

تأثیر تاریخ کاشت، تنش خشکی و اسید سالیسیلیک بر عملکرد و ویژگی‌های بیوشیمیایی کینوا

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

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیار، گروه مهندسی زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان،

۲ و ۳- دانشیار و استادیار، مهندسی تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی بردسیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۴/۱۲ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۸/۲۷)

چکیده

این آزمایش باهدف بررسی واکنش عملکرد و برخی صفات بیوشیمیایی کینوا به تاریخ کاشت، تنش خشکی و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک (SA)، به‌صورت کرت‌های دوبار خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های 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) به‌عنوان عامل اصلی، سطوح مختلف آبیاری (۹۰، ۶۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی) به‌عنوان عامل فرعی و محلول‌پاشی (SA با غلظت یک میلی‌مولار و آب به‌عنوان شاهد) به‌عنوان فاکتور فرعی-فرعی بودند. نتایج نشان داد که عملکرد دانه در تاریخ کاشت اردیبهشت (۶۵۳/۹ کیلوگرم در هکتار)، به‌طور معنی‌داری بیشتر از فروردین (۵۷۸/۷) و خرداد (۴۶۰/۸ کیلوگرم در هکتار) بود. کاهش آب مصرفی تا ۶۰ درصد ظرفیت زراعی، تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه نداشت، ولی میزان این شاخص در ۳۰ درصد ظرفیت زراعی، به‌ترتیب حدود ۱۳ و ۱۰ درصد کمتر از سطح اول و دوم آبیاری بود. محلول‌پاشی SA تنها در شرایط تنش شدید، باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه نسبت به محلول‌پاشی آب شد. بالاترین درصد روغن (۴/۰۸) و ویتامین C (۳/۹۳ میلی‌گرم در گرم) دانه، در تاریخ کاشت اردیبهشت و عدم تنش آبیاری تولید شد. خاصیت آنتی‌اکسیدانی و محتوای کربوهیدرات دانه، رابطه منفی با عملکرد دانه نشان دادند. میزان پرولین، مالون‌دی‌آلدهید (MDA) و آسکوربات‌پراکسیداز (APX) با افزایش شدت تنش خشکی افزایش یافت، ولی SA، منجر به کاهش معنی‌دار این شاخص‌ها شد. به‌طور کلی نتایج نشان داد که تاریخ کاشت اردیبهشت، مناسب‌ترین زمان کاشت کینوا برای مناطق مشابه با بردسیر می‌باشد. با توجه سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی کینوا، این گیاه مقاومت بالایی به تنش خشکی دارد و استفاده از SA نیز می‌تواند در کاهش اثرات منفی تنش خشکی بر آن موثر باشد.

واژه‌های کلیدی: آسکوربات‌پراکسیداز، پرولین، کلروفیل، کربوهیدرات، مالون‌دی‌آلدهید.

Effect of planting date, drought stress and salicylic acid on yield and biochemical characteristics of quinoa

Saleh Jahanbakhsh¹, Rooholla Moradi^{2*}, Gholamreza Khajoei-Nejad³, Mehdi Naghizadeh²

1,3. Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, 2. Agricultural Faculty of Bardsir, Shahid Bahonar University of Kerman.
(Received: July 3, 2019- Accepted: November 18, 2019)

ABSTRACT

This study was conducted to investigate the response of yield and some biochemical characteristics of quinoa to planting date, drought stress and salicylic acid as split-split-plot experiment based on randomized complete block design with three replications at the experimental station of the Agricultural Faculty of Bardsir, Shahid Bahonar University of Kerman in 2018. The experimental treatments were planting date (April 5, 5 May 5 and June 5) as the main plots, irrigation levels (90, 60 and 30% of field capacity) as subplots and foliar application (salicylic acid 1 mM and water) as sub-subplots. The results showed that 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. Grain yield was significantly increased by foliar application of salicylic acid than water application only at severe drought stress. The highest oil (4.08%) and vitamin C (3.93 mg.g⁻¹) contents were related to May planting date and non-stressed condition. Relationship of grain yield with grain antioxidant activity and

* Corresponding author E-mail: r.moradi@uk.ac.ir

carbohydrate was negative. Proline, MDA and APX values were significantly increased by drought stress, but salicylic acid could decrease the traits. Generally, the results indicated that May planting date is the most suitable planting date for quinoa in Bardsir regions and similar climates. The plant has a considerable tolerance in water stress condition based on the antioxidant defense mechanism. Salicylic acid could mitigate the negative impacts of drought stress in limited irrigation levels.

Keywords: APX, carbohydrate, chlorophyll, MDA, proline.

مقدمه

کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) به عنوان یک شبه غله، یکی از گیاهان زراعی با پتانسیل بالا جهت معرفی در مناطق خشک و شور ایران می باشد که علاوه بر مقاومت مناسب به بسیاری از عوامل تنش زا، ارزش غذایی بسیار بالایی از نظر پروتئین، توازن اسید آمینه های لیزین، تریپتوفان و متیونین، چربی غیراشباع، ویتامین ها و مواد معدنی دارد (Fischer *et al.*, 2017). با توجه به این که کینوا در منشاء اصلی خود یعنی منطقه آند در آمریکای جنوبی از سطح دریا تا ارتفاعات بالا کشت و کار می شود، از تنوع ژنتیکی بالایی جهت سازگاری در سایر مناطق جهان برخوردار است (Scanlin & Lewis, 2017). این گیاه دامنه تاریخ کاشت متفاوتی در مناطق مختلف دنیا دارد و شناخت این موضوع، یکی از مهم ترین فعالیت های کشت و کار کینوا می باشد، چرا که بر ظهور گیاهچه، تراکم و در نهایت عملکرد تاثیر گذار است (Hirich *et al.*, 2014). در مناطق جنوبی آند، کشت کینوا از اواخر بهار تا اواخر زمستان انجام می شود، ولی در مناطق میانی و شمالی این منطقه، کشت آن در اواخر پاییز است. در کشور ترکیه نیز از بین شش تاریخ کاشت متفاوت کینوا در دامنه ۱۰ اسفند تا ۱۰ خرداد، کاشت در ۲۵ فروردین، بهترین عملکرد دانه را تولید نمود (Geren *et al.*, 2014). Parvin *et al.* (2013) نیز بیشترین عملکرد گیاه را در تاریخ کاشت هفت اردیبهشت برای کشور بنگلادش گزارش نمودند.

تنش خشکی یکی از مهم ترین عوامل محدود کننده رشد گیاهان و شایع ترین تنش محیطی در سرتاسر جهان است. اثر تنش خشکی بر رشد و عملکرد، بستگی به ژنوتیپ گیاه، مدت زمان، دوام و شدت تنش دارد (Nourzad *et al.*, 2015). عوامل محیطی در

شرایط تنش، نقش عمده ای در کمیت و کیفیت گیاهان به عهده دارند و ارزیابی تحمل گیاهان به تنش های محیطی، عامل مهمی در انتخاب آن ها برای کشت در شرایط مختلف جغرافیایی است (Xu *et al.*, 2011). گیاهان به تنش خشکی در سطوح فیزیولوژیک، سلولی و مولکولی پاسخ می دهند (Pak-Mehr *et al.*, 2011). تنش خشکی روی محدوده وسیعی از فعالیت های متابولیکی گیاهان تاثیر می گذارد و با تشکیل رادیکال های فعال اکسیژن از قبیل سوپراکسیدها و رادیکال های پراکسید هیدروژن، منجر به تنش اکسیداتیو می شود. از طرف دیگر، تنش خشکی با افزایش در محتوای رادیکال های آزاد اکسیژن، سبب افزایش در محتوای مالون دی آلدید (MDA) که محصول پراکسیداسیون چربی های غشایی است، می شود (Liang & Feng, 2010). به منظور کم کردن آسیب های ناشی از تنش های اکسایشی، گیاهان به سازگاری دفاعی پاد اکسایشی مجهز هستند که ترکیب های غیر آنزیمی مانند آسکوربات و گلوتاتیون و همچنین ترکیب های آنزیمی مانند سوپر اکسید دیسموتاز (SOD)، آسکوربات پراکسیداز (APX)، پراکسیداز (POX)، گلوتاتیون ردوکتاز (GR) و پلی فنل اکسیداز (PPO) را شامل می شوند (Aslezaem *et al.*, 2018). اسید سالیسیلیک (SA) به عنوان یک آنتی اکسیدان غیر آنزیمی بالقوه و یک سیگنال مولکولی مهم برای تغییر پاسخ های گیاه به تنش خشکی عمل می کند (Simaei *et al.*, 2011). این ماده بر اکثر واکنش های متابولیکی گیاه تاثیر می گذارد و موجب تغییراتی در آن ها می شود؛ این تغییرات اغلب به صورت سازش هایی است که مقدار تحمل و سازگاری گیاهان را در مقابل عوامل محیطی افزایش می دهد (Metvally *et al.*, 2003). نقش مثبت این آنزیم در

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 به صورت کرت‌های دوبار خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بود. تیمارهای آزمایش شامل تاریخ کاشت (۱۵ اسفند، ۱۵ 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 محلول‌پاشی (اسید سالیسیلیک (SA) با غلظت یک میلی‌مولار و آب به عنوان شاهد) به عنوان فاکتور فرعی-فرعی بودند. از بین تاریخ‌های کاشت، تنها در سه تیمار تاریخ کاشت فروردین، اردیبهشت و خرداد، بذر تولید شد و به همین جهت در نتایج، دیگر تاریخ‌های کاشت حذف شد. 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 شدند و بذر تولید نکردند. زمین محل اجرای این آزمایش در سال زراعی قبل آیش بود. قبل از اجرای آزمایش، نمونه خاک زمین محل اجرای آزمایش، به صورت تصادفی و از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر برداشت شد و به منظور تعیین میزان ماده آلی، عناصر غذایی پر مصرف، pH و EC به آزمایشگاه منتقل شد (جدول ۱).

کاهش تنش اکسیداتیو و مقاومت گیاه به تنش خشکی، در مطالعات مختلفی اثبات شده است (Hayat *et al.*, 2008; Mehrabian Moghaddam *et al.*, 2011). پرولین نیز از موادی است که در زمان مواجهه گیاه با تنش‌های غیر زیستی از قبیل خشکی در سلول افزایش می‌یابد و ساختارهای سلولی و آنزیمی را در برابر فاکتورهای تنش‌زا حفاظت می‌کند (Amiri *et al.*, 2015). گزارش شده است که پرولین در دامنه غلظتی گسترده‌ای در بسیاری از گونه‌های گیاهی، تحت تاثیر تنش خشکی در گیاه تجمع می‌یابد. پرولین در تنظیم فشار اسمزی، حفاظت از مولکول‌های پروتئینی و یکپارچگی غشای سلولی، در ذخیره کردن کربن، نیتروژن و جaro کردن رادیکال‌های آزاد با عمل آنتی‌اکسیدانی نقش دارد (Bartels & Sunkar, 2005).

برای مناطق با اقلیم گرم مانند نواحی سواحل جنوبی ایران که دمای زمستان پایین‌تر از ۵- درجه سانتی-گراد نباشد کشت پاییزه کینوا توصیه شده است (Salehi & Dehghani, 2017)، ولی برای مناطقی با زمستان‌های سرد و تابستان‌های نسبتاً گرم مانند منطقه بردسیر کرمان، تاریخ کاشت دقیقی در دسترس نیست. بنابراین این تحقیق با هدف تعیین مناسب‌ترین تاریخ کاشت کینوا، تعیین نیاز بهینه آبیاری آن و بررسی نقش SA بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی و مقاومت کینوا به تنش خشکی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۹۶-۹۷ در مزرعه تحقیقاتی

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

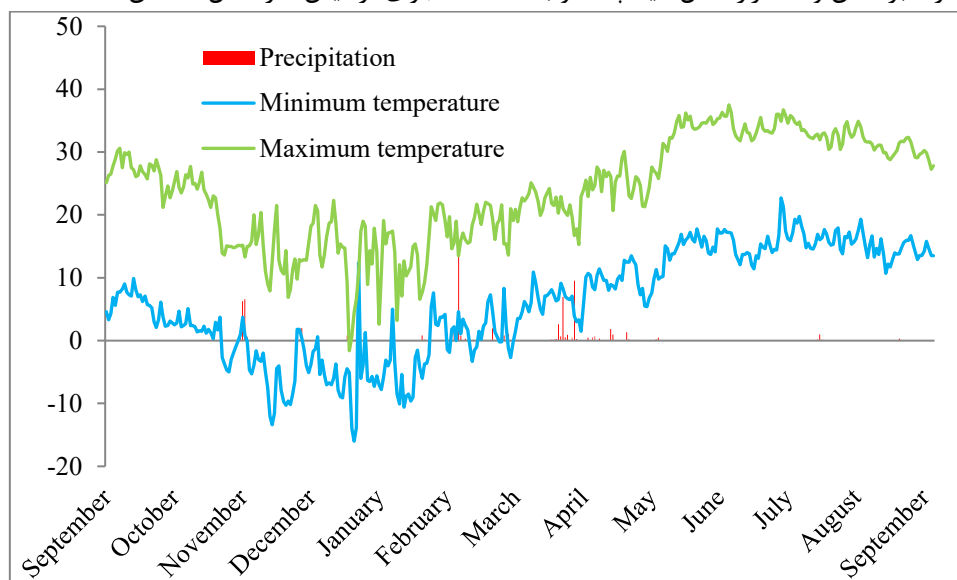
Table 1. Soil physiochemical properties of the experimental field soil.

pH	EC (dS.m ⁻¹)	OM (%)	K (ppm)	P (ppm)	N (%)	Texture
7.50	1.43	0.39	287	11.3	0.09	Sandy clay loam

سانتی‌متر از یکدیگر ایجاد شد و بذر کینوا رقم Titicaca که از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شده بود، روی پشته‌ها با فاصله ۱۵ سانتی‌متر و در عمق سه سانتی‌متر به صورت کپه‌ای و در تاریخ‌های ذکر

قبل از کاشت، به دلیل درصد بالای شن بافت خاک، ۱۰ تن کود گاوی پوسیده به زمین اضافه شد و با خاک آن مخلوط شد. ابعاد کرت‌ها سه متر در سه متر بود و در هر کرت، شش ردیف کاشت به فاصله ۵۰

استفاده از دستگاه TDR (Time Domain Reflectometry) ساخت شرکت اکل کمپ هلند، میزان رطوبت خاک تعیین شد 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 پروب های سطحی با طول ۳۰ سانتی متر استفاده شد. کنترل علف هرز به صورت وجین دستی و در مواقع لزوم اجرا شد. اطلاعات اقلیمی منطقه مورد مطالعه، با استفاده از داده های نزدیکترین ایستگاه هواشناسی (دو کیلومتری محل اجرای آزمایش) در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- تغییرات بارندگی (میلی متر) و دمای حداکثر و حداقل (درجه سانتی گراد) منطقه مورد بررسی در سال زراعی ۹۶-۹۷.
Figure 1. Precipitation (mm) and maximum and minimum temperature (°C) changes in studied area in 2017-2018.

ارزیابی میزان پراکسیداسیون لیپیدهای غشا: برای ارزیابی این شاخص، از روش (Heath & Packer, 1969) و بر اساس تشکیل کمپلکس مالون دی آلدئید (MDA) حاصل از پراکسیداسیون لیپیدهای غشا با تیوباربیتوریک اسید (TBA) انجام شد.

اندازه گیری فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز (APX): سنجش فعالیت این آنزیم با استفاده از روش (Nakano & Asada, 1981) در طول موج ۲۹۰ نانومتر انجام شد.

اندازه گیری عملکرد دانه: برای تعیین عملکرد

شده کشت شد. به منظور جلوگیری از تداخل اثر تیمارهای آبیاری و جلوگیری از نشت آب، دو متر فاصله بین هر فاکتور اصلی در نظر گرفته شد. کودهای شیمیایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم بر اساس آزمون خاک و نیاز کودی گیاه (Salehi & Dehghani, 2017)، به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات تریپل و ۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم مصرف شد. با رسیدن گیاه به ارتفاع پنج سانتی متر، عملیات تنک کردن انجام شد. جهت اعمال تیمارهای تنش خشکی، ده روز بعد از سبز شدن و استقرار کامل گیاهچه ها و با

در مرحله ۵۰ درصد گلدهی، سنجش صفات بیوشیمیایی از تعداد ۱۰ نمونه از برگ های وسطی بوته ها به شکل زیر انجام شد:

سنجش محتوای رنگدانه های فتوسنتزی: محتوای رنگیزه های کلروفیل a و b برگ با روش Lichtenthaler (1994) انجام شد.

اندازه گیری پرولین: مقدار پرولین در برگ با روش Bates *et al.* (1973) در طول موج ۵۲۰ نانومتر اندازه گیری شد و مقدار پرولین در هر نمونه با استفاده از منحنی استاندارد تعیین شد.

(Blois, 1958). برای مقایسه فعالیت عصاره ها در تیمارهای مختلف، از مفهوم IC50 استفاده شد. IC50 غلظتی از عصاره است که برای به دام اندازی ۵۰ درصد از رادیکال‌های آزاد مورد نیاز است. هر چه این عدد کوچکتر باشد، قدرت آنتی‌اکسیدانی یا مهار رادیکال‌های آزاد عصاره بیشتر است. میزان IC50 با استفاده از معادله رگرسیون خطی حاصل از درصد مهار رادیکال-غلظت عصاره در نرم افزار Excel محاسبه شد.

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

نتایج و بحث

عملکرد دانه: بر اساس نتایج تجزیه واریانس، عملکرد دانه تحت تأثیر تیمارهای تاریخ کاشت ($P \leq 0.01$)، آبیاری ($P \leq 0.01$)، اثرات متقابل تاریخ کاشت+آبیاری ($P \leq 0.01$) و آبیاری + محلول پاشی ($P \leq 0.05$) قرار گرفت (جدول ۲).

نهایی، در هر کرت بوته‌های چهار ردیف میانی با در نظر گرفتن اثر حاشیه به طول نیم متر، برداشت شدند. از بذور حاصل از هر تیمار، صفات کیفی زیر مورد ارزیابی قرار گرفت:

درصد روغن دانه: جهت اندازه‌گیری درصد روغن دانه کینوا، از روش سوکسله (Gholami Kalus *et al.*, 2018) استفاده شد.

میزان ویتامین C دانه: مقدار ویتامین C (آسکوربیک اسید) بر اساس روش استاندارد ملی ایران به شماره ۱۴۶۱۷-۲ بررسی شد (Anonymous, 2019).

درصد خاکستر دانه: میزان خاکستر دانه در دستگاه کوره الکتریکی و بر اساس روش (Koyro & Eisa, 2008) اندازه‌گیری شد.

محتوی کربوهیدرات محلول دانه: بررسی کل قندهای محلول دانه با روش (Dubois *et al.*, 1956) با استفاده از فنل - اسیدسولفوریک انجام شد.

فعالیت آنتی‌اکسیدانی دانه: خاصیت آنتی‌اکسیدانی عصاره الکلی دانه کینوا با استفاده از روش توانایی مهار رادیکال آزاد DPPH (۲و۲-دی فنیل-۱-پیکریل هیدرازیل) در طول موج ۵۱۷ نانومتر تعیین شد.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد ارزیابی در دانه کینوا تحت تأثیر تیمارهای مورد بررسی.

Table 2. Variance analysis (Mean square) of the effects of different treatments on studied traits of quinoa grain

S.O.V	DF	Grain yield	Oil percentage	Vitamin C	Ash	IC50	Carbohydrate
Replication	2	189.3ns	0.074ns	0.012ns	0.335ns	1798.3ns	4.47ns
Planting date (A)	2	170556.2**	5.889**	1.36**	0.007ns	459505.1**	195.5**
Error 1	4	1056.9	0.003	0.056	0.065	2258.2	2.29
Irrigation level (B)	2	21235.1**	0.152*	0.321*	0.0006ns	151927.1**	53.26*
A*B	4	5421.1**	0.031ns	0.047ns	0.006ns	4944.6ns	6.45ns
Error 2	12	1874.08	0.032	0.021	0.259	2909.4	8.38
Foliar application (C)	1	3091.8ns	0.112ns	0.187ns	0.001ns	23940.1*	62.21*
A*C	2	10.68ns	0.052ns	0.026ns	0.0008ns	2238.1ns	6.91ns
B*C	2	5856.6*	0.412*	0.056ns	0.003ns	12782.1*	24.37ns
A*B*C	4	61.63ns	0.002ns	0.005ns	0.004ns	807.6ns	1.24ns
Error 3	18	1056.1	0.098	0.064	0.239	3340.7	13.57

ns, * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and **: non-significant and significant at 5% and 1% of probability levels, respectively.

بود (Jahanbakhsh *et al.*, 2019). محققان زیادی بیان کرده‌اند که قرارگیری گیاه در معرض دمای بالاتر، سبب افزایش سرعت رشد و نمو می‌شود (Ahmadi *et al.*, 2010; Kalate Arabi *et al.*, 2011). کوتاه شدن دوره رشد، باعث کاهش جذب تشعشع طی فصل رشد

بررسی برهمکنش تاریخ کاشت و آبیاری نشان داد که در همه سطوح آبیاری، تاریخ کاشت اردیبهشت و خرداد، به ترتیب بیشترین و کمترین عملکرد دانه را دارا بودند (جدول ۳). در این تحقیق، طول دوره رشد گیاه در تاریخ کاشت خرداد نسبت به اردیبهشت کمتر

می‌شود و در نهایت کاهش مقدار تولید مواد فتوسنتزی را به دنبال دارد؛ این موضوع، باعث کاهش عملکرد می‌شود. از طرف دیگر، نتایج تحقیقی در یزد نشان داد که کشت کینوا باید طوری تنظیم شود که میانگین دما در مرحله گرده‌افشانی، حدود ۲۵ درجه سانتی‌گراد باشد (Salehi & Dehghani, 2017). همچنین، پژوهشگران بسیاری بیان داشته‌اند که دوره پرشدن دانه این گیاه، به میانگین دمای زیر ۲۵ بالای ۳۰ درجه سانتی‌گراد، حساس است (Parvin *et al.*, 2014; Hirich *et al.*, 2014) و قرار گیری در خارج از این دامنه دمایی، تأثیر منفی بسزایی روی عملکرد دارد. باتوجه به روند دمایی بردسیر (شکل ۱)، کشت در فروردین، باعث همزمانی دوره گلدهی با پیک دمایی منطقه شد و در تاریخ کاشت خرداد، مرحله گلدهی با دماهای پایین مصادف شد و کشت

در اردیبهشت، بهترین شرایط را دارا بود. تایید شده‌است که در مناطقی که دارای اقلیمی با رژیم رطوبتی خشک، دمای زمستانه خنک و تابستان‌های گرم (میانگین دمایی بین ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد) می‌باشند، کشت بهاره این گیاه توصیه شده‌است (Salehi & Dehghani, 2017). 'کینوا در مناطقی که دمای زمستان، بیشتر از ۵- درجه سانتی‌گراد باشد، قابلیت کشت پاییزه دارد (El Yousfi *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 تاثیر تاریخ کاشت‌های متفاوت بر عملکرد کینوا در کشور مراکش نشان داد که کشت پاییزه این گیاه نسبت به کشت بهاره، عملکرد بهتری داشت (Hirich *et al.*, 2014).

جدول ۳- برهمکنش تاریخ کاشت و سطوح آبیاری بر میانگین صفات مورد بررسی در کینوا.

Table 3. Interaction effects of planting date and irrigation levelS on some studied traits of quinoa.

Treatment		Grain yield (kg ha ⁻¹)	Chlorophyll a (mg.g ⁻¹ .FW)	MDA (μmol g ⁻¹ .FW)
Planting date	Irrigation level (FC: %)			
April	90	596.3a	2.88b	19.97c
	60	580.5a	3.04a	25.48b
	30	559.2b	2.44c	37.60a
May	90	702.8a	2.88a	19.62b
	60	683.6b	2.86a	20.91b
	30	575.2c	2.46b	30.47a
June	90	474.9a	2.96a	24.27c
	60	465.6a	2.48b	35.46b
	30	442.8b	2.24c	45.18a

حروف مشترک در هر ستون بصورت برش دهی دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD نمی‌باشد. Means with the same letters in the same column are not significantly different as slicing based on LSD test ($P < 0.05$).

نتایج نشان داد که با کاهش حجم آب مصرفی در همه تاریخ‌های کاشت، میزان عملکرد دانه کاهش یافت (جدول ۳). 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 یاد شده بود (جدول ۳). تاریخ کاشت خرداد نیز روندی مشابه تاریخ کاشت فروردین داشت. میزان عملکرد دانه برای تاریخ کاشت اردیبهشت ماه در سطح اول آبیاری (۷۰۳ کیلوگرم در هکتار)، به‌طور معنی‌داری بیشتر از سطح دوم (۶۸۴ کیلوگرم در

هکتار) و آن‌هم بطور معنی‌داری بیشتر از آبیاری سوم (۵۷۵ کیلوگرم در هکتار) بود. این بدین معناست که در تاریخ کاشت فروردین و خرداد، اختلاف معنی‌داری بین سطوح ۹۰ و ۶۰ درصد ظرفیت زراعی آبیاری نبود، ولی در تاریخ کاشت اردیبهشت، تفاوت معنی‌داری بین کلیه سطوح آبیاری وجود داشت. به‌طور میانگین، عملکرد دانه کینوا در سطح دوم و سوم آبیاری، به‌ترتیب حدود سه و ۱۱ درصد کمتر از شرایط عدم تنش بود (جدول ۳). این موضوع نشان می‌دهد که کینوا، یک گیاه مقاوم به تنش خشکی می‌باشد که تاثیر چشم‌گیری از کاهش ۳۳ و ۶۶ درصدی آب مصرفی نپذیرفته‌است و با این شرایط می‌توان کینوا را برای مناطق با منابع آبی کم توصیه

نتایج برهمکنش آبیاری و اسید سالیسیلیک (SA) نشان داد که اختلاف بین تیمار محلول‌پاشی و عدم محلول‌پاشی SA، تنها در سطح تنش شدید معنی‌دار بود و آبیاری با ۹۰ و ۶۰ درصد ظرفیت زراعی، اختلاف معنی‌داری از این نظر نشان ندادند (جدول ۴). اشاره شده‌است که کاربرد سالیسیلیک اسید، سبب افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو، بهبود فرایندهای فتوسنتزی و افزایش رشد و مقاومت گیاهان به تنش‌ها می‌شود. نقش مثبت SA در بهبود عملکرد گیاهان در شرایط تنش خشکی، در آزمایشات فراوانی گزارش شده‌است (Hayat et al., 2008; Mehrabian Moghaddam et al., 2011).

نمود. محققان دیگری نیز اثبات کرده‌اند که کینوا یک گیاه مقاوم به تنش خشکی می‌باشد (Jacobsen et al., 2009; Sun et al., 2014). یکی از مهمترین مکانیسم‌های فرار از خشکی این گیاه، انعطاف‌پذیری فنولوژی و چرخه رشد گیاه در زمان قرار گیری در معرض تنش خشکی شناخته شده‌است (Jacobsen et al., 2003). در این تحقیق نیز به‌خوبی این موضوع مشهود بود، به‌طوری‌که گیاه توانست با بهبود نسبت ریشه به اندام هوایی و تنظیم شاخص‌های رشدی بر مبنای آب مصرفی (Jahanbakhsh et al., 2019)، عملکردی نزدیک به عملکرد تولیدی در شرایط عدم تنش آبی نشان دهد.

جدول ۴- برهمکنش سطوح آبیاری و محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک بر میانگین صفات مورد بررسی در کینوا.
Table 4. Interaction effects of irrigation levels and foliar application of salisilic acid on some studied traits of quinoa.

Treatment		Grain yield (kg ha ⁻¹)	Oil (%)	IC50 (μg.ml ⁻¹)	Chlorophyll a (mg.g ⁻¹ .FW)	MDA (μmol g ⁻¹ .FW)
Irrigation level (FC: %)	Foliar application					
90	SA	592.9a	3.66a	867.6a	2.88a	20.77a
	water	589.3a	3.62a	865.3a	2.72b	21.81a
60	SA	583.8a	3.62a	862.3a	2.66a	24.65b
	water	568.6a	3.52a	840.6b	2.46b	29.92a
30	SA	549.1a	3.53a	751.4a	2.78a	33.43b
	water	510.4b	3.39b	649.2b	2.69a	42.07a

حروف مشترک در هر ستون بصورت برش دهی دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD نمی‌باشد.
Means with the same letters in the same column are not significantly different as slicing based on LSD test ($P < 0.05$).

آبیاری، تاثیر معنی‌داری بر درصد روغن نداشت، ولی در کمترین میزان آبیاری (۳۰ درصد ظرفیت زراعی)، محلول‌پاشی SA منجر به بهبود معنی‌دار درصد روغن دانه کینوا شد. این موضوع نشان می‌دهد که احتمالاً در سطوح بالای تنش خشکی، استفاده از SA با بهبود ویژگی‌های رشد گیاه، در نهایت منجر به افزایش ذخیره روغن دانه شده‌است. نتایج بررسی Sibi et al., (2014) نیز نشان داد که کاربرد SA در شرایط تنش خشکی، باعث افزایش حدود شش درصدی میزان روغن دانه آفتابگردان شد. در آزمایش دیگری نیز تایید شد که محلول‌پاشی SA سبب کاهش خسارت ناشی از تنش خشکی در هر دو رقم آفتابگردان شد که این امر، افزایش درصد روغن دانه را در پی داشت (Nematollahi et al., 2013).

میزان ویتامین C دانه: میزان این شاخص تنها تحت

درصد روغن دانه: این شاخص، واکنش معنی‌داری به تیمار تاریخ کاشت در سطح احتمال یک درصد و تیمارهای آبیاری و برهمکنش آبیاری + محلول‌پاشی در سطح احتمال پنج درصد نشان داد (جدول ۲).

از بین تاریخ‌های مختلف کاشت، بیشترین درصد روغن دانه کینوا (۴/۰۸ درصد) در تاریخ کاشت اردیبهشت تولید شد. محتوی روغن دانه در تاریخ کاشت فروردین و خرداد، به‌ترتیب ۳/۶۴ و ۲/۹۵ درصد بود (جدول ۵).

اثر متقابل آبیاری+SA نشان داد که با کاهش میزان آب مصرفی، از محتوی روغن دانه کاسته شد. به‌طور میانگین، اختلاف معنی‌داری بین درصد روغن در آبیاری ۹۰ و ۶۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده نشد، اما درصد روغن در این دو سطح آبیاری، به‌میزان معنی‌داری بیشتر از آبیاری ۳۰ درصد بود (جدول ۴).

مشاهده شد که محلول‌پاشی SA در سطوح اول و دوم

تاثیر تاریخ کاشت و سطح آبیاری قرار گرفت (جدول ۲).

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین میزان ویتامین C دانه کینوآ (۳/۹۳ میلی‌گرم در گرم) در تاریخ کاشت اردیبهشت تولید شد که اختلاف معنی‌داری با مقدار آن در تاریخ کاشت فروردین (۳/۸۵ میلی‌گرم در گرم وزن تر) نداشت (جدول ۵). مقدار این شاخص در تاریخ کاشت‌های یاد شده، به‌طور معنی‌داری بیشتر از تاریخ کاشت خرداد (۳/۴۲ میلی‌گرم در گرم) بود. با افزایش زمان فاصله آبیاری، از محتوی ویتامین C به میزان قابل توجهی کاسته شد (جدول ۵). مقدار این شاخص برای آبیاری ۹۰، ۶۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی، به‌ترتیب ۳/۸۷، ۳/۷۴ و

۳/۶۰ میلی‌گرم در گرم بود. نتایج این تحقیق تایید نمود که رابطه مثبت و معنی‌داری ($b=0.61^{**}$) بین عملکرد دانه کینوآ و غلظت ویتامین C دانه وجود دارد. رابطه مستقیم ویتامین C با آب مصرفی و در نتیجه عملکرد دانه، توسط دیگر محققین نیز گزارش شده است (Barzegar *et al.*, 2018). ویتامین C از اسیدهای آلی است و در اثر تنش کم‌آبیاری و در نتیجه افزایش دما، تنفس افزایش می‌یابد و اسیدها به عنوان سوبسترا در پدیده تنفسی شرکت می‌کنند. این موضوع، باعث کاهش اسیدپایه و در نتیجه باعث کاهش ویتامین C در اثر تنش خشکی می‌شود (Sharma *et al.*, 2014).

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات ساده صفات مورد ارزیابی در دانه کینوآ تحت تاثیر تیمارهای مورد بررسی.

Table ۵. Mean comparison of the effects of treatments on studied traits of quinoa grain.

Treatment		Grain yield (kg.ha ⁻¹)	Oil (%)	Vitamin C (mg.g ⁻¹)	Ash (%)	IC50 (μg.ml ⁻¹)	Carbohydrate (%)
Planting date	April	578.7b	3.64b	3.85a	5.53a	869.3b	61.73b
	May	653.9a	4.08a	3.93a	5.53a	924.5a	59.91c
	June	460.8c	2.95c	3.42b	5.56a	624.3c	66.31a
Irrigation (FC)	90%	591.3a	3.64a	3.87a	5.54a	866.5a	60.91b
	60%	576.2a	3.57ba	3.74b	5.55a	851.3a	62.67ba
	30%	525.7b	3.46b	3.60c	5.54a	700.3b	64.35a
Foliar application	SA	572.6a	3.61a	3.79a	5.54a	827.1a	61.66b
	Water	556.3a	3.51a	3.68a	5.55a	785.0b	63.63a

برای هر تیمار، حروف مشترک در هر ستون، دارای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD نمی‌باشد.

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

درصد خاکستر دانه: میزان این شاخص تحت تاثیر هیچکدام از تیمارهای مورد بررسی قرار نگرفت (جدول ۲). دامنه تغییرات خاکستر در دانه کینوآ، بین ۵/۵ تا ۵/۶۱ درصد متغیر بود.

فعالیت آنتی‌اکسیدانی دانه: نتایج نشان داد که میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره استخراج شده از کینوآ، تحت تاثیر تاریخ کاشت، آبیاری، محلول‌پاشی SA و برهمکنش آبیاری+محلول‌پاشی قرار گرفت (جدول ۲).

مقایسه میانگین تاریخ‌های کاشت نشان داد که خاصیت آنتی‌اکسیدانی عصاره کینوآ در تاریخ کاشت خرداد، به‌طور معنی‌داری بیشتر از تاریخ کاشت فروردین و آن هم بالاتر از اردیبهشت بود (جدول ۵).

نتایج تایید نمود که در تاریخ کاشت خرداد ماه، غلظت پایین‌تری از عصاره (۶۲۴ میکروگرم بر میلی‌لیتر)، ۵۰ درصد از رادیکال‌های آزاد را مهار می‌کند، درحالی‌که برای تاریخ کاشت فروردین و اردیبهشت، مهار ۵۰ درصد از رادیکال‌های آزاد، به‌ترتیب در غلظت‌های ۸۶۹ و ۹۲۴ میکروگرم بر میلی‌لیتر عصاره اتفاق افتاد. بررسی تاثیر تنش آبی بر میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره کینوآ نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی، بر میزان این شاخص افزوده شد، به‌طوری‌که میزان IC50 در آبیاری ۹۰ درصد (۸۶۷ میکروگرم بر میلی‌لیتر) و ۶۰ درصد (۸۵۱ میکروگرم بر میلی‌لیتر)، به‌طور معنی‌داری بیشتر از ۳۰٪ ظرفیت زراعی (۷۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر) بود؛ یعنی مهار ۵۰ درصد از

می‌رسد که هرچه عملکرد دانه کاهش یافته است، غلظت قندها در دانه افزایش یافته است و بالعکس، هرچه عملکرد بیشتر بوده است، قند موجود رقیق تر شده است و این موضوع باعث شده است که در تاریخ کاشت خرداد که بیشترین عملکرد را داشته است، کمترین محتوی قند حاصل شود. نتایج *et al. Curti* (2016) نیز نشان داد که عملکرد کیفی کینوا، به شدت تحت تاثیر شرایط اقلیمی و مدیریتی است باشد. ایشان اثبات نمودند که با قرارگیری کینوا در شرایط نامساعد دمایی، با وجود کاهش محسوس عملکرد، ویژگی‌های کیفی آن از قبیل غلظت کربوهیدرات دانه افزایش نشان می‌دهد. نامبردگان گزارش نمودند که شرایط محیطی به‌خصوص دما و فتوپریود در زمان گلدهی گیاه، بیشترین نقش را در عملکرد و ویژگی‌های کیفی گیاه دارد.

با افزایش شدت تنش خشکی، به میزان کربوهیدرات دانه افزوده شد و بیشترین میزان این شاخص (۶۴/۳۵ درصد)، در کمترین مقدار آبیاری مشاهده شد که حدود شش و سه درصد بیشتر از آبیاری ۹۰ و ۶۰ درصد ظرفیت زراعی بود (جدول ۵). تایید شده است که در شرایط تنش، گیاه برای حفظ تعادل اسمزی و توانایی جذب بیشتر آب از محیط ریشه، ترکیباتی مانند کربوهیدرات‌ها که در ساختار سلول‌ها شرکت دارند و باعث رشد گیاه می‌شوند را در خود افزایش می‌دهد تا تنظیم اسمزی بهتر صورت گیرد (Abdalla & Khoshiban, 2007). افزایش محتوی کربوهیدرات در اثر تنش خشکی، در مطالعات متعددی گزارش شده است (Shamsi, 2010; Nourzad *et al.*, 2015). Prado *et al.* (2000) نیز گزارش نمود که کینوا در زمان مواجه با تنش شوری و خشکی، محتوی کربوهیدرات خود را جهت جذب بیشتر آب افزایش می‌دهد. در اثر تنش خشکی، فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز افزایش می‌یابد؛ در این شرایط، افزایش هیدرولیز نشاسته، سبب افزایش غلظت قندهای کل محلول می‌شود (Setter *et al.*, 2001).

محلول‌پاشی با SA سبب کاهش معنی‌دار محتوی کربوهیدرات دانه کینوا نسبت به عدم محلول‌پاشی این

رادیکال‌های آزاد برای ۳۰ درصد ظرفیت زراعی، در غلظت کمتری از عصاره به‌دست آمد (جدول ۵). به طور کلی نتایج تحقیق نشان داد که رابطه معکوس و معنی‌داری ($b=-0.87$) بین عملکرد دانه و فعالیت آنتی‌اکسیدانی دانه وجود دارد. تایید شده است که با قرارگیری گیاه در شرایط تنش و کاهش عملکرد، میزان متابولیت‌های ثانویه گیاه افزایش می‌یابد و این موضوع، فعالیت آنتی‌اکسیدانی آن را افزایش می‌دهد (Guo *et al.*, 2018).

برهمکنش تیمارهای آبیاری و محلول‌پاشی نیز نشان داد که به‌طور کلی، محلول‌پاشی SA نسبت به عدم محلول‌پاشی آن، سبب کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدانی کینوا شد. این اختلاف در شرایط عدم تنش، معنی‌دار نبود، ولی در سطح دوم و سوم آبیاری، میزان این شاخص در شرایط عدم محلول‌پاشی، بیشتر از محلول‌پاشی SA بود (جدول ۴)؛ به عبارت دیگر، در شرایط عدم محلول‌پاشی، غلظت پایین‌تری از عصاره کینوا، ۵۰ درصد از رادیکال‌های آزاد را کنترل نمود و قدرت بازدارندگی بیشتری نسبت به محلول‌پاشی SA داشت.

محتوی کربوهیدرات محلول دانه: میزان این صفت تحت تاثیر تاریخ کاشت ($P \leq 0.01$)، آبیاری ($P \leq 0.05$) و محلول‌پاشی ($P \leq 0.05$) قرار گرفت ولی برهمکنش این تیمارها، اثر معنی‌داری بر آن نداشتند (جدول ۲). بیشترین محتوی کربوهیدرات، در تاریخ کاشت خرداد مشاهده شد. میزان این شاخص در تاریخ کاشت‌های فروردین، اردیبهشت و خرداد، به‌ترتیب ۶۱/۷۳، ۵۹/۹۱ و ۶۶/۳۱ درصد بود که اختلاف معنی‌داری بین هر سه تاریخ کاشت وجود داشت (جدول ۵). تغییرات کربوهیدرات‌های گیاهی، تا حد بسیار زیادی تحت تاثیر مسیرهای فیزیولوژیک مثل فتوسنتز، تنفس و میزان انتقال مواد می‌باشد (Pak-Mehr *et al.*, 2011). در نتیجه، این افزایش محتوی قند در تاریخ کاشت خرداد ماه ممکن است از کاهش نیاز به مواد فتوسنتزی به دلیل کاهش رشد ناشی شده باشد. از آن جا که، رابطه منفی و معنی‌داری ($b=-0.68$) بین عملکرد و میزان کربوهیدرات دانه وجود دارد، به‌نظر

هورمون شد (جدول ۵). همانطور که پیداست، SA با تعدیل اثرات منفی تنش خشکی، باعث بهبود عملکرد کینوا شد که با توجه به رابطه منفی عملکرد و کربوهیدرات، کاهش کربوهیدرات را در پی داشت. Pak-Mehr *et al* (2011) نیز گزارش کردند که استفاده از SA در شرایط تنش خشکی، منجر به کاهش میزان کربوهیدرات در لوبیا چشم بلبلی

هورمون شد (جدول ۵). همانطور که پیداست، SA با تعدیل اثرات منفی تنش خشکی، باعث بهبود عملکرد کینوا شد که با توجه به رابطه منفی عملکرد و کربوهیدرات، کاهش کربوهیدرات را در پی داشت. Pak-Mehr *et al* (2011) نیز گزارش کردند که استفاده از SA در شرایط تنش خشکی، منجر به کاهش میزان کربوهیدرات در لوبیا چشم بلبلی

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد ارزیابی در برگ کینوا تحت تاثیر تیمارهای مورد بررسی.
Table 6. Variance analysis (Mean square) of the effects of different treatments on studied traits of quinoa.

S.O.V	DF	Proline	Chlorophyll a	Chlorophyll b	MDA	APX
Replication	2	7.15ns	0.003ns	0.001ns	1.06ns	1.71ns
Planting date (A)	2	595.5**	0.255**	0.066**	591.1**	1001.3**
Error 1	4	2.654	0.045	0.0009	9.33	2.19
Irrigation level (B)	2	1796.21**	1.38**	0.161**	1249.3**	156.3**
A*B	4	194.45**	0.169**	0.062**	53.07**	10.71**
Error 2	12	4.58	0.048	0.0007	5.62	0.798
Foliar application (C)	1	545.4**	0.264*	0.002**	335.2**	87.71**
A*C	2	52.86**	0.013ns	0.011**	8.31ns	3.35ns
B*C	2	165.9**	0.266**	0.016**	65.32**	16.04**
A*B*C	4	72.15**	0.047ns	0.021**	9.36ns	4.26*
Error 3	18	6.64	0.033	0.0009	9.34	1.17

ns, * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.
ns, * and **: non-significant and significant at 5% and 1% of probability levels, respectively.

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که به‌طور میانگین، به فروردین و اردیبهشت برخورداری بود (جدول ۷). کشت در خرداد ماه از محتوی پرولین بیشتری نسبت

جدول ۷- نتایج مقایسه میانگین اثرات ساده صفات مورد ارزیابی در دانه کینوا تحت تاثیر تیمارهای مورد بررسی.
Table 7. Mean comparison the effects different treatments on studied traits of quinoa grain.

Treatment		Proline ($\mu\text{mol g}^{-1}\text{FW}$)	Chlorophyll a ($\text{mg.g}^{-1}\text{FW}$)	Chlorophyll b ($\text{mg.g}^{-1}\text{FW}$)	MDA ($\mu\text{mol g}^{-1}\text{FW}$)	APX (Units g^{-1}FW)
Planting date	April	22.56b	2.78a	1.02a	27.68b	12.41b
	May	18.38c	2.73ab	.953b	23.66c	9.91c
	June	29.76a	2.55b	.900c	34.97a	23.89a
Irrigation (FC)	90%	15.73c	2.79a	1.001b	21.28c	12.97c
	60%	20.16b	2.90a	1.02a	27.28b	14.56b
	30%	34.82a	2.37b	0.85c	37.75a	18.68a
Foliar application	SA	20.39b	2.76a	0.951a	26.28b	16.68a
	Water	26.75a	2.62b	0.965a	31.26a	14.13b

برای هر تیمار، حروف مشترک در هر ستون، دارای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD نمی‌باشد.
For each treatment, means with the same letter in the same column are not significantly different based on LSD test ($P < 0.05$)

نشد. در تاریخ کاشت اردیبهشت، این شرایط برای سطح آبیاری ۶۰ درصد ظرفیت زراعی نیز صادق بود. در ۳۰ درصد ظرفیت زراعی، نقش استفاده از SA روی محتوی پرولین کینوا بسیار قابل توجه بود، به‌طوری که محلول‌پاشی این هورمون، باعث کاهش قابل توجه میزان پرولین نسبت به عدم محلول‌پاشی شد. این موضوع در تاریخ کاشت فروردین، از اهمیت بیشتری برخوردار بود و استفاده از سالیسیلیک اسید در سطح

در کلیه تاریخ‌های کاشت، با افزایش شدت تنش خشکی و به‌عبارتی کاهش حجم آب مصرفی، بر میزان پرولین افزوده شد. نتایج نشان داد که در همه سطوح آبیاری و محلول‌پاشی، تاریخ کاشت اردیبهشت از میزان پرولین کمتری نسبت به دو تاریخ کاشت دیگر برخوردار بود (جدول ۸). در کلیه تاریخ‌های کاشت در سطح اول آبیاری، اختلاف معنی‌داری از نظر پرولین بین محلول‌پاشی با SA و عدم محلول‌پاشی مشاهده

آخر آبیاری، منجر به کاهش حدود ۵۴ درصدی
محتوی پرولین در این تاریخ کاشت شد. تحقیقات
زیادی اثبات کرده‌اند که SA در شرایط عدم تنش،
نقش مثبتی بر گیاه ندارد و کارایی آن در زمان تنش،
بیشتر است.

جدول ۸- برهمکنش تاریخ کاشت+سطوح آبیاری+محلول‌پاشی برمیانگین برخی صفات مورد بررسی در کینوا.

Table 8- Interaction effects of planting date, irrigation levels and foliar application of SA on some studied traits of quinoa.

Planting date	Treatment Irrigation level (FC: %)	Foliar application	Proline ($\mu\text{mol g}^{-1}\text{FW}$)	Chlorophyll b ($\text{mg.g}^{-1}\text{FW}$)	APX (Units g^{-1}FW)
April	90	SA	15.18c	0.98b	8.96c
		water	15.22c	0.99b	8.99c
	60	SA	16.98c	1.31a	12.33bc
		water	23.11b	1.03b	9.90c
	30	SA	20.58b	0.88c	19.77a
		water	44.33a	0.94bc	14.55b
May	90	SA	15.14c	0.97a	8.87c
		water	15.25c	0.97a	8.55c
	60	SA	15.21c	0.96a	8.69c
		water	16.32c	0.97a	8.5c
	30	SA	19.97b	0.91b	14.69a
		water	28.44a	0.94a	10.13b
Jun	90	SA	16.44d	1.08a	22.17bc
		water	17.18d	1.02a	20.28c
	60	SA	18.57d	0.91b	26.31ab
		water	30.77c	0.96b	21.66c
	30	SA	45.36b	0.69c	28.33a
		water	50.24a	0.74c	24.62b

حروف مشترک در هر ستون بصورت برش دهی دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD نمی‌باشد.
Means with the same letters in the same column are not significantly different as slicing based on LSD test ($P < 0.05$).

خشکی و شوری گیاهان وجود دارد.
محتوی کلروفیل a برگ: اثر تیمارهای تاریخ کاشت، آبیاری، محلول‌پاشی، برهمکنش تاریخ کاشت+آبیاری و برهمکنش آبیاری+محلول‌پاشی بر محتوی کلروفیل a معنی‌دار بود (جدول ۶). نتایج نشان داد که بیشترین محتوی کلروفیل a برای تاریخ‌های کاشت فروردین (۳/۰۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) و اردیبهشت (۲/۸۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)، در آبیاری ۶۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد، درحالی‌که برای تاریخ کاشت خرداد (۲/۹۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)، در آبیاری ۳۰ درصد ظرفیت زراعی به‌دست آمد (جدول ۳). در هر سه تاریخ کاشت، کمترین میزان این شاخص در آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی حاصل شد. به‌طور میانگین، محتوی کلروفیل a در فروردین (۲/۷۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) بیشتر از اردیبهشت (۲/۷۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) و آن هم بیشتر از خرداد (۲/۵۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) بود. نتایج این تحقیق تایید می‌نماید که شرایط

به‌طور کلی، بیشترین (۵۰/۲۴ میکرومول بر گرم وزن تر) محتوی پرولین در تاریخ کاشت خرداد+آبیاری ۳۰ درصد ظرفیت زراعی + عدم محلول‌پاشی SA و کمترین آن (۱۵/۱۴ میکرومول بر گرم وزن تر) در تاریخ کاشت اردیبهشت+آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی + محلول‌پاشی SA مشاهده شد. اسید آمینه پرولین، جزو ترکیبات تنظیم‌کننده اسمزی به شمار می‌رود و تجمع آن در بافت گیاهی، یکی از بیشترین تغییرات القا شده ناشی از تنش خشکی در گیاهان است (Bayoumi *et al.*, 2010). از طرف دیگر، اسیدآمینه پرولین که تحت شرایط تنش خشکی در سلول‌های گیاهی تجمع می‌یابد، به‌عنوان یک آنتی اکسیدان غیرآنزیمی مطرح می‌شود و به‌دلیل نقش حافظتی که در سلول ایفا می‌کند، در شرایط تنش‌های محیطی می‌تواند گیاه را از آسیب‌های احتمالی حفظ نماید (Shi & Zhu, 2009). گزارش‌های متعددی مبنی بر وجود همبستگی مثبت بین تجمع پرولین و سازش به شرایط تنش اسمزی تحت تنش‌های

شده است که SA در شرایط تنش رطوبتی، به عنوان یک آنتی اکسیدان عمل نموده است و از آسیب به رنگدانه ها به ویژه کلروفیل جلوگیری می کند (Khan *et al.*, 2003). در نتیجه از طریق جلوگیری از آسیب به کلروفیل، سبب بهبود فتوسنتز در شرایط تنش خشکی می شود (Shoghian & Roozbahani, 2017).

محتوی کلروفیل b برگ: تاثیر کلیه تیمارهای مورد بررسی و برهمکنش دوگانه و سه گانه آن ها بر میزان این صفت، در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۶).

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با تاخیر در کاشت، از میانگین کلروفیل b برگ کاسته شد (جدول ۷). از طرف دیگر و در همه تاریخ های کاشت، میزان این شاخص در آبیاری ۳۰ درصد، کمتر از ۹۰ و ۶۰ درصد ظرفیت زراعی بود. در تاریخ کاشت اردیبهشت، اختلافی بین تیمارهای محلول پاشی در هیچ کدام از سطوح آبیاری مشاهده نشد. با این وجود، در تاریخ کاشت فروردین + آبیاری ۶۰ درصد ظرفیت زراعی، نقش محلول پاشی SA بر محتوی کلروفیل b به خوبی مشهود بود و استفاده از SA (۱/۳۱ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ)، افزایش حدود ۲۸ درصدی این شاخص را نسبت به عدم محلول پاشی (۱/۰۳ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ) در پی داشت (جدول ۸). نتایج نشان داد که در سطح بالای تنش خشکی (آبیاری ۳۰ درصد ظرفیت زراعی)، هم در تاریخ کاشت فروردین و هم خرداد، محتوی کلروفیل b در تیمار عدم محلول پاشی، بالاتر از تیمار محلول پاشی بود. به طور کلی، بیشترین (۱/۳۱ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ) و کمترین (۰/۶۹ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ) میزان کلروفیل b، به ترتیب در برهمکنش تاریخ کاشت فروردین + آبیاری ۶۰ درصد ظرفیت زراعی + محلول پاشی SA و تاریخ کاشت خرداد + آبیاری ۳۰ درصد ظرفیت زراعی + محلول پاشی SA به دست آمد. نتایج تحقیق Nematollahi *et al.* (2013) نیز نشان داد که SA در شرایط ۵۰ درصد ظرفیت زراعی (تنش)، اثر بیشتری بر افزایش مقدار رنگیزه های فتوسنتزی نسبت به آبیاری کامل داشت. کاهش میزان کلروفیل b تحت

نامساعد محیطی دمایی و خشکی تا حد متوسط، منجر به افزایش غلظت کلروفیل a شود، اما تنش شدید، میزان این شاخص را کاهش داده است. این موضوع توسط دیگر محققین نیز به اثبات رسیده است که تنش، تا حدی به دلیل کاهش سطح برگ گیاه (سازوکاری برای اجتناب از خشکی)، منجر به افزایش غلظت کلروفیل گیاه می شود، اما در سطوح بالای تنش، چون تخریب کلروفیل صورت می گیرد، محتوای این رنگیزه کاهش می یابد (Waraich *et al.*, 2011). تخریب مولکولی کلروفیل، به علت جدا شدن زنجیره فیتولی از حلقه پورفیرین در اثر رادیکال های آزاد اکسیژن و یا آنزیم کلروفیلاز صورت می گیرد (Parvaiz & Satyawati, 2008). نتایج مشابه در دیگر مطالعات نیز گزارش شده است. پایداری کلروفیل و به عبارتی دوام فتوسنتز برگ تحت شرایط محدودیت آبی، از جمله شاخص های فیزیولوژیک مقاومت به تنش می باشد (Paknezhad *et al.*, 2012). در تاریخ کاشت مناسب، تنش آبی تا سطح ۶۰ درصد درصد ظرفیت زراعی، تغییری در محتوای کلروفیل کینوا صورت نگرفت و در سطح بالای تنش نیز تغییرات کمی را بروز داد؛ بنابراین این گیاه، پایداری کلروفیل مناسبی دارد. خصوصیات فیزیولوژیک برگ از قبیل ساختار سلول، تحرکات کلروپلاست و وضعیت آبی گیاه می تواند اثرات مهمی بر کلروفیل برگ داشته باشد (Nourzad *et al.*, 2015). کاهش میزان کلروفیل a در اثر تنش خشکی می تواند مربوط به افزایش تولید رادیکال های اکسیژن در سلول باشد، چرا که رادیکال های آزاد، سبب پراکسیداسیون و در نتیجه تجزیه این رنگیزه می شوند.

برهمکنش آبیاری و محلول پاشی نیز نشان داد که استفاده از SA در هر سه سطح آبیاری، باعث افزایش محتوی کلروفیل a شد که این تفاوت در سطح اول و دوم آبیاری معنی دار بود، ولی در آبیاری ۳۰ درصد ظرفیت زراعی، اختلاف معنی داری بین محلول پاشی (۲/۷۸ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ) و عدم محلول پاشی (۲/۶۹ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ) SA از نظر این شاخص مشاهده نشد (جدول ۴). گزارش

شود (Brosani *et al.*, 2001). در شرایط کشت نامناسب فروردین و خرداد، تنش اکسیداتیو و در نتیجه افزایش MDA از سطح دوم آبیاری مشهود بود. نتایج بررسی‌های متعدد، نشان‌دهنده افزایش مقدار مالون‌دی‌آلدید تحت تنش خشکی می‌باشد.

برهمکنش آبیاری و SA نیز نشان داد که با افزایش شدت تنش آبی در هر دو سطح محلول‌پاشی، به میزان قابل توجهی بر محتوی MDA افزوده شد (جدول ۴). از طرف دیگر، محلول‌پاشی SA در کلیه سطوح آبیاری، منجر به کاهش میزان MDA شد که این تفاوت در سطح دوم و سوم آبیاری معنی‌دار بود. استفاده از SA در سطوح آبیاری ۹۰، ۶۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی، به ترتیب منجر به کاهش پنج، ۱۸ و ۲۱ درصدی MDA برگ کینوا شد. کاهش میزان MDA و به عبارتی کاهش آسیب غشای سلولی در پاسخ به کاربرد SA می‌تواند نمایانگر مسئله القای سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی به‌وسیله این هورمون، از طریق از بین بردن رادیکال‌های آزاد به‌طور مستقیم و یا توسط آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی باشد که خسارت ناشی از این گونه‌های فعال را کاهش می‌دهد و در نتیجه پراکسیداسیون لیپیدی غشا کاهش می‌یابد. به نظر می‌رسد که SA با پاکسازی رادیکال‌های آزاد، از اکسیداسیون چربی‌ها جلوگیری می‌کند و مانع افزایش مالون دی‌آلدید می‌شود (Ahmadpour Dehkordi & Balouchi, 2013). Janda *et al* (2007) نیز اظهار داشتند که کاربرد خارجی SA روی گیاهان می‌تواند پاسخ مناسبی برای کاهش پراکسیداسیون لیپیدهای غشا از طریق جلوگیری از فعالیت لیپواکسیژن‌ها و کاهش محتوای H_2O_2 ، به‌منظور حفظ غشای سلولی تحت تنش خشکی باشد و مانع از افزایش مقدار مالون‌دی‌آلدید شود که با نتایج این تحقیق مطابق بود.

آسکوربات پراکسیداز (APX): اثرات ساده و متقابل دوگانه کلیه تیمارهای مورد بررسی در سطح احتمال یک درصد و اثر سه‌گانه تاریخ کاشت + آبیاری + محلول‌پاشی در سطح احتمال پنج درصد بر میزان APX معنی‌دار بود. (جدول ۶).

شرایط تنش و افزایش آن در اثر استفاده از SA توسط محققین دیگری نیز گزارش شده است (Habibi, 2012).

پراکسیداسیون غشایی (MDA): تیمارهای تاریخ کاشت، آبیاری، محلول‌پاشی، برهمکنش تاریخ کاشت + آبیاری و برهمکنش محلول‌پاشی + آبیاری بر میزان مالون‌دی‌آلدید، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). بررسی اثر متقابل تاریخ کاشت + آبیاری نشان داد که در همه تاریخ‌های کاشت، با کاهش میزان آب مصرفی و افزایش شدت تنش خشکی، میزان MDA افزایش یافت (جدول ۳). این افزایش برای تاریخ کاشت‌های فروردین و خرداد، در همه سطوح آبیاری معنی‌دار بود ولی در تاریخ کاشت اردیبهشت، اختلاف معنی‌داری از نظر شاخص یاد شده در سطح اول ($19/62$ میکرومول بر گرم وزن تر برگ) و دوم ($20/91$ میکرومول بر گرم وزن تر برگ) آبیاری مشاهده نشد. دامنه تغییرات MDA تحت تاثیر آبیاری در تاریخ کاشت فروردین و خرداد، بیشتر از اردیبهشت بود، به‌طوری‌که اعمال آبیاری ۳۰ درصد ظرفیت زراعی نسبت به ۹۰ درصد، باعث افزایش ۵۵، ۸۸ و ۸۶ درصدی این شاخص، به ترتیب در تاریخ کاشت‌های فروردین، اردیبهشت و خرداد شد. در همه سطوح آبیاری، تاریخ کاشت خرداد و اردیبهشت، به ترتیب بیشترین و کمترین میزان MDA را دارا بودند (جدول ۳). این نتایج تایید می‌کند که در تاریخ کاشت اردیبهشت و آبیاری تا سطح ۶۰ درصد ظرفیت زراعی، گیاه تحت تاثیر تنش اکسیداتیو قرار نگرفته است، چراکه MDA در اثر پراکسیداسیون اسیدهای چرب غیراشباع توسط گونه‌های فعال اکسیژن در شرایط تنش تولید می‌شود (Mafakheri *et al.*, 2016). گزارش شده است که دلیل اصلی آسیب شدید به غشای یاخته‌ای، تولید رادیکال‌های سوپراکسید (O^-)، پراکسید هیدروژن (H_2O_2) و رادیکال هیدروکسیل (OH^-) باشد که در نهایت منجر به پراکسیداسیون چربی‌های غیراشباع غشای یاخته‌ای می‌شود. افزایش نفوذپذیری غشا و کاهش پایداری غشا می‌تواند منجر به افزایش نشت الکترولیت‌ها به فضای بین یاخته‌ای

مختلف آبیاری، استفاده از SA منجر به افزایش معنی دار میزان این شاخص نسبت به عدم محلول پاشی شد (جدول ۸). بیشترین میزان این شاخص در هر سه تاریخ کاشت فروردین (۱۹/۷۷) واحد بر گرم وزن تر برگ، اردیبهشت (۱۴/۶۹) میکرومول بر گرم وزن تر برگ و خرداد (۲۸/۳۳) واحد بر گرم وزن تر برگ در سطح آبیاری ۳۰ درصد ظرفیت زراعی همراه با محلول پاشی SA به دست آمد. نتایج مطالعه دیگری (Abbadi *et al.*, 2015) نیز نشان داد که کاربرد SA با افزایش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی همچون آسکوربات پراکسیداز، سبب کاهش مقدار مالون دی آلدئید و پراکسید هیدروژن تحت تنش خشکی شد که با نتایج این تحقیق همسو بود.

نتیجه گیری کلی

به طور کلی نتایج تحقیق نشان داد که اردیبهشت ماه، مناسبترین تاریخ کاشت کینوا در مناطقی با آب و هوای مشابه با بردسیر می باشد. بررسی سطوح مختلف آبیاری نشان داد که اگر این گیاه در تاریخ کشت مناسب کاشته شود، آبیاری تا ۶۰ درصد ظرفیت زراعی، تاثیر منفی معنی داری در عملکرد آن ندارد و به عنوان یک گیاه مقاوم به خشکی مطرح می باشد. نتایج مطالعات بیوشیمیایی نشان داد که گیاه دارای مکانیسم دفاعی آنتی اکسیدانی است که در ایجاد مقاومت به خشکی آن کمک می کند. اسید سالیسیلیک (SA) نیز می تواند برای افزایش میزان مقاومت کینوا به شرایط تنش خشکی سودمند باشد. اما نکته قابل تامل این است که رقم Titicaca استفاده شده در این تحقیق، از پتانسیل عملکرد و بازده اقتصادی پایینی برخوردار بود؛ بنابراین پیشنهاد می شود که ارقام مختلف این گیاه، از نظر عملکرد و مقاومت به تنش خشکی در تحقیقات آینده مورد مقایسه قرار گیرند.

نتایج برهمکنش تاریخ کاشت + آبیاری + محلول پاشی نشان داد که کاشت کینوا در خرداد در کلیه سطوح آبیاری و محلول پاشی، به میزان چشم گیری دارای بیشترین و کاشت در اردیبهشت، دارای کمترین مقدار APX بودند (جدول ۸). از طرف دیگر، با کاهش میزان آب مصرفی در هر سه تاریخ کاشت و هر دو سطح محلول پاشی، محتوی APX به میزان قابل توجهی افزایش یافت. گیاهان دارای سیستم آنتی اکسیدانی هستند که تولید اضافی گونه های فعال اکسیژن را تحت شرایط تنش، کنترل می کند (Xu *et al.*, 2008). این سیستم دفاعی شامل آنزیم های آنتی اکسیدانی از قبیل آسکوربات پراکسیداز می باشد. این آنزیم از مهم ترین آنزیم های جمع آوری کننده پراکسید هیدروژن و کاهنده مقدار مالون دی آلدئید حاصل از پراکسیداسیون لیپیدی غشا به شمار می آید. آسکوربات پراکسیداز از طریق سیکل آسکوربات - گلو تاتیون، باعث متابولیسم شدن پراکسید هیدروژن و مقاومت گیاه به تنش خشکی می شود. در تحقیق حاضر نیز افزایش غلظت این آنزیم در زمان تنش می تواند با هدف جaro کردن تنش اکسیدانی باشد. در تاریخ کاشت اردیبهشت، اختلاف معنی داری از نظر این صفت بین سطوح آبیاری ۹۰ و ۶۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده نشد، در حالی که در دیگر تاریخ های کاشت و به ویژه تاریخ کاشت خرداد، سطح ۶۰ درصد ظرفیت زراعی، به طور معنی داری محتوی APX بالاتری نسبت به سطح ۹۰ درصد ظرفیت زراعی دارا بود (جدول ۸). تایید شده است که رابطه مستقیمی بین فعالیت آنزیم APX و مقاومت به خشکی گیاه وجود دارد و گیاهی که بتواند این مکانیسم آنتی اکسیدانی را تنظیم نماید، در برابر تنش خشکی ثبات عملکرد نشان می دهد (Shoghian & Roozbahani, 2017).

همچنین نتایج نشان داد که در تاریخ های مختلف کاشت (به خصوص تاریخ کاشت خرداد) و سطوح

REFERENCES

1. Abbadi, A., Shekari, F. & Mustafavi, S. H. (2015). Effect of paclobutrazol and salicylic acid on antioxidants enzyme activity in drought stress in wheat. *Investigaciones*, 33, 5-13.

2. Abdalla, M. M., & El-Khoshiban, N. H. (2007). The influence of water stress on growth, relative water content, photosynthetic pigments, some metabolic and hormonal contents of two *Triticum aestivum* cultivars. *Journal of Applied Science Research*, 3(12), 2062-2074.
3. Ahmadi, M., Kamkar, B., Soltani, A., Zeinali, A. & Arabameri, R. (2010). The effect of planting date on duration of phonological phases in wheat cultivars and it's relation with grain yield. *Journal of Plant Production*, 7(2), 109-122.
4. Ahmadpour Dehkordi, S. & Balouchi, H. R. (2013). Effect of seed priming on antioxidant enzymes and lipids peroxidation of cell membrane in Black cumin (*Nigella sativa*) seedling under salinity and drought stress. *Journal of Crop Production*, 5, 63-81.
5. Anonymous, 2019. <http://standard.isiri.gov.ir/> [Visited at April 2019].
6. Arefi, S., Lariyazdi, H. & Amiri, H. (2015). Interaction study of copper and salicylic acid on carbohydrates, proline content and catalas activity in tow varieties of mung Bean (*Vigna radiata* L.). *Journal of Applied Biology*, 30, 95-12.
7. Aslezaeem, F., Niknam, V., Ebrahimzadeh, H. & Sharifi, G. (2018). Comparative study of drought stress and salicylic acid effects on different accessions of saffron (*Crocus Sativus* L.). *Journal of Plant Researches (Iranian Journal of Biology)*, 31, 554-569.
8. Bartels, D. & Sunkar, R. (2005). Drought & salt tolerance in plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 24, 23-58.
9. Barzegar, T., Moradi, P., Hasanzadeh, Z., Ghahremani, Z. & Nikbakht, J. (2018). Evaluation of growth, yield and vitamin C content of Okra with application of putrescine and humic acid under deficit irrigation stress. *Agricultural Science and Sustainable Production*, 28, 110-123.
10. Bates, L. S., Waldren, R. P. & Tear, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, 39, 205-207.
11. Bayoumi, T., Eid, M. H. & Metwali, E. (2010). Application of physiological and biochemical indices as a screening technique for drought tolerance in wheat genotypes. *African Journal of Biotechnology*, 7, 2341-2352.
12. Blois, M. S. (1958). Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature*, 4617, 1199-1200.
13. 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.
14. Curti, N., de la Vega, A. J., Andrade, A. J., Bramardi, S. J. & Bertero, H. D. (2016). Adaptive responses of quinoa to diverse agro-ecological environments along an altitudinal gradient in North West Argentina. *Field Crops Research*, 189, 10-18.
15. Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A. & Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, 28(3), 350-356
16. El Youssfi, L., Choukr-Allah, R., Zaafrani, M., Mediouni, T., Ba Samba, M. & 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.
17. Fischer, S., Wilckens, R., Jara, J., Aranda, M., Valdivia, W., Bustamante, L., Graf, F. & 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.
18. Geren, H., Kavut, Y. T., Topçu, G. D., Ekren, S. & İtİplİler, 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).
19. Gholami Kalus, Z., Salehi, A., Movahedi Dehnavi, M. & Moradi, A. (2018). Effect of mycorrhizal and phosphate barvar 2 on yield and yield components and oil content of safflower under drought stress. *Agricultural Science and Sustainable Production*. 28, 125-139. (In Persian with English abstract).
20. Guo, Y. Y., Yu, H. Y., Yang, M. M., Kong, D. S. & Zhang, Y. J. (2018). Effect of drought stress on lipid peroxidation, osmotic adjustment and antioxidant enzyme activity of leaves and roots of *Lycium ruthenicum* Murr. Seedling. *Russian Journal of Plant Physiology*, 65, 244-250.
21. Habibi, G. (2012). Exogenous salicylic acid alleviates oxidative damage of barley plants under drought stress. *Acta Biologica Szegediensis*, 56, 57-63.
22. 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.
23. Heath, R. L. & Packer, L. (1969). Photo peroxidation in isolated chloroplast, 1. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 125, 189-198.

24. 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.
25. 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.
26. 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.
27. Jahanbakhsh, S., Khajoei-Nejad, G., Moradi, R. & Naghizadeh, M. (2021). Effect of planting date and salicylic acid on some quantitative and qualitative traits of quinoa as affected by drought stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 13(4), 1149-1167.
28. Janda, T., Horváth, E., Szalai, G. & Páldi, E. (2007). Role of salicylic acid in the induction of abiotic stress tolerance. In: *Salicylic Acid: a Plant Hormone*. (pp. 197-234.) Springer Science.
29. 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.
30. Khan, W., Prithiviraj B. & Smith, D. (2003). Photosynthetic responses of corn and soybean to foliar application of salicylates. *Journal of Plant Physiology*, 160, 485-492.
31. Koyro, H. W. & Eisa S. S. (2008). Effect of salinity on composition, viability and germination of seeds of *Chenopodium quinoa* Willd. *Plant Soil*, 302, 79–90.
32. Liang, C. H. & Feng, R. (2010). Identification and expression analysis of genes in response to high-salinity and drought stresses in *Brassica napus* L., *Acta Biochimica et Biophysica Sinica*, 42, 154-164.
33. Lichtenthaler, H. K. (1994). Chlorophylls and carotenoid pigments of photosynthetic biomembranes. *Method in Enzymology*, 148, 350-382.
34. Mafakheri, K., Bihamta, M. R. & Abbasi, A. R. (2016). Assessment of antioxidant enzymes activity and peroxidation of membrane lipid in cowpea (*Vigna unguiculata* L.) genotypes under normal and drought stress condition. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 47, 217-232.
35. Mehrabian-Moghaddam, N., Arvin, M. J., Khjoei Nejad, G. & 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.
36. Nakano, Y. & Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and Cell Physiology*, 22, 867-880.
37. Nematollahi, E., Jafari, A. & Bagheri, A. (2013). Effect of drought stress and salicylic acid on photosynthesis pigments and macronutrients absorption in two sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars. *Journal of Plant Ecophysiology*, 5 (12), 37-51.
38. Nourzad, S., Ahmadian, A. & Moghaddam, M. (2015). Proline, total chlorophyll, carbohydrate amount and nutrients uptake in coriander (*Coriandrum Sativum* L.) under drought stress and fertilizers application. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 13, 131-139.
39. Pak-Mehr, A., Rastgoo, M., Shekari, F., Saba, J. & Zangani, I. (2011). Effect of salicylic acid priming on some morpho-physiologic characteristics. *Iranian Field Crops Researches*, 9, 606-614.
40. Paknezhad, F., Khashaman, M. B. & Sadeghi Shoa, M. (2012). Effect of drought stress and methanol on chlorophyll content, relative water content and membrane Stability of Williams soybean cultivar. *Journal of Crop Production Research*, 4, 355-356.
41. Parvaiz, A. & Satyawati, S. (2008). Salt stress and Phyto-biochemical responses of plants. *Plant Soil Environment*, 54, 89-99.
42. 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.
43. Prado, F. E., Boero, C., Gallardo, M. & González, J. A. (2000). Effect of NaCl on germination, growth, and soluble sugar content in *Chenopodium quinoa* Willd. seeds. *Botanical Bulletin- Academia Sinica Taipei*, 41, 27-34.
44. Salehi, M. & Dehghani, F. (2017). Quinoa, suitable semi-cereal for salt water resources. *Report of Ministry of Agricultural Jihad*. Retrieved March 11, 2019, from <https://maj.ir>.
45. Scanlin, L. & Lewis, K. A. (2017). Quinoa as a sustainable protein source: Production, nutrition, and processing. In: *Sustainable Protein Sources*. 223-238. Elsevier.
46. Sepahvand, N. A., Tavazoa, M. & Kahbazi, M. (2011). Adaptation and evaluation of quinoa a valuable crop in Iran. In: *Proceedings of 2nd International Symposium on underutilized Plant Species "Crops for the Future-Beyond Food Security"*, Kuala Lumpur Malaysia. pp. 111-115.
47. Setter, T. L., Brain, A., Flannigan, B. A. & Melkonian, J. (2001). Loss of kernel set due to water deficit and shade in maize carbohydrate supplies abscise acid and cytokinins. *Crop Science*, 41, 1530-1540.

48. Shamsi, K. (2010). The effects of drought stress on yield, relative water content, proline, soluble carbohydrates and chlorophyll of bread wheat cultivars. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 8, 3: 1051-1060.
49. Sharma, S. P., Leskovar D. I., Crosby K. M., Volder, A. & Ibrahim, A. M. H. (2014). Root growth, yield, and fruit quality responses of reticulatus and inodorus melons (*Cucumis melo* L.) to deficit subsurface drip irrigation. *Agricultural Water Management*, 136, 75-85.
50. 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.
51. Shoghian, M. & Roozbahani, A. (2017). The effect of salicylic acid foliar application on morphological traits, yield and yield components of red bean under drought tension conditions. *Crop Physiology Journal*, 34, 355-365.
52. 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 Filed Crop Science*, 45, 1-14.
53. 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.
54. Waraich, E. A., Amad, R., Ashraf, M. Y. & Ahmad, M. (2011). Improving agricultural water use efficiency by nutrient management. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil and Plant Science*, 61(4), 291-304.
55. Xu, L., Han, L. & Huang, B. (2011). Antioxidant enzyme activities and gene expression patterns in leaves of Kentucky bluegrass in response to drought and post-drought recovery. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 136(4), 247-259.