علوم و تحقیقات بذر ایران
سال یازدهم/ شماره سوم/ ۱۴۰۳ (۴۹ - ۳۷)
مقاله پژوهشی
DOI: 10.22124/jms.2024.8791

تأثیر اتیلن روی جوانه‌زنی و رشد هتروتروفی گیاهچه‌های گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) تحت تنش شوری

نگین امن‌زاده قوجه بگلو[۱]، محمد صدقی*[۲]، رئوف سید شریفی[۳]، هانیه سعادت[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۹/۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۳

چکیده

به منظور بررسی تأثیر سطوح مختلف اتیلن روی خصوصیات جوانه‌زنی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در گلرنگ تحت تنش شوری، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا" تصادفی با سه تکرار در آزمایشگاه زراعت دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۲ انجام شد. تیمارها شامل چهار سطح مختلف شوری (صفر، ۱۵۰، ۳۰۰، ۴۵۰ میلی‌مولار نمک کلرید سدیم) و پنج سطح مختلف اتیلن (صفر، ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲ در هزار) بود. نتایج نشان داد که تنش شوری درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و وزن خشک گیاهچه را کاهش داد، ولی تیمار با سطوح مختلف اتیلن، به‌ویژه غلظت ۲ در هزار، اثرات تنش شوری بر این صفات را تعدیل کرد. تنش شوری میانگین مدت جوانه‌زنی را افزایش داد به‌طوری‌که بیش‌ترین میانگین مدت جوانه‌زنی (۲/۱۹ روز) مربوط به تیمار با آب مقطر و شوری ۴۵۰ میلی‌مولار بود. تیمار با اتیلن غلظت ۲ در هزار و بدون تنش شوری طول گیاهچه را افزایش داد و بیشترین طول گیاهچه (۴/۰۷ سانتی‌متر) در این تیمار مشاهده شد. بیش‌ترین فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسیددیسمیوتاز، میزان عنصر سدیم، نسبت سدیم به پتاسیم و مالون‌دی‌آلدئید در تیمار با آب مقطر و شوری ۴۵۰ میلی‌مولار مشاهده گردید. بیش‌ترین فعالیت آنزیم پراکسیداز (۱/۸۴ واحد میلی‌گرم بر پروتئین) در تیمار اتیلن با غلظت ۱ در هزار و بیش‌ترین مقدار پتاسیم (۳۳/۴۵ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم وزن خشک) در غلظت اتیلن ۱/۵ در هزار مشاهده شد. تیمار با اتیلن موجب تقویت شاخص‌های جوانه‌زنی، شاخص‌های رشد و صفات بیوشیمیایی بذرهای گلرنگ تحت تنش شوری شد و رشد گیاهچه را افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: پتاسیم، سدیم، سوپراکسیددیسمیوتاز، کاتالاز، مالون‌دی‌آلدئید

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و تکنولوژی بذر، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. neginamanzadeh.official@gmail.com
۲- استاد، گروه مدیریت تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. m_sedghi@uma.ac.ir
۳- استاد، گروه مدیریت تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. rssharifi@yahoo.com
۴- دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. t.saadat2020@gmail.com
*نویسنده مسئول: m_sedghi@uma.ac.ir

مقدمه

گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) یک گیاه یکساله، با عادت رشد نامحدود و سازگار به شرایط اقلیمی ایران است. حدود ۲۵ تا ۴۵ درصد دانه گلرنگ را روغن و ۱۲ تا ۲۴ درصد را پروتئین تشکیل می‌دهد (Zeinali, 1999; Khajehpour, 2004; Wolf, 2000). گلرنگ جزء گیاهان زراعی بومی ایران بوده و اهمیت زیادی در تأمین روغن دارد. یکی از نشانه‌های سازگاری بالای گلرنگ با شرایط آب و هوایی ایران، وجود توده‌های محلی و انواع تیپ‌های وحشی این گیاه است که در سراسر ایران پراکنده است (Zeinali, 1999). این گیاه در برابر تنش‌های شوری متحمل می‌باشد (Khajehpour, 2004). از مزایای گلرنگ می‌توان به این اشاره کرد که از دانه آن به‌عنوان مسهل، از گل‌های آن به‌عنوان ماده‌ای خلط آور و در رنگ کردن مواد غذایی، داروها و نوشیدنی‌ها استفاده می‌شود. در صنایع دارویی، آرایشی و بهداشتی روغن اشباع نشده دانه‌ی گلرنگ مصرف می‌شود (Zhou *et al.*,2023).

یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد و عملکرد گیاهان به خصوص در نواحی خشک و نیمه‌خشک، شوری می‌باشد. این تنش از طریق ایجاد تغییرات مورفولوژیک، بیوشیمیایی و آناتومیک بر جنبه‌های مختلف رشد و نمو گیاه تأثیر می‌گذارد و شدت خسارت آن بسته به مرحله رشدی گیاه و طول مدت متفاوت است (Siringam *et al.*, 2011). در محیط‌های شور، آثار منفی شوری بر گیاهان ناشی از اثرات اسمزی شوری و اثر سمیت یونی ناشی از یون‌های مضر مانند سدیم و کلر است (Marschner, 2011). صابرعلی و مرادی (Saberali and Moradi, 2019) طی پژوهش‌های انجام شده بر چهار گیاه مختلف به این نتیجه رسیدند که تنش شوری اثرات منفی روی جوانه‌زنی و رشد گیاهچه داشت. نتایج پژوهش‌های عیسی‌نژاد و همکاران (Esanejad *et al.*, 2015) نشان داد که افزایش سطوح شوری شاخص‌های جوانه‌زنی و همچنین وزن خشک گیاهچه گلرنگ را کاهش داد. طبق تحقیقات مختلف، شوری باعث کاهش شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در گیاهان مختلف می‌شود (Saadat *et al*., 2024; Saadat *et al*., 2023a; Saadat *et al*., 2023b; Saadat *et al*., 2023c).

هورمون گازی اتیلن بر بسیاری از جنبه‌های فیزیولوژیک گیاهی از جمله رشد گیاهی، کنترل رسیدن، ریزش و پیری برگ، تولید مثل و پاسخ به برخی تنش‌ها تاثیر دارد (Yang and Hoffman, 1984; Kieber, 1997). نقش اتیلن در فرآیند گره‌زایی در همزیستی ریزوبیوم_ لگوم به اثبات رسیده است (Fahimi, 1997; Grichko and Glick, 2001). عواملی چون دوره رشد و نمو گیاهان، میزان تولید اتیلن را تحت تأثیر قرار می‌دهد و در پاسخ به محرک های محیطی زنده و غیر زنده تغییر می‌کند. از جمله این محرک‌ها می‌توان به ایجاد زخم، میزان ازون، تنش سرما یا یخزدگی، کمبود اکسیژن در بافت اشاره کرد (Stepanova and Ecker, 2000). مکانیسم‌های اساسی که تعیین می‌کنند، آیا اتیلن اثر مثبت یا منفی بر پاسخ به تنش‌های غیرزیستی در گیاهان مختلف ایجاد می‌کند هنوز به طور کامل شناخته نشده است. طبق گزارش هارتمن و همکاران (Hartman *et al.,* 2019) بقای گیاه آرابیدوپسیس به وسیله پرایمینگ با اتیلن تنها به مدت ۴ ساعت می‌تواند به طور موثر افزایش یابد.

هدف از انجام این تحقیق، بررسی تأثیر سطوح مختلف اتیلن بر شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه گلرنگ در واکنش به تنش شوری بود.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر سطوح مختلف اتیلن روی خصوصیات جوانه‌زنی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در گلرنگ تحت تنش شوری، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار در آزمایشگاه زراعت دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۲ انجام شد. تیمارها شامل چهار سطح مختلف شوری (صفر، ۱۵۰، ۳۰۰، ۴۵۰ میلی‌مولار) حاصل از نمک کلرید سدیم و پنج سطح مختلف اتیلن (صفر، ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲ در هزار) بود. تعداد ۵۰ بذر در هر ظرف آزمایش قرار داده شد و پس از اعمال تیمارهای شوری و اتیلن بر اساس سطوح آزمایش، ظرف‌ها به داخل ژرمیناتور با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد منتقل شد. در این مرحله از آزمون، شمارش بذرها یک روز پس از انتقال بذرها به محیط‌های کشت آغاز و تا ثابت شدن جوانه‌زنی یعنی ۸ روز پس از کاشت ادامه یافت. بذرهایی به عنوان بذر جوانه زده تلقی شد که ریشه چه به اندازه ۲ میلی‌متر از پوسته خارج می‌شد. برای خشک

کردن گیاهچه از آون با دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد استفاده شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک گیاهچه از ترازو با دقت یک هزارم و طول گیاهچه با خط‌کش اندازه‌گیری شد. برای محاسبه درصد جوانه‌زنی از رابطه ۱(Omidi *et al.*, 2014)، سرعت جوانه‌زنی از رابطه ۲ (Ellis and Roberts, 1980) و میانگین مدت جوانه‌زنی از رابطه۳ (Omidi *et al*., 2014) استفاده شد.

$$GP = (N \times 100)/M \quad \text{(رابطه ۱)}$$

N: تعداد بذر جوانه‌زده، M :تعداد کل بذور

$$GR = \sum_{i}^{N} = Si/Di \quad \text{(رابطه ۲)}$$

GR: سرعت جوانه‌زنی (Si: تعداد بذرهای جوانه‌زده در هر روز، Di: تعداد روز تا شمارش nام)

$$MGT = \sum(Ni)/\sum(N) \quad \text{(رابطه ۳)}$$

N: تعداد دفعات شمارش، Ni: تعداد بذور جوانه‌زده جهت تعیین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در گلرنگ، گیاهچه‌ها در داخل ژرمیناتور در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در داخل ظرف رشد داده شدند و پس از باز شدن برگ‌های اولیه از هر تیمار چند گیاهچه به تصادف انتخاب و پس از قرار دادن در فویل آلومینیومی، تا زمان استخراج عصاره آنزیمی به فریزر با دمای۲±۷۰- درجه سلسیوس منتقل گردیدند. ۰/۵ گرم نمونه از هر تیمار به منظور استخراج عصاره آنزیمی توزین و در داخل هاون چینی که از قبل در یخچال نگهداری شده بود با استفاده از نیتروژن مایع هموژن گردید و پس از آن ۵ میلی لیتر از بافر فسفات سرد با PH=7 حاوی ۰/۵ میلی مولار EDTA به هاون اضافه شد سپس هموژن‌ها به اپندورف های ۲ میلی متری منتقل شدند و در Rpm۱۵۰۰۰ با دمای ۴ درجه سانتی گراد به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شدند. روشناور حاصل به سه قسمت تقسیم شد تا از اثر مضر انجماد و ذوب متوالی نمونه‌ها پیشگیری شود و سپس، تا زمان اندازه‌گیری آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد (Sairam *et al.*, 2002).

به منظور سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز از روش (Aebi, 1984) استفاده و تغییرات جذب در طول موج ۲۴۰ نانومتر در مدت یک دقیقه ثبت گردید، از روش (Macadam *et al.*, 1992) برای سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز استفاده و تغییرات جذب در طول موج ۴۷۰ نانومتر و به کمک دستگاه اسپکتوفتومتر اندازه‌گیری شد. فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسمیوتاز به کمک روش (Giannopolitis and Ries, 1977) سنجش و تغییرات جذب در طول موج ۵۶۰ نانومتر ثبت گردید و در نهایت فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی بر حسب واحد میلی گرم بر پروتئین گزارش گردید. به منظور تعیین میزان سدیم و پتاسیم در گیاهچه، قسمت‌های خشک شده گیاهچه جدا شده و پس از آسیاب از الک ۲ میلی متر عبور داده شدند. مواد خشک شده با اسید سولفوریک و هیدروژن پر اکسید هضم شدند و در نهایت با کمک دستگاه فلیم فتومتر (نورسنج نشر شعله‌ای) میزان این عناصر اندازه گیری شد (FaithFull, 2002). به منظور اندازه‌گیری مالون‌دی‌آلدئید نمونه‌های منجمد به میزان ۰/۲ گرم در ۳ میلی لیتر TCA (تری کلرو استیک اسید) ۱۰ درصد عصاره گیری شدند سپس به یک میلی لیتر از سوسپانسیون صاف شده یک میلی لیتر TBA (تیوباربی توریک اسید) ۰/۵ درصد اضافه شد و در حمام آب گرم به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد قرار گرفت. لوله‌ها پس از گذشت ۳۰ دقیقه از حمام آب گرم خارج شده و پس از سرد شدن میزان مالون‌دی‌آلدئید با اندازه‌گیری جذب در طول موج‌های ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر و با استفاده از ضریب خاموشی ($£=155\mu M^{-1}Cm$) بر حسب میکرومول بر گرم وزن تر، محاسبه شد (De Vos *et al*., 1991).

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS 9.4 و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گردید. برای ترسیم شکل‌ها و نمودارها از برنامه Excel 2016 استفاده شد.

نتایج و بحث

درصد جوانه‌زنی: نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که اثر ساده هر دو عامل شوری و اتیلن بر روی درصد جوانه‌زنی معنی دار بود. به طوری که اثر تیمار اتیلن با سطح احتمال پنج درصد و تنش شوری با سطح احتمال یک درصد بر روی درصد جوانه‌زنی معنی‌دار شد (جدول ۱). بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی (۹۱ درصد) مربوط به تیمار اتیلن با غلظت ۲ در هزار و کمترین درصد جوانه‌زنی (۸۲/۵ درصد) مربوط به استفاده از آب مقطر به عنوان تیمار بود (جدول ۲). تنش شوری درصد جوانه‌زنی را کاهش داد به‌طوری که بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی (۹۱/۲۳درصد) به سطح شوری صفر و کمترین درصد جوانه‌زنی به سطح شوری ۴۵۰ میلی مولار

تعلق داشت (جدول ۳). اتیلن در غلظت‌های کم سبب تحریک جوانه‌زنی می‌شود و در غلظت‌های بیش‌تر اثر بازدارندگی دارد. شوری تعادل بین هورمون‌های گیاهی را به هم می‌زند. برای مثال، سبب کاهش هورمون اکسین، سیتوکینین، اسید جیبرلیک و اسید سالیسسلیک می‌شود و مقدار اسیدآبسیزیک و جاسمونات را در بافت گیاه افزایش داده و در نتیجه باعث آسیب به جوانه‌زنی بذر می‌شود (Ibrahim, 2016). اثرات مثبت اتیلن بر کاهش اثرات بازدارنده تنش شوری در مطالعات دیگر نیز گزارش شده است. به طور مثال اتیلن در جوانه‌زنی بذر یونجه تحت تنش شوری نقش مثبتی داشت (Wang *et al*., 2020). اتیلن به عنوان یک واسطه مثبت اساسی برای تحمل شوری در انگور، ذرت و گوجه‌فرنگی گزارش شده است (Charbi *et al*., 2017; Freitas *et al*., 2018; Xe *et al*., 2019). تیمار غلظت‌های مختلف اتیلن (۳۰، ۴۵، ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر) به طور قابل توجهی درصد جوانه‌زنی *Sorbus pohuashanensis* را بهبود بخشید (Wang *et al*., 2023).

سرعت جوانه‌زنی: طبق بررسی نتایج، اثر ساده هر دو عامل اتیلن و تنش شوری در سطح احتمال یک درصد بر روی سرعت جوانه‌زنی معنی‌دار شد، اما اثر متقابل هر دو عامل معنی‌دار نبود (جدول ۱). بیش‌ترین سرعت جوانه‌زنی (۰/۹۳۱ بذر در روز) مربوط به تیمار اتیلن با غلظت ۲ در هزار و کمترین (۰/۶۴۰ بذر در روز) به تیمار با آب مقطر تعلق داشت (جدول ۲). اعمال تنش شوری سرعت جوانه‌زنی را کاهش داد، بیش‌ترین سرعت جوانه‌زنی (۰/۹۱۲ بذر در روز) در سطح شوری صفر و کمترین سرعت جوانه‌زنی (۰/۷۳۸ بذر در روز) در سطح شوری ۴۵۰ میلی مولار مشاهده گردید (جدول ۳). تنش شوری سبب کاهش در سرعت جوانه‌زنی می‌شود. سرعت جوانه زدن تعداد مناسب بذر و استقرار آن‌ها در مدت زمانی که شرایط محیطی مناسب باشد یکی از مهم‌ترین جنبه‌های زراعی استقرار گیاهچه می‌باشد (Ajmal khan and Gulzar, 2003). با افزایش غلظت نمک سرعت جوانه‌زنی کاهش می‌یابد که می‌تواند ناشی از تنش خشکی فیزیولوژیک باشد. کاهش سرعت اولیه جذب آب باعث می‌شود که تنش خشکی فیزیولوژیک کلیه شاخص‌های رشد را کاهش دهد (). یکی از شاخص‌های مهم در ارزیابی تحمل به شوری در مرحله جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی می‌باشد زیرا افزایش سرعت جوانه‌زنی شانس سبز شدن در شرایط تنش را بیش‌تر خواهد کرد (Kafi *et al.,* 2005). تیمار با اتیلن غلظت ۲ در هزار اختلاف معنی‌داری نسبت به تیمار با آب مقطر بر روی سرعت جوانه‌زنی داشت. به نظر می‌رسد اتیلن در تسهیل جوانه‌زنی بذر در خاک دخالت دارد. بنابراین، افزودن اتیلن در این آزمایش سبب افزایش سرعت و درصد جوانه‌زنی شده است. طبق پژوهش‌های ونگ و همکاران (Wang et al., 2020) روی گیاهچه یونجه (*Medicago Sativa* L.) تیمار اتیلن سرعت جوانه‌زنی را تحت تنش شوری افزایش داد.

میانگین مدت جوانه‌زنی: اثر ساده اتیلن و شوری در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل هر دو عامل در سطح احتمال پنج درصد روی میانگین مدت جوانه‌زنی معنی‌دار شد (جدول ۱). بیش‌ترین میانگین مدت جوانه‌زنی (۲/۱۹ روز) به تیمار با آب مقطر و شوری ۴۵۰ میلی مولار و کمترین میانگین مدت جوانه‌زنی (۱ روز) به تیمار با اتیلن غلظت ۲ در هزار و بدون شوری تعلق داشت (جدول ۴). هر قدر میانگین مربوط به مدت جوانه‌زنی بیشتر باشد نشان می‌دهد که بذرها برای جوانه‌زنی به مدت زمان زیادی نیاز دارند و بر عکس این موضوع هم صادق است، اگر در جذب آب توسط بذر اختلالی به وجود آید فعالیت‌های متابولیک جوانه‌زنی در بذر آهسته صورت می‌گیرد و در نتیجه مدت زمان لازم برای خروج ریشه‌چه از بذر افزایش می‌یابد، تحت تنش شوری جذب آب توسط بذر کاهش می‌یابد و جذب یون‌های اضافی سبب ایجاد پتانسیل اسمزی می‌شود و در نهایت مدت زمان خروج ریشه چه افزایش می‌یابد (Makar *et al*., 2009). اعمال تیمار اتیلن با غلظت ۲ در هزار مدت زمان مورد نیاز برای جوانه‌زنی بذور گلرنگ را نسبت به شاهد کاهش داد.

وقتی مدت جوانه‌زنی افزایش یابد، به این معنی است که بذرها به زمان بیشتری برای شروع جوانه‌زنی نیاز دارند. اگر سرعت جوانه‌زنی افزایش یابد، باید مدت جوانه‌زنی کاهش یابد. اما شرایطی وجود دارد که تحت آن ممکن است این انتظار برآورده نشود: ۱) در بررسی جوانه‌زنی تک بذر (تک‌نوازی تحلیلی) گاهی مشاهده می‌شود که برخی از بذرها دیرتر از سایر بذرهای توده جوانه می‌زنند و با وجودی که سرعت جوانه‌زنی کل افزایش نشان می‌دهد، ولی میانگین مدت جوانه‌زنی هم بیشتر می‌شود. ۲) در شرایط تنش، محرک‌هایی مانند اتیلن موجب جوانه‌زنی سریعتر برخی از

بذرها می‌شود، در حالی که روی سایر بذرها اثری ندارد و این امر میانگین مدت جوانه‌زنی را افزایش می‌دهد. ۳) شرایط محیط جوانه‌زنی مانند دما و وطوبت گرچه در آزمایش جوانه‌زنی استاندارد برای همه بذرها یکسان در نظر گرفته می‌شود، ولی این عوامل اثر واقعی یکسانی بر بذرها ندارند و برخی بذرها حساسیت بیشتری به این عوامل نشان می‌دهند و در نتیجه مدت جوانه‌زنی آن‌ها بیشتر می‌شود. به طور کلی، در شرایط ایده‌ال، باید با افزایش سرعت جوانه‌زنی، مدت آن کاهش یابد. هرگونه افزایش هم‌زمان در این دو متغیر ممکن است به دلیل وجود عوامل دیگر (نظیر تنش‌های محیطی یا تنوع در بذرها) باشد که بر روی فرآیند جوانه‌زنی تأثیر می‌گذارد. بنابراین، اطلاعاتی که از اندازه-گیری سرعت و مدت جوانه‌زنی حاصل می‌شود، بسته به شرایط آزمایش و ماهیت تک تک بذرها می‌تواند یکسان یا متفاوت باشد (Copeland and McDonald, 2001; Baskin and Baskin, 2014).

طول گیاهچه: نتایج نشان داد که اثر ساده اتیلن و تنش شوری و اثر متقابل هر دو عامل در سطح احتمال یک درصد بر روی طول گیاهچه معنی‌دار شد (جدول ۱). استفاده از تیمار اتیلن با غلظت ۲ در هزار تأثیر مثبتی روی طول گیاهچه داشت. تیمار اتیلن با غلظت ۲ در هزار و بدون تنش شوری طول گیاهچه را افزایش داد و بیش‌ترین طول گیاهچه (۴/۰۷ سانتی‌متر) گزارش گردید و کمترین (۱/۲۲ سانتی‌متر) در تیمار با آب مقطر و شوری ۴۵۰ میلی مولار مشاهده گردید. افزایش غلظت نمک سبب منفی شدن پتانسیل اسمزی آب می‌شود که جذب آب توسط جنین سخت‌تر می‌شود و افت جوانه‌زنی و بنیه بذر رخ می‌دهد و شوری زیاد مانع طویل شدن محور جنینی می‌شود و در نتیجه طول گیاهچه کاهش می‌یابد (Poljakoff_Maybere *et al.*, 1994). اتیلن به عنوان یک عامل رشد گیاهی عمل می‌کند و می‌تواند فرآیند رشد و تکثیر گیاهان را تسریع کند این عمل شامل جوانه زنی بذرها، رشد ریشه، افزایش طول گیاهچه می‌باشد. افزایش غلظت اتیلن سبب شد که طول گیاهچه شنبلیله (۳/۶۴ درصد) کاهش یابد (Debjani and Bratati, 2002). اتیلن در غلظت‌های پایین سبب افزایش طول گیاهچه گندم شده است (Suge et al., 1997).

وزن تر و خشک گیاهچه: طبق جدول تجزیه واریانس اثر ساده اتیلن با سطح احتمال یک درصد بر روی وزن تر و خشک گیاهچه معنی‌دار شد و اثر ساده شوری با سطح احتمال یک درصد بر روی وزن خشک گیاهچه معنی‌دار بود و اثر متقابل هر دو عامل بر روی وزن تر و خشک غیر معنی‌دار شد (جدول ۱). افزایش غلظت اتیلن ۲ در هزار وزن تر گیاهچه (۰/۱۵۱ گرم) و وزن خشک گیاهچه (۰/۰۲۳ گرم) را افزایش داد و کمترین وزن تر و خشک به ترتیب (۰/۰۹۷ گرم)، (۰/۰۱۶۷ گرم) در تیمار با آب مقطر مشاهده گردید. افزایش غلظت شوری از صفر به ۴۵۰ میلی مولار وزن خشک گیاهچه را کاهش داد به طوری که در سطح شوری صفر بیش‌ترین وزن خشک (۰/۰۲۲ گرم) و در سطح شوری ۴۵۰ میلی مولار کمترین وزن خشک (۰/۰۱۶ گرم) مشاهده گردید (جدول ۳).

جدول۱- تجزیه واریانس اثر اتیلن روی صفات جوانه‌زنی گیاهچه گلرنگ تحت تنش شوری

Table 1. Analysis of variance of the effect of ethylene on germination indices of safflower seedlings under salt stress

	میانگین مربعات Mean Squares						
منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	سرعت جوانه‌زنی Germination Rate	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	میانگین مدت جوانه‌زنی Mean Germination Time	طول گیاهچه Seedling Length	وزن تر گیاهچه Seedling fresh weight	وزن خشک گیاهچه Seedling Dry weight
اتیلن Ethylene (E)	4	0.155**	189.26*	0.68**	1.51**	0.00517**	0.00009461**
شوری Salinity (S)	3	0.085**	315.71**	0.32**	4.80**	0.002109ns	0.00010578**
اثر متقابل اتیلن و شوری E ×S	12	0.00546ns	11.63ns	0.0710*	0.43**	0.0007378ns	0.00000038ns
خطا Error (E)	40	0.00285	58.59	0.0288	0.0613	0.0009154	0.00000127
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		6.41	8.76	13.61	12.40	22.83	5.66

ns، **، * به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ و ۰/۰۵

ns, **, * are non-significant and significant at the 0.01 and 0.05 probability levels, respectively.

جدول۲- مقایسه اثر ساده اتیلن روی صفات فیزیولوژیکی گلرنگ

Table 2. Mean Comparison for the simple effect of ethylene on the physiological traits of safflower

اتیلن (قسمت در هزار) Ethylene (ppt)	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	وزن تر (گرم) گیاهچه Seedling fresh weight (g)	وزن خشک گیاهچه (گرم) Seedling Dry weight (g)
0	82.5 b	0.640 d	0.097 b	0.0167 e
0.5	83.708 b	0.825 c	0.136 a	0.0179 d
1	90.75 a	0.892 ab	0.132 a	0.0195 c
1.5	88.51 ab	0.873 b	0.143 a	0.0213 b
2	91.003 a	0.931 a	0.151 a	0.0238 a

حرف متفاوت در هر ستون نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است

A different letter in each column indicates a significant difference at the one percent probability level.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر ساده شوری روی صفات فیزیولوژیکی گلرنگ

Table 3. Mean Comparison for the simple effect of salinity on the physiological traits of safflower

شوری (میلی‌مولار) Salinity (mM)	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination rate s	وزن تر گیاهچه (گرم) Seedling fresh weight (g)	وزن خشک گیاهچه (گرم) Seedling Dry weight (g)
0	91.23 a	0.912 a	0.146 a	0.0228 a
150	90.36 a	0.870 b	0.1347 ab	0.021 b
300	86.40 ab	0.810 c	0.131 ab	0.0189 c
450	81.180 b	0.738 d	0.117 b	0.0166 d

حرف متفاوت در هر ستون نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است

A different letter in each column indicates a significant difference at the one percent probability level.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل شوری و اتیلن بر صفات فیزیولوژیکی گلرنگ

Table 4. Comparison of the average interaction effect of salinity and ethylene on physiological traits of safflower

تیمار Treatment	شوری (میلی‌مولار) Salinity (mM)	میانگین مدت جوانه‌زنی Mean Germination Time(day)	طول گیاهچه (سانتی‌متر) Seedling Length (cm)
تیمار با آب Hydro-timaring	0	1.28 cd	1.77 fg
	150	1.38 c	1.64 fgh
	300	1.78 b	1.46 gh
	450	2.19 a	1.22 h
اتیلن ۰/۵ در هزار Ethylene 0.5 per thousand	0	1.12 cd	2.28 cde
	150	1.16 cd	1.99 ef
	300	1.24 cd	1.72 fg
	450	1.32 cd	1.45 gh
اتیلن ۱ در هزار Ethylene1 per thousand	0	1.075 cd	2.56 bc
	150	1.12 cd	2.51 bcd
	300	1.1005 cd	1.74 fg
	450	1.18 cd	1.44 gh
اتیلن ۱/۵ در هزار Ethylene 1.5 per thousand	0	1.0417 d	2.76 b
	150	1.079 cd	2.43 bcde
	300	1.20 cd	1.45 gh
	450	1.29 cd	1.41 gh
اتیلن ۲ در هزار Ethylene 2 per thousand	0	1.000 d	4.0700 a
	150	1.0417 d	2.38 bcde
	300	1.099 cd	2.080 def
	450	1.17 cd	1.500 gh

حرف متفاوت در هر ستون نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است

A different letter in each column indicates a significant difference at the one percent probability level.

یکی از دلایل کاهش رشد گیاه در شرایط تنش شوری، سمیت یون‌ها و جذب بیش از حد سدیم است و افزایش غلظت سدیم و کلر، سبب می‌شود که جذب رقابتی بسیاری از عناصر ضروری و انتخاب پذیری یونی در غشاء صورت

گرفته و وزن خشک گیاهچه را کاهش می‌دهد (Shiyab, 2011). تیمار اتیلن پارامترهایی چون وزن‌تر و خشک گیاهچه یونجه را تحت تنش شوری افزایش داد که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت (Wang et al., 2020). طبق نتایج دبجانی و براتاتی (Debjani and Bratati, 2002) افزایش غلظت اتیلن، وزن تر گیاهچه شنبلیله را به طور معنی‌داری کاهش داد که با نتایج این تحقیق مغایرت داشت.

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی: طبق جدول تجزیه واریانس اثر ساده اتیلن و شوری و اثر متقابل هر دو عامل روی فعالیت آنزیم کاتالاز و سوپراکسیددیسمیوتاز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و اثر ساده اتیلن و شوری روی فعالیت آنزیم پراکسیداز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار و اثر متقابل هر دو عامل معنی‌دار نبود (جدول ۵). افزایش غلظت شوری از صفر به ۴۵۰ میلی مولار، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسیددیسمیوتاز را افزایش داد به طوری‌که بیش‌ترین فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسیددیسمیوتاز به ترتیب (۱۱۹/۷۷ واحد میلی‌گرم بر پروتئین)، (۱۵/۰۲۵ واحد میلی‌گرم بر پروتئین) در تیمار با آب مقطر و شوری ۴۵۰ میلی مولار و کمترین فعالیت آنزیم کاتالاز و سوپراکسیددیسمیوتاز (۶۳/۴۵ واحد میلی‌گرم بر پروتئین)، (۶/۶۰ واحد میلی‌گرم بر پروتئین) در اتیلن غلظت ۲ در هزار و بدون شوری گزارش گردید. بیش‌ترین فعالیت آنزیم پراکسیداز (۱/۸۴ واحد میلی‌گرم بر پروتئین) در تیمار با اتیلن غلظت ۱ در هزار و کمترین مقدار (۱/۴۵ واحد میلی‌گرم بر پروتئین) در تیمار با اتیلن غلظت ۲ در هزار مشاهده گردید (جدول ۶). افزایش غلظت نمک فعالیت آنزیم پراکسیداز را افزایش داد و در شوری ۴۵۰ میلی‌مولار بیش‌ترین فعالیت (۳/۲۴ واحد میلی‌گرم بر پروتئین) و کمترین فعالیت (۰/۱۸۹ واحد میلی‌گرم بر پروتئین) در سطح شوری صفر مشاهده گردید (جدول ۷). فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان زمانی که گیاهان تحت تنش شوری باشند افزایش می‌یابد. تحمل گیاه به تنش شوری میزان افزایش فعالیت آنزیم های آنتی‌اکسیدان را تعیین می‌کند (Guo et al., 2018). در شرایط تنش شوری تولید گونه‌های فعال اکسیژن، افزایش یافته و موجب می‌شود که تولید این آنزیم‌ها بیشتر شود (Arnao and Hernandez-Ruiz, 2014). طبق بررسی‌ها می‌توان نتیجه گرفت که فعالیت آنزیم‌ها در شرایط تنش شوری نسبت به شرایط عدم اعمال تنش شوری بیشتر می‌شود که با نتایج سعادت و همکاران (Saadat *et al*., 2023) مطابقت داشت. گزارش‌ها حاکی از آن است که اتیلن فعالیت آنزیم پراکسیداز را در گیاهچه سیب‌زمینی شیرین، خیار و نخود افزایش داد که با نتایج این پژوهش مطابقت داشت (Abeles et al., 1988; Kim et al., 2000).

میزان عناصر سدیم و پتاسیم در گیاهچه: اثر ساده اتیلن و شوری بر روی میزان عناصر سدیم و پتاسیم در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود و اثر متقابل هر دو عامل روی میزان عنصر سدیم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار و روی مقدار عنصر پتاسیم غیر معنی‌دار شد (جدول ۵). بیش‌ترین مقدار عنصر سدیم (۲۸ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم وزن خشک) در تیمار با آب مقطر و شوری ۴۵۰ میلی مولار و کمترین مقدار سدیم (۳/۷۵ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم وزن خشک) در تیمار با اتیلن غلظت ۲ در هزار و سطح شوری صفر گزارش گردید (جدول ۸). در اثر افزایش غلظت اتیلن ۱/۵در هزار بیش‌ترین مقدار عنصر پتاسیم (۳۳/۴۵ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم وزن خشک) و در تیمار با آب مقطر کمترین مقدار (۲۷/۶۴ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم وزن خشک) مشاهده گردید (جدول ۶). افزایش غلظت نمک سبب کاهش مقدار عنصر پتاسیم شد. به طوری‌که، در سطح شوری صفر بیش‌ترین مقدار عنصر پتاسیم (۴۰/۳۰ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم وزن خشک) و در سطح شوری ۴۵۰ میلی‌مولار کمترین مقدار عنصر (۲۰/۱۲ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم وزن خشک) گزارش گردید (جدول ۷). طبق نتایج پژوهشگران دیگر، نمک سدیم در شرایط تنش شوری به طور آزادانه وارد گیاه شده و یون سدیم افزایش می‌یابد (Achorro et al., 1994). اختلال در جذب مواد غذایی و جذب بیش‌تر یون سدیم در محیط تنش از پیامدهای اعمال تنش شوری می‌باشد (Muhammad et al., 1987). در محیط‌های شور، رقابت بین دو یون سدیم و پتاسیم در جایگاه‌های جذب اتفاق می‌افتد که میزان غلظت پتاسیم کاهش و سدیم افزایش می‌یابد. طبق نتایج پژوهش‌های قاسمی و همکاران (Ghasemi et al., 2021) افزایش میزان شوری در دو رقم گیاه قرنفل سبب کاهش غلظت عنصر پتاسیم و افزایش غلظت عنصر سدیم شد که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت. طبق نتایج جونگ و همکاران (Jung et al., 2009) اتیلن نقش مهمی در پاسخ به کمبود پتاسیم داشت و در بالادست رادیکال‌های آزاد عمل کرد. طبق گزارش یانگ و

همکاران (Yang et al., 2013) در گیاه آرابیدوپسیس اتیلن نقش اساسی در پاسخ به شوری و کمبود پتاسیم داشت، ولی هنوز نقش این هورمون در ایجاد تعادل یونی در گیاهان تحت تنش شوری مشخص نشده است. اتیلن با تسریع تبادل پتاسیم و سدیم در سراسر غشاء تحمل به نمک در گیاهان را بهبود می‌بخشد (Yang et al., 2013).

جدول ۵- تجزیه واریانس تأثیر اتیلن بر روی صفات بیوشیمیایی گیاهچه گلرنگ تحت تنش شوری

Table 5. Analysis of variance of the effect of ethylene on biochemical traits of safflower seedlings under salt stress

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Squares						
		کاتالاز Catalase	پراکسیداز Peroxidase	سوپراکسید دیسمیوتاز Superoxide dismutase	سدیم Na+	پتاسیم k+	سدیم به پتاسیم Na/K	مالون دی آلدئید Malone de Aldeide
اتیلن Ethylene (E)	4	953.12 **	0.330 **	19.85 **	36.99 **	80.45**	0.271**	233.88**
شوری Salinity (S)	3	3963.55 **	35.00798**	80.76**	1491.21**	1544.71**	5.22 **	1027.72**
اثر متقابل اتیلن و شوری	12	33.75 **	0.0851ns	2.41**	14.35**	4.47ns	0.120 **	11.96**
خطا Error (E)	60	7.73	0.0468	0.41	3.20	4.75	0.0197	2.53
ضریب تغییرات CV (%)		3.29	13.23	6.83	13.42	7.062	25.42	8.82

ns، **، به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱

ns, **, non-significant and significant at the 0.01 probability level, respectively.

نسبت سدیم به پتاسیم: بر اساس جدول تجزیه واریانس، اثر ساده اتیلن و شوری و اثر متقابل هر دو عامل با سطح احتمال یک درصد بر روی نسبت سدیم به پتاسیم معنی‌دار شد (جدول ۵). بیش‌ترین نسبت سدیم به پتاسیم (۱/۸۱) در تیمار با آب مقطر و شوری ۴۵۰ میلی مولار، کمترین نسبت سدیم به پتاسیم (۰/۰۹۰) غلظت اتیلن ۲ در هزار و شوری صفر گزارش گردید (جدول ۸). نسبت (سدیم به پتاسیم) با افزایش میزان شوری، بیشتر می‌شود که دلیل آن افزایش سرعت جذب سدیم و ممانعت سدیم از جذب پتاسیم با افزایش میزان نمک می‌باشد. پایین بودن نسبت پتاسیم به سدیم در شرایط تنش شوری سبب اختلال در فعالیت‌های آنزیمی سیتوپلاسم می‌شود درحالی‌که اگر نسبت پتاسیم به سدیم افزایش یابد، باعث بهبود عملکرد روزنه‌ها و حفظ نرخ فتوسنتزی می‌شود (Redouane *et al*., 2015).

مالون‌دی‌آلدئید: اثر ساده اتیلن و شوری و اثر متقابل هر دو عامل بر روی مالون‌دی‌آلدئید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). در اثر اعمال آب مقطر و شوری ۴۵۰ میلی مولار، مقدار مالون‌دی‌آلدئید به بیش‌ترین مقدار (۳۵/۲۲ تعداد مول بر گرم) و با اعمال اتیلن غلظت ۲ در هزار و بدون شوری، کمترین مقدار مالون‌دی آلدئید (۷/۵۲ تعداد مول بر گرم) مشاهده گردید (جدول ۸). افزایش غلظت مالون‌دی‌آلدئید و خسارت غشاء سلولی تحت شرایط تنش شوری ناشی از تولید گونه‌های فعال اکسیژن است. در شرایط تنش شوری، پایداری غشاء سلولی با سنتز پروتئین‌های ویژه و آنزیم‌های کلیدی فتوسنتز گیاه مرتبط است (Sairam and Tyagi, 2004). در شرایط تنش شوری، رادیکال‌های سوپراکسید ایجاد می‌شود که باعث پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء و آسیب به غشاء سلولی می‌شود و در نتیجه مقدار مالون‌دی‌آلدئید افزایش می‌یابد (Siahmansour *et al*., 2020). طبق نتایج قاسمی و همکاران (Ghasemi *et al*., 2021) بر روی گیاه قرنفل، افزایش سطوح شوری سبب افزایش مقدار مالون‌دی‌آلدئید شد که با نتایج این پژوهش مطابقت داشت. سعادت و همکاران نشان دادن که تنش شوری موجب افزایش مالون‌دی‌آلدئید در گیاه لوبیا می‌شود (Saadat *et al*., 2023b). ونگ و همکاران (Wang *et al*., 2020) به این نتیجه رسیدن که تیمار اتیلن محتوای مالون‌دی‌آلدئید را در گیاه یونجه کاهش می‌دهد که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت. نتایج این بررسی نشان داد که اتیلن آسیب‌های اکسیداتیو را کاهش داده و در نتیجه از افزایش مقدار مالون‌دی‌آلدئید جلوگیری می‌کند.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج بدست آمده از پژوهش حاضر، تیمار با اتیلن، باعث افزایش شاخص‌های جوانه‌زنی، شاخص‌های رشد گیاهچه گلرنگ مانند درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول گیاهچه، وزن تر و خشک گیاهچه تحت

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر ساده اتیلن روی صفات بیوشیمیایی گلرنگ

Table 6. Comparison of the average simple effect of ethylene on biochemical traits of safflower

Ethylene (ppt) اتیلن (قسمت در هزار)	Catalase (Unis$[mg\ pr]^{-1}$ پراکسیداز	K^+ (mg) پتاسیم
0	1.65 b	27.64 c
0.5	1.55 bc	30.031 b
1	1.84 a	30.80 b
1.5	1.66 b	33.45 a
2	1.45 c	32.40 a

حرف متفاوت در هر ستون نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است

A different letter in each column indicates a significant difference at the one percent probability level.

جدول ۷- مقایسه میانگین اثرساده شوری روی صفات بیوشیمیایی گلرنگ

Table 7. Comparison of the average simple effect of salinity on biochemical traits of safflower

Salinity (mM) شوری (میلی‌مولار)	Catalase (Unis$[mg\ pr]^{-1}$ پراکسیداز	K^+ (mg) پتاسیم
0	0.189 d	40.30 a
150	1.025 c	35.14 b
300	2.078 b	27.89 c
450	3.24 a	20.12 d

حرف متفاوت در هر ستون نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است

A different letter in each column indicates a significant difference at the one percent probability level.

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر متقابل شوری و اتیلن روی صفات بیوشیمیایی گلرنگ

Table 8- Comparison of the average interaction effect of salinity and ethylene on biochemical traits of safflower

تیمار Treatment	شوری Salinity (mM)	کاتالاز Catalase (Unis $[mg\ pr]^{-1}$)	سوپراکسید دیسمیوتاز Superoxide dismutase (Unis$[mg\ pr]^{-1}$)	سدیم Na+ (mgr)	سدیم به پتاسیم Na/K (mgr)	مالون دی آلدئید Malone de Aldeide (n Mol/gr)
تیمار با آب Hydro-timaring	0	79.70 g	8.52 fgh	4.50 g	0.11 ij	13.2 gh
	150	84.75 f	9.05 ef	10.500 f	0.33 ghi	18.1 f
	300	99.35 c	10.52 cd	17.7 c	0.745 de	26.025 c
	450	119.77 a	15.025 a	28.0 a	1.81 a	35.22 a
اتیلن ۰/۵ در هزار Ethylene 0.5 per thousand	0	75.27 h	7.85 ghi	4.25 g	0.110 ij	11.8 hij
	150	81.37 fg	8.4 fgh	9.57 f	0.28 hij	15.22 g
	300	90.42 e	10.22 d	16.85 cd	0.61 ef	21.075 de
	450	106.97 b	12.4 b	27.050 a	1.36 b	28.025 bc
اتیلن ۱ در هزار Ethylene1 per thousand	0	68.9 i	7.37 ij	4.17 g	0.102 ij	10.87 hij
	150	75.32 h	8.75 fg	7.72 f	0.21 ij	15.3 g
	300	81.77 fg	11.32 c	14.6 de	0.53 efg	22.400 d
	450	93.65 de	12.52 b	24.47 b	1.32 b	28.85 b
اتیلن ۱/۵ در هزار Ethylene 1.5 per thousand	0	64.6 j	6.97 ij	4.100 g	0.100 ij	9.37 jk
	150	72.400 hi	7.67 hi	8.42 f	0.22 ij	12.52 hi
	300	80.17 g	8.47 fgh	16.6 cde	0.54 efg	17.9 f
	450	94.80 d	9.92 de	23.025 b	0.95 c	22.57 d
اتیلن ۲ در هزار Ethylene 2 per thousand	0	63.45 j	6.60 j	3.75 g	0.090 j	7.52 k
	150	71.47 hi	7.37 ij	9.57 f	0.26 ij	10.32 ij
	300	82.70 fg	8.87 fg	14.025 e	0.48 fgh	15.1 g
	450	98.75 c	10.17 d	17.77 c	0.84 cd	19.700 ef

حرف

متفاوت در هر ستون نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است

A different letter in each column indicates a significant difference at the one percent probability level.

تنش شوری گردید و صفات بیوشیمیایی چون فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان به غیر از پراکسیداز، میزان سدیم، نسبت سدیم به پتاسیم و مالون‌دی‌آلدئید کاهش یافت. بر اساس مقایسه میانگین می‌توان غلظت ۲ در هزار تیمار اتیلن را تیمار مؤثرتری برای گیاهچه گلرنگ در شرایط تنش شوری دانست و از آن برای کاهش اثرات نامطلوب تنش شوری استفاده کرد، البته برای دستیابی به نتایج دقیق‌تر و قطعیت بیشتر، لازم است مطالعات بیشتری روی بذور سایر گیاهان صورت گیرد.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از مسوولان دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

Abeles, F. B., Dunn, L. J., Morgens, P., Callahan, A., Dinterman, R. E. and Schmit, J. 1988. Induction of 33-kD and 60 kD peroxidases during ethylene induced senescence of cucumber cotyledons. Plant Physiology, 87: 609–615. DOI: 10.1104/pp.87.3.609. **(Journal)**

Achorro, P., Ortiz, A. and Cerda, A. 1994. Implications of calcium nutrition on the response of (*Phaseolus vulgaris L.*) to salinity. Plant and Soil, 159: 205-212. DOI :10.1007/BF00009282. **(Journal)**

Aebi, H. 1984. Catalase in vitro. Methods in Enzymology, 105: 121-.621. DOI: 10.1016/S0076-6879(84)05016-3. **(Journal)**

Ajmal Khan, M. and Gulzar, S. 2003. Light, salinity and temperature effects on the seed germination of perennial grasses. American Journal Botany, 90(1):131-134. DOI: 10.3732/ajb.90.1.131. **(Journal)**

Arnoa, M. B. and Hernandez- Ruiz, J. 2014. Melatonin: plant growth regulator and/or biostimulator during stress? Trends in plant Science, 19(12): 789-79. DOI: 10.1016/j.tplants.2014.07.006. **(Journal)**

Baskin, C.C. and Baskin, J.M. 2014. Ecology, Biogeography, and, Evolution of Dormancy and Germination. 2d Edition. Hardback ISBN: 9780124166776. eBook ISBN: 9780124166837. **(Book)**

Copeland, L. O. and McDonald, M. B. 2001. Seed Ecology. In book: Principles of Seed Science and Technology (pp.58-71). DOI:10.1007/978-1-4615-1619-4_4. **(Book Chapter)**

Debjani, D. and Bratati, D. 2002. Effect of ethephon on antioxidant enzymes and diosgenin production in seedlings of *Trigonella foenum-graecum*. Food Chemistry, 82 (2003) 211–216. DOI: 10.1016/S0308-8146(02)00514-9. **(Journal)**

De Vos, C. H. R., Schat, H., De Waal, M. A. M., Vooijs, R. and Ernst, W.H.O. 1991. Increased to copper-induced damage of the root plasma membrane in copper tolerant *Silene cucubalus*. Plant Physiology, 82: 523-528. DOI: 10.1111/j.1399-3054. 1991.tb02942. x. **(Journal)**

Ellis, R. H. and Roberts, E. H. 1980. Towards a rational basis for testing seed quality. In: Researching the Seed Production (ed. Hebblethwaite, P. D.) Pp. 605-635. Butterworth's, London. DOI: 10.4236/as.2015.62022.

Esanejad, N., Omidy, H. and Pravar, A. 2015. Effect of safflower seeds priming with abscisic and gibberellic acid on germination indices in salinity stress condition. Journal of Agroecology, 11(4): 1-11. DOI: 10.22034/aej.2016.521052. (In Persian) **(Journal)**

Fahimi, H. 1997. Plant growth regulator. Tehran University Publications. Reb .172. (In Persian) **(Book)**

Faithfull, N. T. 2002. Acide-digestion, ashing and extraction procedures. Pp. 30-54. Methods in agricultural chemical analysis CABI publishing. Wallingford. **(Hand Book)**

Freitas, V. S., de Souza Miranda, R., Costa, J. H., de Oliveira, D. F. de Oliveira Paula, S., de Castro Miguel, E., Freire, R. S., Prisco, J. T. and Gomes-Filho, E. 2018. Ethylene triggers salinity tolerance in maize genotypes by modulating polyamine catabolism enzymes associated with H2O2 production. Environmental and Experimental Botany, 145: 75–86. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2017.10.022. **(Journal)**

Gharbi, E., Martínez, J. P., Benahmed, H., Lepoint, G., Vanpee, B., Quinet, M. and Lutts, S. 2017. Inhibition of ethylene synthesis reduces salinity-tolerance in tomato wild relative species *Solanum chilense*. Journal of Plant Physiology, 210: 24–37. DOI: 10.1016/j.jplph.2016.12.001. **(Journal)**

Ghasemi, V., Ehtesham Nia, A., RezaeiNejad, A. and Mumivand, H. 2021. Investigation of Growth Indices and Gas Exchanges in Two Cultivars of Sweet William (*Dianthus barbatus*) under Salinity Stress. Journal of Horticultural Science, 37(1): 75-88. DOI: 10.22067/jhs.2021.71942.1081. **(Journal)**

Giannopolitis, C. N. and Ries, S.K. 1977. Suoeroxide dismutase. I. Occurrence in higher plants. Plant Physiology, 59: 309-314. DOI: 10.1104/pp.59.2.309. **(Journal)**

Grichko, V. P. and Glick, B.R. 2001. Ethylene and flooding stress in plants. Plant Physiology and Biochemistry, 39(1): 1-9. DOI: 10.1016/S0981-9428(00)01213-4. **(Journal)**

Guo, Y.Y., Yu, H.Y., Yang, M. M., Kong, D. S. and 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(2): 244-250. DOI: doi.org/10.1134/S1021443718020127 **(Journal)**

Hartman, S., Liu, Z., van, H., Veen, J., Vicente, E., Reinen, S., Martopawiro, H., Dongen, N., Bosman, F., Bassel, G. W., Visser, E. J. W., Bailey-Serres, J., Theodoulou, F. L., Hebelstrup, K. H., Gibbs, D. J., Holdsworth, M. J., Sasidharan, R. and Voesenek, L. A. C. J. 2019. Ethylene-mediated nitric oxide depletion pre-adapts plants to hypoxia stress. Nature Communications, 10(1): 4020. DOI: 10. 1038/s41467-019-12045. **(Journal)**

Ibrahim, M. E. H., Zhu, X., Zhou, G. and. Abidallhaa, E. H. 2016. Effects of nitrogen on seedling growth of wheat varieties under salt stress. Journal of Agricultural Science, 8: 131. Doi:10.5539/jas.v8n10p131. **(Journal)**

Jung, J. Y., Shin, R. and Schachtman, D. P. 2009. Ethylen emediatesresponseand toleranc etopotassiumdeprivationin Arabidopsis. Plant Cell, 21: 607–621. DOI: 10.1105/tpc.108.063099. **(Journal)**

Kafi, M., Nezami, A., Hoseyni, H. and 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. DOI: 10.22067/gsc. v3i1.1293. (In Persian) **(Journal)**

Khajehpour, M. R. 2004. Industrial Plants. Isfahan University of Technology publication, 571p. (In Persian) **(Book)**

Kieber, J. J. 1997. The ethylene signal transduction pathway in Arabidopsis. Journal of Experimental Botany, 48(2): 211–218. DOI: 10.1093/jxb/48.2.211. **(Journal)**

Kim, K. Y., Kwon, H. K., Kwon, S. Y., Lee, H. S., Hur, Y., Bang, J. W., Choi, K. S. and Kwak, S. S. 2000. Differential Expression of sweet potato peroxidase genes in response to abscisic acid and ethephon. Phytochemistry, 54: 19–22. DOI: 10.1016/S0031-9422(00)00014-5. **(Journal)**

MacAdam, J. W., Nelson, R. and Sharp, E. 1992. Peroxidase activity in the leaf elongation zone of tall fescue. Plant Physiology, 99: 872-878. DOI: 10.1104/pp.99.3.872. **(Journal)**

Makar, T. K., Tura, O. and Ekmecd, Y. 2009. Effects of water deficit induced by PEG and NaCl on chickpea (*Cicer arietnum* L.) Cultivars and lines at early seedling stages. Gazi University Journal of Science, 22(1): 5-14. **(Journal)**

Marschner, P. 2011. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants: Third Edition. **(Book)**

Muhammad, S., Akbar, M. and Neue, H.U. 1987. Effect of NaCl and Na/K relation in saline culture solution in the growth and mineral nutrition of rice (*Oryza sativa* L.). Plant and Soil. 104: 57-62. DOI: doi.org/10.1007/BF02370625 **(Journal)**

Omidi, H., Jafarzadeh, L. and Naghdi Badi, H. 2014. Seeds of medicinal plants and crops. Tehran University Publications. Reb. 444. (In Persian) **(Book)**

Pirasteh- Anosheh, H., Rosta, M. J. and Emam, Y. 2015. Different methods of treating crops with salicylic acid in salinity research. National Salinity Research Center, Yazd, DOI: 10.3390%2Fijerph19031576. (In Persian) **(Journal)**

Poljakoff-Maybo, A., Somers, G. F. and Werker, E. G. 1994. Seeds of *Kosteletzkya virginica*

(Malvacea): Their structure, germination and salt tolerance. American Journal of Botany, 81: 54- 59. DOI: 10.1002/j.1537-2197. 1992.tb14545. x. **(Journal)**

Redouane, E. and Mohamed, N. 2015. Adaptive response to salt stress in sorghum (*Sorghum bicolor*). American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences, 15: 1351-1360. DOI: 10.5829/idosi.aejaes.2015.15.7.12683. **(Journal)**

Saadat, H. and Sedghi, M. 2024. The effect of priming on seed germination indices and antioxidant enzyme activity in chickpea seedlings (*Cicer arietinum* L.) under salinity stress. Iranian Journal of Seed Science and Research, 11(1): 15-29. DOI: 10.22124/JMS.2024.8036 (In Persian) **(Journal)**

Saadat, T., Sedghi, M., Seyed Sharifi, R. and Farzaneh, S. 2023a. Effect of chitosan on germination indices of common bean (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Sadri) seeds under salt stress, Iranian Journal of Seed Research, 9(2): 151-162. DOI:10.61186/yujs.9.2.151 (In Persian) **(Journal)**

Saadat, H., Sedghi, M., Seyed Sharifi, R. and Farzaneh, S. 2023b. Expression of gibberellin synthesis genes and antioxidant capacity in common bean (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Sadri) seeds induced by chitosan under salinity. Iranian Journal of Plant Physiology, *13*(4): 4715-4728. https://doi.org/10.30495/IJPP.2023.1978837.1460. **(Journal)**

Saadat, H., Sedghi, M., Seyed Sharifi, R. and Farzaneh, S. 2023c. The effect of chitosan priming on germination indices and biochemical characteristics of French bean seeds (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Sadri) under salinity stress. Iranian Journal of Seed Research, 10(2): 21-34. DOI:10.61186/yujs.10.2.21 (In Persian) **(Journal)**

Saberali, S. F. and Moradi, M. 2019**.** Effect of salinity on germination and seedling growth of *Trigonella* foenum-graecum, Dracocephalum moldavica, Satureja hortensis and Anethumgraveolens. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 18(3): 316-323. DOI: 10.1016/j.jssas. 2017.09.004. **(Journal)**

Sairam, R. K., Rao, K. V. and Srivastava, G. C. 2002. Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyteconcentration. Plant Science, 163: 1037-1046. DOI: 10.1016/S0168-9452(02)00278-9. **(Journal)**

Shiyab, S. 2011. Effects of NaCl application to hydroponic nutrient solution on macro and micro elements and protein content of hot pepper (*Capsicum annuum* L.). Journal of Food, Agriculture and Environment, 9(2):350-356. **(Journal)**

Siahmansour, S., Ehtesham-Nia, A. and Rezaenejad, A. 2020. Effect of salicylic acid foliar application on Morphophysiological and biochemical traits of Goldenberry (*Physalis peruviana* L.) under salinity stress condition. Journal of Plant Production Research, 27(1): 165-178. DOI: 10.22069/jopp.2020.16087.2448. **(Journal)**

Siringam, K., Juntawong, N., Cha-um, S. and Kirdmanee, C. 2011. Salt stress induced ion accumulation, ion homeostasis, membrane injury and sugar contents in salt-sensitive rice (*Oryza sativa* L. spp. indica) roots under isoosmotic conditions. African Journal of Biotechnology, 10(8): 1340-1346. DOI: 10.5897/AJB10.1805. **(Journal)**

Stepanova, A. and Ecker, J. R. 2000. Ethylene signaling: from mutants to molecules. Current opinion in Plant Biology, 3(5):353-60. DOI: 10.1016/s1369-5266(00)00096-0. **(Journal)**

Suge, H., Nishizawa, T., Takahashi, H. and Takeda, K. 1997. Phenotypic plasticity of internode elongation stimulated by deep seeding and ethylene in wheat seedlings. Plant, Cell and Environment, 20: 961–964. DOI: 10.1046/j.1365-3040. 1997.d01-126. x. **(Journal)**

Wang, Y., Diao, P., Kong, L., Yu, R., Zhang, M., Zuo, T., Fan, Y., Niu, Y., Yan, F.,
and Wuriyanghan, H. 2020. Ethylene Enhances Seed Germination and Seedling Growth Under Salinity by Reducing Oxidative Stress and Promoting Chlorophyll Content via ETR2 Pathway. Frontiers in Plant Science, 11:1066. DOI: 10.3389/fpls.2020.01066 **(Journal)**

Wang, Y., Zhao, C., Wang, X., Shenand, H. and Yang, L. 2023. Exogenous Ethylene Alleviates the Inhibition of *Sorbus pohuashanensis* Embryo Germination in a Saline-Alkali Environment (NaHCO3). International Journal of Molecular Sciences, 24(4244). DOI: 10.3390/ ijms24044244. **(Journal)**

Wolf, W. J. 2000. Oilseed crops (2nd edition). In: E.A. Weiss (ed.), Blackwell Science, Oxford, ix+364. Journal of the Science of Food and Agriculture, 80(10): 1572-1573. **(Book)**

Xu, L., Xiang, G., Sun, Q., Ni, Y., Jin, Z., Gao, Z. and Yao, Y. 2019. Melatonin enhances salinity tolerance by promoting MYB108A-mediated ethylene biosynthesis in grapevines. Horticultural Research, 6: 114. DOI: 10.1038/s41438-019-0197-4. **(Journal)**

Yang, S. F. and Hoffman, N. E. 1984. Ethylene biosynthesis and its regulation in higher plants. Annual Review in Plant Physiology, 35:155–189. DOI: 1146/annurev.pp.35.060184.001103. **(Journal)**

Yang, L., Zu, Y. G. and Tang, Z. H. 2013. Ethylene improves Arabidopsis salt tolerance mainly via retaining K^+ in shoots and roots rather than decreasing tissue Na^+ content. Environmental and Experimental Botany, 86: 60-69. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2010.08.006. **(Journal)**

Zeinali, E. 1999. Safflower (*Carthamus tinctorius L.*) Identification, Production and Consumption. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources Publication, 144p. (In Persian) **(Book)**

Zhou, L., Yan, Y., Wang, Y., Wu, Q., Yan, J. and Pei, J. 2023. Research progresses and prospects of medicated oil dual-purpose crop safflower based on patent mining. Oil Crop Science, 7: 209-218. DOI: 10.1016/j.ocsci.2022.10.001. **(Journal)**

The effect of ethylene on germination and heterotrophic growth of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) seedlings under salinity stress

Negin Amanzadeh[1], Mohammad Sedghi[2]*, Raouf Seyed Sharifi[3], Haniyeh Saadat[4]

Received: November 24, 2024 Accepted: January 2, 2025

Abstract

To investigate the effect of different ethylene levels on germination traits and antioxidant enzyme activity of safflower under salt stress, a factorial experiment was conducted in a completely randomized design with three replications at the Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili in 2023-2024. The treatments included four different salt levels (0, 150, 300, 450 mM from sodium chloride) and five different ethylene concentrations (0, 0.5, 1, 1.5, 2 per thousand, ppt). The results showed that salt stress reduced the germination percentage, germination rate, and dry weight of seedlings. However, treatments with different levels of ethylene, particularly at a concentration of 2 ppt, moderated the effects of salt stress on these traits. Salt stress increased the average germination duration, with the highest average duration (2.19 days) observed for treatments with distilled water and 450 mM salt. The treatment with ethylene at 2 ppt, under non-salt stress, increased seedling length, with the maximum seedling length (4.07 cm) recorded in this treatment. The highest activity of catalase and superoxide dismutase enzymes, sodium content, sodium-to-potassium ratio, and malondialdehyde levels were observed in treatments with distilled water and 450 mM salt. The highest activity of the peroxidase enzyme (1.84 units mg^{-1} of protein) was found in the ethylene treatment at a concentration of 1 ppt, while the highest amount of potassium (33.45 mg kg^{-1} dry weight) was observed at an ethylene concentration of 1.5 ppt. The ethylene treatment enhanced germination indices, growth indices, and biochemical traits of safflower seeds under salt stress, leading to increased seedling growth.

Keywords: Catalase; Malondialdehyde; Potassium; Sodium; Superoxide dismutase

How to cite this article

Amanzadeh GhoojehBagloo, N., Sedghi, M., Seyed Sharifi, R. and Saadat, H. 2024. The effect of ethylene on germination and heterotrophic growth of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) seedlings under salinity stress. Iranian Journal of Seed Science and Research, 11(3): 37-49. (In Persian)**(Journal)**

DOI: 10.22124/jms.2024.8791

COPYRIGHTS

Copyrights for this article are retained by the author(s) with publishing rights granted to the Iranian Journal of Seed Science and Research

The content of this article is distributed under Iranian Journal of Seed Science and Research open access policy and the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY4.0) License. For more information, please visit http://jms.guilan.ac.ir/

1. M.Sc. Student of Seed Science and Technology, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. neginamanzadeh.official@gmail.com
2. Professor, Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. m_sedghi@uma.ac.ir
3. Professor, Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. rssharifi@yahoo.com
4. Ph.D of Crop Ecology, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. t.saadat2020@gmail.com

*Corresponding author: m_sedghi@uma.ac.ir