌شود. از طرف دیگر، نتایج تحقیق صالحی و دهقانی (Salehi and Dehghani, 2017) در یزد نشان داد که کاشت گیاه کینوا باید طوری تنظیم شود که میانگین دما در مرحله گرده‌افشانی حدود ۲۵ درجه سانتی‌گراد باشد. همچنین، پژوهشگران بسیاری بیان داشته‌اند که دوره پر شدن دانه این گیاه به میانگین دمای زیر ۲۵ و بالای ۳۰ درجه سانتی‌گراد حساس است (Parvin et al., 2014; Hirich et al., 2013) و قرارگیری در خارج از این دامنه دمایی تأثیر منفی بسزایی روی عملکرد دارد. با توجه به روند دمایی بردسیر (شکل ۱)، کشت در تاریخ کاشت فروردین

باعث همزمانی دوره گلدهی با پیک دمایی منطقه شده و در تاریخ کاشت خرداد، مرحله گلدهی با دماهای پایین مصادف شده و کشت در اردیبهشت بهترین شرایط را دارا است. تأیید شده است در مناطقی که دارای اقلیم با رژیم رطوبتی خشک، دمای زمستانه خنک و تابستان‌های گرم (میانگین دمایی بین ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد) می‌باشند، کشت بهاره این گیاه توصیه شده است (Salehi and Dehghani, 2017). تأکید شده است که کینوا در مناطقی که دمای زمستان بیشتر از ۵- درجه سانتی‌گراد باشد قابلیت کشت پاییزه دارد (El Youssfi et al., 2012)؛ بنابراین، چون در منطقه بردسیر دمای زمستان هرساله به کمتر از ۱۰- درجه سانتی‌گراد می‌رسد امکان کشت پاییزه کینوا وجود ندارد. بررسی تأثیر تاریخ کاشت‌های متفاوت بر عملکرد کینوا در کشور مراکش نشان داد که کشت پاییزه این گیاه نسبت به کشت بهاره عملکرد بهتری دارا بود (Hirich et al., 2014). عملکرد کینوا در شرایط تحقیقاتی در تاریخ کاشت‌های مارس و آوریل به ترتیب ۷/۴ و ۶/۱ تن در هکتار برای کشور مراکش گزارش شد (Hirich et al., 2012). همچنین، عملکرد ۴/۷ تن برای کینوای کشت‌شده در اردیبهشت در یک اقلیم نیمه‌خشک گزارش شد (El Youssfi et al., 2012). احتمالاً این اختلاف بین عملکرد کینوا در مناطق مختلف باهم و با تحقیق حاضر می‌تواند بیشتر از هر چیزی تحت تأثیر استفاده از ارقام مختلف باشد. چراکه گزارش شده است عملکرد کینوا بسته به رقم مورد استفاده بین ۰/۲ تا ۸ تن متفاوت است (Salehi and Dehghani, 2017). به نظر می‌رسد رقم Titicaca استفاده‌شده در این تحقیق از پتانسیل عملکرد پایینی برخوردار بوده است.

نتایج نشان داد در همه تاریخ‌های کاشت، با کاهش حجم آب مصرفی میزان عملکرد دانه کاهش یافت (جدول ۶). در تاریخ کاشت فروردین اختلاف معنی‌داری از نظر عملکرد دانه بین سطح ۹۰ درصد (۵۹۶ کیلوگرم در هکتار) و ۶۰ درصد آبیاری (۵۸۱ کیلوگرم در هکتار) مشاهده نشد ولی میزان این شاخص در آبیاری با ۳۰ درصد ظرفیت زراعی (۵۵۹ کیلوگرم در هکتار) به‌طور معنی‌داری کمتر از دو سطح یادشده بود (جدول ۶). تاریخ کاشت خرداد نیز روندی مشابه تاریخ کاشت فروردین دارا بود. میزان عملکرد دانه برای تاریخ کاشت اردیبهشت‌ماه در سطح اول آبیاری (۷۰۳ کیلوگرم در هکتار) به‌طور معنی‌داری بیشتر از سطح دوم (۶۸۴ کیلوگرم در هکتار) و آن‌هم به‌طور معنی‌داری بیشتر از آبیاری سوم (۵۷۵

تاریخ کاشت + آبیاری و همچنین تاریخ کاشت + آبیاری + محلول‌پاشی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد بیولوژیک نداشتند (جدول ۳).

عملکرد بیولوژیک کینوا بین هر سه تاریخ کاشت تفاوت معنی‌داری نشان داد. به طوری که، کاشت در خردادماه کمترین (۴۰۵۶ کیلوگرم در هکتار) و کاشت در اردیبهشت (۵۲۹۷ کیلوگرم در هکتار) بیشترین میزان این شاخص را دارا بودند (جدول ۴). عملکرد بیولوژیک در تاریخ کاشت فروردین نیز معادل ۴۷۶۵ کیلوگرم در هکتار بود. نتایج مطالعه هیریش و همکاران (Hirich et al., 2014) نشان داد که عملکرد بیولوژیک کینوا در شرایط کشت در شرایط نیمه‌خشک بین ۷/۸۹ تا ۰/۵۸ تن در هکتار در تاریخ کاشت‌های مختلف متفاوت بود. گزارش شده است که فتوسنتز گیاه کینوا نسبت به تنش دمایی حساس است و دماهای بالا می‌تواند تولید ماده خشک در گیاه را محدود نماید (Mohanty et al. 2002).

مقایسات میانگین اثر متقابل آبیاری و محلول‌پاشی نشان داد که به‌طور کلی در هر دو روش محلول‌پاشی، با افزایش شدت تنش خشکی میزان عملکرد بیولوژیک کینوا به میزان قابل‌توجهی کاهش یافت (جدول ۶). گزارش شده است که تنش خشکی با کاهش تقسیمات سلولی، رشد رویشی گیاه را کاهش می‌دهد و این موضوع تأثیر منفی بر عملکرد بیولوژیک گیاه دارد (Kammann et al., 2011). افزایش ماده خشک تولیدی در گیاهان تحت شرایط آبیاری مطلوب می‌تواند به دلیل گسترش بیشتر سطح برگ و نیز دوام سطح برگ آن باشد که با ایجاد منبع فیزیولوژیکی کارآمد جهت استفاده هر چه بیشتر از نور دریافتی باعث افزایش تولید ماده خشک می‌گردد (Lak et al., 2007). نتایج تحقیقی در آلمان نشان داد که میزان عملکرد بیولوژیک گیاه کینوا در ۶۰ درصد ظرفیت زراعی (۳/۴۳ تن در هکتار) به‌طور معنی‌داری کمتر از ۳۰ درصد ظرفیت زراعی (۲/۶۴) تن در هکتار بود (Kammann et al., 2011).

نتایج تحقیق تأیید نمود که در سطوح آبیاری با ۹۰ درصد و ۶۰ درصد ظرفیت زراعی، اختلاف معنی‌داری بین محلول‌پاشی و عدم محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید مشاهده نشد ولی استفاده از سالیسیلیک اسید در شرایط تنش شدید منجر به بهبود ۱۲ درصدی عملکرد بیولوژیک نسبت به عدم محلول‌پاشی شد (جدول ۶).

کیلوگرم در هکتار) بود؛ یعنی در تاریخ کاشت فروردین و خرداد اختلاف معنی‌داری بین سطوح ۹۰ درصد و ۶۰ درصد ظرفیت زراعی آبیاری نبود ولی در تاریخ کاشت اردیبهشت بین کلیه سطوح آبیاری تفاوت معنی‌داری وجود داشت. به‌طور میانگین، عملکرد دانه کینوا در سطح دوم و سوم آبیاری به ترتیب حدود ۳ و ۱۱ درصد کمتر از شرایط عدم تنش بود (جدول ۴). این موضوع نشان می‌دهد که گیاه کینوا یک گیاه مقاوم به تنش خشکی است که تأثیر چشم‌گیری از کاهش ۳۳ و ۶۶ درصدی آب مصرفی نپذیرفته است و با این شرایط می‌توان گیاه کینوا را برای مناطق با منابع آبی کم توصیه نمود. محققان دیگری نیز اثبات کینوا یک گیاه مقاوم به تنش خشکی است (Jensen et al., 2000; Winkel et al., 2000; Garcia et al., 2003, Jacobsen et al., 2009, Razzaghi et al., 2011, Sun et al., 2014) که یکی از مهم‌ترین مکانیسم‌های فرار از خشکی این گیاه انعطاف‌پذیری فنولوژی و چرخه رشد گیاه در زمان قرارگیری در معرض تنش خشکی شناخته شده است (Jacobsen et al., 2003; Garcia, 2003). در این تحقیق نیز به‌خوبی این موضوع مشهود است. به طوری که، گیاه توانسته است با بهبود نسبت ریشه به اندام هوایی و تنظیم شاخص‌های رشدی بر مبنای آب مصرفی عملکردی نزدیک به عملکرد تولیدی در شرایط عدم تنش آبی نشان دهد.

نتایج برهمکنش آبیاری و سالیسیلیک اسید نشان داد که اختلاف بین تیمار محلول‌پاشی و عدم محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید تنها در سطح تنش شدید معنی‌دار بود و آبیاری با ۹۰ درصد و ۶۰ درصد ظرفیت زراعی اختلاف معنی‌داری از این نظر نشان ندادند (جدول ۶). اشاره شده است که کاربرد سالیسیلیک اسید سبب افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو، بهبود فرایندهای فتوسنتزی، افزایش رشد و مقاومت گیاهان به تنش‌ها می‌گردد (Nazar et al., 2015). نقش مثبت سالیسیلیک اسید در بهبود عملکرد گیاهان در شرایط تنش خشکی در آزمایش‌های فراوانی گزارش شده است (Mehrabian Moghaddam et al., 2011; Hayat et al., 2008).

عملکرد بیولوژیک

تجزیه واریانس داده نشان داد که تیمارهای تاریخ کاشت، آبیاری و محلول‌پاشی و همچنین اثر متقابل آبیاری و محلول‌پاشی اثر معنی‌داری بر این صفت نداشتند. اثر متقابل

محتوی پروتئین

از بین تیمارهای موردبررسی تنها تاریخ کاشت اثر معنی‌داری بر درصد پروتئین دانه کینوا داشت (جدول ۳).

بیشترین محتوی پروتئین به میزان ۱۲/۴۶ درصد در تاریخ کاشت خرداد حاصل شد که به میزان معنی‌داری بیشتر از تاریخ کاشت فروردین (۱۰/۲۸ درصد) و خرداد (۹/۳۰ درصد) بود (جدول ۴). نتایج آزمایشی نشان داد که محتوی پروتئین دانه در تاریخ کاشت ۲۰ آوریل (۸/۸۱ درصد) بیشتر از ۵ می (۵/۱ درصد) و ۱۸ ژوئن (۴/۱ درصد) بود (Yarnia, 2010). ایشان تأکید کرد که میزان پروتئین تحت تأثیر میزان عملکرد در تاریخ‌های مختلف کاشت قرار می‌گیرد. در آزمایش حاضر نیز رابطه منفی ($r = -0.78$) بین عملکرد دانه و محتوی پروتئین مشاهده شد.

درصد روغن

این شاخص واکنش معنی‌داری به تیمار تاریخ کاشت در سطح احتمال یک درصد و تیمارهای آبیاری و برهمکنش آبیاری + محلول پاشی در سطح احتمال ۵ درصد نشان داد (جدول ۳). از بین تاریخ‌های مختلف کاشت، بیشترین درصد روغن دانه کینوا (۴/۰۸ درصد) در تاریخ کاشت اردیبهشت حاصل شد. محتوی روغن دانه در تاریخ کاشت فروردین و خرداد به ترتیب ۳/۶۴ و ۲/۹۵ درصد بود (جدول ۴).

اثر متقابل آبیاری + سالیسیلیک اسید نشان داد که با کاهش میزان آب مصرفی از محتوی روغن دانه کاسته شد. به‌طور میانگین اختلاف معنی‌داری بین درصد روغن در سطوح ۹۰ درصد و ۶۰ درصد آبیاری مشاهده نشد اما درصد روغن در این دو سطح آبیاری به میزان معنی‌داری بیشتر از آبیاری با ۳۰ درصد ظرفیت زراعی بود (جدول ۶). مشاهده شد که در سطوح اول و دوم آبیاری، محلول پاشی سالیسیلیک اسید تأثیر معنی‌داری بر درصد روغن نداشت ولی در کمترین میزان آبیاری (۳۰ درصد ظرفیت زراعی) محلول پاشی سالیسیلیک اسید منجر به بهبود معنی‌دار درصد روغن دانه کینوا شد. این موضوع نشان می‌دهد که احتمالاً در سطوح بالای تنش خشکی، استفاده از سالیسیلیک اسید با بهبود خصوصیات رشد گیاه (Shamsaddin Saied and Moradi, 2018) در نهایت منجر به افزایش ذخیره روغن دانه شده است. نتایج بررسی سیبی و همکاران (Sibi et al., 2014) نیز نشان داد که کاربرد سالیسیلیک اسید در شرایط تنش خشکی باعث افزایش حدود ۶ درصدی میزان روغن دانه آفتابگردان شد. در

آزمایش دیگری نیز تأیید شد که محلول پاشی سالیسیلیک اسید سبب کاهش خسارت ناشی از تنش خشکی در هر دو رقم آفتابگردان شد که این امر، منجر به افزایش درصد روغن دانه گردید (Nematollahi et al., 2012).

کارایی مصرف آب

میزان کارایی مصرف آب تنها تحت تأثیر تیمارهای تاریخ کاشت در سطح احتمال ۵ درصد و آبیاری در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۳).

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که کارایی مصرف آب در تاریخ کاشت اردیبهشت (۰/۲۹۶ کیلوگرم بر مترمکعب) با تفاوت معنی‌داری بیشتر از میزان این شاخص در تاریخ کاشت فروردین (۰/۲۵۳ کیلوگرم بر مترمکعب) و خرداد (۰/۲۵۸ کیلوگرم بر مترمکعب) بود (جدول ۴). اختلاف معنی‌داری بین دو تاریخ کاشت فروردین و خرداد مشاهده نشد. با توجه به رابطه مثبت و معنی‌دار کارایی مصرف آب با عملکرد دانه ($r = 0.84$)، به نظر می‌رسد بالاتر بودن عملکرد دانه در تاریخ کاشت اردیبهشت منجر به بیشتر شدن کارایی مصرف آب این تاریخ کاشت شده است. از طرفی، تاریخ کاشت فروردین با وجود دارا بودن عملکرد دانه بیشتر نسبت به تاریخ کاشت خرداد، ولی به دلیل دوره رشد طولانی‌تر (جدول ۴) و مصرف آب بیشتر، اختلاف معنی‌داری با تاریخ کاشت خرداد نشان نداده است. نتایج مطالعه‌ای در کشور ترکیه نیز نشان داد که رابطه مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه کینوا و کارایی مصرف وجود دارد (Sezen et al., 2016).

با افزایش شدت تنش خشکی کارایی مصرف آب به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۴). به‌طوری‌که، میزان این صفت در سطوح آبیاری با ۶۰ درصد و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی به ترتیب حدود ۸۰ و ۱۳۷ درصد بیشتر از شرایط عدم تنش بود. این موضوع نشان می‌دهد که گیاه کینوا گیاهی مقاوم به تنش آبی بوده و شیب کاهش عملکرد در شرایط تنش کندتر از میزان آب مصرفی بوده است. نتایج مشابه توسط دیگر محققین در رابطه با گیاه کینوا گزارش شده است (Geerts et al., 2008; 2009; Razzaghi et al., 2012; Talebnejad and Sepaskhah, 2015; Sezen et al., 2016; Telahigue et al., 2017). میزان مصرف آب گیاه کینوا در کشورهای ترکیه و مراکش برای رسیدن به حداکثر عملکرد بین ۳۴۸۰ تا ۵۴۴۰ مترمکعب در هکتار گزارش شده است (Lavini, et al., 2014).

اسید در شرایط تنش شدید به خوبی می‌تواند در بهبود مقاومت گیاه به تنش خشکی کمک کند. با توجه به عملکرد پایین رقم مورد استفاده در این تحقیق، پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آینده مقایسه‌ای بین ارقام مختلف این گیاه از نظر عملکرد و مقاومت به تنش خشکی اجرا شود.

نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی، نتایج تحقیق نشان داد که کشت در اردیبهشت‌ماه مناسب‌ترین تاریخ کاشت کینوآ برای مناطق با اقلیم مشابه بردسیر است. این تحقیق تأیید نمود که گیاه کینوآ از مقاومت بالایی نسبت به تنش خشکی برخوردار بوده و سالیسیلیک

منابع

- Ahmadi, M., Kamkar, B., Soltani, A., Zeinali, A., Arabameri, R., 2010. The effect of planting date on duration of phenological phases in wheat cultivars and its relation with grain yield. *Journal of Plant Production*. 7(2), 109-122. [In Persian with English summary].
- Alvarez-Flores, R., Winkler, T., Degueldre, D., Del Castillo, C., Joffre, R., 2014. Plant growth dynamics and root morphology of little known species of *Chenopodium* from contrasted Andean habitats. *Botany*. 92, 101-108
- Askari, E., Ehsanzadeh, P., 2015. Effectiveness of exogenous salicylic acid on root and shoot growth attributes, productivity, and water use efficiency of water-deprived fennel genotypes. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*. 56(5), 687-696.
- Azam-Ali, S.N., Squire, G.R., 2002. *Principles of Tropical Agronomy*. CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Azurita-Silva, A., Jacobsen, S.E., Razzaghi, F., Alvarez-Flores, R., Ruiz, K.B., Morales, A., Silva, H., 2015. Quinoa drought responses and adaptation. Chapter 2.4. In *FAO & CIRAD. State of the Art Report of Quinoa in the World in 2013*, p. 157-171. Rome.
- Becker, V.I., Goessling, J.W., Duarte, B., Cacador, I., Liu, F., Rosenqvist, E., Jacobsen, S.E., 2017. Combined effects of soil salinity and high temperature on photosynthesis and growth of quinoa plants (*Chenopodium quinoa*). *Functional Plant Biology*. 44, 665-678.
- Behboudian, M.H., Mills, T.M., 1997. *Deficit irrigation in deciduous orchards*. John Wiley and Sons. Inc., New York. P. 279
- Bhargava, A., Shukla, S., Rajan, S., Ohri, D., 2007. Genetic diversity for morphological and quality traits in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) germplasm. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 54, 167-173.
- Bosque-Sanchez, H., Lemeur, R., Van Damme, P., Jacobsen, S.E., 2003. Ecophysiological analysis of drought and salinity stress of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Reviews International*. 19, 111-119.
- Brisson, N., Gary, C., Justes, E., Roche, R., Mary, B., Ripoche, D., Zimmer, D., Sierra, J., Bertuzzi, P., Burger, P., Bussiere, F., Cabidoche, Y.M., Cellier, P., Debaeke, P., Gaudillere, J.P., Henault, C., Maraux, F., Seguin, B., Sinoquet, H., 2003. An overview of the crop model STICS. *European Journal of Agronomy*. 18, 309-332.
- Calamita, G., Brocca, L., Perrone, A., Piscitelli, S., Lapenna, V., Melone, F., Moramarco, T., 2012. Electrical resistivity and TDR methods for soil moisture estimation in central Italy test-sites. *Journal of Hydrology*. 455, 101-112.
- Claeys, H., and Inze, D., 2013. *The Agony of Choice: How Plants Balance Growth and Survival under Water-Limiting Conditions*. *Plant Physiology*. 162, 1768-1779.
- El Youssfi, L., Choukr-Allah, R., Zaafrani, M., Mediouni, T., Ba Samba, M., and Hirich, A., 2012. Effect of domestic treated wastewater use on three varieties of Quinoa (*Chenopodium quinoa*) under semi-arid conditions. *World Academy of Science, Engineering and Technology*. 68, 306-309.
- Fischer, S., Wilckens, R., Jara, J., Aranda, M., Valdivia, W., Bustamante, L., Graf, F., and Obal, I., 2017. Protein and antioxidant composition of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) sprout from seeds submitted to water stress, salinity and light conditions. *Industrial Crops & Products*. 107, 558-564.
- Ganjali, A., 2005. Investigation of physiology-morphological aspects to drought tolerance in chickpea (*Cicer arietinum* L.) species. Ph. D. Thesis, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. P. 238. [In Persian with English summary].

- Garcia, M., 2003. Agroclimatic study and drought resistance analysis of quinoa for an irrigation strategy in the Bolivian Altiplano. *Dissertationes de Agricultura*, Faculty of Applied Biological Sciences, K.U. Leuven, Belgium, p. 556.
- Garcia, M., Raes, D., Jacobsen, S. E., 2003. Evapotranspiration analysis and irrigation requirements of quinoa (*Chenopodium quinoa*) in the Bolivian highlands. *Agricultural Water Management*. 60, 119–134.
- Geerts, S., Raes, D., Garcia, M., Taboada, C., Miranda, R., Cusicanqui, J., Mhizha, T., Vacher, J. 2009. Modeling the potential for closing quinoa yield gaps under varying water availability in the Bolivian Altiplano. *Agricultural Water Management*. 96, 1652–1658.
- Geerts, S., Raes, D., Garcia, M., Vacher, J., Mamani, R., Mendoza, J., Huanca, R., Morales, B., Miranda, R., Cusicanqui, J., Taboada, C., 2008. Introducing deficit irrigation to stabilize yields of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *European Journal of Agronomy*. 28, 427–436.
- Geren, H., Kavut, Y.T., Topçu, G.D., Ekren, S., İtlipller, D., 2014. Effects of different sowing dates on the grain yield and some yield components of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) grown under Mediterranean climatic conditions. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*. 51, 297-305. [In Turkish with English abstract].
- González, J.A., Gallardo, M., Hilal, M., Rosa, M., Prado, F.E., 2009. Physiological responses of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to drought and water logging stresses, dry matter partitioning. *Botanical Studies*. 50, 35-42.
- Gonzalez-Teuber, M., Urzua, A., Plaza, P., Bascunan-Godoy, L., 2018. Effects of root endophytic fungi on response of *Chenopodium quinoa* to drought stress. *Plant Ecology*. 219, 231–240.
- Gutierrez-Coronado, M.A., Trejo-Lopez, C., Larque-Saavedra, A., 1998. Effects of salicylic acid on the growth of roots and shoots in soybean. *Plant Physiology and Biochemistry*. 36 (8), 563-565.
- Hayat, S., Hasan, S.A., Fariduddin, Q., Ahmad, A., 2008. Growth of tomato (*Lycopersicon esculentum*) in response to salicylic acid under water stress. *Journal of Plant International*. 3, 297–304.
- Hirich, A., Choukr-Allah, R., Ragab, R., Jacobsen, S. E., Youssfi, L. El., and Omari, H.El., 2012. The SALTMED model calibration and validation using field data from Morocco. *Journal of Materials and Environmental Science*. 3, 342–359.
- Hirich, A., Choukr –Allah, R., Jacobsen, S.E., 2014. Quinoa in Morocco -Effect of sowing dates on development and yield. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 23, 1-7.
- Hongyong, S., Zhang, X., Chen, S., Pei, D., Liu, C., 2007. Effect of harvest and sowing time on the performance of the rotation of winter wheat – summer maize in the North China Plain. *Industrial Crops and Products*. 25, 239-247.
- Jacobsen, S.E., Liu, F.L., 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.
- Jacobsen, S.E., Mujica, A., Jensen, C.R., 2003. The Resistance of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to Adverse Abiotic Factors. *Food Reviews International*. 19, 99–109.
- Jensen, C.R., Jacobsen, S.E., Andersen, M.N., Nunez, N., Andersen, S.D., Rasmussen, L., Mogensen, V.O., 2000. Leaf gas exchange and water relation characteristics of field quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) during soil drying. *European Journal of Agronomy*. 13, 11–25.
- Johnson, C.M., Ulrich, A., 1959. Analytical methods for use in plant analysis. *Bulletin of the California Agricultural Experiment Station*. 766, 52-78.
- Kalate-Arabi, M., Sheykh, F., Soghi, H., Hyve Chi, J.A., 2011. Effects of sowing date on grain yield and its components of two bread wheat (*Triticum aestivum* L.) Cultivars in Gorgan in Iran. *Journal of Seed Plant*. 27(3), 285-296. [In Persian with English summary].
- Kammann, C.I., Linsel, S., Gößling, J.W., and Koyro, H.W., 2011. Influence of biochar on drought tolerance of *Chenopodium quinoa* Willd and on soil–plant relations. *Plant Soil*. 345,195–210.
- Kosová, K., Vítámvás, P., Prášil, I.T., Renaut, J., 2011. Plant proteome changes under abiotic stress—contribution of proteomics studies to understanding plant stress response. *Journal of Proteome Research*. 74 (8), 1301–1322.

- Lak, S., Naderi, N., Siadat, S.A., Ayneband, A., Noormohammadi, Gh., 2007. Effects of water deficiency stress on yield and nitrogen efficiency of grain corn hybrid KSC 704 at different nitrogen rates and plant population. Iranian Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources. 14(2), 63- 76. [In Persian with English summary].
- Maestri, E., Klueva, N., Perrotta, C., Gulli, M., Nguyen, H. T., Marmiroli, N., 2002. Molecular genetics of heat tolerance and heat shock proteins in cereals. Plant Molecular Biology. 48, 667-681.
- Mazorra, L. M., Nunez, M., Hechavarria, M., Coll, F., Sanchez-Blanco, M. J., 2002. Influence of brassinosteroids on antioxidant enzymes activity in tomato under different temperatures. Biologia Platarum. 45, 593-596.
- Mehrabian-Moghaddam, N., Arvin, M.J., Khjooei Nejad, Gh., Maghsoodi, K., 2011. Effect of Salicylic Acid on Growth and Forage and Grain Yield of Maize under Drought Stress in Field Conditions. Seed and Plant Production. 27, 41-55. [In Persian with English summary].
- Moharekar, S.T., Lokhande, S.D., Hara, T., Tanaka, R., Tanaka, A., Chavan, P.D., 2003. Effect of salicylic acid on chlorophyll and carotenoid contents of wheat and moong seedlings. Photosynthetica 41, 315-317.
- Moradi, R., Pourghasemian, N. 2018. Effect of Salicylic acid Application on Mitigating Impacts of Drought Stress in Marigold (*Calendula officinalis* L). Water and Soil Science. 28, 15-28. [In Persian with English summary].
- Nazar, R., Umar, S., Khan, N.A., Sareer, O., 2015. Salicylic acid supplementation improves photosynthesis and growth in mustard through changes in proline accumulation and ethylene formation under drought stress. South African Journal of Botany. 98, 84-94.
- Nematollahi, E., Jafari A.R., Bagheri, A., 2012. Effect of drought and salicylic acid on protein and oil contents of Sunflower varieties. Third National Conference on Agricultural Science and Food Industry.
- Nelson, D.W., Somers, L.E. 1973. Determination of total nitrogen in plant material. Agronomy Journal. 65, 109-112.
- Neumann, P.M., 2008. Coping mechanisms for crop plants in drought-prone environments. Annals of Botany. 101(7), 901-907.
- Parvin, N., Islam, M.R., Nessa, B., Zahan, A., Akhand, M.I.M., 2013. Effect of sowing time and plant density on growth and yield of amaranth. Eco-friendly Agriculture Journal. 6, 215-219.
- Passioura, J.B., Angus, J.F., 2010. Improving productivity of crops in water-limited environments. Advances in Agronomy. 106, 37-75.
- Pourghasemian N., Moradi R., Naghizadeh M. 2018. Effect of Planting Time and Place on Quality of Some Brompt on Stock Varieties for Cultivation in Bardsir, Kerman. Crops Improvement. 20, 679-692. [In Persian with English summary].
- Qian, Y.L., Fry, J.D., 1996. Irrigation frequency affects zoysiagrass rooting and plant water status. Horticultural Science. 31, 234-237.
- Qulipor, A., Golkhodani, K., Latifi, N., Moqadam, M., 2003. Comparison of growth and yield of rapeseed varieties in rain fed conditions. Gorgan Agricultural Sciences and Natural Resources. 3(1), 111-121.
- Ramesh, K. 2016. Evaluation of quinoa at different dates of sowing and varied crop geometry in semi-arid regions of Telangana. Master of Science in Agriculture. Telangana State Agricultural University.
- Ramezan, Gh., Abbaszadeh, B., 2016. The effect of drought stress on yield, content and percentage of essential oil of *Nepeta pogonosperma* Jamzad et Assadi under different plant density. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants. 31, 1071-1085. [In Persian with English summary].
- Razzaghi, F., Ahmadi, S.H., Adolf, V.I., Jensen, C.R., Jacobsen, S.E., Andersen, M.N., 2011. Water relations and transpiration of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under salinity and soil drying. Journal of Agronomy and Crop Science. 197, 348-360.
- Razzaghi, F., Plauborg, F., Jacobsen, S.E., Jensen, C.R., Andersen, M.N., 2012. Effect of nitrogen and water availability of three soil types on yield, radiation use efficiency and evapotranspiration in field-grown quinoa. Agricultural Water Management. 109, 20- 29.
- Reddy, A.R., Chaitanya, K.V., Vivekanandan, M., 2004. Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. Journal of Plant Physiology. 161, 1189-1202.

- Sajjad, A., Munir, H., Ehsanullah Anjum, S.A., Tanveer, M., Rehman, A., 2014. Growth and development of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) at different sowing dates. *Journal of Agricultural Research*. 52 (4), 535-546.
- Sakamoto, A., Murata, N., 2002. The role of glycine betaine in the protection of plants from stress: clues from transgenic plants. *Plant Cell Environment*. 25, 163-171.
- Salehi, M., Dehghani, F., 2017. Quinoa, suitable semicereal for salt water resources. Report of Ministry of Agricultural Jihad.
- Sepahvand, N.A., Tavazoa, M., Kahbazi, M., 2011. Adaptation and evaluation of Quinoa a valuable crop in Iran. 2nd International Symposium on underutilized Plant Species "Crops for the Future-Beyond Food Security", Kuala Lumpur Malaysia.
- Sezen, S.M., Yazar, A., Tekin, S., Yildiz, M., 2016. Use of drainage water for irrigation of quinoa in a Mediterranean environment. 2nd World Irrigation Forum (WIF2). 6-8 November 2016, Chiang Mai, Thailand.
- Shahrokhnia, M.H., Sepaskhah, A., 2017. Physiologic and agronomic traits in safflower under various irrigation strategies, planting methods and nitrogen fertilization. *Industrial Crops and Products*. 95, 126-139.
- Shakirova, F.M., Sakhabutdinova, A.R., Bezrukova, M.V., Fatkhutdinova, R.A., Fatkhutdinova, D.R., 2003. Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. *Plant Science*. 164, 317-322.
- Shamsaddin Saied, M., Moradi, R., 2018. Effect of Organic Amendments on Some Quantitative and Qualitative Characteristics of Fennel (*Foeniculum vulgare* L.) as Affected by Different Irrigation Levels. *Agricultural Science and Sustainable Production*. 28, 105-123. [In Persian with English summary].
- Shi, Q., Zhu, Z., 2009. Effects of exogenous salicylic acid on manganese toxicity, element contents and antioxidative system in cucumber. *Environmental and Experimental Botany*. 63, 317-326.
- Sibi, M., Mirzakhani, M., Gomarian, M., Yaqobi, S.H., 2014. Effects of water stress and salicylic acid application on oil yield and some physiological characteristics of sunflower cultivars (*Helianthus annuus* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science*. 45, 1-14. [In Persian with English summary].
- Slafer, G.A., Rawson, H.M., 1996. Responses to photoperiod change with phenophase and temperature during wheat development. *Field Crops Research*. 46, 1-13.
- Slahvrzy, E., 2007. Effects of drought stress and re-irrigation on morpho-physiologic and biochemical responses in domestic and imported grasses. Master's thesis, Department of Horticulture Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. 160p. [In Persian with English summary].
- Stikic, R., Glamoclija, D., Demin, M., Vucelic-Radovic, B., Jovanovic, Z., Milojkovic-Opsenica, D., Jacobsen, S., 2012. Agronomical and nutritional evaluation of quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.) as an ingredient in bread formulations. *Journal of Cereal Science*. 55 (2), 132-138.
- Stockle, C.O., Donatelli, M., Nelson, R., 2003. CropSyst, a cropping systems simulation model. *European Journal of Agronomy*. 18, 289-307.
- 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.
- Syversten, J.P., 1985. Integration of water stress in fruit trees. *Horticultural Science*. 20, 1039-1043.
- Taiz, L., and Zeiger, E., 2006. *Plant physiology*. 4th edn. Sinauer Associates Inc, USA.
- Talebnejad, R., Sepaskhah, A.R., 2015. Effect of deficit irrigation and different saline groundwater depths on yield and water productivity of quinoa. *Agricultural Water Management*. 159, 225-238.
- Telahigue, D., Yahia, L.B., 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*. 12, 222-232.
- Winkel, T., Methy, M., Thenot, F., 2002. Radiation use efficiency, chlorophyll fluorescence, and reflectance indices associated with ontogenic changes in water-limited *Chenopodium quinoa* leaves. *Photosynthetica*. 40, 227-232.
- Wise, R.R., Olson, A.J., Schrader, S.M., Sharkey, T.D., 2004. Electron transport is the functional limitation of photosynthesis in field-grown

- Pima cotton plants at high temperature. *Plant Cell Environment*. 27, 717–724.
- 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, 445-453.
- Yarnia, M., 2010. Sowing dates and density evaluation of Amaranth as a new crop. *Advances in Environmental Biology*. 4(1), 41-46.



Original article

Effect of planting date and salicylic acid on some quantitative and qualitative traits of quinoa as affected by drought stress

S. Jahanbakhsh¹, Gh.R. Khajoei-Nejad¹, R. Moradi^{2*}, M. Naghizadeh²

1. Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar of Kerman, Kerman, Iran

2. Assistant Professor, Agricultural Faculty of Bardsir, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran

Received 26 February 2019; Accepted 13 April 2019

Abstract

This study was conducted as split-split-plot based on randomized complete block design with three replications at experiment station of the Agricultural Faculty of Bardsir, Shahid Bahonar University of Kerman at 2018. The experimental treatments were planting date (5 April, 5 May and 5 June) assigned to main plot, irrigation levels (90, 60 and 30% of field capacity) as subplot and foliar application (salicylic acid 1 mM and water) as sub-subplot. The results showed that the delay in planting date shortened the Quinoa growth period. GDD and growth period were decreased by drought stress. May planting date has significantly higher root length (31.81 cm) and dry weight (9.09 g plant⁻¹) than two other planting dates. The highest root length for April (28.27 cm) and May (35.92) planting dates was assigned at 60% of FC, while for June (21.27 cm) was related to no-stress condition. Averagely, grain yield for May (653.91 kg ha⁻¹) planting date was significantly higher than April (578.7 kg ha⁻¹) and June (460.8 kg ha⁻¹). Decrease in consumed water to 60% of FC had no significant effect on grain yield, but the trait value in 30% of FC was significantly lower than other irrigation levels. Justly at severe drought level, grain yield was significantly increased by foliar application of salicylic acid than water application. Relationship of grain yield was positive with grain oil percentage ($r = 0.82$) and was negative with protein percentage ($r = -0.78$). Water use efficiency (WUE) was significantly higher in May planting date than in April and June planting date. WUE increased significantly with water consumption decreasing. Generally, the results illustrated that May planting date is the most suitable planting date for Quinoa in Bardsir regions and same climates. Results showed that the plant has a considerable tolerance in water stress condition.

Keywords: GDD, Oil, Protein, Root, WUE

*Correspondent author: Rooholla Moradi; E-Mail: r.moradi@uk.ac.ir.