فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۴، شماره ۶۹، آذر و دی‌ماه ۱۴۰۴ صفحه: ۱۴۱-۱۵۶
https://doi.org/10.22034/14.69.141

مقاله پژوهشی

واکنش محتوای عناصر و صفات فیزیولوژیک به تنش شوری و خشکی و گزینش ژنوتیپ در گلرنگ (*Carthamus tinctorius*)

مینا امیری، محمدمهدی مجیدی* و قدرت‌الله سعیدی

گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۱۳، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۴/۰۴/۱۷)

چکیده

تنش‌های غیرزیستی از جمله تنش‌های شوری و خشکی نقش بسیار مهمی در کاهش عملکرد گیاهان دارند. صفات فیزیولوژیک نسبت به صفات مرفولوژیک و زراعی توانایی بیشتری در شناسایی و تفکیک پاسخ گیاه به شرایط تنش دارند و می‌توانند به عنوان شاخص‌های مؤثرتری در غربالگری ژنوتیپ‌های متحمل به تنش مورد استفاده قرار گیرند. از تلاقی بین گونه‌ای می‌توان به منظور افزایش تنوع ژنتیکی، انتقال سازگاری و افزایش تحمل به تنش‌های شوری و خشکی و ایجاد ارقام جدید استفاده کرد. در این مطالعه ۱۰ ژنوتیپ شامل چهار لاین خالص نوترکیب (RIL) که حاصل از تلاقی دو گونه *Carthamus tinctorius* با *C. palaestinus* و *C. oxyacanthus* (با کد TP و TO) بودند، گونه والدینی *C. tinctorius*، دو رقم رایج داخلی کشور (رقم‌های کوسه و پدیده) و سه ژنوتیپ منتخب حاصل از مطالعات قبلی، در سه محیط شامل خشکی (۹۰ درصد تخلیه رطوبتی)، نرمال (۵۰ درصد تخلیه رطوبتی) و شوری (EC=20 dSm^{-1}) ارزیابی شدند. نتایج نشان داد تنوع بالایی بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از لحاظ کلیه صفات و تحمل به تنش شوری و خشکی وجود دارد. تنش خشکی و شوری باعث کاهش عملکرد (به ترتیب ۳۴ و ۵۴ درصد) و محتوای نسبی آب برگ (به ترتیب ۳۲ و ۴۰ درصد) و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (آسکوربات پراکسیداز، پراکسیداز و کاتالاز) شد. ضرایب همبستگی نشان داد رابطه مثبت و معنی‌داری بین محتوای نسبی آب برگ و عملکرد دانه در ارقام مورد بررسی وجود داشت. در شرایط تنش شوری مقدار سدیم با فعالیت آنزیم آسکوربات و همچنین عملکرد دانه با شاخص تحمل دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری بودند. با توجه به افزایش بیشتر فعالیت آنزیمی در اثر تنش شوری و کمتر بودن تغییر محتوای نسبی آب برگ در اثر این تنش در مقایسه با تنش خشکی و به‌دنبال آن کاهش بیشتر عملکرد دانه در اثر تنش خشکی، می‌توان نتیجه گرفت که ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در مقابل تنش شوری تحمل بیشتری نسبت به تنش خشکی نشان داده‌اند. ژنوتیپ‌های متحمل به هر دو شرایط تنش خشکی و شوری شناسایی شدند به طوریکه می‌توان ژنوتیپ 61TP (حاصل از تلاقی بین گونه‌ای) را به عنوان ژنوتیپ متحمل به شوری، ژنوتیپ G59 (منتخب جهانی) را متحمل به خشکی و ژنوتیپ G47 (منتخب جهانی) و رقم تجاری پدیده را حساس به شرایط تنش معرفی کرد. از ژنوتیپ‌های شناسایی‌شده می‌توان برای آزادسازی ارقام جدید یا تلاقی و استفاده در مطالعات آتی استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: آسکوربات پراکسیداز، گلرنگ، کم آبی، محتوای نسبی آب برگ

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: majidi@iut.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.141]

مقدمه

گیاه دانه روغنی و دارویی گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) یکی از گیاهان بومی کشور است که وجود انواع گونه‌های وحشی آن در سراسر کشور نشان از سازگاری این گیاه با شرایط بومی ایران دارد. تحمل نسبی گلرنگ به شوری و خشکی و همچنین دارا بودن روغنی با کیفیت بالا (حتی در حد روغن زیتون در برخی از ژنوتیپ‌ها) از مشخصات بارز این گیاه است (ابوالحسنی و سعیدی، ۱۳۸۵). جنس *Carthahmus* شامل ۱۵ گونه است که *C. tinctorius* تنها گونه زراعی آن می‌باشد. بیشتر گونه‌های موجود در این جنس دیپلویید (۲n=2x=۲۴) هستند (Vilatersana *et al*., 2005). گونه زراعی عموماً یکساله است و برخی گونه‌های وحشی آن دو یا چند ساله هستند (امیدی و همکاران، ۱۳۹۳). تنوع ژنتیکی در گونه زراعی گلرنگ بدلیل انتخاب طبیعی (در طی اهلی شدن) و مصنوعی (توسط اصلاحگران) کاهش یافته و استفاده از منابع ژنی بیگانه و بهره‌گیری از خصوصیات مطلوب گونه‌های وحشی به ویژه در شرایط تغییر اقلیم اجتناب‌ناپذیر شده است (Espanani *et al*., 2019).

یکی از مسائلی که صنعت کشاورزی با آن روبرو شده است، مشکل خشکسالی و شوری آب و خاک است که در کشور ما نیز با توجه به تغییرات اقلیمی این موضوع بسیار حائز اهمیت است. تنش‌های غیرزیستی مانند کم آبی، شوری، تغییرات دمایی و آلودگی‌های محیطی باعث کاهش فتوسنتز، کارایی مصرف آب، جذب مواد مغذی و رشد کلی گیاهان می‌شوند. این تنش‌ها تولید رادیکال‌های آزاد و گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) را افزایش می‌دهند که منجر به آسیب‌های اکسیداتیو در سلول‌های گیاهی می‌شود. در شرایط تنش، تجمع یون‌های سمی مانند سدیم در گیاه افزایش می‌یابد که موجب اختلال در متابولیسم طبیعی و کاهش عملکرد محصول می‌شود (Cao *et al*., 2025). گیاهان برای مقابله با این تنش اکسیداتیو، سامانه‌های آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیرآنزیمی را فعال می‌کنند. آنزیم‌هایی مانند سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، کاتالاز (CAT) و آسکوربات پراکسیداز (APX) در خنثی‌سازی ROS نقش مهمی دارند (Haghpanah *et al*., 2024). استفاده از تنظیمات اسمزی و آنتی‌اکسیدان‌ها در گیاه می‌تواند راهکاری مؤثر برای کاهش آسیب‌های ناشی از تنش‌های خشکی و شوری باشد (Haghpanah *et al*., 2024; Onder *et al*., 2022). آثار تنش خشکی و شوری در ایجاد تنش اسمزی مشترک هستند، بدین ترتیب که در شوری‌های ملایم کوتاه مدت و یا شوری اندک، تنش اسمزی اتفاق می‌افتد که ناشی از غلظت بالای یون‌های موجود در محلول خاک (خارج از ریشه) است و موجب پایین آوردن پتانسیل آب خاک می‌شود و در نتیجه جذب آب توسط گیاه را دشوار می‌سازد. با این وجود در تنش شوری شدید و یا ملایم طولانی مدت، به لحاظ تجمع یون‌های سمی (سدیم و کلر)، تنش سمیت یونی غالب است، که موجب صدمه به متابولیت‌های سلولی از جمله پروتئین‌ها، آنزیم‌ها، DNA و RNA و همین‌طور غشا پلاسمایی سلول می‌گردد (Arzani and Ashraf, 2016). آنزیم‌های CAT و APX نقش کلیدی در افزایش تحمل به شوری در گلرنگ دارند به‌طوریکه فعالیت بالای CAT و APX می‌تواند به عنوان معیاری برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به شوری استفاده شود (Onder *et al*., 2022).

یکی از راهکارهای مهم برای مقابله با تنش‌های شوری و خشکی، مطالعه تنوع و سازگاری اکوتیپ‌ها و ارقام مختلف داخلی و خارجی و اصلاح گیاهان برای تحمل به تنش است، تا بتوان ژنوتیپ‌های جدید و متحمل‌تر را جایگزین ارقام حساس کرد (ملکی‌نژاد و مجیدی، ۱۳۹۴). بنابراین جمع‌آوری و ارزیابی ژرم‌پلاسم اولین قدم در راه به‌نژادی گیاهان است. نتایج حاصل از مطالعه ابراهیمی و همکاران (۲۰۱۶) که به منظور بررسی پایداری تولید یک کلکسیون جهانی گلرنگ و تجزیه ژنتیکی صفات مختلف تحت شرایط رطوبتی عادی و تنش خشکی در سه منطقه اصفهان، جیرفت و کرمان انجام شده است و نتایج آن‌ها نشان داد که ارقام خارجی عملکرد و تحمل به تنش خشکی بیشتری را نشان دادند. ارقام ایرانی از محتوای روغن دانه بیشتری نسبت به ارقام خارجی برخوردار بودند (Ebrahimi *et al*., 2016). راهکار مهم دیگر برای مقابله با

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.141]

تنش‌های شوری و خشکی وارد کردن اجداد وحشی گیاهان در تلاقی است. مطالعه اسپنانی (۲۰۱۹) به منظور بررسی اثر تنش خشکی بر ویژگی‌های مرفولوژیک، زراعی و فیزیولوژیک در سه جمعیت حاصل از سه تلاقی بین‌گونه‌ای نشان داد که برای صفات مورد بررسی بین و درون جمعیت‌ها تنوع ژنتیکی قابل توجه وجود دارد. در ضمن در مطالعه آن‌ها، تنوع ایجاد شده در هر جمعیت در نسل F5 نسبت به نسل F3 و F4 در هر دو شرایط نرمال و تنش خشکی افزایش یافته که نشان می‌دهد تلاقی بین‌گونه‌ای برای ایجاد تنوع موفقیت‌آمیز بوده است (Espanani *et al*., 2019).

متأسفانه در بسیاری از گیاهان زراعی از جمله گلرنگ، بخش اعظم تنوع ژنتیکی (به‌ویژه برای تحمل به تنش‌های زیستی و غیرزیستی) که از اجداد آن‌ها به ارث رسیده، در اثر پدیده تنگنای ژنتیکی (Genetic bottleneck) از دست رفته است. از این‌رو بهره‌گیری از تلاقی‌های بین‌گونه‌ای برای ایجاد تنوع جدید و بیشتر در دستور کار به‌نژادگران قرار گرفته است. یکی از راه‌های افزایش سریع تنوع ژنتیکی دورگ‌گیری بین گونه‌های خویشاوند نزدیک است. والدینی که ازلحاظ ژنتیکی متفاوت‌تر هستند، معمولاً هیبریدهایی با هتروزیس بیشتر تولید می‌کنند و احتمال به‌دست‌آوردن نتاج تفرق یافته برتر را افزایش می‌دهند (Espanani *et al*., 2019). خویشاوندان وحشی گیاهان زراعی به صورت انکارناپذیری در غنای خزانه‌ژنی برای به‌نژادگران در کشاورزی مدرن بسیار مفید هستند (Shafiei-Koij *et al*., 2019). از گونه‌های وحشی گلرنگ به دلیل اهمیت ژن‌های موجود در آنها می‌توان برای بهبود صفات مطلوب در گونه‌های زراعی استفاده کرد (Estilai and Knowles, 1976). مطالعات مولکولی تأیید کرده‌اند که دو گونه *C. palaestinus* و *C. oxyacanthus* اجداد وحشی گلرنگ زراعی هستند (Sehgal *et al*., 2008). از مهم‌ترین تلاقی‌های بین‌گونه‌ای در این جنس می‌توان به تلاقی بین *C. tinctorius* و *C. oxyacanthus* توسط Deshpande (۱۹۵۲)، تلاقی بین *C. tinctorius*، *C. oxyacanthus* و *C. palaestinus* توسط Ashri و Knowles (۱۹۶۰) و Ashri و همکاران (۱۹۷۵) اشاره نمود. در ایران گونه‌های اهلی و وحشی مختلف گلرنگ را تلاقی دادند و هیبریدهای حاصل با استفاده از صفات مرفولوژیک و نشانگر مولکولی SRAP و ISSR تأیید شدند (Amini *et al*., 2008; Majidi and Zadhoush, 2014)، همچنین تلاقی‌پذیری بالایی را بین گونه اهلی گلرنگ (*C. tinctorius*) با دوگونه وحشی *C. palaestinus* و *C. oxyacanthus* مشاهده کردند (شیراوند و مجیدی، ۱۳۹۳، ۱۳۹۲). Majidi و همکاران (۲۰۱۱) طی مطالعاتی نشان دادند که گونه وحشی *C. oxyacanthus* در شرایط تنش می‌تواند عملکرد بهتری نسبت به گونه‌های دیگر گلرنگ داشته باشد (شیراوند و مجیدی، ۱۳۹۲). اسپنانی و همکاران (۲۰۱۹) طی تحقیقات خود نشان دادند کارایی انتخاب در جمعیت حاصل از تلاقی *C. tinctorius* × *C. palaestinus* بیشتر از جمعیت حاصل از تلاقی *C. tinctorius* × *C. oxyacanthus* است و می‌توان از این جمعیت برای تولید ژنوتیپ‌های با عملکرد بیشتر در برنامه‌های اصلاحی بهره برد (Espanani *et al*., 2019). همچنین Majidi و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند از آنجا که والد وحشی *C. palaestinus* دارای صفات نامطلوب کمتری است، می‌توان نسبت به انتقال ژن‌های مطلوب آن به گونه زراعی گلرنگ در برنامه‌های به‌نژادی اقدام کرد. مطالعه زارعی (۱۴۰۰) نشان داد که در کشت پاییزه گلرنگ با اعمال تنش شوری با سطح نهایی ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، تنوع ژنتیکی بالایی بین لاین‌های نوترکیب برای تحمل به تنش شوری و صفات زراعی و مرفولوژیک در نسل F8 وجود دارد. همچنین مطالعه منصوری (۱۴۰۱) در کشت بهاره گلرنگ، نتایج مشابهی را با مطالعه زارعی (۱۴۰۰) در ارتباط با وجود تنوع ژنتیکی بالا بین لاین‌های نوترکیب برای تحمل به تنش شوری و صفات مرفولوژیک در نسل F9 نشان داد.

برنامه به‌نژادی گلرنگ از طریق تلاقی بین‌گونه‌ای از سال ۱۳۹۰ در دانشگاه صنعتی اصفهان آغاز و لاین‌های خالص نوترکیب نسل دهم فراهم شد که در کنار ارقام گونه زراعی (داخلی و خارجی) در برنامه‌های تحقیقاتی این گیاه مورد استفاده قرار گرفت. در مطالعات قبلی (زارعی، ۱۴۰۰؛

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]
[DOI: DOI: 10.22034/14.69.141]

منصوری، ۱۴۰۱؛ Espanani *et al*., 2019; Ebrahimi *et al*., 2016) از بین ارقام مورد مطالعه تعدادی ژنوتیپ متحمل به تنش شوری و همچنین تعدادی ژنوتیپ متحمل به تنش خشکی شناسایی شدند. با این حال ارزیابی تکمیلی بهترین و متحمل‌ترین لاین‌های حاصل از تلاقی بین‌گونه‌ای و ژرم‌پلاسم زراعی گلرنگ (داخلی و خارجی) تحت تنش شوری و تنش خشکی از نظر صفات فیزیولوژیک در مزرعه انجام نشده است. هدف از این پژوهش مطالعه واکنش ژنوتیپ‌ها، ارزیابی تنوع ژنتیکی و انتخاب بهترین و متحمل‌ترین ژنوتیپ‌های گزینش یافته از ژرم‌پلاسم خارجی و داخلی و لاین‌های حاصل از سه تلاقی بین‌گونه‌ای گلرنگ در شرایط نرمال، تنش شوری وخشکی با توجه به صفات فیزیولوژیک و نیز تحلیل ارتباط بین متغیرها به منظور یافتن شاخص‌های مناسب برای گزینش سریع‌تر ژنوتیپ‌ها است.

مواد و روش‌ها

مواد ژنتیکی و نحوه اعمال تیمارهای تنش: مواد ژنتیکی این مطالعه شامل تعداد ۱۰ ژنوتیپ منتخب که شامل چهار لاین خالص نوترکیب نسل F10 حاصل از تلاقی بین‌گونه‌ای دو گونه *C. tinctorius* با *C. palaestinus*، *C. oxyacanthus* (دو جمعیت حاصل از تلاقی بین گونه‌ای TP و TO) به همراه گونه والدینی *C. tinctorius* و همچنین دو رقم رایج داخلی کشور (رقم‌های کوسه و پدیده) و سه ژنوتیپ منتخب جهانی و پایدار حاصل از مطالعات قبلی (زارعی، ۱۴۰۰؛ منصوری، ۱۴۰۱؛ Espanani *et al*., 2019; Ebrahimi *et al*., 2016) بود که در مزرعه پژوهشی دانشگاه صنعتی اصفهان در سه محیط جداگانه (نرمال، تنش شوری و تنش خشکی) در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۴۰۲ ارزیابی شدند. ژنوتیپ‌های خارجی اولیه از بانک‌های ژن گیاهی آلمان و آمریکا تأمین شدند و ژنوتیپ‌های داخلی نیز از ژنوتیپ‌های موجود در پروژه گلرنگ گروه تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان بودند. کشت در روز ۱۰ آذر سال ۱۴۰۱ انجام شد. هر واحد آزمایشی به صورت دو خط‌کشت ۲ متری با ۵۰ سانتی‌متر فاصله بین واحدهای آزمایشی در نظر گرفته شد. فاصله‌ی بوته‌ها روی هر خط کشت ۲۰ سانتی‌متر و سیستم آبیاری به صورت قطره‌ای بود. اعمال هر دو تنش خشکی و شوری قبل از مرحله تکمه‌دهی گیاه انجام گرفت و تا این زمان آبیاری به طور یکسان برای همه تیمارها و به صورت قطره‌ای انجام شد. برای تعیین زمان آبیاری، رطوبت خاک به صورت دستی یا با دستگاه رطوبت‌سنج TDR (شرکت آذر خاک آب ارومیه) و تأیید مقدار تجمعی ET، به صورت روزانه پایش شد. آبیاری تیمار نرمال در زمان ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی از حد زراعی مزرعه (MAD, Maximum Allowable Depletion =٪۵۰) و آبیاری تیمار تنش خشکی در زمان ۹۰ درصد تخلیه رطوبتی از حد زراعی مزرعه (MAD =٪۹۰) انجام گرفت. برای تعیین میزان آب مورد نیاز هر کرت ابتدا عمق آبیاری از فرمول زیر محاسبه شد.

$$I=(\theta_{Fc}-\theta_{irri})\times B\times D$$

در فرمول بالا، B: چگالی ظاهری خاک (۱/۴)، D: عمق توسعه ریشه (۶۰ سانتی‌متر)، FC: رطوبت وزنی خاک در حد ظرفیت زراعی، θ_{irri}: متوسط رطوبت وزنی در عمق توسعه ریشه مربوط به زمان آبیاری است (برای تیمار نرمال در زمان ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی و برای تیمار تنش خشکی در زمان ۹۰ درصد تخلیه رطوبتی). سپس حجم آبیاری بر حسب لیتر از فرمول V= I×A بدست آمد که A مساحت کرت بر حسب متر مربع و I عمق آبیاری بر حسب میلی‌متر است. برای اندازه‌گیری میزان آب ورودی کرت‌ها از کنتور استفاده شد.

تیمار نهایی تنش شوری در این مطالعه در سطح ۲۰۰ میلی‌مولار (معادل $EC=20\ dSm^{-1}$) بر اساس تجربه و مطالعات قبلی اعمال شد. زمان اعمال تیمار شوری هم زمان با تیمار شاهد (نرمال) بود، ولی آبیاری با آب شور (نمک طعام) انجام شد و در صورت لزوم نیز در آبیاری‌های بعدی ضریب کسر آبشویی اعمال گردید.

صفات مورد اندازه‌گیری: محتوای نسبی آب برگ با استفاده از برگ‌های بالغ و جوان قسمت بالای ساقه گیاه در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.141]

مرحله گلدهی و حدود یک ماه پس از اعمال تنش اندازه‌گیری شد. برای این منظور ابتدا وزن تازه (FW) نمونه برگ‌ها تعیین و سپس آن‌ها را در آب‌مقطر به مدت ۲۴ ساعت در دمای آزمایشگاه و تاریکی قرار داده و وزن برگ‌ها در حالت آماس (TW) تعیین شد. در مرحله بعد، برگ‌ها به مدت۷۲ ساعت در آون قرار داده و وزن خشک (DW) آن‌ها اندازه‌گیری و در نهایت RWC با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (Gao, 2006):

$$\%RWC= [(FW-DW)/(TW-DW)] \times 100$$

برای اندازه‌گیری غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم، مقدار ۰/۲ گرم برگ خشک (در آون) در کوره الکتریکی به خاکستر تبدیل شد. ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۲ نرمال به نمونه‌های خاکسترشده اضافه و با حرارت ملایم روی هیتر (Heater)، در اسید حل شدند. محلول تهیه‌شده از قیف و کاغذ صافی عبور داده شد و در نهایت با آب‌مقطر، حجم عصاره نهایی به ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. برای اندازه‌گیری سدیم و پتاسیم از دستگاه شعله‌سنج (Flame photometer) استفاده شد، و سپس براساس منحنی‌های استاندارد رسم‌شده غلظت سدیم و پتاسیم در نمونه‌ها تعیین گردید (Leo, 1971).

برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، ۰/۱ گرم برگ تازه توسط نیتروژن مایع پودر شده و درون میکروتیوپ اتوکلاو شده ریخته شد و سپس ۱۰۰۰ میکرولیتر بافر استخراج که از قبل تهیه شده بود به آن اضافه گردید. سپس به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سلسیوس با دور rpm ۱۲۰۰۰ سانتریفیوژ شد. از عصاره حاصل برای اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم‌های زیر استفاده شد:

برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز ۳ میلی‌لیتر بافر فسفات درون کوت ریخته و به آن ۴/۵۱ میکرولیتر H_2O_2 اضافه شد. دستگاه اسپکتروفتومتر توسط این محلول (به عنوان بلانک) صفر شد. سپس ۵۰ میکرولیتر از عصاره نمونه به محلول اضافه شد و آنزیم کاتالاز در طول‌موج ۲۴۰ نانومتر خوانده شد. برای هر نمونه در طی مدت دو دقیقه هر ۳۰ ثانیه یکبار عدد اسپکت یادداشت شد (Aebi, 1984). برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پراکسیداز ۳ میلی‌لیتر بافر فسفات، ۴/۵۱ میکرولیتر H_2O_2 و ۳/۳۵ میکرولیتر از ماده گایاکول درون کوت اضافه شد و از این سه ماده به عنوان بلانک برای صفر نمودن دستگاه اسپکتروفتومتر استفاده شد. سپس ۵۰ میکرولیتر عصاره استخراج‌شده به آن اضافه و در طول‌موج ۴۷۰ نانومتر به مدت دو دقیقه و هر ۳۰ ثانیه یک عدد یادداشت برداری شد (Chance and Maehly, 1955).

برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز ۳ میلی‌لیتر بافر فسفات، ۴/۵۱ میکرولیتر H_2O_2 و ۱۰۰ میکرولیتر محلول آسکوربات آماده شده به درون کوت اضافه شد. این سه ماده به عنوان بلانک این آنزیم بوده و پس از صفر کردن دستگاه اسپکتروفتومتر، ۵۰ میکرولیتر عصاره نمونه درون کوت افزوده شد. سپس این آنزیم در طول‌موج ۲۹۰ نانومتر خوانده و مانند آنزیم قبلی در هر ۳۰ ثانیه طی مدت دو دقیقه یک عدد ثبت شد (Nakano and Asada, 1981).

برای اندازه‌گیری محتوای پروتئین از روش Bradford (۱۹۷۶) استفاده شد. مقدار ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره نمونه به ۳۰۰۰ میکرولیتر محلول بردفورد اضافه وسپس به مدت ۳۰ دقیقه در محیط تاریک قرار داده شد. سپس در طول‌موج ۵۹۵ نانومتر خوانده پروتئین انجام گردید و از محلول بردفورد نیز به عنوان استاندارد برای صفرنمودن دستگاه اسپکتروفتومتر استفاده شد. در نهایت با استفاده از منحنی استاندارد و محتوای پروتئین اندازه‌گیری‌شده میزان فعالیت آنزیم‌ها محاسبه شد.

پس از رسیدگی بوته‌ها در تاریخ ۱۵ مرداد ۱۴۰۲، ۱۰ بوته از واحد آزمایشی به‌صورت تصادفی انتخاب و با رعایت حاشیه، برداشت و بوجاری متوسط عملکرد دانه در بوته محاسبه شد. به منظور برآورد میزان تحمل ژنوتیپ‌های گلرنگ نسبت به دو تنش شوری و خشکی، از شاخص‌های تحمل به تنش و پایداری استفاده شد. شاخص پایداری عملکرد YSI (Yield Stability Index) به کمک معادله زیر محاسبه شد که در آن Y_s و Y_p به ترتیب عملکرد هر ژنوتیپ در شرایط بدون تنش و تنش هستند (Bouslama and Schapaugh, 1984).

$$YSI = \frac{Y_s}{Y_p}$$

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]
[DOI: DOI: 10.22034/14.69.141]

از شاخص ترکیبی تحمل (Combination of Significant Indices) CSI که برای شناسایی لاین‌های متحمل به تنش در سال ۲۰۲۲ معرفی شد، نیز استفاده گردید (Sabouri *et al.*, 2022). برای محاسبه شاخص CSI ترکیبی خطی از شاخص‌های STI (Stress Tolerance Index)، GMP (Geometric Mean Productivity)، HM (Harmonic Mean) و MP (Mean Productivity) استفاده می‌شود. در واقع، این شاخص با استفاده از عملکرد هر ژنوتیپ در دو محیط تنش و عدم تنش و همبستگی این دو پارامتر با شاخص‌های ذکرشده محاسبه می‌شود.

$$CSI_i = 1/2\ [(r_{YP.MP} \times Mp_i) + (r_{YP.GMP} \times GMP_i) + (r_{YP.HM} \times Hm_i) + (r_{YP.STI} \times STI_i) + (r_{YS.MP} \times MP_i) + (r_{YS.GMP} \times GMP_i) + (r_{YS.HM} \times HM_i) + (r_{YS.STI} \times STI_i)$$

در رابطه فوق CSI_i شاخص ترکیبی تحمل برای ژنوتیپ شماره i، $r_{YP.MP}$ همبستگی عملکرد در شرایط بدون تنش و شاخص MP، $r_{YP.GMP}$ = همبستگی عملکرد در شرایط بدون تنش و شاخص GMP، $r_{YP.HM}$ = همبستگی عملکرد در شرایط بدون تنش و شاخص HM، $r_{YP.STI}$ = همبستگی عملکرد در شرایط بدون تنش و شاخص STI، $r_{YS.MP}$ = همبستگی عملکرد در شرایط تنش و شاخص MP، $r_{YS.GMP}$ = همبستگی عملکرد در شرایط تنش و شاخص GMP، $r_{YS.HM}$ = همبستگی عملکرد در شرایط تنش و شاخص HM، $r_{YS.STI}$ = همبستگی عملکرد در شرایط تنش و شاخص STI است.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس صفات: نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱ و ۲) نشان داد که تمام عوامل تیماری مورد مطالعه روی مقادیر عنصر سدیم، عنصر پتاسیم و نسبت میزان سدیم به پتاسیم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند. همچنین آثار آن‌ها بر فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات و گایاکول پراکسیداز در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار شدند. بنابراین محیط‌های تنش شوری و خشکی تأثیر معنی‌داری را بر صفات مورد مطالعه اعمال کرده است. از طرفی با توجه به وجود برهمکنش، واکنش ژنوتیپ‌ها به محیط‌های تنش از لحاظ بروز این صفات متفاوت بود.

دامنه تغییرات صفات و مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها: دامنه تغییرات، میانگین و درصد تغییر صفات در اثر تنش شوری و خشکی برای صفات فیزیولوژیک و عملکرد دانه در جدول ۳ آورده شده است. شوری اثر افزایشی معنی‌داری بر صفات مقدار عنصر سدیم و نسبت میزان سدیم به پتاسیم داشت، درحالی‌که میزان پتاسیم در اثر تنش شوری به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. مقدار عنصر سدیم تحت تنش شوری ۶۲/۰۴ درصد افزایش پیدا کرد. بسیاری از مقالات و گزارش‌ها، افزایش معنی‌داری در محتوی عنصر سدیم در برگ گیاه را تحت تنش شوری ثبت کرده‌اند. از جمله این پژوهش‌ها می‌توان به پژوهش فتاحیان Fatahiyan و همکاران (۲۰۲۵) روی گیاه گلرنگ، Ebrahim و همکاران (۲۰۱۹) روی گیاه جو وحشی و Kiani و همکاران (۲۰۱۵) روی گیاه اجیلوپس اشاره نمود. در بسیاری از پژوهش‌ها وجود یک رابطه آنتاگونیستی بین سدیم و پتاسیم گزارش شده است، به‌نحوی‌که غلظت زیاد سدیم در محیط خارج از ریشه به‌طور چشم‌گیری بر جذب پتاسیم تأثیرگذار است و آن را کاهش می‌دهد (میرمحمدی میبدی و قره‌یاضی، ۱۳۸۱). با توجه به ارتباط منفی و معنی‌دار تجمع سدیم با تحمل به شوری می‌توان نتیجه گرفت که ارقامی که کاهش عملکرد زیستی کمتری در شرایط تنش دارند، از ورود و انتقال سدیم به اندام‌های خود جلوگیری می‌کنند. انتخاب‌پذیری سدیم به پتاسیم می‌تواند به‌عنوان یک شاخص قابل اطمینان برای تحمل به شوری در گیاه مورد استفاده قرار گیرد (Poustini and Siosemardeh, 2004). بر اساس نتایج حاصل از مطالعه حاضر (جدول ۴)، کمترین نسبت میزان سدیم به پتاسیم در محیط تنش مربوط به لاین 61TP با مقدار ۰/۳۰ بود. رقم کوسه، والد زراعی T، ژنوتیپ G52 و لاین 156TO از ژنوتیپ‌هایی بودند که نسبت سدیم به پتاسیم کمی داشتند. نسبت پتاسیم به سدیم (K^+/Na^+) به‌عنوان یکی از شاخص‌های کلیدی در تحمل به تنش در گلرنگ در نظر گرفته می‌شود (Mosupiemang *et al.*, 2022). برخی محققین،

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.141]

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برای صفات مقدار عنصر سدیم، پتاسیم و نسبت میزان سدیم به پتاسیم برگ در ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی در محیط نرمال و تنش شوری

منابع تغییرات	درجه آزادی	سدیم (mg/g)	پتاسیم (mg/g)	نسبت سدیم به پتاسیم
محیط	۱	۵۴/۰۳**	۷۸۴/۲۰ **	۰/۹۴ **
تکرار (محیط)	۴	۰/۰۰۰۶	۰/۱۳	۰/۰۰۰۰۲
ژنوتیپ	۹	۴/۲۷**	۷۶**	۰/۰۷**
محیط × ژنوتیپ	۹	۲/۳۵ **	۱۱/۲۲ **	۰/۰۳**
خطا	۳۶	۰/۰۵	۰/۶	۰/۰۰۰۶
ضریب تغییرات (٪)		۴/۵۲	۴/۲۰	۷/۳۰

ns، *، ** به ترتیب بیانگر عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح ۵ و ۱ درصد است.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برای صفات فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات و گایاکول پراکسیداز در ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی در سه محیط نرمال، تنش شوری و تنش خشکی

منابع تغییرات	درجه آزادی	فعالیت کاتالاز	فعالیت آسکوربات	فعالیت گایاکول پراکسیداز
محیط	۲	۰/۲۶**	۳۱/۴۴ *	۰/۴۲*
تکرار (محیط)	۴	۰/۰۰۴	۲/۲۲	۰/۱۶
ژنوتیپ	۹	۰/۲۶**	۷/۰۶**	۲/۳۳**
محیط ×ژنوتیپ	۱۸	۰/۱۰ **	۵/۶۴ **	۱/۲۹**
خطا	۵۴	۰/۰۱	۰/۹	۰/۲۳
ضریب تغییرات (٪)		۱۶/۲۰	۱۶/۹۳	۲۰/۹۲

ns، *، ** به ترتیب بیانگر عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح ۵ و ۱ درصد است.

ارقامی را به عنوان متحمل به شوری معرفی کرده‌اند که بتوانند در شرایط شوری دفع سدیمی بالایی از خود نشان دهند، نسبت سدیم به پتاسیم را در بخش‌هایی مختلف خود به‌خوبی در حد قابل قبولی نگه دارند و از تجمع یون سدیم در بافت‌های جوان‌تر جلوگیری کرده و آن را به بخش‌های پیرتر انتقال دهند (Sytar *et al*., 2017).

با توجه به نتایج در جدول ۳۵، مقدار فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نیز در اثر تنش شوری افزایش یافت. یکی از سازوکارهای گیاه برای تحمل شرایط تنش، افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی است. بسیاری از مقالات و گزارش‌ها، افزایش معنی‌داری در فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را تحت تنش شوری ثبت کرده‌اند. مطالعه Song و همکاران (۲۰۲۴) نشان داد گیاه گلرنگ تحت تنش‌های NaCl و $NaHCO_3$ توانست از سامانه آنتی‌اکسیدانی برای مقابله با آسیب اکسیداتیو استفاده کند (Song *et al*., 2024). نتایج مطالعه Rao و Zheng (۲۰۲۵) نشان داد در شرایط تنش شوری و خشکی، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند SOD، CAT، و APX افزایش یافت. این افزایش به کاهش آسیب‌های اکسیداتیو و افزایش پایداری غشاهای سلولی کمک می‌کند (Rao and Zheng, 2025). Haghpanah و همکاران (۲۰۲۴) نشان دادند تنش خشکی منجر به تولید ROS (گونه‌های فعال اکسیژن) می‌شود که به DNA، پروتئین‌ها و غشاهای سلولی آسیب می‌رساند. فعال‌سازی سامانه‌های آنتی‌اکسیدانی آنزیمی مانند سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، کاتالاز (CAT) و آسکوربات پراکسیداز

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]
[DOI: DOI: 10.22034/14.69.141]

جدول ۳- دامنه تغییرات و میانگین صفات فیزیولوژیک و عملکرد دانه برای ۱۰ ژنوتیپ مورد مطالعه در سه محیط نرمال، تنش شوری و تنش خشکی

صفت	دامنه			میانگین			درصد تغییر در اثر تنش	
	نرمال	شوری	خشکی	نرمال	شوری	خشکی	شوری	خشکی
مقدار سدیم (mg/g)	۳/۳۳–۴/۶۳	۳/۹۶–۹/۴۷	–	۳/۷۵ b	۶/۰۸ a	–	۶۲/۰۴	–
مقدار پتاسیم (mg/g)	۱۳/۸۳–۳۰/۶۸	۸/۱۸–۲۵/۳۷	–	۲۲/۸۳ a	۱۳/۹۷b	–	–۳۸/۸۰	–
نسبت سدیم به پتاسیم	۰/۱۴–۰/۲۹	۰/۳۰–۱/۰۸	–	۰/۱۷ b	۰/۴۸ a	–	۱۷۹/۵۷	–
کاتالاز (unit/mg pro)	۰/۲۵–۱/۲۵	۰/۴۳–۱/۳۹	۰/۲۹–۱/۲۰	۰/۵۸ b	۰/۷۸ a	۰/۷۶ a	۳۵/۷۳	۳۲/۰۵
آسکوربات (unit/mg pro)	۲–۹/۹۶	۴/۴۰–۱۰/۵۱	۲/۸۷–۷/۵۶	۵/۴۱ b	۷/۳۳ a	۴/۹۷ b	۳۵/۵۸	–۷/۹۷
پراکسیداز (unit/mg pro)	۱/۰۳–۴/۹۸	۱/۳۰–۳/۹۳	۱/۰۴–۳/۷۸	۲/۲۱ a	۲/۴۴ a	۲/۱۷ a	۱۰/۱۶	–۱/۹۶
محتوای نسبی آب برگ	۷۰/۴۱–۹۵/۶۷	۴۸/۵۹–۷۲/۲۶	۴۳/۴۶–۶۵/۳۱	۸۷/۸۷ a	۶۰ b	۵۲/۸۹ c	–۳۱/۷۱	–۳۹/۸۰
عملکرد دانه ($gplant^{-1}$)	۱۲/۸۰–۳۶/۴۰	۹/۴۶–۲۱/۸۲	۵/۲۱–۱۵/۳۰	۲۰/۶۰ a	۱۴/۵۴b	۹/۷۰ c	–۲۹/۴۰	–۵۲/۹۲

برای هر صفت، میانگین تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک ، اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارند (براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد).

جدول ۴- میانگین مقادیر عنصر سدیم، پتاسیم، نسبت میزان سدیم به پتاسیم برگ همراه با شاخص‌های تحمل و پایداری عملکرد برای ۱۰ ژنوتیپ منتخب نوترکیب (RILs) و جهانی گیاه گلرنگ در دو محیط نرمال و تنش شوری

ژنوتیپ	کد ژنوتیپ	سدیم (mg/g)		پتاسیم (mg/g)		N/K		شاخص‌های تحمل به تنش			
		نرمال	شوری	نرمال	شوری	نرمال	شوری	CSI شوری	CSI خشکی	YSI شوری	YSI خشکی
	والدین و لاین‌های نوترکیب										
۱	T	۳/۶۱	۶/۱۳	۲۵/۳۷	۱۷/۸۳	۰/۱۴	۰/۳۴	۳۳/۱۵	۲۹/۶۸	۰/۷۵	۰/۵۴
۲	51TP	۳/۴۰	۵/۰۳	۲۰/۱۴	۱۰/۴۳	۰/۱۷	۰/۴۹	۴۲/۰۲	۳۵/۵۱	۰/۸۰	۰/۴۵
۳	61TP	۳/۵۴	۴/۳۹	۲۳/۳۳	۱۴/۴۰	۰/۱۵	۰/۳۰	۵۶/۳۱	۴۴/۹۷	۰/۸۳	۰/۳۵
۴	142TO	۳/۷۰	۴/۶۳	۲۱/۰۱	۸/۱۸	۰/۱۸	۰/۵۷	۴۷/۳۳	۴۰/۱۹	۰/۷۸	۰/۴۵
۵	156TO	۳/۴۶	۴/۰۷	۲۵/۰۸	۱۰/۴۳	۰/۱۴	۰/۳۹	۴۳/۱۵	۳۸/۲۵	۰/۹۲	۰/۶۵
	ارقام جهانی و رایج تجاری										
۶	G47 (PI 470942)	۳/۹۶	۹/۲۳	۱۳/۸۳	۸/۷۴	۰/۲۹	۱/۰۶	۴۷/۲۷	۳۹/۷۹	۰/۸۹	۰/۴۹
۷	G52 (PI 572425)	۴/۶۳	۸/۳۰	۳۰/۶۸	۲۴/۲۱	۰/۱۵	۰/۳۵	۶۴/۶۰	۵۴/۴۱	۰/۷۰	۰/۳۸
۸	G59 (PI 657801)	۴/۰۷	۷/۴۴	۲۲/۱۷	۱۸/۱۲	۰/۱۹	۰/۴۲	۴۹/۱۶	۴۴/۹۰	۰/۶۷	۰/۵۳
۹	PADIDE	۳/۴۶	۶/۶۶	۲۳/۶۲	۱۲/۴۱	۰/۱۵	۰/۵۴	۳۴/۵۹	۳۰/۰۸	۰/۵۹	۰/۳۷
۱۰	KOOSE	۳/۷۰	۴/۹۰	۲۳/۰۴	۱۴/۹۷	۰/۱۶	۰/۳۳	۴۱/۲۵	۳۹/۸۴	۰/۵۰	۰/۴۹
	LSD(5%)	۰/۲۰	۰/۶۸	۱/۸۱	۱/۶۸	۰/۰۲	۰/۰۷	۶/۴۲	۵/۷۴	۰/۲۴	۰/۱۹

(APX) نقش مهمی در خنثی‌سازی ROS و جلوگیری از آسیب اکسیداتیو دارد. از طرفی در شرایط خشکی شدید، افزایش گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) مانند سوپراکسید و پراکسید هیدروژن منجر به اکسیداسیون لیپیدهای غشایی،

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.141]

جدول ۵- میانگین صفات فیزیولوژیک شامل فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی همراه با شاخص‌های تحمل و پایداری عملکرد برای ۱۰ ژنوتیپ منتخب نوترکیب (RILs) و جهانی گیاه گلرنگ در سه محیط نرمال، تنش شوری و خشکی والدین و لاین های نو ترکیب ارقام جهانی و رایج تجاری

ژنوتیپ	کد ژنوتیپ	آنزیم کاتالاز (unit/mg pro)			آنزیم آسکوربات (unit/mg pro)			آنزیم پراکسیداز (unit/mg pro)			شاخص های تحمل به تنش			
		نرمال	شوری	خشکی	نرمال	شوری	خشکی	نرمال	شوری	خشکی	CSI شوری	CSI خشکی	YSI شوری	YSI خشکی
		والدین و لاین‌های نو ترکیب												
۱	T	۰/۴۱	۰/۶۲	۰/۴۴	۳/۷۰	۵/۸۳	۴/۹۴	۲/۰۳	۲/۵۴	۲/۳۹	۳۳/۱۵	۲۹/۶۸	۰/۷۵	۰/۵۴
۲	51TP	۰/۲۵	۰/۶۶	۰/۸۶	۵/۲۰	۵/۹۵	۵/۷۷	۲/۲۳	۳/۹۳	۲/۳۸	۴۲/۰۲	۳۵/۵۱	۰/۸۰	۰/۴۵
۳	61TP	۰/۳۳	۰/۵۴	۱/۰۷	۲/۵۴	۸/۷۱	۴/۲۸	۱/۲۴	۲/۱۱	۱/۴۲	۵۶/۳۱	۴۴/۹۷	۰/۸۳	۰/۳۵
۴	142TO	۰/۶۰	۱/۰۱	۰/۹۱	۲/۹۹	۷/۱۲	۵/۷۷	۱/۰۹	۲/۲۰	۲/۰۱	۴۷/۳۳	۴۰/۱۹	۰/۷۸	۰/۴۵
۵	156TO	۰/۸۷	۱/۰۳	۱/۰۴	۳/۷۹	۶/۳۷	۳/۸۱	۲/۲۲	۳/۵۸	۳/۰۵	۴۳/۱۵	۳۸/۲۵	۰/۹۲	۰/۶۵
		ارقام جهانی و رایج تجاری												
۶	G47	۰/۴۶	۰/۷۱	۰/۴۹	۵/۱۷	۹/۳۱	۷/۰۹	۱/۴۴	۱/۸۷	۲/۲۶	۴۷/۲۷	۳۹/۷۹	۰/۸۹	۰/۴۹
۷	G52	۱/۱۶	۱/۰۵	۰/۹۹	۸/۵۵	۷/۴۴	۵/۶۴	۲/۴۰	۱/۴۹	۲/۰۸	۶۴/۶۰	۵۴/۴۱	۰/۷۰	۰/۳۸
۸	G59	۰/۳۵	۱/۲۳	۱/۰۲	۶/۴۴	۹/۲۹	۲/۸۷	۱/۰۶	۱/۸۱	۱/۵۷	۴۹/۱۶	۴۴/۹۰	۰/۶۷	۰/۵۳
۹	PADIDE	۰/۶۰	۰/۵۳	۰/۵۱	۹/۹۶	۷/۸۰	۵/۱۴	۴	۲/۹۱	۱/۲۳	۳۴/۵۹	۳۰/۰۸	۰/۵۹	۰/۳۷
۱۰	KOOSE	۰/۷۶	۰/۵۰	۰/۳۲	۵/۷۳	۵/۵۱	۴/۴۵	۴/۴۲	۱/۹۴	۳/۳۰	۴۱/۲۵	۳۹/۸۴	۰/۵۰	۰/۴۹
	LSD 5%	۰/۲۳	۰/۲۶	۰/۲۹	۲/۴۴	۲/۲۵	۲/۰۹	۱/۳۸	۰/۸۳	۰/۹۴	۶/۴۲	۵/۷۴	۰/۲۴	۰/۱۹

تخریب غشای پلاسمایی و اختلال در عملکرد آنزیم‌ها می‌شود.

در اثر اعمال تنش خشکی و شوری در مطالعه حاضر، کاهش عملکرد و محتوای نسبی آب برگ در گلرنگ اتفاق افتاد (جدول ۳). محتوای نسبی آب برگ در اثر شوری حدود ۳۲ درصد و در اثر تنش خشکی حدود ۴۰ درصد کاهش یافت. کاهش در محتوای نسبی آب برگ با کاهش در میزان فتوسنتز و نهایتاً کاهش تولید همراه است. در تنش خشکی گیاه با دوره‌های کاهش دریافت آب مصرفی مواجه می‌شود که باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ و عملکرد گیاه می‌شود (Goharrizi *et al.*, 2021). در پژوهش‌های اخیر، کاهش محتوای نسبی آب برگ تحت تنش‌های محیطی به‌ویژه شوری و خشکی گزارش شده است. به‌عنوان نمونه، Fatahiyan و همکاران (۲۰۲۵) نشان دادند که افزایش غلظت نمک در محیط ریشه منجر به کاهش RWC، افت محتوای پتاسیم و رنگدانه‌های فتوسنتزی و افزایش سدیم، MDA و H_2O_2 در گلرنگ می‌گردد. مطالعه‌ای توسط اسماعیل‌زاده Esmaeilzadeh و همکاران (۲۰۲۲) نشان داد که هر دو تنش شوری و خشکی سبب کاهش قابل توجهی در RWC شدند و در شرایط تنش ترکیبی، شدت این کاهش بیشتر بوده است. همچنین Bijanzadeh و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که ژنوتیپ‌های مختلف گلرنگ در پاسخ به تنش خشکی، رفتار متفاوتی در حفظ RWC داشتند. در مجموع، کاهش RWC را می‌توان به کاهش توانایی -سامانه ریشه‌ای در جذب آب و نیز افزایش تعرق نسبت داد. این شاخص یکی از مهم‌ترین پارامترهای فیزیولوژیکی برای ارزیابی وضعیت آب موجود در بافت‌های گیاه بوده و توانایی ژنوتیپ‌ها در حفظ آن، شاخصی برای تحمل به تنش‌های محیطی محسوب می‌شود (Bijanzadeh *et al.*, 2022). با توجه به مقایسه میانگین صفات برای -ژنوتیپ‌ها (جدول ۶)، ژنوتیپ G59 و لاین 51TP در شرایط تنش خشکی و لاین‌های 51TP و 61TP در شرایط تنش شوری، دارای بیشترین میزان محتوای نسبی آب در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.141]

جدول ۶- میانگین صفات عملکرد و محتوای نسبی آب برگ همراه با شاخص‌های تحمل و پایداری عملکرد برای ۱۰ ژنوتیپ منتخب نوترکیب (RILs) و جهانی گیاه گلرنگ در سه محیط نرمال، تنش شوری و خشکی

ردیف	کد ژنوتیپ	عملکرد دانه ($gplant^{-1}$)			محتوای نسبی آب برگ (٪)			شاخص‌های تحمل به تنش			
		نرمال	شوری	خشکی	نرمال	شوری	خشکی	CSI شوری	CSI خشکی	YSI شوری	YSI خشکی
		والدین و لاین‌های نو ترکیب									
۱	T	۱۴/۵۳	۱۰/۸۸	۷/۹۱	۹۳/۲۲	۵۵/۸۹	۵۵/۹۶	۳۳/۱۵	۲۹/۶۸	۰/۷۵	۰/۵۴
۲	51TP	۱۷/۸۲	۱۴/۱۹	۷/۹۷	۹۰/۸۷	۷۰/۷۶	۵۶/۴۹	۴۲/۰۲	۳۵/۵۱	۰/۸۰	۰/۴۵
۳	61TP	۲۵/۲۴	۲۱/۳۹	۸/۲۴	۸۳/۷۶	۶۳/۴۳	۵۱/۸۴	۵۶/۳۱	۴۴/۹۷	۰/۸۳	۰/۳۵
۴	142TO	۲۰/۲۰	۱۵/۸۴	۹/۱۱	۸۳/۶۲	۴۹/۸۹	۵۴/۲۵	۴۷/۳۳	۴۰/۱۹	۰/۷۸	۰/۴۵
۵	156TO	۱۴/۱۸	۱۱/۶۶	۱۲/۷۳	۸۸/۸۹	۶۰/۶۸	۵۰/۶۷	۴۳/۱۵	۳۸/۲۵	۰/۹۲	۰/۶۵
		ارقام جهانی و رایج تجاری									
۶	G47	۲۱/۰۱	۱۴/۳۲	۷/۷۶	۸۹/۵۶	۵۰/۸۵	۴۸/۴۲	۴۷/۲۷	۳۹/۷۹	۰/۸۹	۰/۴۹
۷	G52	۳۳/۳۹	۱۸/۰۶	۱۲/۸۳	۸۴/۶۷	۵۹/۲۲	۵۳/۵۸	۶۴/۶۰	۵۴/۴۱	۰/۷۰	۰/۳۸
۸	G59	۱۷/۵۶	۱۵/۱۸	۱۳/۳۱	۹۱/۳۳	۵۸/۸۹	۵۷/۱۳	۴۹/۱۶	۴۴/۹۰	۰/۶۷	۰/۵۳
۹	PADIDE	۱۷/۱۰	۱۱/۶۷	۶/۳۲	۸۲/۲۶	۵۴/۴۷	۵۰/۵۶	۳۴/۵۹	۳۰/۰۸	۰/۵۹	۰/۳۷
۱۰	KOOSE	۲۴/۹۸	۱۲/۲۵	۱۰/۸۱	۹۰/۴۷	۶۰/۲۸	۵۰/۰۵	۴۱/۲۵	۳۹/۸۴	۰/۵۰	۰/۴۹
	LSD 5%	۴/۰۳	۲/۸۰	۲/۱۱	۱۰/۴۸	۸/۲۶	۹/۲۷	۶/۴۲	۵/۷۴	۰/۲۴	۰/۱۹

شرایط تنش بودند.

براساس نتایج جدول ۶، بیش‌ترین عملکرد دانه در بوته در شرایط نرمال مربوط به ژنوتیپ G52 با مقدار ۳۳/۳۹ گرم در بوته و در شرایط تنش شوری، بیش‌ترین میزان عملکرد دانه در بوته مربوط به ژنوتیپ 61TP با مقدار ۲۱/۳۹ گرم در بوته بود. همچنین در شرایط تنش خشکی، بیشترین عملکرد دانه در بوته مربوط ژنوتیپ‌های G59، G52 و 156TO به ترتیب با مقادیر ۱۳/۳۱، ۱۲/۸۳ و ۱۲/۷۳ گرم در بوته بود. به‌طورکلی در شرایط تنش شوری و خشکی میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها کاهش یافت (۳۴/۳ درصد در اثر شوری و ۵۴/۴ درصد در اثر خشکی) که در شرایط تنش خشکی این کاهش شدیدتر بود (جدول ۳).

در میان ژنوتیپ‌های مورد بررسی، ژنوتیپ‌های G52، 61TP و 156TO نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها تحت شرایط تنش از عملکرد دانه بیشتری برخوردار بودند. بروز صفات فیزیولوژیک نیز با عملکرد دانه در تطابق بود، به‌طوری‌که این ژنوتیپ‌ها دارای محتوای نسبی آب برگ (RWC) بالا و نسبت پایین سدیم به پتاسیم بودند. علاوه‌براین، افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در این ژنوتیپ‌ها نیز مشاهده شد که در کنار سایر ویژگی‌های فیزیولوژیک، نشان‌دهنده بروز سازوکارهای مؤثر تحمل به تنش در آن‌هاست. گزارش شده است که فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌تواند به عنوان شاخص اصلاحی برای تحمل به تنش استفاده شوند (Golkar *et al.*, 2021). این نتایج بیانگر توان بالای این ژنوتیپ‌ها در مقابله با شرایط تنش و برتری آن‌ها نسبت به سایر ژنوتیپ‌های منتخب است. در مقابل، رقم پدیده در شرایط تنش با کاهش قابل توجه محتوای نسبی آب برگ و افزایش نسبت سدیم به پتاسیم همراه بود. همچنین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در این رقم دچار کاهش شد. بر اساس این شواهد، می‌توان نتیجه گرفت که رقم پدیده از نظر فیزیولوژیکی نسبت به شرایط تنش حساس است و همین مسئله منجر به کاهش عملکرد دانه آن در شرایط تنش شده است.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.141]

جدول ۷- ضرایب همبستگی بین صفات فیزیولوژیک و عملکرد دانه در ۱۰ ژنوتیپ مورد مطالعه در محیط عدم تنش(بالای قطر) و تنش شوری (پایین قطر)

	Na	K	Na/K	CAT	APX	POD	RWC	Yp	YSI	CSI
مقدار عنصر سدیم (Na)	۱	۰/۳۱	۰/۲۴	۰/۵۳	۰/۴۰	−۰/۱۸	−۰/۰۷	۰/۶۹	−۰/۴۴	۰/۶۰
مقدار عنصر پتاسیم (K)	۰/۳۵	۱	−۰/۸۳	۰/۶۲	۰/۲۷	۰/۲۷	−۰/۲۲	۰/۳۴	−۰/۲۴	۰/۲۵
نسبت سدیم به پتاسیم (Na/K)	۰/۵۵	−۰/۵۷	۱	−۰/۲۷	−۰/۰۳	−۰/۳۳	۰/۱۸	۰/۰۲	−۰/۰۴	۰/۰۴
فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT)	۰/۲۰	۰/۲۱	−۰/۰۳	۱	۰/۳۸	۰/۳۹	−۰/۳۲	۰/۵۱	−۰/۶۳	۰/۲۹
فعالیت آنزیم آسکوربات (APX)	۰/۵۶	۰/۰۱	۰/۴۶	۰/۲۸	۱	۰/۵۷	−۰/۲۵	۰/۲۵	−۰/۵۱	۰/۰۵
فعالیت آنزیم پراکسیداز (POD)	−۰/۵۳	−۰/۵۰	−۰/۰۸	−۰/۱۹	−۰/۴۹	۱	−۰/۰۶	۰/۱۰	−۰/۷۱	−۰/۲۰
محتوای نسبی آب برگ (RWC)	−۰/۲۷	۰/۱۶	−۰/۳۸	−۰/۲۹	−۰/۳۹	۰/۴۸	۱	−۰/۴۱	۰/۰۷	−۰/۴۹
عملکرد دانه (Yp)	۰/۰۳	۰/۲۴	−۰/۱۲	۰/۱۵	۰/۵۲	−۰/۴۵	۰/۰۳	۱	−۰/۶۱	۰/۹۳
شاخص YSI	−۰/۳۳	−۰/۳۵	−۰/۰۲	۰/۲۹	۰/۳۱	۰/۴۱	۰/۱۹	۰/۱۷	۱	−۰/۲۸
شاخص CSI	۰/۱۹	۰/۴۳	−۰/۱۴	۰/۰۸	۰/۳۶	−۰/۶۱	−۰/۰۵	۰/۹۰	−۰/۲۸	۱

ضرایب همبستگی بزرگتر از ۰/۶۳ در سطح ۵ درصد و بزرگتر از ۰/۷۶ در سطح ۱ درصد معنی‌دار است.

جدول ۸- ضرایب همبستگی بین صفات فیزیولوژیک و عملکرد دانه در ۱۰ ژنوتیپ مورد مطالعه در محیط عدم تنش(بالای قطر) و تنش خشکی (پایین قطر)

	Na	K	Na/K	CAT	APX	POD	RWC	Yp	YSI	CSI
مقدار عنصر سدیم (Na)	۱	۰/۳۱	۰/۲۴	۰/۵۳	۰/۴۰	−۰/۱۸	−۰/۰۷	۰/۶۹	−۰/۱۱	۰/۸۰
مقدار عنصر پتاسیم (K)	–	۱	−۰/۸۳	۰/۶۲	۰/۲۷	۰/۲۷	−۰/۲۲	۰/۳۴	۰/۱۶	۰/۴۹
نسبت سدیم به پتاسیم (Na/K)	–	–	۱	−۰/۲۷	−۰/۰۳	−۰/۳۳	۰/۱۸	۰/۰۲	−۰/۲۲	−۰/۰۹
فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT)	-	-	-	۱	۰/۳۸	۰/۳۹	−۰/۳۲	۰/۵۱	۰/۰۹	۰/۶۶
فعالیت آنزیم آسکوربات (APX)	-	-	-	−۰/۳۶	۱	۰/۵۷	−۰/۲۵	۰/۲۵	−۰/۱۹	۰/۲۱
فعالیت آنزیم پراکسیداز (POD)	-	-	-	−۰/۳۰	۰/۴۱	۱	−۰/۰۶	۰/۱۰	−۰/۲۰	۰/۰۱
محتوای نسبی آب برگ (RWC)	-	-	-	۰/۳۸	۰/۷۷	۰/۶۰	۱	−۰/۴۱	۰/۴۶	−۰/۱۷
عملکرد دانه (Yp)	-	-	-	۰/۴۹	۰/۳۴	۰/۵۹	۰/۷۵	۱	−۰/۵۷	۰/۸۵
شاخص YSI	-	-	-	۰/۳۵	−۰/۸۲	−۰/۲۳	−۰/۶۰	−۰/۱۷	۱	−۰/۰۷
شاخص CSI	-	-	-	۰/۳۵	۰/۵۹	۰/۷۱	۰/۸۰	۰/۹۰	۰/۵۸	۱

ضرایب همبستگی بزرگتر از ۰/۶۳ در سطح ۵ درصد و بزرگتر از۰/۷۶ در سطح ۱ درصد معنی‌دار است.

براساس نتایج این مطالعه، با توجه به افزایش فعالیت آنزیمی و همچنین تغییر کمتر محتوای نسبی آب برگ در اثر تنش شوری در مقایسه با تنش خشکی و به دنبال آن کاهش عملکرد بیشتر در اثر تنش خشکی، می‌توان نتیجه گرفت که ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در مقابل تنش شوری اعمال شده (۲۰۰ میلی‌مولار نمک آب) تحمل بیشتری نسبت به مقابله با تنش خشکی نشان داده‌اند.

همبستگی صفات: ضرایب همبستگی بین صفات در جدول‌های ۷ و ۸ آمده است. با توجه به ضرایب همبستگی، مشاهده می‌شود که در شرایط تنش خشکی (پایین قطر جدول

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.141]

۸) بین محتوای نسبی آب برگ با فعالیت آنزیم آسکوربات همبستگی مثبت و معنی‌داری (r=۰/۷۷) وجود دارد. ضرایب همبستگی همچنین نشان داد که رابطه مثبت و معنی‌داری (r=۰/۷۵) بین محتوای نسبی آب برگ و عملکرد دانه در ارقام مورد بررسی وجود داشت. تفاوت محتوای نسبی آب برگ در ارقام مختلف می‌تواند به توانایی آن‌ها در جذب آب از خاک یا توانایی بستن روزنه‌ها و تعرق کمتر در شرایط تنش مربوط باشد. همچنین از وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین این صفت با فعالیت آنزیم آسکوربات می‌توان نتیجه گرفت که در این شرایط افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی در گیاه برای مقابله با تنش رخ می‌دهد. بنابراین محتوای نسبی آب برگ در واقع ابزار بسیار مناسبی برای گزینش در شرایط تنش خشکی است و ارقامی که بدون بستن روزنه‌های خود توانایی حفظ آب بیشتری دارند، برای مناطق خشک مناسب‌تر هستند. بر اساس نتایج مطالعه Alizadeh و همکاران (۲۰۲۰)، نیز همبستگی مثبت و قوی بین STI با عملکرد دانه، RWC، پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مشاهده و این شاخص به‌عنوان معیار مناسبی برای غربالگری ژنوتیپ‌های متحمل معرفی شده است. این نتایج می‌توانند در راستای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل‌تر به تنش در برنامه‌های به‌نژادی مفید باشند.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که نمونه‌های گلرنگ نتخاب‌شده از مطالعات قبلی، به واسطه تلاقی بین‌گونه‌ای یا انتخاب درون ژرم‌پلاسم خارجی، از پتانسیل بالایی برای بهبود تحمل به تنش شوری و خشکی برخوردار بودند. تنش خشکی و شوری در گیاه گلرنگ، باعث کاهش عملکرد (به ترتیب ۳۴ و ۵۴ درصد) و محتوای نسبی آب برگ (به ترتیب ۳۲ و ۴۰ درصد) و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (آسکوربات پراکسیداز، پراکسیداز، کاتالاز) گردید. تنش شوری افزایش معنی‌داری بر مقدار عنصر سدیم و نسبت میزان سدیم به پتاسیم در برگ داشت، درحالی‌که میزان پتاسیم در بافت برگ کاهش یافت. افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در مواجهه با تنش‌های شوری و خشکی، به‌ویژه در ژنوتیپ‌های متحمل، حاکی از نقش کلیدی سامانه‌های دفاعی آنتی‌اکسیدانی در خنثی‌سازی گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) و حفظ پایداری غشاهای سلولی است. در مقابل، ارقامی نظیر رقم پدیده با کاهش فعالیت آنزیمی و اختلال در تنظیم یون‌ها، حساسیت بیشتری نسبت به تنش‌های اعمال‌شده نشان دادند. ضرایب همبستگی نشان داد که رابطه مثبت و معنی‌داری (r=۰/۷۵) بین محتوای نسبی آب برگ و عملکرد دانه در ارقام مورد بررسی وجود داشت. در شرایط تنش شوری نیز مقدار سدیم با فعالیت آنزیم آسکوربات و همچنین عملکرد دانه و شاخص تحمل دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری بودند. از این ارتباطات می‌توان در انتخاب غیرمستقیم برای بهبود تحمل به خشکی و شوری استفاده کرد.

نتایج نشان داد ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در مقابل تنش شوری تحمل بیشتری نسبت به تنش خشکی دارند. رقم شاهد پدیده در هر سه شرایط محیطی نرمال، تنش شوری و خشکی عملکرد کمی داشت درحالی‌که در شرایط تنش خشکی رقم شاهد کوسه اصفهان تحمل به تنش متوسطی داشت. بالاترین شاخص تحمل به تنش (CSI) در هر دو شرایط تنش خشکی و شوری مربوط به ژنوتیپ G52 بود. تحت تنش شوری، ژنوتیپ 61TP شاخص تحمل به تنش و عملکرد بهتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها نشان داد. بنابراین می‌توان این ژنوتیپ را به عنوان ژنوتیپ متحمل به تنش شوری دانست. ژنوتیپ G59 شاخص تحمل به تنش و عملکرد دانه مناسبی را تحت تنش خشکی نشان داد. از ژنوتیپ‌های شناسایی‌شده می‌توان برای آزادسازی ارقام جدید یا تلاقی و استفاده در مطالعات آتی استفاده کرد.

منابع

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.141]

ابوالحسنی، خیراله، و سعیدی، قدرت‌اله (۱۳۸۵). بررسی صفات زراعی ژنوتیپ گلرنگ در دو رژیم رطوبتی در اصفهان. *علوم کشاورزی و منابع طبیعی*، *۱۳*(۴)، ۴۳-۵۴. https://sid.ir/paper/9791/fa

امیدی، امیرحسین، و اکبرلو، حسین، و صمدی فیروزآبادی، بصیر (۱۳۹۳). گلرنگ (خواص، انواع، ارقام، تولید و فراوری). انتشارات دانش‌نگار.

زارعی سودانی، حسینعلی (۱۴۰۰). غربالگری برای تحمل به تنش شوری در لاین‌های خویش آمیخته نوترکیب (RILs) حاصل از تلاقی بین‌گونه‌ای و بخشی از ژرم‌پلاسم جهانی گلرنگ درکشت پاییزه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

شیراوند، رضا، و مجیدی، محمد مهدی (۱۳۹۲). تحلیل ارتباط ویژگی‌های مختلف در ژنوتیپ‌های پنج گونه جنس Carthamus تحت شرایط عادی و کم آبیاری. *تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی*، *۳*(۸)، ۱۴۹-۱۶۳. http://jcpp.iut.ac.ir/article-1-1832-fa.html

شیراوند، رضا، و مجیدی، محمد مهدی (۱۳۹۳). مقایسه گونه‌های وحشی و اهلی گلرنگ از نظر تحمل به تنش خشکی و تنوع صفات مرفولوژیک و زراعی. *پژوهش‌های زراعی ایران*، *۱۲*(۴)، ۷۳۸-۷۵۰. https://doi.org/10.22067/gsc.v12i4.24687

ملکی‌نژاد، رضا، و مجیدی، محمد مهدی (۱۳۹۴). ارزیابی ژرم‌پلاسم‌های داخلی و خارجی گلرنگ زراعی در شرایط نرمال و تنش خشکی. *پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی*، *۷*(۱۵)،۱۳-۱.

منصوری، سرور (۱۴۰۱). غربالگری برای تحمل به تنش شوری در لاین‌های خویش‌آمیخته نوترکیب (RILs) حاصل از تلاقی بین‌گونه‌ای و بخشی از ژرم‌پلاسم جهانی گلرنگ در کشت بهاره. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

میرمحمدی میبدی، سید علی‌محمد، و قره‌یاضی، بهزاد (۱۳۸۱). جنبه‌های فیزیولوژی و به‌نژادی تنش شوری گیاهان زراعی. انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان.

Aebi, H. (1984). Catalase in vitro. *In Methods in Enzymology*, *105*, 121-126. https://doi.org/10.1016/S0076-6879(84)05016-3

Alizadeh Yeloojeh, K., Saeidi, G., & Ehsanzadeh, P. (2020). Effectiveness of physiological traits in adopting safflower (*Carthamus tinctorius* L.) genotypes to water deficit condition. *International Journal of Plant Production*, *14*(1), 155-164. https://doi.org/10.1007/s42106-019-00075-3

Amini, F., Saeidi, G., & Arzani, A. (2008). Study of genetic diversity in safflower genotypes using agro-morphological traits and RAPD markers. *Euphytica*, *163*, 21-30. https://doi.org/10.1007/s10681-007-9556-6

Arzani, A, & Ashraf, M. (2016). Smart engineering of genetic resources for enhanced salinity tolerance in crop plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, *35*(3), 146-189. https://doi.org/10.1080/07352689.2016.1203854

Ashri, A. (1975). Evaluation of the germ plasm collection of safflower, *Carthamus tinctorius* LV distribution and regional divergence for morphological characters. *Euphytica*, *24*(3), 651-659. https://doi.org/10.1007/BF00132903

Ashri, A, & Knowles, P. F. (1960). Cytogenetics of safflower (*Carthamus* L.) species and their hybrids 1. *Agronomy Journal*, *52*(1), 11-17. https://doi.org/10.2134/agronj1960.00021962005200010004x

Bouslama, M, & Schapaugh Jr, W. T. (1984). Stress tolerance in soybeans. I. Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance 1. *Crop Science*, *24*(5), 933-937. https://doi.org/10.2135/cropsci1984.0011183X002400050026x

Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, *72*(1-2), 248-254. https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3

Bijanzadeh, E., Moosavi, S. M., & Bahadori, F. (2022). Quantifying water stress of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars by crop water stress index under different irrigation regimes. *Heliyon*, *8*(3). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09010

Cao, Y., Turk, K., Bibi, N., Ghafoor, A., Ahmed, N., Azmat, M., & Ahanger, M. A. (2025). Nanoparticles as catalysts of agricultural revolution: Enhancing crop tolerance to abiotic stress: A review. *Frontiers in Plant Science*, *15*, 1510482. https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1510482

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.141]

Chance, B, & Maehly, A. C. (1955). Assay of catalases and peroxidases. *Methods of Biochemical Analysis, 1*, 357-424. https://doi.org/10.1016/S0076-6879(55)02300-8

Deshpande, R. B. (1952). Wild safflower (*Carthamus oxya-cantha* Bieb.)-a possible oilseed crop for the desert and arid regions. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding, 12*, 10-13.

Estilai, A, & Knowles, P. F. (1976). Cytogenetic studies of *Carthamus* divaricatus with eleven pairs of chromosomes and its relationship to other *Carthamus* species (Compositae). *American Journal of Botany*, *63*(6), 771-782. https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1976.tb11866.x

Ebrahimi, F., Majidi, M. M., Arzani, A., & Mohammadi-Nejad, G. (2016). Oil and seed yield stability in a worldwide collection of safflower under arid environments of Iran. *Euphytica*, *212*, 131-144. https://doi.org/10.1007/s10681-016-1779-y

Ebrahim, F., Arzani, A., Rahimmalek, M., Sun, D., & Peng, J. (2020). Salinity tolerance of wild barley *Hordeum vulgare* ssp. spontaneum. *Plant Breeding*, *139*(2), 304-316. https://doi.org/10.1111/pbr.12770

Espanani, S., Majidi, M. M., Saeidi, G., & Alaei, H. (2019). Physiological aspects of inter-specific gene introgression to improve drought tolerance in safflower. *Euphytica*, *215*, 1-18. https://doi.org/10.1007/s10681-019-2477-3

Espanani, S., Majidi, M. M., Saeidi, G., Alaei, H., & Rezaei, V. (2019). Wide hybridization and introgression breeding in safflower: Effectiveness of different selection methods. *Plant Breeding*, *138*(6), 846-861. https://doi.org/10.1111/pbr.12713

Esmaeilzadeh, M., Babazadeh, H., Naghavi, H., Saremi, A., & Shiresmaeili, G. (2022). Growth, photosynthesis and production of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in response to different levels of salinity and drought. *International Agrophysics*, *36*(2). https://doi.org/10.31545/intagr/147892

Fatahiyan, F., Najafi, F., & Shirkhani, Z. (2025). Enhancing salt stress tolerance in *Carthamus tinctorius* L. through selenium soil treatment: Anatomical, biochemical, and physiological insights. *BMC Plant Biology*, *25*(1), 100. https://doi.org/10.1186/s12870-025-06078-9

Gao, J. F. (2006). Technique of Phytophysiology Experiments. 1st Ed. Higher Education Press, Shaanxi, China.

Goharrizi, K. J., Hamblin, M. R., Karami, S., & Nazari, M. (2021). Physiological, biochemical, and metabolic responses of abiotic plant stress: Salinity and drought. *Turkish Journal of Botany*, *45*(7), 623-642. https://doi.org/10.3906/bot-2108-30

Golkar, P., Hamzeh, E., Mirmohammadi Maibody, S. A., & Taghizadeh, M. (2021). Safflower's (*Carthamus tinctorius* L.) physio-biochemical mechanisms to improve its drought tolerance. *Acta Physiologiae Plantarum*, *43*(5), 82. https://doi.org/10.1007/s11738-021-03254-w

Haghpanah, M., Hashemipetroudi, S., Arzani, A., & Araniti, F. (2024). Drought tolerance in plants: Physiological and molecular responses. *Plants*, *13*(21), 2962. https://doi.org/10.3390/plants13212962

Leo, M. W. (1971). Atomic absorption and flame photometry: Techniques and uses in soil, plant, and water analysis. In Instrumental Methods for Analysis of Soils and Plant Tissue (eds. Isaac, R. A. and Kerber, J. D.) Pp. 17-37. Soil Science Society of America.

Kiani, R., Arzani, A., & Habibi, F. (2015). Physiology of salinity tolerance in *Aegilops cylindrica*. *Acta Physiologiae Plantarum*, *37*, 1-10. https://doi.org/10.1007/s11738-015-1881-0

Majidi, M. M., Tavakoli, V., Mirlohi, A., & Sabzalian, M. R. (2011). Wild safflower species (*Carthamus oxyacanthus* Bieb.): A possible source of drought tolerance for arid environments. *Australian Journal of Crop Science*, *5*(8), 1055-1063. https://search.informit.org/doi/10.3316/informit.707712809752839

Majidi, M. M, & Zadhoush, S. (2014). Molecular and morphological variation in a world-wide collection of safflower. *Crop Science*, *54*(5), 2109-2119. https://doi.org/10.2135/cropsci2013.12.0850

Mosupiemang, M., Emongor, V. E., & Malambane, G. (2022). A review of drought tolerance in safflower. *International Journal of Plant and Soil Science*, *34*(10), 140-149. http://dx.doi.org/10.9734/IJPSS/2022/v34i1030930

Onder, S., Dayan, E., Karakurt, Y., & Tonguc, M. (2022). Changes in germination, antioxidant enzyme activities and biochemical contents of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under different salinity levels. *Suleyman Demirel University Faculty of Arts and Science Journal of Science, 17*(1), 185-194.

Nakano, Y, & Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and Cell Physiology*, *22*(5), 867-880. https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a076232

Poustini, K, & Siosemardeh, A. (2004). Ion distribution in wheat cultivars in response to salinity stress. *Field Crops Research*, *85*(2-3), 125-133. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(03)00157-6

Rao, M. J, & Zheng, B. (2025). The Role of polyphenols in abiotic stress tolerance and their antioxidant properties to scavenge reactive oxygen species and free radicals. *Antioxidants*, *14*(1), 74. https://doi.org/10.3390/antiox14010074

Sabouri, A., Dadras, A. R., Azari, M., Saberi Kouchesfahani, A., Taslimi, M., & Jalalifar, R. (2022). Screening of rice drought-tolerant lines by introducing a new composite selection index and competitive with multivariate methods. *Scientific Reports*, *12*(1), 2163. https://doi.org/10.1038/s41598-022-06123-9

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.141]

Sehgal, D., Rajpal, V. R., & Raina, S. N. (2008). Chloroplast DNA diversity reveals the contribution of two wild species to the origin and evolution of diploid safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Genome*, *51*(8), 638-643. https://doi.org/10.1139/G08-049

Shafiei-Koij, F., Majidi, M. M., Mirlohi, A., Saeidi, G., Barthet, V. J., & Eskini, S. (2019). The use of wild relatives of safflower to increase genetic diversity for fatty acid composition and drought tolerance. *Crop Science*, *59*(5), 2109-2118. https://doi.org/10.2135/cropsci2019.01.0068

Song, L., Yu, Y., Chen, H., Feng, Y., Chen, S., Zhang, H., & Wang, Y. (2024). Response of photosynthetic characteristics and antioxidant system in the leaves of safflower to NaCl and $NaHCO_3$. *Plant Cell Reports*, *43*(6), 146. https://doi.org/10.1007/s00299-024-03234-7

Sytar, O., Brestic, M., Zivcak, M., Olsovska, K., Kovar, M., Shao, H., & He, X. (2017). Applying hyperspectral imaging to explore natural plant diversity towards improving salt stress tolerance. *Science of the Total Environment*, *578*, 90-99. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.014

Vilatersana, R., Garnatje, T., Susanna, A., & Garcia-Jacas, N. (2005). Taxonomic problems in *Carthamus* (Asteraceae): RAPD markers and sectional classification. *Botanical Journal of the Linnean Society*, *147*(3), 375-383. https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2005.00375.x

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.141]

Response of ion contents and physiological traits to salinity and drought stress and genotype selection in safflower (*Carthamus tinctorius*)

Mina Amiri, Mohammad Mahdi Majidi*, Ghodratollah Saeidi

Department of agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan 84156-83111, Iran

(Received: 2025/05/03, Accepted: 2025/07/08)

Abstract

Abiotic stresses, including salinity and drought, have a significant role in reducing plant yield. Physiological traits are more effective than morphological and agronomic traits in identifying and differentiating plant responses to stress conditions and can serve as more efficient indicators for screening stress-tolerant genotypes. Interspecific hybridization can be used to enhance genetic diversity, transfer adaptability, and improve tolerance to salinity and drought stress, leading to the development of new cultivars. In this study, 10 genotypes, including four recombinant inbred lines (RILs) derived from interspecific crosses between *C. tinctorius* and *C. palaestinus* (coded as TP) and *C. oxyacanthus* (coded as TO), the parental species *C. tinctorius*, two commercial cultivars (Kooseh and Padideh), and three elite genotypes selected from previous studies, were evaluated under three environments: drought (90% soil moisture depletion), normal (50% soil moisture depletion), and salinity (EC = 20 dS/m). The results revealed significant genetic diversity among the studied genotypes in terms of all traits and tolerance to salinity and drought stress. Both drought and salinity stress reduced seed yield (by 34% and 54%, respectively) and relative leaf water content (by 32% and 40%, respectively) while increasing the activity of antioxidant enzymes (ascorbate peroxidase, peroxidase, and catalase). Correlation analysis indicated a significant positive relationship between relative leaf water content and seed yield in the studied genotypes. Given the more increased enzymatic activity under salinity stress and the lesser reduction in relative leaf water content compared to drought stress, followed by a greater decline in seed yield under drought, it can be concluded that the studied genotypes exhibited higher tolerance to salinity stress than to drought stress. Tolerant genotypes for both drought and salinity conditions were identified: genotype 61TP (derived from interspecific hybridization) was recognized as salinity-tolerant, genotype G59 (a global selection) as drought-tolerant, while genotype G47 (a global selection) and the commercial cultivar Padideh were identified as stress-sensitive. The identified genotypes can be utilized for releasing new cultivars or further crossing in future breeding programs.

Keywords: Ascorbate peroxidase, Safflower, Water deficit, Relative water content

Corresponding author, Email: majidi@iut.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.141]