

تأثیر سالیسیلیک اسید و نیترات پتاسیم بر ویژگی‌های جوانه‌زنی، رنگدانه‌های فتوسنتزی و پرولین گیاهچه دو رقم گلرنگ تحت تنش شوری

خدیدجه احمدی^{۱*}، عاطفه شجاعیان^۲، حشمت امیدی^۳، مجید امینی دهقی^۳، فرشته آزادبخت^۲

۱. دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران

۲. کارشناسی ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران

۳. دانشیار و عضو هیئت علمی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران

مشخصات مقاله	چکیده
واژه‌های کلیدی: پیش‌تیمار جوانه‌زنی شوری کلروفیل گلرنگ	شوری یک تهدید عمده برای کشاورزی مدرن است که باعث مهار و اختلال در رشد و توسعه محصولات زراعی می‌شود. پرایمینگ یکی از روش‌های مؤثر جهت بهبود جوانه‌زنی بذر و استقرار گیاهچه در شرایط محیطی تنش‌زا از جمله تنش شوری می‌باشد. به‌منظور بررسی اثر سالیسیلیک اسید و نیترات پتاسیم بر شاخص‌های جوانه‌زنی و فتوسنتزی دو رقم گلرنگ تحت تنش شوری یک آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار در آزمایشگاه فناوری بذر دانشگاه شاهد در سال ۱۳۹۷ انجام گرفت. فاکتورهای آزمایش شامل ارقام گیاه گلرنگ رقم صفه اصفهان و گلدشت، پرایمینگ در سه سطح شاهد (آب مقطر)، سالیسیلیک اسید ۰/۵ میلی‌مولار و نیترات پتاسیم ۰/۳ درصد و تنش شوری ناشی از نمک دریاچه قم در چهار سطح ۰، ۵، ۱۰ و ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر بودند. با توجه به نتایج افزایش شوری غلظت نمک (کلرید سدیم) موجب کاهش خصوصیات جوانه‌زنی بذر و میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی و افزایش محتوای پرولین شد. در رقم صفه بیش‌ترین میزان مؤلفه‌های جوانه‌زنی همچون درصد جوانه‌زنی (۹۰ درصد)، سرعت جوانه‌زنی (۹/۱۶ بذر در روز)، طول ریشه‌چه (۲۵ میلی‌متر)، طول ساقه‌چه (۴۹/۵ میلی‌متر)، وزن تر گیاهچه (۱/۲۵ گرم) و وزن خشک گیاهچه (۰/۱۴ گرم) در عدم تنش شوری و کاربرد سالیسیلیک اسید به دست آمد. هم‌چنین در شرایط تنش ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر و تیمار سالیسیلیک اسید رقم صفه جوانه‌زنی و رشد قابل‌توجهی داشت. پیش‌تیمار سالیسیلیک اسید تحت شرایط تنش شوری، موجب افزایش درصد جوانه‌زنی و شاخص‌های رشد گیاهچه می‌گردد. پیش‌تیمار نیترات پتاسیم باعث افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی در رقم صفه اصفهان و شرایط تنش شوری گردید. استفاده از روش مقرون‌به‌صرفه پرایمینگ بذر می‌تواند مؤلفه‌های جوانه‌زنی بذر را جهت رشد در شرایط شوری بهبود بخشد.
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۲۳	
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۱۴	
تاریخ انتشار: بهار ۱۴۰۱	
۲۴۷-۲۵۷ (۱): ۱۵	

مقدمه

شوری یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده بهره‌وری محصولات زراعی با تأثیرات نامطلوب بر جوانه‌زنی، بنیه گیاه و عملکرد محصول است (Munns and Tester, 2008). تنش شوری باعث می‌شود گیاهان در معرض سه مشکل عمده از جمله افزایش فشار اسمزی، عدم تعادل جذب یون و تنش اکسیداتیو قرار گیرند (Tahjib-Ul-Arif et al., 2018). پاسخ به تنش شوری در هر مرحله از رشد نه‌تنها در بین گونه‌های گیاهی بلکه در بین ارقام نیز متفاوت است (Bojović et al., 2010). بیش‌تر گونه‌های زراعی در مراحل اولیه رشد، از جمله مراحل جوانه‌زنی و ظهور گیاهچه، نسبت به تنش شوری حساس هستند (Wang et al., 2009). مرحله جوانه‌زنی بذر به‌عنوان یکی از مراحل حیاتی و تعیین‌کننده چرخه‌ی رشدی گونه‌های گیاهی، با استقرار مطلوب گیاهچه‌ها در فرآیند تولید نقش مهمی ایفا نمایند (Saadat and Homaei, 2015).

شوری یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده بهره‌وری محصولات زراعی با تأثیرات نامطلوب بر جوانه‌زنی، بنیه گیاه و عملکرد محصول است (Munns and Tester, 2008). تنش شوری باعث می‌شود گیاهان در معرض سه مشکل عمده از جمله افزایش فشار اسمزی، عدم تعادل جذب یون و تنش اکسیداتیو قرار گیرند (Tahjib-Ul-Arif et al., 2018). پاسخ به تنش شوری در هر مرحله از رشد نه‌تنها در بین گونه‌های گیاهی بلکه در بین ارقام نیز متفاوت است

گلرنگ نشان داده است که تفاوت در سرعت جذب CO_2 و میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل a و b می‌توانند به‌عنوان معیارهای اصلی گزینش ارقام متحمل به شوری مورد استفاده قرار بگیرند (Siddiqi et al., 2009). شوری باعث محدودیت در جوانه‌زنی و رشد گیاهچه گلرنگ رقم گلدشت شد و استفاده از پیش‌تیمار هورمونی بذر با افزایش جذب آب در گیاه از اثرهای تنش شوری کاسته و به‌موجب آن سرعت و درصد جوانه‌زنی بذور گلرنگ را بهبود بخشید (Esanejad et al., 2016). گزارش‌های مختلف حاکی از آن است که پرایمینگ بذر با سالیسیلیک اسید باعث افزایش درصد، سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی بذر و سبز شدن گیاهچه کلزا می‌گردد (Miar Sadegi et al., 2011). کاربرد اسید سالیسیلیک (۵/۰ میلی‌مولار) به‌عنوان تنظیم‌کننده رشد، موجب افزایش مقاومت گلرنگ به تنش شوری شد و غلظت-های بالاتر موجب تشدید تنش شوری و کاهش رشد شد (Daneshmand et al., 2013). گزارش شد که تنش شوری باعث کاهش میزان و سرعت جوانه‌زنی بذور آفتابگردان شد، اما تیمار بذور با نیترات پتاسیم می‌تواند در بهبود میزان و سرعت جوانه‌زنی مؤثر باشد (Demir et al., 2006). رحیمی و همکاران (Rahimi et al., 2012) گزارش دادند که تنش شوری موجب افزایش بیوسنتز پرولین و کاهش بیوسنتز کلروفیل گلرنگ شد و پرایمینگ بذر نیز از طریق تأثیر مثبت خود بر صفات فیزیولوژیک گلرنگ، توانست تنش شوری را تا حدودی تعدیل کند. یکی از حساس‌ترین مراحل رشد گیاهان به تنش شوری مرحله جوانه‌زنی و رشد گیاهچه است؛ بنابراین هدف از اجرای این آزمایش بررسی اثر پیش‌تیمارهای اسید سالیسیلیک اسید و نیترات پتاسیم بر مؤلفه‌های جوانه‌زنی، ویژگی‌های رشد، رنگیزه‌های فتوسنتزی و پرولین دو رقم گلرنگ تحت تنش شوری بود.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در آزمایشگاه فناوری بذر دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد در سال ۱۳۹۷ انجام شد. بذور ارقام گلرنگ سال ۱۳۹۷ از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه شدند. آزمایش به‌صورت فاکتوریل سه عاملی در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش، دو رقم گلرنگ شامل (صفه‌ای اصفهان و گلدشت) تحت پرایمینگ در سه سطح (سالیسیلیک اسید ۵/۰ میلی-مولار به مدت ۲۴ ساعت، نیترات پتاسیم ۳/۰ درصد به مدت

پرایمینگ بذر اولین گام مهم در تولید گیاه است، زیرا نه‌تنها تحمل به تنش را در گیاه افزایش می‌دهد، بلکه می‌تواند سرعت جوانه‌زنی بذر و استقرار گیاهچه را نیز بهبود بخشد (Paparella et al., 2015). بسیاری از پژوهشگران کاربرد پرایمینگ بذر را به‌عنوان یک جایگزین عملی، مقرون‌به‌صرفه و کم‌خطر برای بهبود جوانه‌زنی بذر و ظهور گیاهچه با القای فعالیت متابولیکی قبل از جوانه‌زنی در شرایط تنش مناسب می‌دانند (Migahid et al., 2019). به‌نظر می‌رسد پرایمینگ تنش متوسطی را بر بذرها تحمیل می‌کند، در نتیجه یک سیستم پاسخ به تنش را فعال می‌کند و در هنگام تنش‌های بعدی، موجب مقاومت بذر در مقابل تنش می‌شود (Bhanuprakash and Yogeesh, 2016). طی فعالیت‌های متابولیکی قبل از جوانه‌زنی، ساختاری و ژنتیکی، سنتز RNA، پروتئین و آنتی‌اکسیدانی در بذر انجام و باعث جوانه‌زنی و رشد بهتر آن می‌شود (Saddiq et al., 2019). ترکیبی مانند اسید سالیسیلیک (SA) به‌عنوان مبدل سیگنال و پیام‌رسان پیشنهاد شده است، در صورت استفاده برای پرایمینگ بذر آن‌ها ممکن است تأثیرات زیادی بر رشد و نمو گیاهان داشته باشد (Abu El-Soud et al., 2013). سالیسیلیک اسید ترکیبی فنلی و هورمونی می‌باشد که به‌عنوان تنظیم‌کننده رشد داخلی نقش مهمی را در مکانیزم‌های دفاع در برابر تنش‌های زنده و غیرزنده بازی می‌کند (Zalai et al., 2000). نیترات پتاسیم به‌عنوان یکی از ترکیبات شیمیایی که به درون جنین بذر نفوذ و فعالیت متابولیکی را تحریک می‌کند و در القای جوانه‌زنی مؤثر می‌باشد (Tavili et al., 2009).

گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) گیاهی یک‌ساله و روغنی است که بومی قسمت‌های از آسیا، خاورمیانه و آفریقا می‌باشد که امروزه این گیاه بیشتر برای استخراج روغن کشت می‌شود (Fathi Amirkhiz et al., 2014). اخیراً گزارش شده است که عصاره گل گلرنگ دارای خاصیت‌های آنتی‌اکسیدان، ضدالتهاب، ضدافسردگی و همچنین ضد سرطان می‌باشد (Asgarpanah and Kazemivash, 2013). گلرنگ یکی از گیاهان زراعی نسبتاً مقاوم به شوری به‌حساب می‌آید و در شرایط شور نیز قادر به تولید محصول قابل قبولی است (Siddiqi et al., 2009). باین‌حال بردباری آن به شوری در زمان سبز شدن و رشد آغازین گیاهچه‌ای کم است (Khajehpoor, 2004). بررسی پارامترهای مناسب به‌عنوان معیار گزینش برای تحمل به شوری در ارقام مختلف

گیاهچه با قرار دادن نمونه‌ها درون آون با دمای ۶۰ درجه به مدت ۴۸ ساعت تعیین گردید (Omidi et al., 2015).

اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیکی

جهت اندازه‌گیری کلروفیل a ، b ، کل و کاروتنوئید برحسب میلی‌گرم برگرم وزن‌تر اندام هوایی، در مرحله دو تا چهار برگچه‌ای گیاهچه ۰/۲ گرم از اندام هوایی به همراه ۱۰ میلی-لیتر استن ۸۰ درصد ساییده شد. پس از ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ در دور ۱۳۰۰۰ در دقیقه آن را به حجم ۲۰ میلی‌لیتر رسانده و پس از صفر کردن دستگاه اسپکتروفتومتر UV-Vis مدل Perkin Elmer ساخت شرکت Lambda25 با استن ۸۰ درصد (شاهد) جذب عصاره حاصل در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر قرائت گردید (Arnon, 1949; Gu et al., 2008). با استفاده از اعداد به‌دست‌آمده از هر نمونه و مقدار کلروفیل a ، b ، کل و کاروتنوئید به ترتیب با استفاده از رابطه‌های زیر محاسبه شدند.

$$Ca = 12.7 (A663) - 2.69 (A645) \times V/1000W \quad [۳]$$

$$Cb = 22.9 (A645) - 2.69 (A663) \times V/1000W \quad [۴]$$

$$CT = 20.2 (A645) + 8.02 (A663) \times V/1000W \quad [۵]$$

$$Carotenoides = 100 (A470) - 3.27 (mg chl. a) - 104 (mg chl. b) / 227 \quad [۶]$$

که در آن C میزان غلظت، V حجم محلول عصاره، W وزن‌تر نمونه استفاده‌شده و A جذب نوری در طول موج‌های مختلف است.

اندازه‌گیری محتوای پرولین برگ، ابتدا ۰/۵ گرم برگ با ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوسالیسیلیک ۳٪ سائیده شد و در نهایت با کاغذ صافی صاف گردید. دو میلی‌لیتر از محلول حاصل، به دو میلی‌لیتر معرف ناین هیدرین اضافه شد و به مدت یک ساعت در حمام آب جوش در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. سپس لوله‌های محتوای محلول حاصل در یخ قرار گرفت تا سرد شدند. پس از سرد شدن به هر کدام از لوله‌ها چهار میلی‌لیتر تولوئن اضافه گردید و به مدت ۳۰ ثانیه به شدت هم زده شد. سپس جذب نور محلول روئی واکنش از طریق دستگاه اسپکتروفتومتر UV-Vis مدل Perkin Elmer ساخت شرکت Lambda25 در طول موج ۵۲۰ نانومتر با استفاده از محلول بلانک تولوئن خوانده شد. میزان پرولین بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر محاسبه شد (Bates ۱۹۷۳).

۲۴ ساعت و آب مقطر به‌عنوان شاهد) در نظر گرفته شدند و عامل شوری با چهار سطح آب مقطر به‌عنوان شاهد، ۵، ۱۰ و ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر با استفاده از نمک طبیعی دریاچه قم اعمال شد. آنالیز مواد موجود در نمک دریاچه قم نشان داد که میزان غلظت سدیم (Na^+) موجود ۱۲۸ گرم در لیتر و میزان کلر (Cl^-) موجود ۱۲۸/۷ گرم در لیتر است که باعث ایجاد تنش شوری در گیاه می‌شود. دیگر ترکیبات موجود در نمک طبیعی استفاده شده شامل پتاسیم (K) ۱/۲۳، منیزیم (Mg^{+2}) ۱۹/۵، کلسیم (Ca^{+2}) ۰/۰۸۶ و سولفات (SO_4^{-2}) ۴۸/۸ گرم در لیتر بوده است. بذرها قبل از کاشت با هیپوکلریت سدیم ۰/۵ درصد به مدت ۳ دقیقه ضدعفونی و با آب مقطر چند مرتبه شسته شدند بعد از اعمال تیمارهای پرایمینگ، بذرها در دمای اتاق به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند. در هر تیمار به تعداد ۳۰ عدد بذر داخل پتری‌دیش‌های ۹ سانتی‌متری که کف آن‌ها با کاغذ صافی واتمن پوشیده شده بود، منتقل شدند؛ و حدود ۱۰ میلی‌لیتر تیمار محلول شوری افزوده شد. به‌منظور کاهش تبخیر دور پتری‌ها با پارافیلیم بسته شدند. پتری‌ها به ژرمیناتور با دمای 25 ± 1 درجه سلسیوس با وضعیت نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی انتقال داده شدند.

اندازه‌گیری خصوصیات جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه شمارش بذره‌های جوانه‌زده از روز دوم به مدت ۷ روز به‌صورت روزانه در ساعت معینی و بر اساس خروج ریشه‌چه (دو میلی-متری) یادداشت شدند. درصد و سرعت جوانه‌زنی و میانگین مدت‌زمان جوانه‌زنی طبق (روابط ۱ و ۲) محاسبه گردید (Omidi et al., 2015).

$$GP = \frac{S}{T} \times 100 \quad [۱]$$

$$GR = \sum_{i=1}^N \frac{Si}{Di} \quad [۲]$$

در این روابط GP : درصد جوانه‌زنی، S_i : تعداد بذره‌های جوانه‌زده، T : تعداد کل بذرها، GR : سرعت جوانه‌زنی (تعداد بذر جوانه‌زده در هر روز)، S_i : تعداد بذر جوانه‌زده در هر روز، D_i : تعداد روز تا شمارش n ام و N : تعداد دفعات شمارش است.

برای اندازه‌گیری و محاسبه صفات مربوط به رشد گیاهچه بعد از ثابت شدن جوانه‌زنی (۷ روز) از هر پتری دیش به‌صورت تصادفی پنج گیاهچه انتخاب و اندازه‌گیری‌ها انجام شد. اندازه-گیری صفات طولی (طول ریشه‌چه و طول ساقه‌چه) با استفاده از خط کش بر حسب سانتی‌متر و توزین آن‌ها با استفاده از ترازو بر حسب گرم صورت گرفت. در این آزمایش، وزن خشک

تجزیه آماری

تجزیه آماری و مقایسه میانگین‌ها، با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 انجام گرفت و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD استفاده گردید.

نتایج و بحث

درصد و سرعت جوانه‌زنی

درصد جوانه‌زنی تحت تأثیر رقم، پرایمینگ، شوری و اثر برهمکنش رقم در پرایمینگ، رقم در شوری، پرایمینگ در شوری و اثر سه‌گانه رقم و پرایمینگ در شوری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). کاهش درصد جوانه‌زنی طی افزایش تنش شوری در ارقام گلرنگ مشاهده شد. استفاده از سالیسیلیک اسید به‌عنوان پیش‌تیمار بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی (۳۶/۶۶ درصد) را در رقم گلدشت و تنش شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر را در پی داشت. سالیسیلیک اسید و نیترات پتاسیم تا حدودی باعث افزایش درصد جوانه‌زنی در شرایط تنش شوری نسبت به عدم پرایمینگ شدند در بین ارقام گلرنگ، رقم صفه در شرایط عدم تنش شوری و تیمار سالیسیلیک اسید (۹۰ درصد) و رقم گلدشت در تنش ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر و عدم پرایمینگ (۲۳/۳۳ درصد) به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین درصد جوانه‌زنی را داشت (جدول ۲). سرعت جوانه‌زنی نیز تحت اثر پرایمینگ، تنش شوری و اثر متقابل رقم در پرایمینگ، رقم در شوری، پرایمینگ در شوری و رقم در پرایمینگ در شوری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). سرعت جوانه‌زنی با افزایش سطوح تنش شوری کاهش یافت، به‌طوری‌که در تنش ۱۵ دسی‌زیمنس در دو رقم گلرنگ نسبت به ۰ دسی‌زیمنس صفت سرعت جوانه‌زنی در سطوح پرایمینگ نیز کمترین مقادیر بود.

بذور رقم صفه (میانگین ۹/۱۶ بذر در روز) و رقم گلدشت (میانگین ۸/۵۷ بذر در روز) در عدم تنش شوری و کاربرد سالیسیلیک اسید به ترتیب دارای سرعت جوانه‌زنی بالایی نسبت به دیگر سطوح پرایمینگ و تنش بودند؛ و هم‌چنین رقم گلدشت در عدم پرایمینگ و تنش شوری با میانگین ۲/۶۶ بذر در روز کم‌ترین سرعت جوانه‌زنی را داشت (جدول ۲). نتایج تحقیق حاضر نشان داد که بذور پرایم شده سریع‌تر از بذور پرایم نشده جوانه می‌زند که با نتایج سیدی و همکاران (Seyedi et al., 2002) مطابقت دارد، این محققان در

مطالعه خود دریافتند که پرایم کردم باعث افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی می‌گردد. بنا به گزارش مغانی‌باشی و همکاران (Moghanibashi et al., 2012) پرایمینگ باعث افزایش درصد، سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی در شرایط تنش در گیاه آفتابگردان شد. کاهش جوانه‌زنی با افزایش تنش شوری توسط محققین بسیاری گزارش شده است (Azhdari et al., 2016; Esanejad et al., 2009). کاهش فرآیند جوانه‌زنی در اثر تنش شوری می‌تواند به کاهش جذب آب توسط بذرها ارتباط داشته باشد. سرعت جوانه‌زنی یکی از شاخص‌های مهم در ارزیابی تحمل به شوری در مرحله جوانه‌زنی است، زیرا با افزایش سرعت جوانه‌زنی شانس سبز شدن تحت شرایط تنش بیش‌تر خواهد بود (Kafi et al., 2005). اثر تحریک‌کننده و مثبت سالیسیلیک اسید بر درصد و سرعت جوانه‌زنی در شرایط تنش شوری توسط محققین دیگر نیز گزارش شده است (Kabiri et al., 2012; Kabiri et al., 2015).

طول ریشه‌چه و ساقه‌چه

طبق نتایج به‌دست‌آمده، رقم، پرایمینگ، شوری و اثر متقابل دوگانه و سه‌گانه آن‌ها تأثیر معنی‌داری بر طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول ۱). واکنش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه تحت تنش شوری در ارقام گلرنگ کاهشی بود و در تنش ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر و غلظت ۰/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید رقم گلدشت نسبت به رقم صفه طول ریشه بلندتری داشت. بیش‌ترین طول ریشه‌چه مربوط به رقم صفه در شرایط عدم تنش و پرایمینگ سالیسیلیک اسید (با میانگین ۲۵ میلی‌متر) بود و کم‌ترین طول ریشه‌چه را رقم گلدشت در عدم پرایمینگ و تنش ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر (با میانگین ۰/۹ میلی‌متر) می‌باشد. استفاده از سالیسیلیک اسید برای پرایمینگ بذور گلرنگ موجب شد که در تمامی سطوح تنش نسبت به عدم تنش شوری طول ریشه‌چه بلندتری حاصل شود (جدول ۲). رقم صفه و به دنبال آن رقم گلدشت در تیمار سالیسیلیک اسید و عدم تنش شوری دارای طول ساقه‌چه بلندتری بودند. با افزایش تنش شوری طول ساقه‌چه کاهش یافت و کاربرد پرایمینگ بذور در افزایش طول ساقه‌چه نسبت به عدم پرایمینگ مؤثر بود. رقم گلدشت در تنش ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر در تیمار سالیسیلیک اسید با میانگین (۱۸/۱ میلی‌متر) و

وزن تر و خشک گیاهچه

طبق نتایج به‌دست‌آمده، اثر رقم، پرایمینگ، شوری، رقم در پرایمینگ، رقم در شوری، پرایمینگ در شوری و رقم × پرایمینگ × شوری بر وزن تر و خشک گیاهچه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). وزن تر گیاهچه با افزایش تنش شوری در دو رقم گلرنگ و سطوح پرایمینگ کاهش یافت. بیش‌ترین کاهش وزن تر گیاهچه در سطوح تنش بالاتر مشاهده شد و تا تنش ۵ دسی‌زیمنس بر متر این میزان کاهش تا حدودی کم‌تر بود. در بین دو رقم مورد مطالعه و شرایط عدم تنش، رقم صفه با میانگین ۱/۲۵ و ۱/۲۴ گرم به ترتیب در کاربرد سالیسیلیک اسید و نیترات پتاسیم بیش‌ترین وزن تر گیاهچه و رقم گلدشت با میانگین ۰/۸۲ گرم کم‌ترین وزن تر گیاهچه را در عدم پرایمینگ داشت. در شرایط تنش شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر بیش‌ترین و کم‌ترین وزن تر گیاهچه به ترتیب مربوط به رقم‌های صفه با میانگین (۰/۴ گرم) در کاربرد سالیسیلیک اسید و رقم گلدشت با میانگین (۰/۱ گرم) در عدم پرایمینگ بود (جدول ۲).

تیمار عدم پرایمینگ با میانگین (۵ میلی‌متر) به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین طول ساقه‌چه را داشت (جدول ۲). اثرات تحریکی سالیسیلیک اسید بر رشد می‌تواند به دلایلی مانند افزایش میزان تقسیم در مناطق مرستمی و رشد سلولی باشد که موجب افزایش رشد می‌گردد و دلیل دیگر آن نیز تأثیر سالیسیلیک اسید بر سایر هورمون‌های گیاهی می‌باشد (Shakirova et al., 2003). گزارش شده است که در ذرت، پرایمینگ بذر با ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید منجر به افزایش معنی‌دار صفات طول ساقه، تعداد و سطح برگ شد (Farahbakhsh and Shamsaddin Said, 2011). تنش شوری طول ریشه‌چه و ساقه‌چه دور رقم اصفهان و پاییزه ۲۷۹ کاهش داد، تیمار سالیسیلیک اسید در غلظت ۰/۵ میلی‌مولار اثرات مخرب و منفی تنش شوری را بر رشد گیاهان گلرنگ (هر دو رقم) کاهش داد (Daneshmand et al., 2013) که در نتایج مطالعه حاضر نیز مشاهده شد.

جدول ۱. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مختلف دو رقم گلرنگ تحت تأثیر پرایمینگ و تنش شوری

Table 1. Analysis of variance (mean square) the different characteristics of safflower two Cultivars under priming and senility conditions

وزن خشک گیاهچه	طول ساقه‌چه	طول ریشه‌چه	سرعت جوانه‌زنی	درصد جوانه‌زنی	درجه آزادی	منابع تغییرات
Seedling dry weight	Shoot length	Root Length	Germination rate	Germination percentage	df	S.O.V
رقم						
Cultivar	0.04*	0.63**	0.48**	0.005 ^{ns}	98.81**	1
(C)						
پرایمینگ						
Priming (P)	0.02**	6.38**	1.85**	2.94**	493.56**	2
شوری						
Salinity (S)	0.01**	25.47**	4.54**	87.54**	10030.01**	3
رقم* پرایمینگ						
C * P	0.05**	1.43**	0.25**	3.66**	164.56**	2
رقم* شوری						
C * S	0.007**	0.54**	0.11**	0.78**	33.59**	3
پرایمینگ* شوری						
P * S	0.01**	0.83**	0.06**	0.75**	63.12**	6
رقم* پرایمینگ* شوری						
C * P * S	0.01**	0.95**	0.27**	1.01**	67.95**	6
خطا						
Error	0.000043	0.00098	0.0005	0.065	0.248	48
ضریب تغییرات (%)	0.99	1.46	1.90	4.08	0.92	
CV (%)						

Table 1. Continued

جدول ۱. ادامه

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total Chlorophyll	کارتنوئید Carotenoid	پرولین Prolin
Cultivar (C)	رقم	1	4.82**	0.77 ^{ns}	0.66 ^{ns}	267.01**	0.41**
Priming (P)	پرایمینگ	2	2.21**	7.68**	6.08**	22.50**	0.15**
Salinity (S)	شوری	3	12.71**	14.62**	11.67**	192.63**	0.87**
C * P	رقم * پرایمینگ	2	11.32**	14.97**	12.03**	237.74**	0.04**
C * S	رقم * شوری	3	3.12**	1.53**	1.25**	18.17**	0.04**
P * S	پرایمینگ * شوری	6	12.22**	13.42**	10.78**	167.12**	0.21**
C * P * S	رقم * پرایمینگ * شوری	6	3.39**	7.56**	5.94**	157.60**	0.02**
Error	خطا	48	0.12	0.36	0.28	21.33	0.001
ضریب تغییرات (%)			16.06	23.61	23.33	26.55	4.60
CV (%)							

ns و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

^{ns}, *and** respectively non-significant and significant at 5% and 1%.

اسید سبب افزایش وزن تر و خشک گیاهچه گردید (Kabiri et al., 2015).

محتوای پرولین

نتایج حاکی از تأثیر معنی‌دار رقم، پرایمینگ شوری و اثرات دوگانه و سه‌گانه آن‌ها بر محتوای پرولین در سطح احتمال یک درصد است (جدول ۱). محتوای پرولین در استفاده از تیمار پرایمینگ و سطوح تنش شوری افزایش معنی‌داری نشان داد. به‌طوری‌که بیش‌ترین محتوای پرولین بافت برگ مربوط به رقم گلدشت و پیش‌تیمار سالیسیلیک اسید در تنش ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر با میانگین ۱/۶۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بود و به دنبال آن رقم صفه‌ی اصفهان نیز در شرایط مشابه با میانگین ۱/۳۴ میلی‌گرم بر گرم بیش‌ترین افزایش را در میزان پرولین داشت. محتوای پرولین رقم گلدشت در استفاده از پیش‌تیمار سالیسیلیک اسید نسبت به عدم پرایمینگ در تمام سطوح تنش افزایش قابل‌توجهی نشان داد (جدول ۲). میزان تولید پرولین درون‌سلولی به‌منظور افزایش تحمل به تنش شوری افزایش یافت. تحت اثر شوری میزان پرولین برگ رقم گلدشت افزایش یافت و پرایمینگ بذریه نیز از

هم‌چنین وزن خشک گیاهچه تحت تأثیر تنش شوری با کاهش مواجه شد و دو رقم در تیمارهای پرایمینگ نسبت به عدم پرایمینگ دارای وزن خشک گیاهچه بیش‌تری بودند. به‌طوری‌که رقم صفه و تیمار سالیسیلیک اسید با میانگین ۰/۰۵ گرم در شرایط تنش ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر بیش‌ترین و رقم گلدشت و تیمار عدم پرایمینگ با میانگین ۰/۰۱ گرم در ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر کم‌ترین وزن خشک گیاهچه را داشت. رقم صفه در عدم تنش و غلظت ۰/۵ مولار سالیسیلیک اسید دارای بیش‌ترین وزن خشک گیاهچه (۰/۱۴ گرم) بین دو رقم موردبررسی بود (جدول ۲). در مطالعه‌ای که دمیر و همکاران (Demir et al., 2006) روی آفتابگردان انجام دادند گزارش کردند که بذور تیمار شده با نیترات پتاسیم در مقایسه با بذور شاهد، دارای وزن گیاهچه بیش‌تری بودند. در یافته‌های این پژوهش با توجه به بیش‌ترین مقدار وزن تر و خشک گیاهچه مربوط به کاربرد سالیسیلیک اسید بود، کاربرد نیترات پتاسیم نیز در دو رقم باعث افزایش وزن تر و خشک گیاهچه نسبت به عدم پرایمینگ شد و در رقم صفه دارای وزن تر و خشک بیش‌تری بود. گزارش‌شده است وزن تر و خشک ریشه‌چه و وزن تر و خشک اندام هوایی با افزایش غلظت نمک (کلرید سدیم) کاهش یافت. پیش‌تیمار بذریه سالیسیلیک

پرایمینگ بذر گیاه گلرنگ با سالیسیلیک اسید در شرایط تنش باعث افزایش میزان پرولین بافت برگ شده است (Sajedi and Sajedi, 2020).

رنگیزه‌های فتوسنتزی

نتایج حاصل نشان داد که محتوای کلروفیل a و کارتنوئید تحت تأثیر رقم، پرایمینگ، تنش شوری و همچنین اثر دوگانه و سه گانه تیمارهای مورد بررسی قرار گرفتند. اثر پرایمینگ، تنش شوری و اثر برهمکنش دوگانه و سه گانه آن‌ها بر محتوای کلروفیل b و کلروفیل کل در سطح احتمال یک درصد معنی-دار شد (جدول ۱).

طریق تأثیر مثبت خود بر محتوای پرولین گلرنگ توانست تنش شوری را تا حدودی تعدیل کند (Rahimi et al., 2012) که با یافته‌ها این پژوهش هم‌خوانی دارد. تجمع پرولین با افزایش شوری و افزایش فشار اسمزی درون سلولی، خود یکی از سازوکارهای مقاومت به شوری می‌باشد. چون در گیاهان، در واکنش به نمک و تنش خشکی، پرولین تجمع می‌یابد (Khan et al., 2009). به کارگیری سالیسیلیک اسید می‌تواند مصرف متابولیک قندهای محلول را برای شکل‌گیری ساختارهای سلولی جدید فعال سازد که خود به عنوان مکانیسمی جهت تحریک رشد و نهایتاً افزایش تجمع پرولین برگ گیاه گلرنگ و موجب کاهش اثرات تخریبی تنش شوری می‌شود (Jafari et al., 2018). گزارش شده است که

جدول ۲. مقایسه میانگین صفات تحت اثر سطوح اثر متقابل رقم × پرایمینگ × تنش شوری.

Table 2. Mean comparison of traits under interaction levels variety × priming × salinity.

رقم	پرایمینگ	شوری	درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی	طول ریشه‌چه	طول ساقه‌چه	وزن تر گیاهچه	وزن خشک گیاهچه
Cultivar	Priming	Salinity	Germination percentage	Germination rate	Root Length	Shoot length	Seedling fresh weight	Seedling dry weight
		ds/m	(%)	seed/ day	mm	mm	g	
		0	73.33e	8.01e	14f	34e	1e	0.12c
	شاهد	5	56.66i	5.81j	12h	16n	0.76j	0.08g
	Control	10	40.66n	3.25s	10j	10q	0.49n	0.06h
		15	26.66t	2.83w	4o	7t	0.21t	0.02l
صفه	۰/۵ میلی مولار	0	90a	9.16a	25a	49.5a	1.25a	0.14a
اصفهان	سالیسیلیک اسید	5	73.33e	5.56k	14f	34.6d	1.12c	0.12c
Safeh	0.5 mM SA	10	46.66k	4.4o	12h	20.6j	0.83g	0.09f
Esfehan		15	30q	3.16t	10j	17m	0.4p	0.05i
	۰/۳ درصد نیترات	0	84.78b	8.18d	18d	39.4c	1.24b	0.13b
		5	66.66g	5.9i	12h	20k	1.1d	0.11d
	پتاسیم	10	42m	4.58n	8l	12o	0.53m	0.06h
	0.3% KNO3	15	28s	3.1u	5n	8s	0.31q	0.03k
		0	70.66f	6.8g	15e	26g	0.78i	0.08g
	شاهد	5	53.33j	5.4l	13g	16n	0.67l	0.05i
	Control	10	33.33p	3.56r	9k	11p	0.31q	0.04j
		15	23.33u	2.66x	0.9p	5u	0.1u	0.01m
	۰/۵ میلی مولار	0	83.33c	8.57b	20.3b	46.5b	0.9f	0.1e
گلدشت	سالیسیلیک اسید	5	73.33e	6.96f	19c	24h	0.83g	0.09f
Goldasht	0.5 mM SA	10	43.33l	5m	14f	20k	0.42o	0.06h
		15	36.66o	4.08p	12h	18.1l	0.27r	0.02l
	۰/۳ درصد نیترات	0	80d	8.25c	11i	33f	0.82h	0.09f
		5	63.33h	6.08h	9k	21i	0.72k	0.08g
	پتاسیم	10	33.33p	3.83q	7m	16n	0.4p	0.05i
	0.3% KNO3	15	29r	3v	7m	9r	0.26s	0.02l

میانگین‌ها با حروف مشابه در هر ستون فاقد تفاوت آماری بر اساس آزمون LSD هستند.

Means with the same letters in each column are no differences according to LSD test

Table 2. Continued

جدول ۲. ادامه

رقم	پرایمینگ	شوری	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کارتنوئید	پروлін
Cultivar	Priming	Salinity	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Total Chlorophyll	Carotenoid	Prolin
		ds/m			mg/g FW		
		0	3.7d	3.28i	3.43f	20.82g	0.44u
	شاهد	5	1.81l	1.59p	1.28s	19.56i	0.55r
	Control	10	0.71s	1.3t	0.97v	14.86p	0.63o
		15	0.22u	0.5v	0.2w	6.05x	0.64n
صفه	۰/۵ میلی مولار	0	5.11a	4.71d	4.23d	25.75d	0.48t
اصفهان	سالیسیلیک	5	1.73m	4.13e	3.67e	22.18f	0.56q
Safeh	اسید	10	1.31o	3.28i	2.95j	20.5h	0.85g
Esfehan	0.5 mM SA	15	0.52t	1.32s	1.43q	15.8n	1.34c
		0	4.86b	6.44a	5.76a	30.74a	0.55r
	۰/۳ درصد	5	3.32c	3.71f	3.33g	23.03e	0.61p
	نیتрат پتاسیم	10	3.14g	3.39h	3.04i	19.37j	0.64n
	0.3% KNO3	15	2.63h	2.39k	2.15l	10.08s	0.75i
		0	2.5i	3.7g	4.37c	18.07k	0.35v
	شاهد	5	1.82k	3.1j	2.77k	12.74r	0.54s
	Control	10	0.79r	1.23u	1.1u	9.73u	0.84h
		15	0.06v	0.11w	0.1x	7.24w	0.95e
	۰/۵ میلی مولار	0	4.66c	5.92b	5.3b	29.27b	0.65m
گلدشت	سالیسیلیک	5	4.66c	1.8n	1.6o	16.55m	0.73j
Goldasht	اسید	10	0.82q	1.67o	1.49p	15.53o	1.39b
	0.5 mM SA	15	0.52t	1.48q	1.37r	13.4q	1.61a
		0	3.24f	4.88c	3.29h	26.31c	0.68l
	۰/۳ درصد	5	1.92j	2.02l	1.82m	17.09l	0.7k
	نیترات پتاسیم	10	1.42n	2.01m	1.81n	10.04t	0.88f
	0.3% KNO3	15	1.05p	1.36r	1.21t	9.57v	1.06d

میانگین‌ها با حروف مشابه در هر ستون فاقد تفاوت آماری بر اساس آزمون LSD هستند.

Means with the same letters in each column are no differences according to LSD test

در مطالعه حاضر تیمار سالیسیلیک اسید در شرایط تنش ۱۵ دسی‌زیمنس موجب افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی نسب به عدم پرایمینگ شد. طبق مشاهدات در بین دو رقم گلرنگ، بیش‌ترین میزان محتوای کلروفیل b مربوط به رقم صفه با میانگین ۶/۴۴ میلی‌گرم بر گرم در عدم تنش بود. هم‌چنین کم‌ترین محتوای کلروفیل b در تنش ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر در رقم گلدشت و در عدم پرایمینگ مشاهده شد. کاربرد سالیسیلیک اسید در رقم گلدشت و عدم تنش شوری بعد از رقم صفه در شرایط مشابه دارای ۵/۹۲ میلی‌گرم بر گرم محتوای کلروفیل b بود (جدول ۲). مطابق نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق صدیقی و همکاران (Siddiqi et al., 2009) کاهش غلظت کلروفیل را در اثر تنش شوری در برخی ارقام گلرنگ مشاهده نمودند. با افزایش تنش شوری میزان کلروفیل کل در دو رقم گلرنگ کاهش یافت و کاربرد نیترات پتاسیم و سالیسیلیک اسید موجب شد که میزان کلروفیل کل در

نتایج مقایسه میانگین دو رقم گلرنگ و پرایمینگ در تنش شوری نشان داد که افزایش شوری سبب کاهش میزان کلروفیل a در دو رقم گلرنگ شد و کاربرد پرایمینگ نیترات پتاسیم سبب افزایش بیوسنتز فتوسنتز در تنش ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر در رقم صفه شد. هم‌چنین رقم صفه در عدم تنش و تیمار سالیسیلیک اسید دارای بیش‌ترین محتوای کلروفیل a بود (جدول ۲). دلایل دیگر بهبود پارامترهای رشد تحت تأثیر تیمار سالیسیلیک اسید می‌توان تأثیر سالیسیلیک اسید بر دستگاه فتوسنتزی و حفاظت از دستگاه فتوسنتزی، مقدار فتوسنتز، فعالیت آنزیم روبیسکو، مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی، هدایت روزنه‌ای، سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی، کاهش تنش اکسیداتیو و نشت یونی، افزایش همبستگی غشاهای زیستی، متابولیسم نیتروژن و تغذیه معدنی گیاه را نام برد که در مطالعات مختلف به آن‌ها اشاره شده است (Popova et al., 2009).

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج نشان داد که تنش شوری موجب کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، وزن تر و خشک گیاهچه در هر دو رقم گلرنگ شد. اثرات منفی تنش شوری در شاخص‌های فیزیولوژیک شامل کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی بود. هم‌چنین تنش شوری میزان پرولین تحت تأثیر قرارداد و باعث افزایش میزان این صفت شد. رقم صفه تحت تنش شوری با کاربرد سالیسیلیک اسید تحمل بهتری به نسبت به رقم گلدشت داشت. هم‌چنین پیشنهاد می‌شود که صفات کمی و کیفی ارقام گلرنگ مورد بررسی در شرایط مزرعه تحت تنش شوری و پرایمینگ تا مراحل عملکرد و اجزای عملکرد مورد ارزیابی قرار گیرد. تا بتوان با اطمینان بیشتری ارقام مناسب کشت در مناطق دارای خاک شور را توصیه کرد.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از مسئولین آزمایشگاه فناوری بذر دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه شاهد تشکر و قدردانی می‌گردد.

شرایط تنش ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به عدم پرایمینگ در این سطح تنش افزایش پیدا کند. رقم صفه در کاربرد نیترات پتاسیم با میانگین ۵/۷۶ میلی‌گرم بر گرم و در تیمار عدم پرایمینگ با میانگین ۳/۲۹ میلی‌گرم بر گرم به ترتیب دارای بیش‌ترین و کم‌ترین میزان کلروفیل کل بودند (جدول ۲). سالیسیلیک اسید نقش مهمی در تعدادی از فرآیندهای رشدی و فعالیت‌های فیزیولوژیک گیاه ایفا می‌کند. افزایش در محتوای کلروفیل با کاربرد سالیسیلیک اسید یک میلی‌مولار برای گیاه جو گزارش شده است (El-Tayeb, 2006) که با نتایج این آزمایش نیز هم‌خوانی داشت. کارتنوئیدها به‌عنوان آنتی‌اکسیدان‌های بیولوژیکی نقش بسیار مهمی در حفاظت از بافت گیاهی ایفا می‌نمایند. عدم حضور کارتنوئیدها ممکن است باعث آسیب فتواکسیداتیو شدید در بافت گیاهی گردد (Gill and Tuteja, 2010). میزان کارتنوئید با افزایش شوری کاهش پیدا کرد و این کاهش کارتنوئید در عدم پرایمینگ در دو رقم گلرنگ بیش‌تر بود. بیش‌ترین و کم‌ترین میزان کارتنوئید به ترتیب در رقم صفه در عدم تنش با میانگین (۳۰/۷۴ میلی‌گرم بر گرم) و در تنش ۲۰ دسی-زیمنس بر متر (۶/۰۵ میلی‌گرم بر گرم) در کاربرد نیترات پتاسیم مشاهده شد (جدول ۲).

منابع

- Abu El-Soud, W., Hegab, M.M., Abd Elgawad, H., Zinta, G., Asard, H., 2013. Ability of ellagic acid to alleviate osmotic stress on chickpea seedlings. *Plant Physiology Biochemistry*. 71, 173-183. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2013.07.007>
- Arnon, D.I., 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts poly phenol oxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*. 24, 1-15. <https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1>
- Arzani, A., 2008. Improving salinity tolerance in crop plants: A biotechnological view. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*. 44, 373-383. <https://doi.org/10.1007/s11627-008-9157-7>
- Asgarpanah, J., Kazemivash, N., 2013. Phytochemistry, pharmacology and medicinal properties of *Carthamus tinctorius* L. *Chinese Journal of Integrative Medicine*. 19, 153-159. <https://doi.org/10.1007/s11655-013-1354-5>
- Azhdari, G.H., Tavili, A., Zare, M.A., 2009. Effects of various salts on the germination of two cultivars of *Medicago sativa*. *Frontiers of Agriculture in China*. 4, 63-68. <https://doi.org/10.1007/s11703-009-0078-y>
- Bates, L.S., Waldern, R.P., Teave, I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*. 39, 205-207. <https://doi.org/10.1007/BF00018060>
- Bhanuprakash, K., Yogeesha, H.S., 2016. Seed priming for abiotic stress tolerance: an overview. In: Srinivasa Rao, N.K., Shivashankara, K.S., Laxman, R.H. (eds.), *Abiotic Stress Physiology of Horticultural Crops*. New Delhi: Springer India. pp. 103-117.
- Bojović, B., Đelić, G., Topuzović, M., Stanković, M., 2010. Effects of NaCl on seed germination in some species from families Brassicaceae and Solanaceae. *Kragujevac Journal Science*. 32, 83-87.
- Daneshmand, F., Arvin, M.J., Keramat, B., 2013. Salicylic acid induced changes in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under salinity stress.

- Journal of Plant Research. 27, 204-215. [In Persian with English Summary].
- Demir Kaya, M., Gamze Okc, U., Atak, M., Yakup, C., 2006. Seed treatments to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). European Journal Agronomy. 24, 291-295 <https://doi.org/10.1016/j.eja.2005.08.001>
- El-Tayeb, M.A., 2005. Response of barley gains to the interactive effect of salinity and salicylic acid. Plant Growth Regulation. 45, 215-225. <https://doi.org/10.1007/s10725-005-4928-1>
- Esanejad, N., Omid, H., Paraver, A., 2016. Effect of safflower seeds priming with abscisic and gibberellic acid on germination indices in salinity stress condition. Agroecology Journal. 11, 11-1. [In Persian with English Summary].
- Fathi Amirkhiz, K., Amini Dehaghi, M., Heshmati, S., 2014. Effect of iron application methods on grain yield, yield components, oil content and fatty acids profile of spring safflower cv. Goldasht under deficit irrigation conditions. Iranian Journal of Crop Sciences. 16, 308-321. [In Persian with English Summary].
- Gill, S.S., Tuteja, N., 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. Plant Physiology and Biochemistry. 48, 909-930. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016>
- Gu, Z., Chen, D., Han, Y., Chen, Z., Gu, F., 2008. Optimization of carotenoids extraction from *Rhodobacter sphaeroides*. Learning With Technologies. 41, 1082-1088. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.07.005>
- Jafari, L., Yadavi, A., Movahedi Dehnavi, M., Balouchi, H., Maghsoudi, E., 2018. The effect of ascorbic acid and salicylic acid on some physiological characteristics of safflower under salinity stress. Plant Production Technology. 10, 69-80. [In Persian with English Summary].
- Javadipour, Z., Movahhedi Dehnavi, M., Balouchi, H.R., 2011. Comparison of photosynthesis parameters and leaf chlorophyll content and fluorescence of safflower cultivars under saline conditions. Journal of Crop Production. 6, 35-56. [In Persian with English Summary].
- Kabiri, R., Naghizadeh, M., 2015. Study the effect of salicylic acid pretreatment on germination and early growth of black cumin (*Nigella sativa*) under salinity stress. Iranian Journal of Seed Science and Technology. 4, 61-72. [In Persian with English Summary].
- Kabiri, R., Farahbakhsh, H., Nasibi, F., 2012. Effect of drought stress and its interaction with salicylic acid on black cumin (*Nigella sativa*) germination and seedling growth. World Applied Sciences Journal. 18, 520-527. <https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2012.18.04.878>
- Kafi, M., Nezami, A., Hoseyni, H., Masoomi, A., 2005. Physiological effects of drought stress by polyethylene glycol on germination of lentil (*Lens culinaris* Medik.) genotypes. Iranian Journal of Field Crops Research. 3, 69-80. [In Persian with English Summary].
- Khajehpoor, M.R., 2004. Industrial Crops. Jahad Daneshgahi. Industrial University of Isfahan. Isfahan. 272p. [In Persian].
- Khan, M.A., Shirazi, M.U., Khan, M.A., Mujtaba, S.M., Islam, E., Mumtaz, S., Shereen, A., Ansari R.U., Yasin Ashraf, M., 2009. Role of proline, K/Na ratio and chlorophyll content in salt tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.). Pakistan Journal of Botany. 41, 633-638.
- Miar Sadegi, S., Shekari, F., Fotovet, R., Zangani, E., 2011. The effect of priming by salicylic acid on vigor and seedling growth of canola (*Brassica napus*) under water deficit condition', Iranian Journal of Plant Biology. 2, 55-70. [In Persian with English Summary].
- Moghanibashi, M., Karimmojeni, H., Nikneshan, P., Behrozi, D., 2012. Effect of hydropriming on seed germination indices of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under salt and drought conditions. Plant Knowledge Journal. 1, 10-15. [In Persian with English Summary].
- Omid, H., Naghdi Badi, H.A., Jafarzadeh, L., 2015. Seeds of medicinal plants and crops. Shahed University Press. Tehran. 454p. [In Persian].
- Paparella, S., Araujo, S.S., Rossi, G., Wijayasinghe, M., Carbonera, D., Balestrazzi, A., 2015. Seed priming: state of the art and new perspectives. Plant Cell Reports. 34, 1281-1293. <https://doi.org/10.1007/s00299-015-1784-y>
- Popova, L.P., Maslenskova, 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. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2008.11.007>
- Rahimi, A., Dashti, H., Zibai, S., 2012. Effects of seed priming on some physiological traits of safflower (*Carthamus tinctorius* L., cv. Goldasht) under salinity stress. Journal of Crop Production and Processing. 2, 1-15. [In Persian with English Summary].
- Saadat, S., Homae, M., 2015. Modeling sorghum response to irrigation water salinity at early growth stage. Agricultural water management. 152, 119-124. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.01.008>
- Saddiq, M.S., Iqbal, S., Afzal, I., Ibrahim, A.M.H., Bakhtavar, M.A., Hafeez, M.B., Maqbool, J., Maqbool, M.M., 2019. Mitigation of salinity stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings through physiological seed enhancements. Journal of Plant Nutrition. 42, 1-13. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1609509>
- Sajedi, A., Sajedi, N.A., 2020. Effect of application biochar and priming and foliar application with water and salicylic acid on physiological traits of dry land safflower. Environmental Stresses in Crop Sciences. 13, 155-169. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.22077/escs.2019.1823.1426>
- Seyedi, M., Hamzei, J., Bourbour, A., Dadrasi, V., Sadeghi, F., 2002. Effect of hydro-priming on germination properties and seedling growth of the safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under drought stress. Agronomy Science. 5, 63-76. [In Persian with English Summary].
- Shakirova, F.M., Sakhabutdinova, A.R., Bezrukova, M.V., Fathutdinova, R.A., Fathutdinova, D.R., 2003. Changes in hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. Plant Science. 164, 317-322. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(02\)00415-6](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00415-6)
- Siddiqi, E.H., Ashraf, M., Hussain, M., Jamil, A., 2009. Assessment of inter-cultivar variation for salt tolerance in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) using gas exchange characteristics as selection criteria. Pakistan Journal of Botany. 41, 2251-2259.
- Migahid, M.M., Elghobashy, R.M., Bidak, L.M., Amin, A.W., 2019. Priming of *Silybum marianum* L. Gaertn seeds with H₂O₂ and magnetic field ameliorates seawater stress. Heliyon. 5, e01886. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01886>
- Munns, R., Tester, M., 2008. Mechanisms of salinity tolerance. Annual Review of Plant Biology. 59, 651-681. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>
- Tahjib-Ul-Arif, M., Roy, P.R., Sohag, A.A.M., Afrin, S., Rady, M.M., Hossain, M.A., 2018. Exogenous calcium supplementation improves salinity tolerance in BRRI Dhan28; a salt susceptible high-yielding *Oryza sativa* cultivar. Journal of Crop Science and Biotechnology. 21, 383-394. <https://doi.org/10.1007/s12892-018-0098-0>
- Tavili, A., Safari, B., Saberi, M., 2009. Comparing effect of gibberellic acid and potassium nitrate application on germination enhancement of *Salsola rigida*. Rangeland. 3, 280-272. [In Persian with English Summary].
- Wang, W.B., Kim, Y.H., Lee, H.S., Kim, K.Y., Deng, X.P., Kwak, S.S., 2009. Analysis of antioxidant enzyme activity during germination of alfalfa under salt and drought stresses. Plant Physiology Biochemistry. 47, 570-577. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2009.02.009>
- Zalai, G., Tari, I., Janda, T., Pestenác, A., Páldi, E., 2000. Effects of cold acclimation and salicylic acid on changes in ACC and MACC contents in maize during chilling. Biology of Plant. 43, 637-640. <https://doi.org/10.1023/A:1002824721597>