

<http://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.3257.1854>

مقاله پژوهشی

## بررسی اثر غلظت‌های مختلف اسید سالیسیلیک بر خصوصیات جوانه‌زنی دو ژنوتیپ گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa willd.*) تحت تنش شوری در شرایط آزمایشگاهی

شکوفه غلامی<sup>۱\*</sup>، طیبه رستمی<sup>۲</sup>، خدیجه احمدی<sup>۱</sup>، محمود باقری<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه شاهد
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه اگرواکولوژی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه شاهد
۳. استادیار، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، کرج

مشخصات مقاله	چکیده
واژه‌های کلیدی: پرایمینگ بذر درصد جوانه‌زنی رنگیزه‌های فتوسنتزی شاخص بنیه گیاهچه	به دلیل توسعه زمین‌های شور و کاهش زمین‌های کشاورزی مطلوب برای کشت، شناسایی گیاهان دارویی مقاوم به شوری و یا عواملی که بتواند اثر شوری را کاهش دهند دارای اهمیت بالایی می‌باشند. جهت بهبود استقرار گیاهچه و افزایش کارایی گیاهان در مزارع از پرایمینگ بذر استفاده می‌شود. اسید سالیسیلیک نقش مهمی در پاسخ به تنش-های زنده و غیرزنده ایفا می‌کند. به‌منظور بررسی اثر پیش تیمار اسید سالیسیلیک بر شاخص‌های جوانه‌زنی گیاه کینوا تحت تنش شوری، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار در آزمایشگاه تکنولوژی بذر دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه شاهد در سال ۱۳۹۸ انجام گرفت. فاکتورهای آزمایشی شامل اسید سالیسیلیک در چهار سطح (۰، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار) و تنش شوری. ناشی از کلرید سدیم در چهار سطح (۰، ۵، ۱۰، ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر) و ارقام گیاه کینوا رقم <i>Giza 1</i> و <i>Titicaca</i> بودند. نتایج نشان داد که افزایش تنش شوری، کاهش محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی و خصوصیات جوانه‌زنی بذر را در پی داشت. در شرایط تنش شوری با افزایش تنش روند درصد جوانه‌زنی کاهش یافته به‌طوری‌که کمترین درصد جوانه‌زنی در تنش شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد. کاربرد اسید سالیسیلیک در شرایط تنش شوری روندی مثبت در وضعیت درصد جوانه‌زنی داشت به‌طوری‌که در سطوح مختلف شوری کاربرد ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بیشترین تأثیر را در درصد جوانه‌زنی نشان داد و در غلظت‌های پایین‌تر از ۱ میلی‌مولار این روند کاهش یافته شد. بیشترین شاخص طولی و شاخص وزنی بنیه گیاهچه در غلظت ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و عدم تنش شوری مشاهده شد. با افزایش غلظت اسید سالیسیلیک محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی روندی افزایشی را نشان دادند. بر اساس این نتایج، با اعمال پرایمینگ بذر با اسید سالیسیلیک، می‌توان استقرار گیاه را در شرایط تنش شوری بهبود داد.
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۳۰	
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۲۹	
تاریخ انتشار: تابستان ۱۴۰۱ ۵۳۹-۵۲۹ (۲): ۱۵	

### مقدمه

عدم انتقال مواد و آسیمیلایون مواد در شرایط تنش شوری مانع از تشکیل گیاهچه پس از جوانه‌زنی بذر می‌شود (Malcolm et al., 2003). استقرار بذر از عوامل مؤثر بر تولید محصول در شرایط تنش شوری است و روشی که بتواند فرایند جوانه‌زنی بذر را در این شرایط گسترش دهد، پرایمینگ بذر است (Paparella et al., 2015). در واقع فرایند پرایمینگ بذر با افزایش درصد و یکنواختی جوانه‌زنی و بهبود شاخص‌های بنیه، بذر را برای اولین بار در معرض

فاکتورهای محیطی متعددی بر رشد و نمو و در نهایت تولید محصول در گیاهان تأثیر می‌گذارند (Sairam et al., 2005). شوری یکی از فاکتورهای محدودکننده عمده زیست‌محیطی بر رشد و بهره‌وری گیاهان است (Munns and Tester, 2008). به همین دلیل یافتن گیاهانی که مقاوم به شوری و خشکی باشند به‌عنوان یک راهکار مناسب در جهت بهره‌وری از آب‌های شور و منابع محدود آب در کشور است (Fallahi et al., 2008; Amiri et al., 2011).

محیطی مانند شوری سبب کاهش درصد جوانه‌زنی و در نتیجه کاهش تراکم و کاهش تولید محصول می‌شوند. این پژوهش با هدف بررسی اثر تنش شوری بر دو ژنوتیپ کینوا و همچنین تعیین مناسب‌ترین غلظت اسید سالیسیلیک جهت پرایمینگ بذر این گیاه برای کاهش اثر شوری در شرایط تنش شوری است.

### مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر کلرید سدیم بر خصوصیات جوانه‌زنی و رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه کینوا در مرحله گیاهچه آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۸ در آزمایشگاه علوم و تکنولوژی بذر دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد انجام گرفت. فاکتورهای آزمایش شامل تنش شوری ناشی از کلرید سدیم در چهار سطح (۰، ۵، ۱۰، ۱۵ دسی زیمنس بر متر) و سطوح پرایمینگ با محلول اسید سالیسیلیک در چهار سطح (۰، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار) و دو ژنوتیپ Giza 1 و Titicaca در سه تکرار بود. به دلیل تفاوت این دو رقم در خصوصیات جوانه‌زنی، برای انجام کار آزمایشگاهی از بذر این دو رقم استفاده شد. در ابتدا بذرهای دو ژنوتیپ مختلف کینوا با هیپوکلریت سدیم ۵ درصد به مدت ۳۰ ثانیه ضدعفونی و سپس سه بار با آب مقطر شسته شدند. جهت اعمال پرایمینگ بذر با محلول سالیسیلیک اسید، بذرها به مدت ۶ ساعت در تاریکی و در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد درون محلول قرار گرفتند (Senaranta et al., 2002). از هر تیمار ۲۵ بذر در پتری-هایی که قبلاً ضدعفونی شده بودند قرار داده شد و پتری‌ها به ژرمیناتور با دمای  $25 \pm 1$  درجه سانتی‌گراد انتقال یافتند. بذرهای جوانه‌زده (خروج ریشه‌چه به میزان ۲ میلی‌متر) به مدت ۵ روز به‌طور روزانه شمرده و یادداشت شدند. در پایان دوره ۵ تا ۷ روزه درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، متوسط جوانه‌زنی روزانه، ضریب سرعت جوانه‌زنی که مشخصه سرعت و شتاب جوانه‌زنی است و شاخص طولی و وزنی بنیه گیاهچه طبق روابط ارائه‌شده در جدول شماره ۱ محاسبه گردید. جهت اندازه گرفتن وزن خشک گیاهچه نمونه‌ها در درون آون با دمای ۶۰ درجه به مدت ۴۸ ساعت تعیین گردید (Fatheiamirkhiz et al., 2012). پس از مرحله ۲ برگی شدن گیاهچه‌های داخل پتری‌دیش‌ها اندازه‌گیری میزان کلروفیل از روش آرنون (Arnon, 1949) و کاروتنوئید از روش (Gu et al., 2008) انجام شد. به این ترتیب که ۰/۲ گرم

عملی قرار می‌دهد که نسبت به تنش‌های تولیدشده در آینده مقاوم می‌شود (Bagheri et al., 2014). اسید سالیسیلیک به‌عنوان یک تنظیم‌کننده رشد است که ماهیت فنلی دارد نقش مهمی در جوانه‌زنی بذر جذب و انتقال یون‌ها، میزان فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای ایفا می‌کند (Khorramdel et al., 2012). کوهداری (Khodari, 2004) اعلام کرد که تیمار سالیسیلیک اسید تأثیر مثبتی بر افزایش وزن خشک گیاهچه ذرت تحت تنش شوری داشت.

انتخاب گیاهی مانند کینوا یکی از بهترین راهکارها برای جلوگیری از کاهش عملکرد گیاهان زراعی تحت شرایط تنش است (Vega-Gálvez et al., 2010). کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) آلوتراپلوئید ( $2n=4X=36$ )، از خانواده *Amaranthaceae*، سه کرنبه، یک‌ساله و هالوفیت اختیاری که جزو شبه غلات دسته‌بندی می‌شود (Adolf et al., 2012). این گیاه بومی مناطق آمریکای جنوبی و ارتفاعات آند است (Martinez et al., 2015). امروزه در کشورهای مختلف مانند استرالیا، کانادا، چین، هند، ایتالیا، پاکستان و ایالات متحده کشت می‌شود (Peterson and Murphy 2015; Bazile et al., 2016). کینوا تنها گیاهی است که کل آمینواسیدهای ضروری بدن را تأمین می‌کند. بذر کینوا منبع غنی از کربوهیدرات (۷۷/۶ درصد)، پروتئین (۲۱/۹ درصد)، منیزیم، فیبر، فسفر، ویتامین‌های B1، B2، B6، پتاسیم، آهن و لیبید است (Konishi et al., 2004). آرد حاصل از این گیاه فاقد گلوتن بوده و برای افراد مبتلابه خود ایمنی روده باریک (سلیاک) غذای مناسبی است (Hager et al., 2012). همچنین با داشتن فیتواستروژن بالا از ایجاد سرطان، بیماری‌های قلبی و عروقی و پوکی استخوان جلوگیری می‌کند (Jacobsen, 2003). کینوا به دلیل انعطاف‌پذیری فنولوژیکی و مقاومت به محدودیت‌های اقلیمی به تنش‌های خشکی و شوری مقاوم است (Lavini, et al., 2014).

تنش شوری موجب کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی و تأخیر در ظهور ریشه‌چه و ساقه‌چه و در نهایت کاهش رشد گیاهچه می‌شود (Shakarami et al., 2010). در پژوهشی بر روی گیاه کینوا با افزایش شوری حاصل از سدیم کلراید درصد و سرعت جوانه‌زنی کاهش یافت (Panuccio et al., 2014). با توجه به اینکه عملکرد کمی و کیفی گیاه بسته به میزان سبز شدن بذرها و یکنواخت سبز شدن آن‌ها دارد مرحله جوانه‌زنی بذرها مرحله‌ای مهم است؛ اما تنش‌های

$$Cb (mg.gFW^{-1}) = 22.9 (A645) - 2.69 (A663) \times V/1000W \quad [۲]$$

$$CT (mg.gFW^{-1}) = 20.2 (A645) + 8.02 (A663) \times V/1000W \quad [۳]$$

$$Carotenoid (mg.gFW^{-1}) = 7.6 (A470) - 14.9 (A510) \times VD/1000W \quad [۴]$$

تجزیه آماری داده‌ها شامل تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 و مقایسه میانگین صفات مورد ارزیابی با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت.

بافت تازه برگ را با ۴ میلی‌لیتر استن ۸۰٪ به‌طور کامل عصاره‌گیری نموده سپس عصاره‌ی حاصل را با کاغذ صافی صاف کرده و آن را به حجم ۸ میلی‌لیتر رسانده، به مدت ۵ دقیقه با ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شد؛ و به‌وسیله اسپکتروفوتومتر میزان کلروفیل در طول موج‌های ۶۴۳ و ۶۴۵ نانومتر و میزان کارتنوئید در طول موج ۴۷۰ نانومتر قرائت شد. غلظت کلروفیل‌های b,a و کل از فرمول‌های شماره ۱ تا ۳ محاسبه شد:

$$Ca (mg.gFW^{-1}) = 12.7 (A663) - 2.69 (A645) \times V/1000W \quad [۱]$$

جدول ۱. روابط محاسباتی صفات مورد مطالعه در آزمایش

Table 1. The computing relation of the parameters studied in the experiment

Traits صفات	Equation رابطه	Reference
درصد جوانه‌زنی Germination Percentage	$GP = (N \times 100) / M$	Liopa-Tsakalidi <i>et al.</i> , 2012
سرعت جوانه‌زنی Germination Rate	$GR = \sum Ni / Ti$	Pagter <i>et al.</i> , 2009
میانگین زمان جوانه‌زنی Mean germination time	$(MGT) = \sum (Ni Di) / \sum N$	Ranal and Santana, 2006
ضریب سرعت جوانه‌زنی Coefficient of velocity of germination	$CVG = G_1 + G_2 + \dots + G_n / (1 \times G_1) + (2 \times G_2) + \dots + (n \times G_n)$	Scoote <i>et al.</i> , 1984
متوسط جوانه‌زنی روزانه Mean daily germination	$(MDG) = GP / T$	Hunter, Glasbey and Naylor, 1984
شاخص طولی بنیه گیاهچه Seed length vigor index (SLV)	$(SLV) = GP \times \text{Seedling length (SL)}$	Abdul-Baki and Anderson, 1973
شاخص وزنی بنیه گیاهچه Seed weight vigor index (SWV)	$(SWV) = GP \times \text{Seedling dry weight (SDW)}$	Abdul-Baki and Anderson, 1973

N= مجموع کل بذرهای جوانه‌زده در پایان آزمایش، M= کل بذرهای کاشته شده، T= طول دوره جوانه‌زنی، Ti= تعداد روزهای پس از جوانه‌زنی، n= تعداد بذرهای جوانه‌زده در Ti، Mcgr= ماکزیمم درصد جوانه‌زنی تجمعی، Ni= مجموع بذرهای کاشته شده، SL= طول گیاهچه، Di= زمان از شروع آزمایش تا زمان نام

N= sum of germinated seeds at the end of the experiment, M= total planted seeds, T= period of germination, Ti= number of days after germination, n= number of germinated seeds in Ti, Mcgr= maximum cumulative germination percentage, Ni= Total seeds sown, SL= Seedling Length, Di: The time from the start of the experiment to the ith observation.

## نتایج و بحث

### درصد و سرعت جوانه‌زنی

سالیسیلیک بیشترین درصد جوانه‌زنی (۸۶/۲۷) را نشان دادند؛ و بین ارقام کینوا در شرایط عدم تنش شوری تفاوت چندانی مشاهده نشد. در شرایط تنش شوری تیمار با اسید سالیسیلیک تأثیر مثبتی بر جوانه‌زنی نشان داد به‌طوری‌که در شوری‌های مختلف تیمار با غلظت ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بیشترین اثر را بر درصد جوانه‌زنی نشان داد. در بررسی اثر برهمکنش سه‌گانه تنش شوری، اسید سالیسیلیک و ارقام مختلف کینوا در شرایط تنش شوری بیشترین درصد جوانه‌زنی در شوری ۵ دسی‌زیمنس و غلظت ۱ میلی‌مولار

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که درصد و سرعت جوانه‌زنی تحت تأثیر تیمار تنش شوری، پرایمینگ با اسید سالیسیلیک و ارقام کینوا و اثرات متقابل این تیمارهای آزمایشی قرار گرفته و اثر معنی‌داری را در سطح احتمال ۱ درصد نشان دادند (جدول ۲). بر اساس مقایسات میانگین، هر دو ژنوتیپ کینوا در شرایط شاهد (بدون تنش) در غلظت ۱/۵ میلی‌مولار اسید

محیط ریشه گیاه و سمیت یونی در شرایط تنش شوری می‌تواند بر جوانه‌زنی گیاه در شرایط تنش شوری اثر منفی داشته باشد (Nabizade Marvdast et al., 2003). در بررسی اثر تنش شوری بر جوانه‌زنی در گیاه ریحان نتایج نشان دادند که تنش شوری سبب کاهش درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی شد (Zahedi et al., 2011). جذب یون‌های کلرید و سدیم توسط هیپوکوتیل در شرایط تنش شوری سبب کاهش جوانه‌زنی بذری آفتابگردان شد (Turhan and Ayaz, 2004). درصد و سرعت جوانه‌زنی بذریهای پرایمینگ شده گاوزبان (Shekari et al., 2010)؛ و بادرنجویه (Ardalani et al., 2014) با اسید سالیسیلیک افزایش پیدا کرد. تحریک فعالیت‌های متابولیکی و افزایش تقسیم سلولی سبب افزایش سرعت جوانه‌زنی در گیاه می‌شود (Balochi, 2013). در بررسی خزایی (Khazaei, 2017) نتایج نشان داد که پرایمینگ با اسید سالیسیلیک در شرایط تنش شوری سبب افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی شد.

اسید سالیسیلیک مشاهده شد (شکل A-۱). بر اساس نتایج بیشترین سرعت جوانه‌زنی در شرایط عدم تنش در پرایمینگ با ۱/۵ میلی‌مولار محلول اسید سالیسیلیک مشاهده شد. آنالیز واریانس داده‌ها همچنین نشان داد که سرعت جوانه‌زنی با افزایش تنش شوری از شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر به بالا از ۱۳ به ۱۰ بذر در روز در تنش شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر کاهش یافت. در برهمکنش اثرات متقابل تنش شوری و پرایمینگ با اسید سالیسیلیک، بیشترین سرعت جوانه‌زنی (۱۷ بذر در روز) در غلظت ۱/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و شرایط عدم تنش شوری و رقم تی‌تی کاکا مشاهده شد (شکل A-۱ و B). تنش شوری سبب کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی در خربزه وحشی (*Sinapis arvensis*) (Loti Far et al., 2015) و یولاف وحشی (*Avena fatua*) (Dinari et al., 2015) شده که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. در بررسی ۸ گونه هالوفیتی به تنش شوری نتایج نشان داد که در مراحل اولیه جوانه‌زنی به تنش شوری حساس هستند (Xianzhao et al., 2013). پتانسیل اسمزی پایین در

جدول ۲. تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف اسید سالیسیلیک و ارقام مختلف کینوا روی برخی صفات مطالعه شده تحت تنش شوری

Table 2. Analysis of variance of the effect of different levels of salicylic acid and different varieties of Quinoa on some studied traits under Salt stress

S.O.V	منابع تغییر	df	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination Rate	ضریب سرعت جوانه‌زنی Germination rate coefficient	میانگین مدت‌زمان جوانه‌زنی Mean Time Germination
Variety (V)	رقم	1	140.17 **	3.825**	751.363**	0.3651 **
Salicylic acid (S)	سالیسیلیک اسید	3	917.05**	16.031**	1723.251**	0.8884**
Salt stress (St)	تنش شوری	3	1104.17**	46.172**	497.702**	0.2376**
V * S	رقم * سالیسیلیک اسید	3	3.2777 ns	7.293**	83.251 <sup>ns</sup>	0.0652 **
V * St	رقم * تنش شوری	3	25.94**	1.9939**	19.306 <sup>ns</sup>	0.0036 <sup>ns</sup>
S * St	سالیسیلیک اسید * شوری	9	57.3518**	2.625**	88.794*	0.0518**
V * S * St	رقم * سالیسیلیک اسید * تنش شوری	9	13.50**	1.9271**	83.001*	0.0527**
Error	خطا	64	4.167	0.4264	34.117	0.0134
CV (%)	ضریب تغییرات		2.438	4.721	7.957	7.932

Table 2. Continued

جدول ۲. ادامه

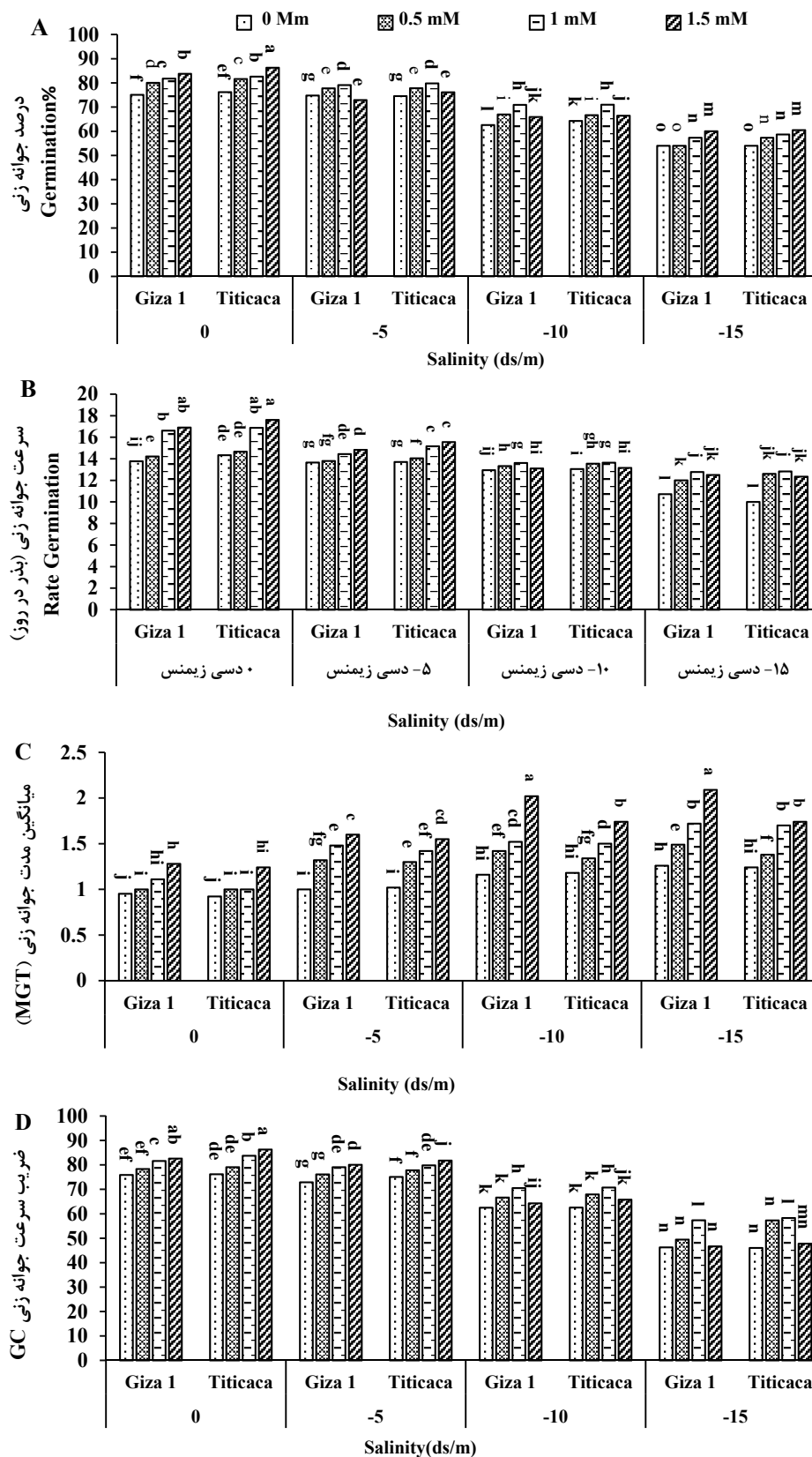
S.O.V	منابع تغییر	df	درصد رطوبت	شاخص طولی بنیه	شاخص وزنی بنیه
			نسبی Relative water content	گیاچه Seedling vigor Longitudinal	گیاچه Seedling vigor Weight
Variety (V)	رقم	1	33.083**	400.1**	0.044893**
Salicylic acid (S)	سالیسیلیک اسید	3	40.479**	113.2**	0.009234**
Salt stress (St)	تنش شوری	3	93.958**	516.7**	0.38633**
V * S	رقم * سالیسیلیک اسید	3	0.7810*	2.138 <sup>ns</sup>	0.100295**
V * St	رقم * تنش شوری	3	0.5099 <sup>ns</sup>	33.36**	0.13106**
S * St	سالیسیلیک اسید * شوری	9	0.6902*	8.930**	0.16172**
V * S * St	رقم * سالیسیلیک اسید * تنش شوری	9	0.0933 <sup>ns</sup>	6.666 <sup>ns</sup>	0.17311**
Error	خطا	64	0.28013	1.312	0.000734
CV (%)	ضریب تغییرات		1.107	0.9185	4.643

Table 2. Continued

جدول ۲. ادامه

S.O.V	منابع تغییر	df	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید
			Content Chlorophyll a	Content Chlorophyll b	Content Total Chlorophyll	Content Carotenoid
Variety (V)	رقم	1	0.01856**	0.00628**	0.03045**	0.00039**
Salicylic acid (S)	سالیسیلیک اسید	3	0.059195**	0.01252**	0.0721**	0.2511**
Salt stress (St)	تنش شوری	3	0.001036**	0.0015**	0.00361**	0.26833**
V * S	رقم * سالیسیلیک اسید	3	0.01442**	0.00420**	0.01929**	0.0576**
V * St	رقم * تنش شوری	3	0.002876**	0.00039**	0.0026**	0.0740**
S * St	سالیسیلیک اسید * شوری	9	0.008312**	0.00222**	0.01059**	0.49278**
V * S * St	رقم * سالیسیلیک اسید * تنش شوری	9	0.010343**	0.00263**	0.01324**	0.2194**
Error	خطا	64	0.000009	0.0000001	0.000007	0.00035
CV (%)	ضریب تغییرات		1.081	0.312	0.328	1.047

<sup>ns</sup>، \*، \*\* respectively not significant and denote significant differences at 5% and 1%  
 ns، \*، \*\* به ترتیب غیر معنی‌داری، معنی‌داری در سطح ۵ درصد و معنی‌داری در سطح ۱ درصد



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل رقم × پرایم با سالیسیلیک اسید × تنش شوری بر درصد جوانه‌زنی (A)، سرعت جوانه‌زنی (B)، میانگین مدت جوانه‌زنی (C) و ضریب سرعت جوانه‌زنی (D) دو رقم گیاه کینوا

Fig. 1. Comparison of the average interactions of cultivar × Prime with salicylic acid × Salinity stress on (A) germination percentage, (B) germination rate, (C) average germination time (MGT) and (D) germination rate coefficient of two quinoa genotypes

در شرایط عدم تنش شوری دارای بیشترین (۱۳۸) شاخص طولی بنیه گیاهچه بود. تنش شوری موجب کاهش شاخص طولی و وزنی بنیه گیاهچه گردید به طوری که با افزایش سطوح تنش شوری بالاتر از ۵ دسی‌زیمنس بر متر کاهش چشمگیری را در شاخص طولی و وزنی بنیه گیاهچه مشاهده شد (شکل ۲-A و B).

بیشترین شاخص وزنی بنیه گیاهچه (۱/۰۰۵) در رقم گیزا ۱ پرایم شده با ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک با روندی افزایشی در این شاخص نسبت به شرایط تنش شدید و عدم پرایمینگ مشاهده شد (شکل ۲-A و B).

در بررسی اثر شوری بر بذر گیاه همیشه‌بهار جوانه‌زنی شاخص بنیه گیاهچه با افزایش سطح شوری از ۱ تا ۷ دسی‌زیمنس کاهش پیدا کرد (Ejaz et al., 2015).

### رنگیزه‌های فتوسنتزی

سطوح مختلف تنش شوری و پرایمینگ با اسید سالیسیلیک و اثرات برهمکنش این تیمارهای بر محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی از جمله کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل و کاروتنوئید اثر معنی‌داری را نشان داد (جدول ۲). همچنین اثر متقابل رقم در اسید سالیسیلیک و رقم در شوری بر صفات کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل و کاروتنوئید در سطح ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۱). مقدار کلروفیل a و b با افزایش سطوح تنش شوری روندی کاهشی را نشان داد به طوری که بیشترین میزان کلروفیل a (۰/۵۱۳) میلی‌گرم در گرم برگ (شکل ۳-A) و کلروفیل b با میانگین ۰/۲۶۵ میلی‌گرم در گرم برگ (شکل ۳-B)، در عدم تنش شوری و غلظت ۱/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و رقم تی‌تی کاکا مشاهده شد.

افزایش مقدار کلروفیل در پیش‌تیمار با اسید سالیسیلیک نشان‌دهنده تأثیر این ماده در مقدار کلروفیل است. در پرایمینگ اجازه داده می‌شود که بذرها با جذب آب مراحل اولیه جوانه‌زنی را طی کنند و وارد مرحله دوم جوانه‌زنی (فعالیت آنزیم‌ها) شوند؛ اما وارد مرحله سوم (ظهور ریشه‌چه) نمی‌شوند. بعد از تیمار پرایمینگ بذرها خشک و بعداً کشت می‌شوند (McDonald, 1999). پرایم کردن بذر با سالیسیلیک اسید ممکن است در دامنه‌ای از فرآیندهای مختلف در گیاهان نظیر جوانه‌زنی بذرها (Pakmehr, 2009) سبز کردن (Miar Sadegi et al., 2011) تبادل و انتقال یون‌ها (Harper and Balke, 1981) و فتوسنتز اثر داشته

### میانگین مدت جوانه‌زنی و ضریب سرعت جوانه‌زنی

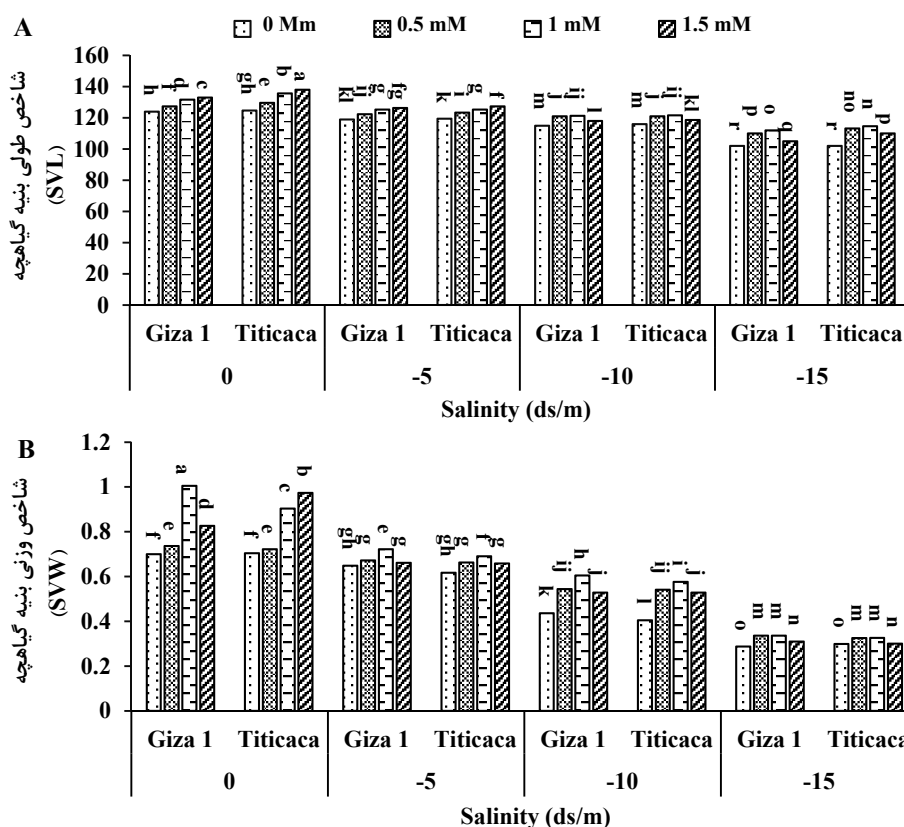
یکی از صفات بسیار مهم در استقرار گیاهچه میانگین مدت جوانه‌زنی است. اثر ساده تیمار تنش شوری، پرایمینگ با اسید سالیسیلیک و ارقام کینوا و اثرات برهمکنش سه‌گانه این تیمارها بر سرعت جوانه‌زنی و میانگین مدت جوانه‌زنی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بر اساس مقایسات میانگین در شرایط بدون تنش شوری (شاهد) کمترین میانگین مدت جوانه‌زنی در هر دو ژنوتیپ کینوا مشاهده شد. اثرات متقابل نشان داد که بیشترین میانگین مدت جوانه‌زنی با میانگین (۲/۰۹ روز) در رقم گیزا ۱ و تیمار ۱/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر و رقم تی‌تی کاکا با میانگین (۱/۲۲ روز) در شرایط عدم تنش شوری (شاهد) و پرایمینگ با ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک کمترین میزان میانگین مدت جوانه‌زنی را نشان داد. مقایسات میانگین همچنین نشان داد که بیشترین سرعت جوانه‌زنی (۸۶/۲۷) در رقم تی‌تی کاکا و غلظت ۱/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و عدم تنش شوری دارای افزایشی ۲۵/۴۳ درصدی نسبت به تنش شوری شدید و عدم پرایمینگ با اسید سالیسیلیک بود (شکل ۱-C و D). کیفیت توده بذری با میانگین مدت جوانه‌زنی رابطه معکوس دارد. در واقع میانگین مدت جوانه‌زنی کمتر نشان‌دهنده بالا بودن کیفیت توده بذری است (Omidi et al., 2014). در واقع توانایی بالای بذور پرایم شده در جذب آب نسبت به بذور پرایم نشده، دلیل اثر مثبتی است که پرایمینگ بر میانگین مدت جوانه‌زنی دارد (Balochi, 2013). صدیقی و همکاران (Sedghi et al., 2010) گزارش کردند که متوسط زمان جوانه‌زنی دو گیاه دارویی با بالا بردن سطح شوری افزایش پیدا کرد به طوری که کمترین MGT در سطح شاهد و بالاترین آن در ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر شوری به دست آمد (Sedghi et al., 2010)؛ که با نتایج این آزمایش مطابقت داشت. افزایش تنش شوری سبب افزایش میانگین مدت جوانه‌زنی و کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی در علف بره (Festuca ovina) شد (Shakarami et al., 2011).

### شاخص طولی و وزنی بنیه گیاهچه

اثر تنش شوری، پرایمینگ با اسید سالیسیلیک و ارقام کینوا و اثرات برهمکنش این تیمارها بر صفات شاخص طولی و وزنی بنیه گیاهچه اثر معنی‌داری داشت (جدول ۱). پرایمینگ بذر کینوا رقم تی‌تی کاکا با اسید سالیسیلیک اسید ۱/۵ میلی‌مولار

سالیسیلیک در شرایط عدم تنش شوری (شاهد) مشاهده شد. پرایمینگ بذر باعث اثر حفاظتی بر سیستم‌های فتوسنتزی و در نتیجه افزایش رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی در گیاهان تحت تنش شوری می‌شود (EL-Tayeb., 2005).

باشد. پرایم با سالیسیلیک اسید سبب افزایش مقدار کلروفیل در گیاهچه گندم (Agarawal et al., 2005) و نخود (Popova et al., 2009) شد. همچنین بیشترین میزان کاروتنوئید در رقم تی‌تی کاکا و پرایم ۱/۵ میلی‌مولار اسید



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل رقم × پرایم با سالیسیلیک اسید × تنش شوری بر (A) شاخص طولی بنیه گیاهچه و (B) شاخص وزنی بنیه گیاهچه در دو ژنوتیپ کینوا

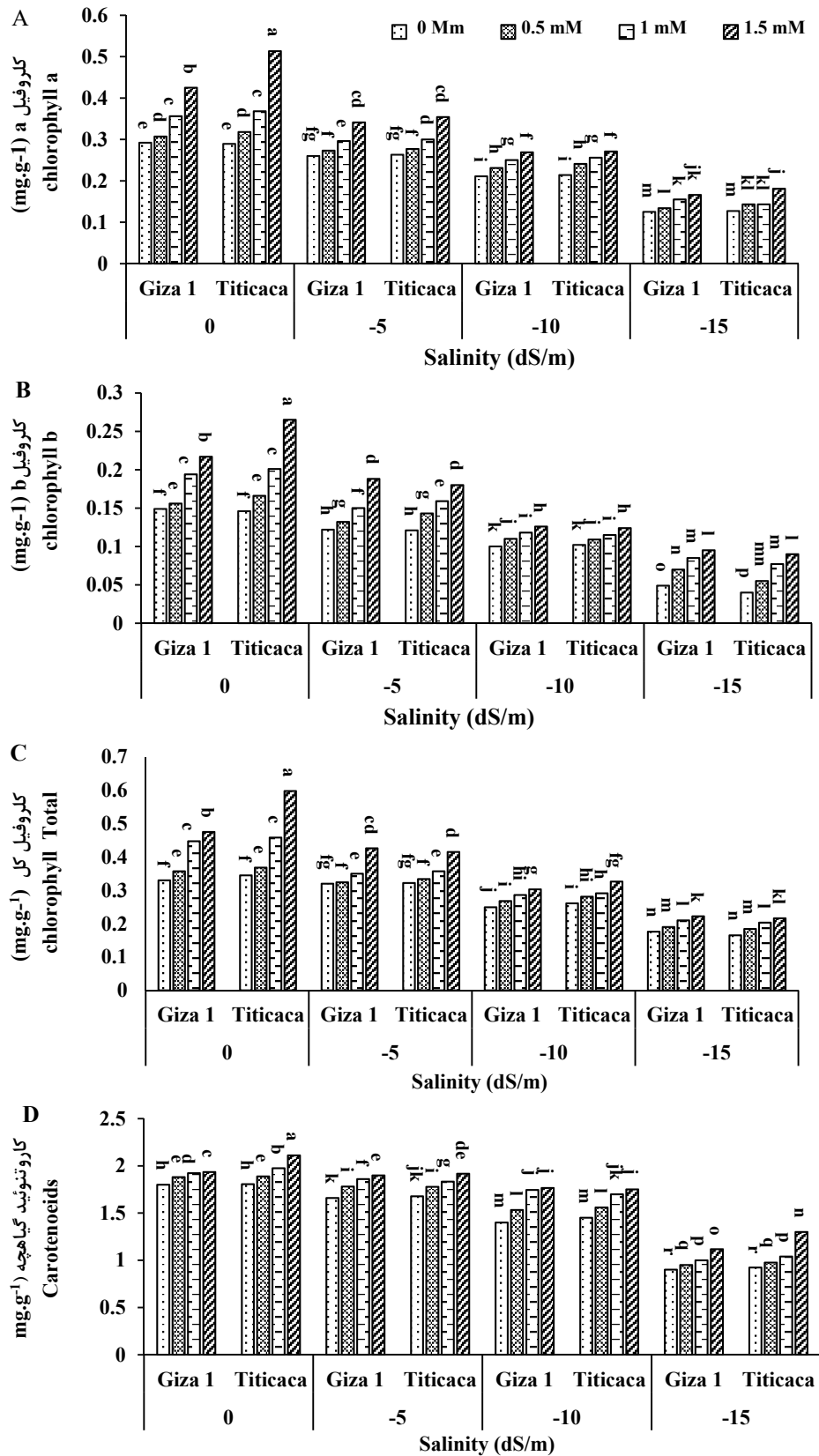
Fig. 2. Comparison of the average interactions of cultivar × Prime with salicylic acid × Salinity stress on (A) Seedling vigor longitudinal index and (B) seedling vigor weighted index of two quinoa genotype

جوانه‌زنی، به‌ویژه در شرایط نامساعد که باعث ناهمگونی فیزیولوژیکی در توده بذر نیز می‌شود، پرایمینگ بذر است (Murungo et al., 2003). کاربرد پرایمینگ با اسید سالیسیلیک می‌تواند یک راه‌حل برای تسریع و سبز شدن یکنواخت بذور باشد؛ و همچنین یک روش مقرون‌به‌صرفه جهت کاهش مصرف بذر بیشتر است.

### نتیجه‌گیری نهایی

پرایمینگ با سالیسیلیک اسید سبب افزایش مقاومت به تنش شوری از طریق افزایش درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی شده است. نتایج همچنین نشان داد که واکنش ژنوتیپ‌های تی‌تی کاکا و گیزا ۱ در پاسخ به تنش شوری متفاوت است. از آنجایی که یکی از تکنیک‌های رایج برای افزایش درصد





شکل ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل رقم × پرایم با سالیسیلیک اسید × تنش شوری بر مقدار کلروفیل a (A)، کلروفیل b (B)، کلروفیل کل (C) و کاروتنوئید گیاهچه در دو رقم کینوا

Fig. 3. Comparison of the average interactions of cultivar × prime with salicylic acid × salinity stress on amount of (A) chlorophyll a, (B) chlorophyll b, (C) Total chlorophyll content and (D) Content of seedling carotenoids of two quinoa genotypes.

## منابع

- Agarawal, S., Sairam, R.K., Srivasta, G.C., Meena, R.C., 2005. Changes in antioxidant enzymes activity and oxidative stress by abscisic acid and salicylic acid in wheat genotypes. *Biologia Plantarum*. 49, 541-550.
- Amiri, M.B., Rezvani Moghadam, P., Ehiaei, H.R., Fallahi, J., Aghhvani Shajari, M., 2011. Response of germination and seedling growth of Hyssop (*Hyssopus officinalis*) and Marguerite (*Chrysanthemum superbum*) medicinal plants to water stress. *Journal of Plant Ecophysiology*. 3, 65-77. [In Persian with English Summary].
- Ardalani, H., Eradatmand Asli, D., Moradi, P., 2014. Physiological and morphological response of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) to prime application of salicylic hydroxamic acid. *Electronic Journal of Biology*. 10, 93-97.
- Arnon, D.I., 1949. Copper enzyme in isolated chloroplasts; polyphenol-oxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*. 24, 1-15.
- Bagheri, A., Baherifard, A., Saborifard, A., Ahmadi, M., Safarpoor, M., 2014. Effects of drought, cytokinin and GA3 on seedling growth of basil (*Ocimum basilicum*). *International and Advanced Biological and Biomedical Research*. 4, 489-493.
- Bandani, M., AbdulZadeh, A., 2006. Effect of silicon nutrition on salinity tolerance of *Puxinilia distens*. *Journal of Agricultural and Natural Resources*. 14, 111-119. [In Persian with English Summary].
- Balochi, H.R., 2013. Effect of seed priming on germination and seedling growth in pumpkin seeds paper (*Cucurbita pepo*) under salt stress. *Journal of Crop Production and Processing*. 3, 169-179. [In Persian with English summary].
- Bazile, D., Jacobsen, S.E., Vernaiu, A., 2016. The global expansion of quinoa: trends and limits. *Frontiers in Plant Science*. 7, 622. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00622>.
- Dinari, A., Meighani, F., Faramarzi Sepehr, M., 2013. Effects of salt and drought stress on germination and seedling growth of *Avena fatua* and *Phalaris minor*. *Iranian Journal of Plant Physiology*. 3, 665-671. [In Persian with English Summary].
- Ejaz, M., Parveen, S., Shah, R., Ali, M., Kakar, H., 2015. Effect of saline irrigation water on growth parameters of calendula (*calendula officinalis*) seeds. *Life Sciences International Journal*. 9, 3287-3300.
- El-Tayeb, M.A., 2005. Response of barley grains to the interactive effect of salinity and salicylic acid. *Plant Growth Regulation*. 45, 215-225.
- El-Khallal, S.M., Hathout, T.A., Ashour, A.A., Kerrit, A.A., 2009. Brassinolide and salicylic acid induced growth, biochemica activities and productivity of maize plants grown under salt stress. *Journal of Agriculture and Biological Science*. 5, 380- 390.
- Fallahi, H.R., Ebadi, M.T., Ghorbani, R., 2008. The Effects of salinity and drought stresses on germination and seedling growth of clary (*Salvia sclarea*). *Environmental Stresses in Agricultural Sciences*. 1, 57-67. [In Persian with English Summary].
- Gu, Z., Chen, D., Han, Y., Chen, Z., Gu, F., 2008. Optimization of carotenoids extraction from *Rhodobacter sphaeroides*. *Learning With Technologies (LWT)-Food Science and Technology*. 41,1082-1088.
- Jacobsen, SE., 2003. The worldwide potential for quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Review International*. 19, 167-177.
- Harper J.P., Balke, N.E., 1981. Characterization of the inhibition of K<sup>+</sup> absorption in wheat roots by salicylic acid. *Plant Physiology*. 68, 1349-1353.
- Khazaei, H., 2017. The effect of priming and salinity on germination of *Thymus vulgaris*. MSc Thesis. Department of Agronomy, College of Agricultural Sciences, Shahed University. Tehran, Iran. [In Persian].
- Karimi, G., Ghorbanli, M., Heidari, H., Khavarinejad, R.A., Assareh, M.H., 2005. The effects of NaCl on growth, water relations, osmolytes and ion content in *Kochia prostrata*. *Biologia Plantarum*. 49, 301-304
- Khodary, S.E.A., 2004. Effect of salicylic acid on the growth, photosynthesis and carbohydrate metabolism in salt-stressed maize plants. *International Journal of Agriculture and Biology*. 6, 5-8.
- Khorramdel, S., Rezvani Moghaddam, P., Amin Ghafari, A., Shabahang, J., 2012. Effect of priming by salicylic acid and drought stress on characteristics of black seed germination (*Nigella sativa* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*. 10, 709-725. [In Persian with English summary].

- Konishi, Y., Hirano, S., Tsuboi, H., Wada, M., 2004. Distribution of minerals in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seeds. *Bioscience Biotechnology and Biochemistry*. 68, 231-234.
- Lavini, A., Pulvento, C., Rd'Andria, R., Riccardi, M., Choukr-Allah, R., Belhabib, O., 2014. Quinoa's potential in the Mediterranean region. *Journal of Agronomy and Crop Science* 200, 344-360.
- Loti Far, A., Alah Dadi, A., Zand, A., Akbari, Gh.A., Motaghim S., 2015. Effects of salinity and drought stresses due to nacl and poly ethylene glycol on germination characteristics and seedling growth of Wild Mustard (*Sinapis arvensis*). *Iranian Journal of Seed Science and Technology*. 4, 97-108. [In Persian with English Summary].
- Malcolm, C., Lindley, V., O'leary, J., Runciman, H., Barrett-Lennard, E., 2003. Halophyte and glycophyte salt tolerance at germination and the establishment of halophyte shrubs in saline environments. *Plant and Soil*. 253, 171-185.
- Miar Sadegi, S., Shekari, F., Fotovat, R., Zangani, E., 2011. The effect of priming by salicylic acid on vigor and seedling growth of canola (*Brassica napus*) under water deficit condition. *Journal of Plant Biology*. 6, 55-70. [In Persian with English abstract].
- Munns, R., Tester, M., 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*. 59, 651-681.
- Nabizade Marvdast, M.R., Kafi, M., Rashed Mohassel, M.H., 2003. Effects of salinity on growth, yield, elemental concentration and essential oil percent of cumin (*Cuminum cyminum*). *Iranian Journal of Field Crop Research*. 1, 53-60. [In Persian with English Summary].
- Murungo, F.S., Chiduza, C., Nyamugafata, L.J., Whalley, W.R., 2003. Effects of on-farm seed priming on consecutive daily sowing occasions on the emergence and growth of maize in semi-aride Zimbabwe. *Field Crop Research*. 89, 49-57.
- Omidi, H., Jafarzadeh, L., Naghdi Badi, H., 2014. *Seeds of Medicinal Plants and Crops*. Shahed University Press, Tehran, Iran. [In Persian].
- Pakmehr, A., 2009. Effect of priming by salicylic acid on morphological and physiological traits of cowpea (*Vigna unguiculata* L.) under water deficit. MSc Thesis, Faculty of Agriculture, Zanjan University, Zanjan, Iran. [In Persian].
- Panuccio, M.R., Jacobsen, S.E., Akhtar, S.S., Muscolo, A., 2014. Effect of saline water on seed germination and early seedling growth of the halophyte quinoa. *AoB PLANTS* 6: plu047; <https://doi.org/10.1093/aobpla/plu047>.
- Peterson, A., Murphy, K.M., 2015. Tolerance of lowland quinoa cultivars to sodium chloride and sodium sulfate salinity. *Crop Science*. 55, 331-338.
- Popova, L.P., Maslenkova, L.T., Yordanova, R. Y., Ivanova, A.P., Krantev, A.P., Szalai, G., Janda, T., 2009. Exogenous treatment with salicylic acid attenuates cadmium toxicity in pea seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*. 47, 224-231.
- Sairam, R.K., Srivastava, G.C., Agarwal, S., Meena, R., 2005. differences in antioxidant activity in response to salinity stress in tolerant and susceptible wheat genotypes. *Biologia Plantarum*. 49, 85-91.
- Scott, S.J., Jones, R.A., Williams, W.A., 1984. Review of data analysis methods for seed germination1. *Crop Science*. 24, 1192-1199. <https://doi.org/10.2135/cropsci1984.0011183X002400060043x>.
- Sedghi, M., Nemati, A., Esmailpour, B., 2010. Effect of seed priming on germination and seedling growth of two medicinal plants under salinity. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 22, 41-44 .
- Shakarami, B., Dianati-Tilaki, Gh., Tabari M., Behtari, B., 2011. The effect of priming treatments on salinity tolerance of *Festuca arundinacea* Schreb and *Festuca ovina* L. during seeds germination and early growth stages. *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research*. 18, 318-328. [In Persian with English summary].
- Xianzhao, L., Chunzhi, W., Qing, S., 2013. Screening for salt tolerance in eight halophyte species from Yellow River Delta at the two initial growth stages. *ISRN Agronomy*. Article ID 592820. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/592820>.
- Zahedi, S., Nabipour, M., Azizi, M., Gheisary, H., Jalali, M., Amini, Z., 2011. Effect of kinds of salt and its different levels on seed germination and growth of basil plant. *World Applied Sciences Journal*. 15, 1039-1045.