

مقاله پژوهشی

تأثیر کاربرد اسید جیبرلیک بر شاخص‌های جوانه‌زنی و بیوشیمیایی بذر زوال یافته گلرنگ
(*Carthamus tinctorius*) در شرایط تنش رطوبتیامید انصاری^{۱*}، اسماعیل شیرغانی^۲، خداداد شعبانی^۳

چکیده مبسوط

مقدمه: به دلیل حساسیت بالای بذر به صدمات ناشی از بیماری‌ها یا تنش‌های محیطی جوانه‌زنی جزء مهمترین مراحل زندگی گیاهان مختلف محسوب می‌شود. جوانه‌زنی، یکنواختی جوانه‌زنی و سبز شدن بذرها بعد از طی دوره انبارداری اغلب در نتیجه زوال قدرت بذر کاهش می‌یابد، یکی از عوامل محیطی مهم تأثیر گذار بر جوانه‌زنی تنش رطوبتی است. بخصوص وقتی ذخیره‌سازی نادرست باشد. پرایمینگ بذر با اسید جیبرلیک سبب بهبود خصوصیات گیاهچه‌ای در گیاهان مختلف تحت شرایط مختلف محیطی می‌شود. بنابراین هدف از این پژوهش بررسی تأثیر اسید جیبرلیک و زوال بذر بر شاخص‌های جوانه‌زنی و بیوشیمیایی (آنزیم‌های آنتی اکسیدانته) بذر گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) تحت شرایط تنش رطوبتی است.

مواد و روش‌ها: به منظور مطالعه اثر اسید جیبرلیک بر شاخص‌های جوانه‌زنی و تغییرات بیوشیمیایی (آنزیم‌های آنتی اکسیدانته) بذر پیر شده گلرنگ تحت شرایط تنش رطوبتی، آزمایشی به صورت فاکتوریل، در قالب طرح کاملاً تصافی و با ۴ تکرار انجام شد. عامل اول شامل سه سطح تنش رطوبتی صفر (شاهد)، ۰/۴- و ۰/۸- مگاپاسکال، عامل دوم شامل ۹ سطح زوال (صفر، ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸ روز زوال در دمای ۴۱ درجه سلسیوس) و عامل سوم شامل تیمار پرایمینگ بذر در سه سطح شاهد (بذر بدون پرایم)، صفر (هیدروپرایم) و پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۵۰ میلی گرم بر لیتر بود. جهت نشان دادن روند تغییرات شاخص‌های جوانه‌زنی در سطوح مختلف زوال بذر از مدل سیگموئید سه پارامتره استفاده شد.

یافته‌ها: اثر تنش رطوبتی، زوال بذر و پرایمینگ بذر بر شاخص‌های اندازه‌گیری شده از قبیل درصد و سرعت جوانه‌زنی، وزن خشک گیاهچه، درصد گیاهچه طبیعی، طول گیاهچه، بنیه بذر، فعالیت کاتالاز و آسکوربات پروکسیداز و همچنین پروتئین بذر معنی‌دار بود، به طوری که با افزایش زوال بذر و تنش رطوبتی شاخص‌های اندازه‌گیری شده کاهش یافتند. بیشترین میزان شاخص‌های جوانه‌زنی اندازه‌گیری شده از پرایمینگ بذر با اسید جیبرلیک ۵۰ میلی گرم بر لیتر در شرایط شاهد بدون زوال و شاهد رطوبتی به دست آمدند. همچنین، پرایمینگ بذر با اسید جیبرلیک باعث افزایش در میزان فعالیت کاتالاز و آسکوربات پروکسیداز و پروتئین در مقایسه با بذر شاهد بدون پرایم در شرایط زوال و عدم زوال شد.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که، مناسب‌ترین سطح پرایم استفاده شده، اسید جیبرلیک ۵۰ میلی گرم بر لیتر بود که هم در شرایط تنش و هم شرایط نرمال و زوال و عدم زوال در مقایسه با سایر تیمارها اثر بیشتری بر شاخص‌های اندازه‌گیری شده داشت از اینرو می‌توان با استفاده از هورمون اسید جیبرلیک به بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی در نتیجه تغییر در فعالیت‌های بیوشیمیایی کمک نمود.

واژه‌های کلیدی: پراکسیداز، پیری تسریع شده، تیمار بذر، شاخص‌های جوانه‌زنی، کاتالاز، گلرنگ

جنبه‌های نوآوری:

- ۱- اثر زوال و پرایمینگ بر جوانه‌زنی بذر گلرنگ تحت شرایط تنش رطوبتی بررسی شد.
- ۲- اثر پرایمینگ بر فعالیت کاتالاز و پراکسیداز بذر زوال یافته گلرنگ مورد بررسی قرار گرفت.

^۱ دکتری رشته علوم و تکنولوژی بذر دانشگاه علوم کشاورزی و منابع

طبیعی گرگان، گرگان، ایران

^۲ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد رشته آگرواکولوژی، دانشکده

کشاورزی شیروان، دانشگاه بجنورد، بجنورد، ایران

^۳ دانشجوی دکتری زراعت دانشگاه آزاد، واحد شیروان

مقدمه

اکثر گیاهان از طریق جنسی تولید بذر و زاد و ولد می‌کنند. جوانه‌زنی موفق بذر، ظهور و استقرار گیاهچه‌های طبیعی تکثیر گونه‌های گیاهی را تعیین می‌کند که از دو جنبه بوم‌شناختی و اقتصادی دارای اهمیت زیادی است. بذرها حساسیت زیادی به آسیب در نتیجه بیماری‌ها یا تنش‌های محیطی زنده و غیرزنده دارند، که این عوامل جوانه‌زنی در بذر گیاهان مختلف را تحت تأثیر قرار می‌دهند و این موضوع باعث شده است که این فاز جزء مهمترین مراحل زندگی گیاهی محسوب شود. جوانه‌زنی با جذب آب بذر در بذرها خشک رسیده و بالغ شروع شده و با خارج شدن و مشاهده ریشه‌چه از پوسته بذر به پایان می‌رسد و در ادامه، رشد گیاهچه شروع می‌شود. جوانه‌زنی فرآیند پیچیده‌ای است که در بذرها بالغ با خروج ریشه‌چه و رشد گیاهچه تغییر رخ می‌دهد (نانوگاکي^۱ و همکاران، ۲۰۱۰). یکی از آزمون‌های مورد استفاده برای مطالعه بنیه بذر، آزمون پیری تسریع شده می‌باشد، که این آزمون در ابتدا جهت تعیین طول عمر بذر کاربرد داشت ولی بعد از آن به‌عنوان شاخصی جهت تعیین بنیه بذر استفاده شد که تعداد زیادی از محققین از این آزمون جهت تعیین قدرت بذر استفاده نموده‌اند (انصاری و شریف‌زاده^۲، ۲۰۱۳؛ مک دونالد^۳، ۱۹۹۹).

سرعت و همچنین یکنواختی سبز شدن گیاهچه از طریق تولید سامانه ریشه‌ای قوی در لایه بالایی سطح خاک خشک و سخت سبب استقرار موفق می‌شود (هاریس^۴، ۱۹۹۶). بذرها بعد از انبارداری و یا زوال اغلب جوانه‌زنی و یکنواختی جوانه‌زنی آنها در نتیجه کاهش بنیه کم می‌شود، به‌خصوص زمانی که انبارداری نادرست باشد. همچنین، جوانه‌زنی بذرها و سبز شدن گیاهچه‌های جوان نسبت به تنش رطوبتی حساس می‌باشند و تحمل به پسابش آنها نیز پایین است (لپرینس^۵ و همکاران، ۲۰۰۰؛ بویتینک^۶ و همکاران، ۲۰۰۳). پیش‌بینی

نادرست تغییرات آب و هوایی (الگوهای نامنظم بارش و درجه حرارت‌های غیرقابل پیش‌بینی) ممکن است شدت این تنش‌ها را بیشتر کنند.

پرایمینگ بذر جذب جزیی آب توسط بذر قبل از کشت می‌باشد که برای افزایش کارایی عملکرد استفاده شده است (بردفورد^۷، ۱۹۸۶). پرایمینگ بذر شامل جذب جزیی آب با استفاده از روش‌های مختلفی از قبیل جذب آب در زمان‌های مختلف (هیدرو پرایمینگ)، یا قرار دادن بذرها در معرض پتاسیل‌های آبی مختلف (اسمو پرایمینگ، ماتریک پرایمینگ یا دروم پرایمینگ) و یا قرارگیری بذرها در سطوح مختلف تنظیم‌کننده‌های رشدی (هورمون پرایمینگ) و غیره می‌باشد. به‌طور کلی جوانه‌زنی بذر شامل سه مرحله جذب آب، شروع فعالیت آنزیمی و خروج ریشه‌چه می‌باشد که در طی دوره پرایمینگ مراحل جوانه‌زنی طی خواهد شد بدون اینکه خروج ریشه‌چه اتفاق بیفتد (انصاری و شریف‌زاده، ۲۰۱۳). بنابراین بعد از دوره پرایمینگ، به‌طور معمول سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی افزایش می‌یابد. افزایش جوانه‌زنی تحت شرایط مطلوب و نامساعد محیطی بعد از تیمارهای پرایمینگ در بذر گیاهان مختلف شامل ذرت (*Zea mays*)، سویا (*Glycine max*)، اسفناج (*Spinacea oleracea*)، فلفل (*Capsicum*)، گندم (*Triticum aestivum*)، گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) و غیره گزارش شده است (اقبال و اشرف^۸، ۲۰۰۷؛ فاروق^۹ و همکاران، ۲۰۰۸؛ کورکماز و کورکماز^{۱۰}، ۲۰۰۹؛ زهو^{۱۱} و همکاران، ۲۰۰۹؛ چن^{۱۲} و همکاران، ۲۰۱۰؛ افروشه^{۱۳} و همکاران، ۲۰۱۸). سازوکارهای سلولی در بذرها تیمار شده به‌عنوان افزایش دهنده جوانه‌زنی و افزایش تحمل به تنش‌های محیطی در مقایسه با بذرها تیمار نشده متفاوت است، که سازوکارهای دفاعی سلول غالباً از ارتباط بین آنزیم‌های آنتی اکسیدانت تشکیل شده است

⁷ Bradford⁸ Iqbal and Ashraf⁹ Farooq¹⁰ Korkmaz and Korkmaz¹¹ Zhuo¹² Chen¹³ Afrosheh¹ Nanogaki² Ansari and Sharif zadeh³ Mc Donald⁴ Harris⁵ Leprince⁶ Buitink

کل و فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانتی را به دنبال خواهد داشت و استفاده از تیمار پرایمینگ جوانه‌زنی بذرهای زوال یافته تحت شرایط تنش رطوبتی را افزایش می‌دهد (انصاری و شریف زاده، ۲۰۱۳؛ اسدی آقبلاغی^۸ و همکاران، ۲۰۱۴؛ صیدمحمدی^۹، ۲۰۱۲).

بسیاری از محققین از توابع سیگموئیدی جهت بررسی روند تغییرات شاخص‌های جوانه‌زنی تحت شرایط مختلف استفاده کرده‌اند که در این رابطه بیاتیان^{۱۰} و همکاران (۲۰۲۱) با استفاده از مدل سیگموئیدی سه پارامتره پاسخ جوانه‌زنی بذر گلرنگ رقم صفه به زوال و دما را مورد بررسی قرار دادند و انصاری و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از مدل سیگموئید سه پارامتره جوانه‌زنی بذر پنیرک را در دماهای مختلف مورد بررسی قرار دادند.

گلرنگ^{۱۱} از گیاهان بومی ایران بوده که از دیرباز کشت رقم‌های محلی آن به‌خصوص در حاشیه مزرعه و با اهداف گوناگون شبیه پرچین در حاشیه مزارع، کاربرد گلبرگ‌های رنگی به‌عنوان رنگ غذا، کاربرد دارویی و حتی استفاده از روغن و پروتئین دانه رواج داشته است (فروزان^{۱۲}، ۲۰۰۵). این گیاه تحمل بالایی نسبت به تنش رطوبتی دارد که دلیل این موضوع داشتن ریشه‌هایی با توان بالا در جذب آب از لایه‌های عمیق‌تر خاک می‌باشد (فروزان، ۲۰۰۵). تحمل زیاد گلرنگ در مقابل تنش‌های غیرزیستی مانند کم آبی، شوری و گرما (شیراسماعیلی^{۱۳} و همکاران، ۲۰۱۷) و همچنین داشتن تیپ‌های بهاره و پاییزه سازگار با شرایط آب و هوایی کشور (طیعی^{۱۴} و همکاران، ۲۰۱۲) آینده روشنی را برای توسعه کشت و کار این گیاه روغنی رقم خواهد زد. تغییرات بیوشیمیایی و متابولیکی در طی فرآیند زوال سبب کاهش توان جوانه‌زنی و نمو بذر خواهد شد و این کاهش در بذر گیاهان زراعی-روغنی با سرعت بیشتری اتفاق می‌افتد و تاکنون مطالعات زیادی بر ارقام مختلف گلرنگ انجام شده است اما مطالعه‌ای بر رقم

(بیلی^۱، ۲۰۰۴). تغییرات متابولیکی و بیوشیمیایی مختلفی در طی دوره زوال بذر رخ می‌دهد که نتیجه نهایی آن کاهش شاخص‌های جوانه‌زنی و نمو بذر می‌باشد. نمونه آنزیم‌های انتخابی تخریبی آنتی اکسیدانتی که در طی مرگ بذر منجر به پیری بذرهای ارتودوکس می‌شوند شامل GSH در بذرهای نخود (کرانر و کولوا^۲، ۲۰۱۰) و *Suaeda maritime* (شیل^۳، ۲۰۱۰) و همکاران، ۲۰۱۰؛ توکوفرول در *Pinus sylvestris* (تاملا^۴ و همکاران، ۲۰۰۵) و *Suaeda maritime* (شیل و همکاران، ۲۰۱۰)؛ آسکوربیک و توکوفرول در *Fagus sylvatica* (پاکوکا و راتازاک^۵، ۲۰۰۷) و در طی پسایش بذرهای ریکالسیترا، سوپراکسید دیسموتاز در بذرهای *Shorea robusta* (چایتانیا و نایتانی^۶، ۱۹۹۴) و SOD، توکوفرول و آسکوربیک اسید و گلوکاتینون ردکتاز و گایاکول پراکسیداز در بذرهای *Quercus robur* می‌باشند. کنترل ناکافی آنتی اکسیدانتی، تجمع خسارات اکسیداتیو به ماکرومولکول‌ها را اجازه می‌دهد که در زوال بذر سهیم هستند. کاهش قوه نامیه بذر با لیپید پراکسیداسیون شدید (تاملا و همکاران، ۲۰۰۵؛ پوکاکا و راتازاک، ۲۰۰۷) و تغییرات در محتوا و ترکیبات فسفولیپیدها و PUFAs و تری آسید گلیسرول (تاملا و همکاران، ۲۰۰۵) و سطح بالای تغییرات پروتئینی غیرقابل برگشت‌پذیر مانند کربونیل‌اسیون (راجو^۷ و همکاران، ۲۰۰۸) مرتبط است.

گزارش‌ها نشان می‌دهند که زوال بذر باعث کاهش شاخص‌های جوانه‌زنی بذر می‌شود ولی تیمارهای پرایمینگ از قبیل تیمار بذر با اسید سالیسیلیک، اسید جیبرلیک و اسمو پرایمینگ باعث بهبود در شاخص‌های جوانه‌زنی تحت شرایط زوال بذر می‌شود. همچنین بیان شده است که زوال بذر سبب کاهش در پروتئین و فعالیت آنزیم‌های مختلف خواهد شد و استفاده از تیمارهای مختلف پرایمینگ افزایش در میزان پروتئین

⁸ Asadi Aghbolaghi

⁹ Seid Mohammadi

¹⁰ Bayatian

¹¹ *Carthamus tinctorius* L.

¹² Froozan

¹³ Shir Esmaeili

¹⁴ Tayebi

¹ Bailly

² Kranter and Colville

³ Seal

⁴ Tammela

⁵ Pukacka and Ratajczak

⁶ Chaitanya and Naithani

⁷ Rajjou

گل‌مهر جهت بررسی اثر اسید جیبرلیک بر جوانه‌زنی در شرایط تنش رطوبتی انجام نشده است. بنابراین هدف از این پژوهش بررسی تأثیر اسید جیبرلیک و زوال بذر بر شاخص‌های جوانه‌زنی و شاخص‌های بیوشیمیایی (آنزیم‌های آنتی اکسیدانسی) بذر گلرنگ تحت شرایط تنش رطوبتی است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۹۹-۱۴۰۰ در آزمایشگاه بذر شرکت کشت گستر هشتاد و هفت مرودشت و روی گلرنگ رقم گل‌مهر انجام شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار ۵۰ بذری اجرا شد. عامل‌های آزمایش شامل زوال بذر در ۹ سطح ۰، ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸ روز و تیمار پرایمینگ بذر در سه سطح شاهد (بذر بدون پرایم یا بذر خشک)، صفر (هیدروپرایم) و پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر برای مدت زمان ۱۸ ساعت در دمای ۲۰ درجه سلسیوس و تیمار بدون پرایم (شاهد) و تنش رطوبتی حاصل از پلی اتیلن گلایکول ۶۰۰۰ در ۳ سطح ۰ (شاهد)، ۰/۴- و ۰/۸- مگاپاسکال بود.

جهت انجام آزمون پیری تسریع شده بذرها به‌مدت ۰، ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸ روز در شرایط دمایی ۴۱ درجه سلسیوس و رطوبت حدوداً ۱۰۰ درصد درون جعبه‌های پلاستیکی قرار گرفتند. بعد از پایان دوره‌های پیری تسریع شده بذرها پیر شده توسط اسید جیبرلیک در سطوح پرایم بیان شدند، تیمار شدند در نهایت آزمون جوانه‌زنی استاندارد در سطوح تنش رطوبتی حاصل از پلی اتیلن گلایکول انجام شد. به‌منظور بررسی قوه نامیه و شاخص‌های مرتبط با جوانه‌زنی بذرها، آزمون جوانه‌زنی در پتری‌های ۱۰ سانتی‌متری و روی دو لایه کاغذ صافی با چهار تکرار ۵۰ بذری و درون انکوباتور با دمای ۲۵°C، در محیط تاریک به‌مدت ۱۴ روز در شرایط پتانسیل اسمزی ۰ (شاهد)، ۰/۴- و ۰/۸- مگاپاسکال انجام شد (ایستا^۱، ۲۰۱۰). سپس هر ۲۴ ساعت یک بار یادداشت‌برداری برای بذرها جوانه‌زده انجام و تعداد بذرها جوانه‌زده ثبت شد (بذرهایی با خروج ۲ میلی‌متر ریشه‌چه بذر جوانه‌زده محسوب شد).

در پایان ۱۴ روز آزمون شاخص‌هایی از قبیل درصد جوانه‌زنی، درصد گیاهچه طبیعی، شاخص سرعت جوانه‌زنی، طول گیاهچه، وزن خشک گیاهچه، بنیه طولی و وزنی گیاهچه محاسبه شدند. شاخص سرعت جوانه‌زنی (GRT) که مشخصه سرعت جوانه‌زنی می‌باشد از طریق رابطه ۱ محاسبه شد:

$$\text{رابطه ۱} \quad \text{GRT} = \sum_{i=1}^n \text{Ni} / \text{Di}$$

که در رابطه Ni تعداد بذرها جوانه‌زده در روز i ام و Di تعداد روزها از شروع آزمون (هنگام کشت) تا شمارش نام (پایان دوره آزمون) بود.

بعد از پایان مدت زمان جوانه‌زنی، تعداد گیاهچه‌های طبیعی شمارش شد و در نهایت درصد گیاهچه طبیعی گزارش شد. با توجه به تقسیم‌بندی انجمن رسمی بین المللی آزمون جوانه‌زنی بذر^۲ (۱۹۸۶) گیاهچه‌های بدون ریشه اولیه، با ریشه‌های ثانویه ضعیف، دارای لکه‌های نکروزه در بافت و گیاهچه‌های دارای جوانه‌زنی انتهایی آسیب دیده یا یک لپه از بین رفته به‌عنوان گیاهچه غیرطبیعی در نظر گرفته شد.

به‌منظور اندازه‌گیری شاخص بنیه در تیمارهای استفاده شده پس از آزمون جوانه‌زنی استاندارد، تعداد ۱۰ گیاهچه در هر تکرار به‌صورت تصادفی انتخاب و پس از اندازه‌گیری طول گیاهچه بر حسب سانتی‌متر بنیه طولی گیاهچه با استفاده از رابطه ۲ به‌دست آمد، همچنین جهت محاسبه بنیه وزنی در ابتدا گیاهچه‌ها به‌وسیله آون در دمای ۷۵ درجه سلسیوس به‌مدت ۲۴ ساعت خشک شدند و در نهایت با ترازوی دقیق وزن خشک گیاهچه محاسبه گردید. با استفاده از داده‌های به‌دست آمده، شاخص بنیه وزنی از رابطه ۳ به‌دست آمد (انصاری و همکاران، ۲۰۱۲).

رابطه ۲:

بنیه طولی گیاهچه = درصد گیاهچه طبیعی × طول گیاهچه/۱۰۰

رابطه ۳:

بنیه وزنی گیاهچه = درصد گیاهچه طبیعی × وزن خشک گیاهچه/۱۰۰

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز و آنزیم آسکوربات پراکسیداز بذرها و میزان پروتئین کل بعد از ۲۴ ساعت

^۲ AOSA

^۱ ISTA

شده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). از آنجایی که اثرات سه گانه و دوگانه در صفات مختلف معنی‌دار شد جهت نشان دادن مناسب‌تر اثر تیمارها از روش برش‌دهی در سطوح مختلف تنش رطوبتی استفاده شد که نتایج برش‌دهی نیز معنی‌دار گردید و مقایسه میانگین به‌صورت برش‌دهی اثر زوال و تیمارهای پرایمینگ در سطوح مختلف تنش رطوبتی با استفاده از برازش مدل سیگموئیدی نشان داده شدند (جدول ۲). نتایج حاکی از تأثیر معنی‌دار زوال بر درصد جوانه‌زنی بذر گلرنگ بود. به‌طوری که با افزایش زوال بذر درصد جوانه‌زنی تحت یک روند سیگموئیدی در تیمارهای پرایمینگ و سطوح مختلف تنش رطوبتی کاهش یافت (شکل ۱، جدول ۳). برازش مدل سیگموئیدی سه پارامتره به درصد جوانه‌زنی در زمان‌های مختلف زوال بذر در سطوح مختلف پرایم و تنش رطوبتی نشان داد که در تمامی شرایط تنش رطوبتی بالاترین درصد جوانه‌زنی در دوره‌های مختلف زوال مربوط به تیمار پرایمینگ ۵۰ میلی گرم بر لیتر بود (شکل ۱). در ادامه نتایج برازش مدل سیگموئیدی نشان داد که بالاترین درصد جوانه‌زنی برآورد شده با میانگین ۹۱/۲۹ درصد مربوط به شرایط بدون تنش و پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۵۰ میلی گرم بر لیتر بود (جدول ۳ و شکل ۱). در سطوح پرایمینگ شاهد و هیدروپرایمینگ در شرایط بدون تنش درصد جوانه‌زنی برآورد شده توسط مدل به‌ترتیب ۸۸/۴۳ و ۸۶/۶۳ درصد بود. همچنین در شرایط تنش رطوبتی ۰/۴- و ۰/۸- مگاپاسکال درصد جوانه‌زنی پیش‌بینی شده توسط مدل برای تیمار بدون پرایم، هیدروپرایمینگ و پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۵۰ میلی گرم بر لیتر به‌ترتیب ۷۵/۰۵، ۷۷/۶۷ و ۷۹/۲۴ و همچنین ۴۴/۶۴، ۴۹/۱۱ و ۶۳/۳۴ درصد بود (جدول ۳ و شکل ۱). با توجه به نتایج به‌دست آمده به‌خوبی مشخص شد که با افزایش شدت تنش رطوبتی درصد جوانه‌زنی کاهش یافت. همچنین نتایج به‌دست آمده نشان داد که زمان زوال رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی نهایی در بذرهای شاهد کمتر از بذرهای پرایم شده بود، به‌طوری که بیشترین تعداد روز زوال جهت کاهش ۵۰ درصد جوانه‌زنی نهایی مربوط به تیمار پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۵۰ میلی گرم بر لیتر با

آبنوشی در شرایط جوانه‌زنی استاندارد برای بذر شاهد (بدون پرایم) و بذر پرایم شده با اسید جیبرلیک با استفاده از روش‌های زیر اندازه‌گیری شدند.

برای استخراج آنزیم ۰/۲۵ گرم بذر گلرنگ با ۱/۵ میلی‌لیتر بافر استخراج در هاون چینی درون ظرف یخ کوبیده و همگن شد. پس از آن عصاره حاصل پس از انتقال به میکروتیوب، به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۴ درجه سلسیوس و ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. پس از سانتریفیوژ، فاز میانی در زیر لایه لیپیدی برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز و آسکوربات پرواکسیداز و پروتئین کل استفاده شد.

اندازه‌گیری پروتئین محلول به روش بردفورد (۱۹۷۶) و در طول موج ۵۹۵ نانومتر انجام شد. فعالیت آنزیم کاتالاز در طول موج ۲۴۰ نانومتر بر اساس روش جاندا^۱ و همکاران (۱۹۹۹) و فعالیت آنزیم آسکوربات پرواکسیداز در طول موج ۲۹۰ نانومتر بر اساس روش جانسون و کونینگهام^۲ (۱۹۷۲) اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

جهت توجیه روند تغییرات صفات اندازه‌گیری شده از تابع سه پارامتره سیگموئیدی استفاده شد که معادله آن به‌صورت زیر می‌باشد:

$$Y=a/(1+\exp(-(x-x_{50})/b))$$

که y صفات اندازه‌گیری شده، a حداکثر میزان این صفات، x_{50} سطح زوال که صفات بیان شده به ۵۰ درصد مقدار اولیه خود می‌رسند و b سرعت کاهش را نشان می‌دهد. جهت رسم شکل‌ها نرم افزار ۲۰۱۳ Excel مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج و بحث

اثر زوال بذر، پرایمینگ و تنش رطوبتی بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر گلرنگ

نتایج جدول تجزیه واریانس اثر زوال بذر، پرایمینگ و سطوح مختلف تنش رطوبتی بر شاخص‌های جوانه‌زنی نشان داد که اثر ساده و متقابل زوال بذر، پرایمینگ و تنش رطوبتی بر تمامی صفات جوانه‌زنی اندازه‌گیری

¹ Janda

² Johnson and Cunningham

مختلف زوال مربوط به تیمار پرایمینگ ۵۰ میلی گرم بر لیتر بود (شکل ۲). نتایج نشان داد که بالاترین درصد گیاهچه طبیعی برآورد شده توسط مدل با میانگین ۹۰/۹۷ درصد مربوط به شرایط بدون تنش و پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۵۰ میلی گرم بر لیتر بود (جدول ۱ و شکل ۲). در سطوح پرایمینگ شاهد و هیدروپرایمینگ در شرایط بدون تنش درصد گیاهچه طبیعی برآورد شده توسط مدل به ترتیب ۸۷/۰۶ و ۸۶/۲۹ درصد بود. همچنین در شرایط تنش رطوبتی ۰/۴- و ۰/۸- مگاپاسکال درصد گیاهچه طبیعی پیش‌بینی شده توسط مدل برای تیمار بدون پرایم، هیدروپرایمینگ و پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۵۰ میلی گرم بر لیتر به ترتیب ۶۶/۲۱، ۷۶/۳۸ و ۷۶/۲۴ و همچنین ۲۸/۳۵، ۳۴/۲۱ و ۳۵/۲۱ درصد بود (جدول ۳ و شکل ۲).

میانگین ۶/۲۷ روز زوال در شرایط بدون تنش بود و در تیمارهای بدون پرایم و شرایط تنش تعداد روز زوال مورد نیاز جهت زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی نهایی کاهش یافت که کمترین روز زوال مورد نیاز جهت رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی نهایی با میانگین ۲/۵۹ روز مربوط به شرایط بدون پرایم و تنش رطوبتی ۰/۸- مگاپاسکال بود (شکل ۱ و جدول ۳).

نتایج برازش مدل سیگموئیدی به درصد گیاهچه طبیعی در بذره‌های زوال یافته گلرنگ تحت شرایط تنش رطوبتی و پرایمینگ مختلف نشان داد که با افزایش زوال بذر درصد گیاهچه‌های طبیعی به‌صورت سیگموئیدی کاهش یافت (شکل ۲، جدول ۳).

برازش مدل سیگموئیدی سه پارامتره به درصد گیاهچه‌های طبیعی نشان داد که در تمامی شرایط تنش رطوبتی بالاترین درصد گیاهچه طبیعی در دوره‌های

جدول ۱. تجزیه واریانس اثر تنش رطوبتی و پرایمینگ بر صفات جوانه‌زنی بذر گلرنگ زوال یافته

Table 1. Analysis of variance for the effect of priming and water stress on germination characteristics of deteriorated *Carthamus tinctorius* seed

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	درصد جوانه‌زنی Seed germination	درصد گیاهچه طبیعی Normal seedling percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	طول گیاهچه Seedling length	وزن خشک گیاهچه Seedling dry weight	شاخص بنیه طولی Seedling length vigor	شاخص بنیه وزنی Seedling weight vigor
تنش رطوبتی Water stress	2	23133.78**	5106.59**	25934.54**	694.95**	0.27**	505.78**	0.20**
پرایمینگ Priming	2	6904.67**	2094.21**	6686.06**	296.41**	0.11**	127.76**	0.05**
زوال Seed deterioration	8	14952.98**	2466.88**	15684.15**	400.29**	0.15**	280.39**	0.11**
تنش رطوبتی × پرایمینگ Priming × Water stress	4	70.27**	100.35**	270.49**	17.45**	0.004**	14.60**	0.01**
تنش رطوبتی × زوال Water stress × Seed deterioration	16	378.75**	147.64**	835.42**	17.57**	0.012**	46.11**	0.02**
پرایمینگ × زوال Priming × Seed deterioration	16	128.85**	22.38**	226.69**	5.81**	0.003**	5.53**	0.003**
تنش رطوبتی × پرایمینگ × زوال Priming × Seed deterioration × Water stress	32	38.08**	11.66**	40.17**	1.91**	0.0008**	1.30**	0.001**
خطا Error	160	0.67	0.68	0.74	0.71	0.0001	0.49	0.0001
ضریب تغییرات (درصد) C.V. (%)		1.88	5.24	2.55	14.32	10.51	20.74	16.58

** نشان دهنده معنی‌داری در سطح ۱٪ می‌باشد.

Indicates significant difference at the $P \leq 0.01$ level**

شرایط تنش تعداد روز زوال مورد نیاز جهت زمان رسیدن به ۵۰ درصد گیاهچه طبیعی نهایی کاهش یافت که کمترین روز زوال مورد نیاز جهت رسیدن به ۵۰ درصد گیاهچه طبیعی نهایی با میانگین ۲/۳۹ روز مربوط به شرایط بدون پرایم و تنش رطوبتی ۰/۸- مگاپاسکال بود (شکل ۲ و جدول ۳).

همچنین نتایج به دست آمده نشان داد که زمان زوال رسیدن به ۵۰ درصد گیاهچه طبیعی نهایی در بذرهای شاهد کمتر از بذرهای پرایم شده بود، به طوری که بیشترین تعداد روز زوال جهت کاهش ۵۰ درصد جوانه زنی نهایی مربوط به تیمار پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۵۰ میلی گرم بر لیتر با میانگین ۵/۲ روز زوال در شرایط بدون تنش بود و در تیمارهای بدون پرایم و

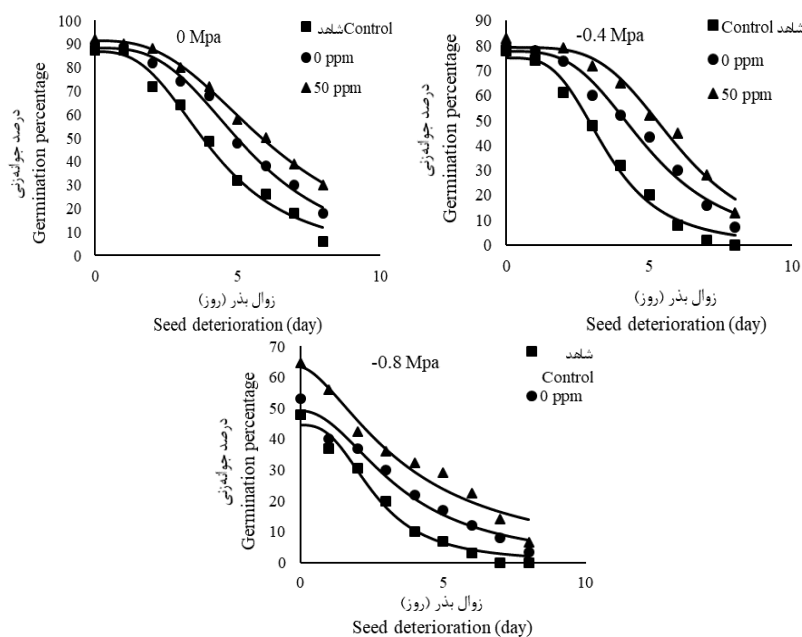
جدول ۲. تجزیه واریانس برش‌دهی اثر پرایمینگ بر صفات جوانه زنی بذر گلرنگ زوال یافته در سطوح مختلف تنش رطوبتی

Table 2. Slicing the analysis of variance for the effect of priming on germination indices of deteriorated *Carthamus tinctorius* seed under water stress

شاخص	شاخص	وزن خشک	طول	سرعت جوانه زنی	درصد گیاهچه طبیعی	درصد جوانه زنی	دما (درجه سلسیوس)
Seedling weight vigor	Seedling length vigor	Seedling dry weight	Seedling length	Germination rate	Normal seedling percentage	Seed germination	Temperature (°C)
0.04**	83.67**	0.04**	77.69**	2897.54**	527.14**	2172.91**	26
0.01**	45.46**	0.02**	65.96**	2555.89**	409.88**	2329.51**	26
0.001**	2.57**	0.01**	21.74**	631.44**	117.53**	999.69**	26

** نشان دهنده معنی داری در سطح ۰/۱٪ می باشد.

Means are significantly different at the $P \leq 0.01$ level**



شکل ۱. برازش مدل سیگموئیدی ۳ پارامتره به داده‌های درصد جوانه زنی بذر گلرنگ زوال یافته پرایم شده تحت شرایط تنش رطوبتی

Fig. 1. Fitting the 3-parametric sigmoid model to the germination percentage data of deteriorated *Carthamus tinctorius* seed primed under water stress conditions

جدول ۳. ضرایب تخمین‌زده شده توسط مدل سیگموئیدی ۳ پارامتره برازش داده شده به داده‌های درصد جوانه‌زنی و درصد گیاهچه طبیعی بذر گلرنگ زوال یافته پرایم شده تحت شرایط تنش رطوبتی. a حداکثر درصد جوانه‌زنی، X_{50} زمان زوال رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی نهایی و b شیب منحنی یا فاز تأخیری

Table 3. Parameters estimated by the 3-parametric sigmoid model fitted to germination percentage and normal seedling percentage data of deteriorated *Carthamus tinctorius* seed primed under water stress conditions. a is the maximum cumulative seed germination percentage, X_{50} is the time to 50% maximum seed germination and b is the slope of the curve or lag phase

تنش رطوبتی Water stress	پرایمینگ Priming	درصد جوانه‌زنی Germination percentage			درصد گیاهچه طبیعی Normal seedling percentage		
		a (%)	b	X50	a (%)	b	X50
شاهد Control	شاهد Control	86.63±2.77	2.83±0.31	4.22±0.19	86.29±3.59	2.76±0.35	3.12±0.19
	صفر میلی‌گرم بر لیتر 0mg/l	88.43±1.86	3.09±0.27	5.45±0.15	89.06±3.01	2.97±0.35	4.24±0.2
	۵۰ میلی‌گرم بر لیتر 50mg/l	91.29±0.79	2.78±0.11	6.27±0.07	90.97±3.05	2.91±0.39	5.2±0.23
-0.4 Mpa	شاهد Control	75.05±2.75	3.46±0.43	3.51±0.17	66.21±1.88	4.15±0.44	2.82±0.1
	صفر میلی‌گرم بر لیتر 0mg/l	77.67±2.82	3.37±0.48	4.95±0.23	76.38±3.63	3.06±0.48	3.73±0.24
	۵۰ میلی‌گرم بر لیتر 50mg/l	79.24±2.2	4.12±0.56	5.98±0.19	76.24±3.29	4.12±0.72	4.87±0.24
-0.8 Mpa	شاهد Control	44.64±2.47	2.73±0.44	2.59±0.22	28.35±1.69	4.33±1	2.39±0.17
	صفر میلی‌گرم بر لیتر 0mg/l	49.11±2.96	2.05±0.35	3.44±0.35	34.21±2.78	3.2±0.84	2.47±0.28
	۵۰ میلی‌گرم بر لیتر 50mg/l	63.24±4.12	1.63±0.3	3.66±0.46	35.21±1.86	6.03±1.53	4.93±0.25

حداکثر سرعت جوانه‌زنی با میانگین ۲/۷۲ روز زوال مربوط به تنش ۰/۸- مگاپاسکال و شرایط بدون تنش بود. به‌طور کلی نتایج به‌دست آمده به‌خوبی نشان داد که زوال بذر سبب کاهش در سرعت جوانه‌زنی خواهد شد و استفاده از پرایمینگ این شاخص را افزایش می‌دهد و استفاده از پرایمینگ سرعت جوانه‌زنی را در بذره‌ای پیر شده و سطوح تنش رطوبتی منفی‌تر بیشتر افزایش داد. نتایج برازش مدل سیگموئیدی به طول گیاهچه و وزن خشک گیاهچه در بذره‌ای زوال یافته گلرنگ تحت شرایط تنش رطوبتی و پرایمینگ مختلف نشان داد که با افزایش زوال بذر و شدت تنش طول گیاهچه و همچنین وزن خشک گیاهچه کاهش معنی‌داری را نشان داد به‌طوری که این شاخص‌های اندازه‌گیری شده با افزایش زوال و شدت تنش در بذره‌ای شاهد و پرایم شده به‌شدت کاهش یافت به‌طوری که در بذره‌ای شاهد بدون پرایم بعد از ۶ روز زوال بذر در سطح تنش رطوبتی ۰/۴- مگاپاسکال طول گیاهچه و وزن خشک گیاهچه صفر بود و در سطح تنش رطوبتی ۰/۸- مگاپاسکال در

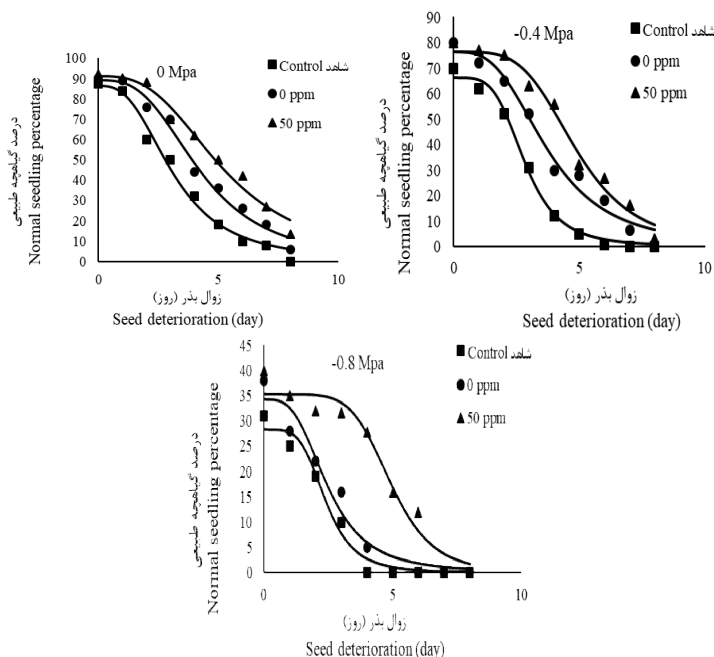
نتایج برازش مدل سیگموئیدی به سرعت جوانه‌زنی در بذره‌ای زوال یافته گلرنگ تحت شرایط تنش رطوبتی و پرایمینگ مختلف نشان داد که با افزایش زوال بذر و شدت تنش سرعت جوانه‌زنی کاهش یافت و استفاده از تیمار پرایمینگ در تمامی شرایط رطوبتی و زوال سرعت جوانه‌زنی را کاهش داد (شکل ۳ و جدول ۴). در ادامه نتایج برازش مدل به داده‌ها نشان داد که سرعت جوانه‌زنی با روندی سیگموئیدی در سطوح مختلف زوال بذر کاهش یافت و بیشترین سرعت جوانه‌زنی برآورد شده توسط مدل مربوط به شرایط بدون تنش و استفاده از پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر با میانگین ۴۱/۰۹ بذر در روز و کمترین سرعت جوانه‌زنی برآورد شده توسط مدل با میانگین ۱۰/۵۷ بذر در روز مربوط به شرایط تنش ۰/۸- مگاپاسکال و تیمار بدون پرایم بود (شکل ۳ و جدول ۴). نتایج نشان داد که مدت زمان زوال مورد نیاز جهت رسیدن به ۵۰ درصد حداکثر سرعت جوانه‌زنی با میانگین ۵/۳۷ روز مربوط به پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر بود و کمترین زمان زوال مورد نیاز جهت رسیدن به ۵۰ درصد

نیاز جهت رسیدن به ۵۰ درصد حداکثر طول گیاهچه و وزن خشک گیاهچه با میانگین ۴/۷۱ و ۴ روز زوال مربوط به پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۵۰ میلی گرم بر لیتر بود (جدول ۳).

نتایج برازش مدل سیگموئیدی به بنیه طولی و وزنی گیاهچه در بذره‌های زوال یافته گلرنگ تحت شرایط تنش رطوبتی و پرایمینگ مختلف نشان داد که با افزایش زوال بذر و شدت تنش بنیه طولی و وزنی گیاهچه به طور معنی داری کاهش یافت به طوری که این شاخص‌های

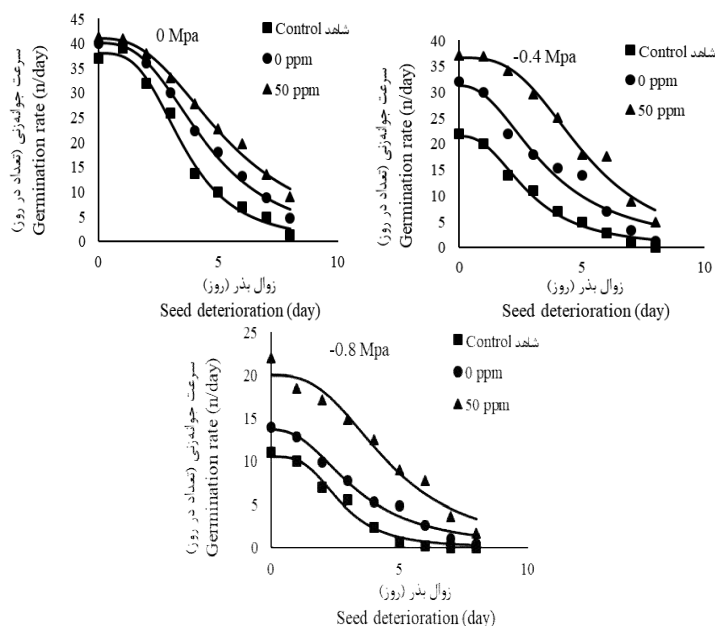
بذره‌های بدون پرایم بعد از ۳ روز و در بذره‌های هیدروپرایم شده بعد از ۴ روز صفر بود (شکل ۴ و ۵).

در ادامه نتایج برازش مدل به داده‌ها نشان داد که طول گیاهچه و وزن خشک گیاهچه با روندی سیگموئیدی در سطوح مختلف زوال بذر کاهش یافت و بیشترین طول گیاهچه و وزن خشک گیاهچه برآورد شده توسط مدل مربوط به شرایط بدون تنش و استفاده از پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۵۰ میلی گرم بر لیتر با میانگین ۱۶/۳۳ سانتیمتر و ۰/۳۵ گرم بود (شکل ۴ و ۵ و جدول ۵). نتایج نشان داد که مدت زمان زوال مورد



شکل ۲. برازش مدل سیگموئیدی ۳ پارامتره به داده‌های درصد گیاهچه طبیعی بذر گلرنگ زوال یافته پرایم شده تحت شرایط تنش رطوبتی

Fig. 2. Fitting the 3-parametric sigmoid model to the normal seedling percentage data of deteriorated *Carthamus tinctorius* seed under water stress conditions

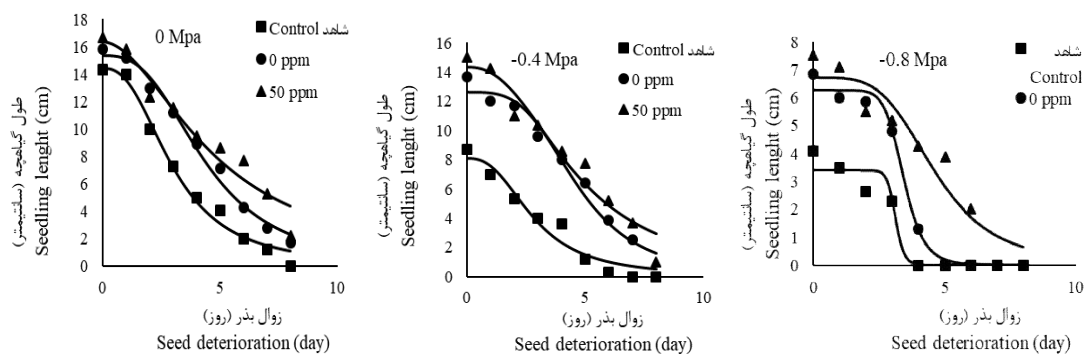


شکل ۳. برازش مدل سیگموئیدی ۳ پارامتره به داده‌های سرعت جوانه‌زنی بذر گلرنگ زوال یافته پرایم شده تحت شرایط تنش رطوبتی
Fig. 3. Fitting the 3-parametric sigmoid model to the germination rate data of deteriorated *Carthamus tinctorius* seed under water stress conditions

جدول ۴. ضرایب تخمین‌زده شده توسط مدل سیگموئیدی ۳ پارامتره برازش داده شده به داده‌های سرعت جوانه‌زنی بذر گلرنگ زوال یافته پرایم شده تحت شرایط تنش رطوبتی a حداکثر سرعت جوانه‌زنی، X_{50} زمان زوال رسیدن به ۵۰ درصد سرعت جوانه‌زنی و b شیب منحنی یا فاز تأخیری می‌باشند.

Table 4. Parameters estimated by the 3-parametric sigmoid model fitted to germination rate data of deteriorated *Carthamus tinctorius* seed primed under water stress conditions. a is the maximum cumulative seed germination rate, X_{50} is the time to 50% maximum seed germination rate and b is the slope of the curve or lag phase

تنش رطوبتی Water stress	پرایمینگ Priming	a (seed/day)	b	X50
شاهد Control	شاهد Control	38.09±1.16	3.22±0.33	3.58±0.15
	صفر میلی گرم بر لیتر 0mg/l	40.09±0.76	2.81±0.19	4.47±0.12
	۵۰ میلی گرم بر لیتر 50mg/l	41.09±0.83	2.62±0.21	5.37±0.15
-0.4 Mpa	شاهد Control	21.62±0.04	2.46±0.29	2.83±0.19
	صفر میلی گرم بر لیتر 0mg/l	31.33±2.22	2.22±0.46	3.54±0.41
	۵۰ میلی گرم بر لیتر 50mg/l	36.67±1.33	3.08±0.44	5.09±0.24±
-0.8 Mpa	شاهد Control	10.57±0.54	3.34±0.56	2.72±0.19
	صفر میلی گرم بر لیتر 0mg/l	13.71±0.65	2.42±0.34	3.29±0.25
	۵۰ میلی گرم بر لیتر 50mg/l	19.99±1.08	2.82±0.54	4.55±0.34



شکل ۴. برازش مدل سیگموئیدی ۳ پارامتره به داده‌های طول گیاهچه بذر گلرنگ زوال یافته پرایم شده تحت شرایط تنش رطوبتی
Fig. 4. Fitting the 3-parametric sigmoid model to the seedling length data of deteriorated *Carthamus tinctorius* seed under water stress conditions

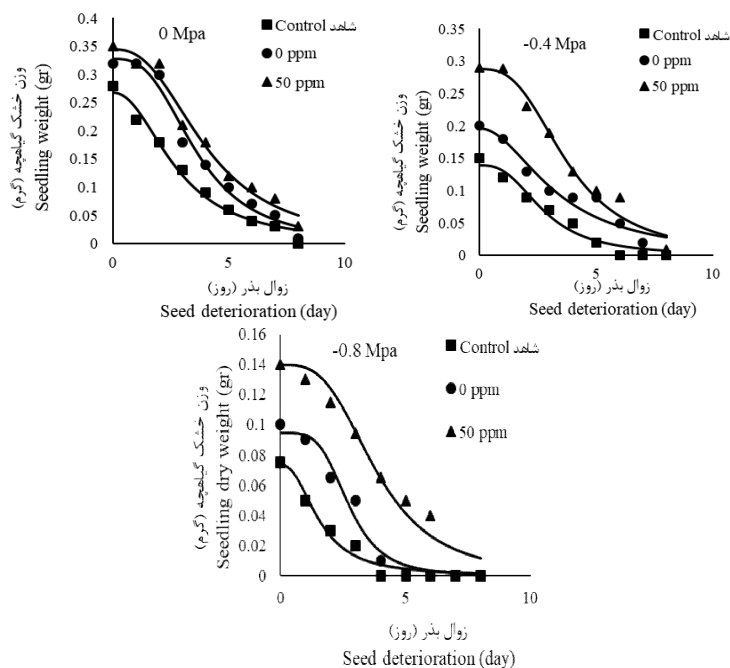
با اسید جیبرلیک ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر با میانگین ۱۵/۱۷ سانتی‌متر و ۰/۳۱ بود (شکل ۶ و ۷ و جدول ۶). نتایج نشان داد که مدت زمان زوال مورد نیاز جهت رسیدن به ۵۰ درصد حداکثر بنیه طولی و وزنی گیاهچه با میانگین ۳/۱۵ و ۳/۱۸ روز زوال مربوط به پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر بود (جدول ۶).

اندازه‌گیری شده با افزایش زوال و شدت تنش در بذرهای شاهد و پرایم شده به شدت کاهش یافت (شکل ۶ و ۷). نتایج برازش مدل سیگموئیدی سه پارامتره به داده‌ها نشان داد که بنیه طولی و وزنی گیاهچه با روندی سیگموئیدی در سطوح مختلف زوال بذر کاهش یافت و بیشترین بنیه طولی و وزنی گیاهچه برآورد شده توسط مدل مربوط به شرایط بدون تنش و استفاده از پرایمینگ

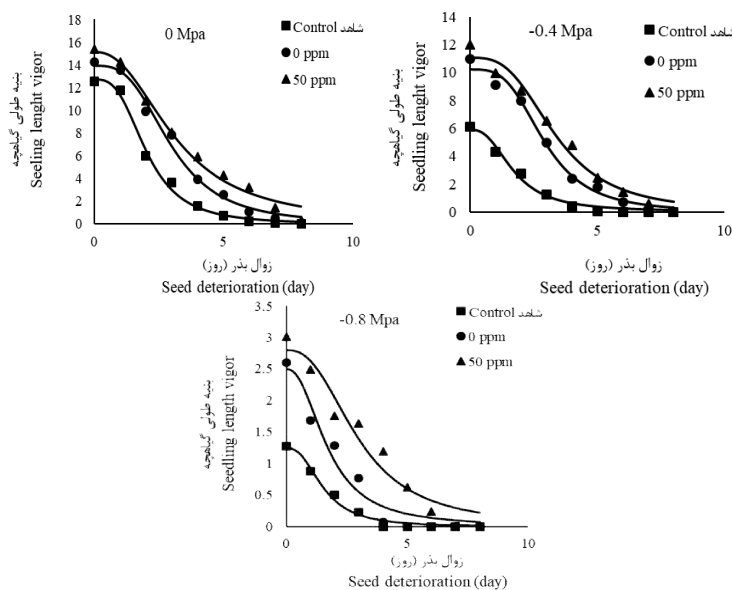
جدول ۵. ضرایب تخمین زده شده توسط مدل سیگموئیدی ۳ پارامتره برازش داده شده به داده‌های طول گیاهچه و وزن خشک گیاهچه بذر گلرنگ زوال یافته پرایم شده تحت شرایط تنش رطوبتی. a حداکثر طول گیاهچه و وزن خشک گیاهچه، X_{50} زمان زوال رسیدن به ۵۰ درصد طول گیاهچه و وزن خشک گیاهچه و b شیب منحنی یا فاز تأخیری

Table 5. Parameters estimated by the 3-parametric sigmoid model fitted to seedling length and seedling dry weight data of deteriorated *Carthamus tinctorius* seed primed under water stress conditions. a is the maximum cumulative seedling length and seedling dry weight, X_{50} is the time to 50% maximum seed germination rate and b is the slope of the curve or lag phase

تنش رطوبتی Water stress	پرایمینگ Priming	طول گیاهچه seedling length			وزن خشک گیاهچه seedling dry weight		
		a (cm)	b	X50	a (g)	b	X50
شاهد Control	شاهد Control	14.41±0.59	2.52±0.3	3.01±0.19	0.27±0.01	2.15±0.28	2.76±0.24
	صفر میلی‌گرم بر لیتر 0mg/l	15.34±0.45	2.81±0.28	4.37±0.18	0.33±0.01	2.89±0.38	3.59±0.21
	۵۰ میلی‌گرم بر لیتر 50mg/l	16.33±1.05	1.9±0.42	4.71±0.52	0.35±0.01	2.57±0.35	4±0.25
-0.4 Mpa	شاهد Control	8.1±0.68	2.6±0.63	2.82±0.37	0.14±0.01	2.7±0.59	2.72±0.31
	صفر میلی‌گرم بر لیتر 0mg/l	12.59±0.63	3.54±0.68	4.65±0.29	0.2±0.02	1.97±0.47	3.27±0.52
	۵۰ میلی‌گرم بر لیتر 50mg/l	14.35±0.9	2.4±0.53	4.53±0.45	0.29±0.02	2.82±0.51	3.75±0.3
-0.8 Mpa	شاهد Control	3.42±0.24	19.36±0.41	3.11±0.34	0.07±0.00	2.32±0.43	1.55±0.19
	صفر میلی‌گرم بر لیتر 0mg/l	6.25±0.19	8.95±1.42	3.43±0.09	0.09±0.01	4.1±0.95	2.71±0.21
	۵۰ میلی‌گرم بر لیتر 50mg/l	6.73±0.56	4.05±1.32	4.62±0.44	0.14±0.01	3.18±0.64	3.82±0.31



شکل ۵. برازش مدل سیگموئیدی ۳ پارامتره به داده‌های وزن خشک گیاهچه بذر گلرنگ زوال یافته پرایم شده تحت شرایط تنش رطوبتی
Fig. 5. Fitting the 3-parametric sigmoid model to the seedling dry weight data of deteriorated *Carthamus tinctorius* seed under water stress conditions

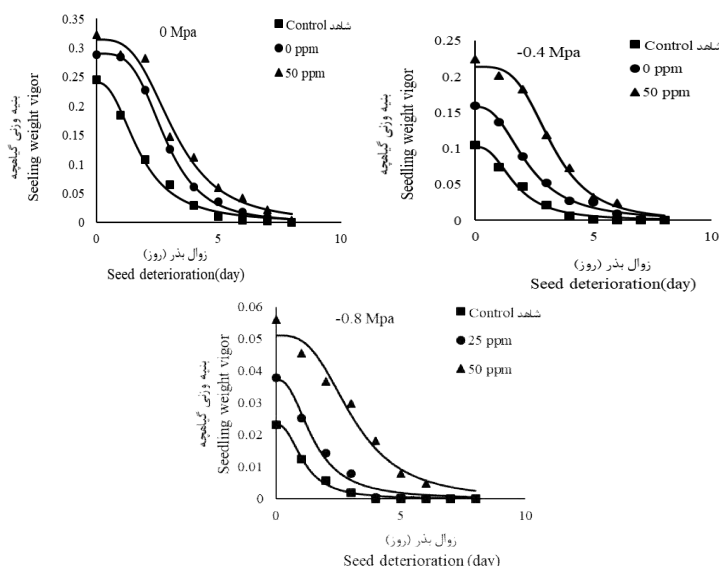


شکل ۶. برازش مدل سیگموئیدی ۳ پارامتره به داده‌های بینه طولی بذر گلرنگ زوال یافته پرایم شده تحت شرایط تنش رطوبتی
Fig. 6. Fitting the 3-parametric sigmoid model to the seedling length vigor data of deteriorated *Carthamus tinctorius* seed under water stress conditions

جدول ۶. ضرایب تخمین زده شده توسط مدل سیگموئیدی ۳ پارامتره برازش داده شده به داده‌های بنیه طولی و بنیه وزنی گیاهچه بذر گلرنگ زوال یافته پرایم شده تحت شرایط تنش رطوبتی. a حداکثر بنیه طولی و بنیه وزنی گیاهچه، X_{50} زمان زوال رسیدن به ۵۰ درصد بنیه طولی و بنیه وزنی گیاهچه و b شیب منحنی یا فاز تأخیری

Table 6. Parameters estimated by the 3-parametric sigmoid model fitted to seedling length vigor and seedling weight vigor data of deteriorated *Carthamus tinctorius* seed primed under water stress conditions. a is the maximum seedling length vigor and seedling weight vigor, X_{50} is the time to 50% maximum seedling length vigor and seedling weight vigor and b is the slope of the curve or lag phase

تنش رطوبتی (مگاپاسکال) Water stress (Mpa)	پرایمینگ Priming	بنیه طولی Seedling length vigor			بنیه وزنی Seedling weight vigor		
		a	b	X50	a	b	X50
شاهد Control	Control شاهد	12.72±0.38	2.99±0.28	2.04±0.09	0.24±0.01	2.39±0.21	1.78±0.1
	صفر میلی گرم بر لیتر 0mg/l	13.95±0.5	3.07±0.34	2.98±0.15	0.29±0.01	3.71±0.12	2.82±0.03
	۵۰ میلی گرم بر لیتر 50mg/l	15.17±0.57	2.36±0.25	3.15±0.19	0.31±0.01	3.3±0.47	3.18±0.18
-0.4 Mpa	Control شاهد	5.93±0.29	2.52±0.33	1.7±0.14	0.1±0.01	2.51±0.34	1.68±0.14
	صفر میلی گرم بر لیتر 0mg/l	10.24±0.41	3.33±0.44	2.9±0.16	0.16±0.01	2.53±0.21	2.21±0.11
	۵۰ میلی گرم بر لیتر 50mg/l	11.06±0.54	3.04±0.48	3.34±0.23	0.21±0.01	3.71±0.37	3.22±0.11
-0.8 Mpa	Control شاهد	1.25±0.07	2.55±0.37	1.54±0.14	0.02±0.00	2.34±0.24	1.1±0.06
	صفر میلی گرم بر لیتر 0mg/l	2.49±0.23	2.31±0.54	1.73±0.27	0.04±0.00	2.36±0.34	1.48±0.14
	۵۰ میلی گرم بر لیتر 50mg/l	2.8±0.23	2.52±0.59	2.98±0.38	0.05±0.00	3.04±0.57	3.06±0.26



شکل ۷. برازش مدل سیگموئیدی ۳ پارامتره به داده‌های بنیه وزنی بذر گلرنگ زوال یافته پرایم شده تحت شرایط تنش رطوبتی
Fig. 7. Fitting the 3-parametric sigmoid model to the seedling weight vigor data of deteriorated *Carthamus tinctorius* seed under water stress conditions

۲۰۱۴؛ کامکار^۳ و همکاران، ۲۰۱۱). به‌طور کلی این توابع روند تغییرات جوانه‌زنی تحت شرایط مختلف را به‌خوبی نشان می‌دهد و همچنین با استفاده از ضرایب به‌دست آمده می‌توان در شرایط مشابه پیش‌بینی‌هایی جهت برآورد شاخص‌های مختلف انجام داد (انصاری و

بسیاری از محققین از توابع سیگموئیدی جهت بررسی روند تغییرات شاخص‌های جوانه‌زنی تحت شرایط مختلف استفاده کرده‌اند (انصاری و همکاران، ۲۰۱۶؛ طباطبایی و انصاری^۱، ۲۰۱۹؛ درخشان^۲ و همکاران،

³ Kamkar

¹ Tabatabaei and Ansari
² Derakhshan

همکاران، ۲۰۱۶؛ طباطبایی و انصاری، ۲۰۱۹؛ کامکار و همکاران، ۲۰۱۱). گزارش‌های مختلف نشان داد که استفاده از تیمارهای مختلف پرایمینگ، زوال بذر و همچنین تنش رطوبتی به‌طور معنی‌داری شاخص‌های جوانه‌زنی را کاهش خواهد داد (انصاری و شریف زاده، ۲۰۱۲؛ عالیوند^۱ و همکاران، ۲۰۱۳). استفاده از تیمار پرایمینگ با تنظیم‌کننده‌های رشد از قبیل اسید جیبرلیک تحت شرایط تنش سبب انتقال بیشتر مواد ذخیره‌ای بذر به جنین، که این افزایش انتقال سبب رشد بیشتر جنین و افزایش جوانه‌زنی و در نهایت بهبود در سایر شاخص‌های جوانه‌زنی و در ادامه افزایش شاخص‌های جوانه‌زنی به افزایش در فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانتی نسبت داده شد (انصاری و همکاران، ۲۰۱۳).

به‌طور کلی گزارش‌های مختلف حاکی از آن است که زوال بذر و تنش رطوبتی شاخص‌های جوانه‌زنی را کاهش خواهد داد (اسدی آق‌لاغی و همکاران، ۲۰۱۴؛ طباطبایی و انصاری، ۲۰۱۸؛ انصاری و همکاران، ۲۰۱۳). در این تحقیق کاهش در طول گیاهچه و وزن خشک گیاهچه در مقابل دوره‌های مختلف زوال بذر و تنش رطوبتی مشاهده شد، چنین اثر بازدارندگی توسط سایر محققین نیز گزارش شده است (اسدی آق‌لاغی و همکاران، ۲۰۱۴؛ انصاری و شریف زاده، ۲۰۱۳). همچنین، بیان شده است که تنش‌های غیر زنده (محیطی) با محدود کردن آب قابل دسترس بذر و در نتیجه کند کردن خروج ریشه‌چه سرعت جوانه‌زنی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (انصاری و همکاران، ۲۰۱۲) بنابراین کاهش در سرعت جوانه‌زنی در بذر گلرنگ تحت شرایط تنش رطوبتی را می‌توان به محدودیت در آب قابل دسترس گیاه برای شروع فرآیندهای جوانه‌زنی نسبت داد. کاهش در سرعت جوانه‌زنی می‌تواند در نتیجه وقفه‌ای باشد که در شروع جوانه‌زنی در بذرهای زوال یافته ایجاد می‌شود. علت وقفه ایجاد شده می‌تواند نیاز بذرهای به زمان بیشتر جهت برطرف کردن خسارت‌های وارد شده به غشاء و دیگر قسمت‌های سلول و همچنین آغاز دوباره فعالیت سامانه آنتی اکسیدانتی و جلوگیری از بروز تنش اکسیداتیو باشد که ترمیم این

خسارت‌ها ممکن است پس از جذب آب توسط بذر امکان‌پذیر شود. بنابراین، زمان لازم برای تکمیل شدن فرآیند جوانه‌زنی در بذرهای پیر شده نسبت به بذرهای تازه و پیر نشده افزایش می‌یابد که کاهش شاخص جوانه‌زنی نتیجه آن است (بیلی^۲ و همکاران، ۲۰۰۰). به‌طور کلی بنیه بذر بطور مستقیم تحت تأثیر درصد گیاهچه طبیعی و همچنین طول گیاهچه و وزن خشک گیاهچه قرار می‌گیرد که کاهش در بنیه بذر در اثر افزایش شدت تنش و زوال را می‌توان به کاهش در اجزای محاسباتی آن نسبت داد (انصاری و همکاران، ۲۰۱۲). کاهش در بنیه بذر در نتیجه افزایش شدت تنش رطوبتی و زوال بذر نیز گزارش شده است (صید محمدی و همکاران، ۲۰۱۲).

تفاوت بین تیمارهای مختلف پرایمینگ از لحاظ شاخص‌های مرتبط با جوانه‌زنی را می‌توان به تفاوت در نحوه میزان مصرف مواد ذخیره‌ای بذر ارتباط داد به‌طوری که در تیمارهای پرایمینگ تحمل به شرایط تنش در نتیجه مصرف سریع‌تر مواد غذایی بیشتر خواهد بود، زیرا که این تیمارها مواد بیشتری از ذخایر بذری را در شرایط تنش مصرف می‌کنند در نتیجه طول و وزن گیاهچه و به دنبال آن بنیه بذر افزایش می‌یابد و به دنبال آن خروج ریشه‌چه به‌دلیل انتقال بیشتر و سریع‌تر مواد به محور ریشه‌چه، با سرعت بالاتری رخ می‌دهد و در نهایت سرعت جوانه‌زنی افزایش خواهد یافت (انصاری و همکاران، ۲۰۱۲؛ سلطانی^۳ و همکاران، ۲۰۰۶). بنابراین می‌توان اظهار کرد که بیشتر بودن شاخص‌های جوانه‌زنی بذر در تیمار پرایمینگ اسید جیبرلیک ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر ممکن است به دلیل بیشتر بودن سرعت مصرف ماده ذخیره‌ای بذر باشد.

بعضی محققین اثرات مثبت پرایمینگ بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر گیاهان مختلف را مورد مطالعه قرار دادند و نشان دادند که این تیمارهای مختلف در بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی مؤثر هستند (انصاری و همکاران، ۲۰۱۲؛ مورانگو^۴ و همکاران، ۲۰۰۳؛ دمیر کایا^۵ و همکاران، ۲۰۰۶؛ کانگ^۱ و همکاران،

² Bailly³ Soltani⁴ Murungu⁵ Demir kaya¹ Alivand

همچنین کاهش انتقال مواد ذخیره‌ای به جنین سبب خواهد شد که شاخص‌های جوانه‌زنی بذرهای زوال کاهش یابد.

با افزایش در دوره انبارداری به دلیل افزایش در تنفس و صدمات وارده به دیواره غشایی گیاهچه‌های طبیعی کمتری تولید می‌شود. در پژوهش حاضر نیز کاهش درصد جوانه‌زنی در تیمارهای شاهد در مقایسه با تیمار استفاده از اسید جیبرلیک که کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز را نشان داد بیشتر بود. کاهش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز را می‌توان، دلیل تجمع گونه‌های فعال اکسیژن در جنین بذرهای زوال یافته گزارش نمود و این عامل را دلیل کاهش جوانه‌زنی بیان داشت. از اینرو در بذرهای تیمار شده با اسید جیبرلیک به دلیل کاهش کمتر پروتئین، کاتالاز و پراکسیداز جوانه‌زنی بیشتر از تیمار شاهد بود.

اثر زوال بذر و پرایمینگ بر میزان پروتئین و فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز گلرنگ

نتایج جدول تجزیه واریانس اثر زوال و پرایمینگ بر کاتالاز، پراکسیداز و پروتئین بذر گلرنگ نشان داد که اثر اصلی و متقابل زوال و پرایمینگ بر صفات بیوشیمیایی اشاره شده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۷). نتایج برازش مدل سیگموئیدی به داده‌های میزان پروتئین، فعالیت کاتالاز و پراکسیداز در بذرهای زوال یافته گلرنگ تحت شرایط تنش رطوبتی و پرایمینگ مختلف نشان داد که با افزایش زوال بذر میزان پروتئین، فعالیت کاتالاز و پراکسیداز به طور معنی‌داری کاهش یافت به طوری که این شاخص‌های اندازه‌گیری شده با افزایش زوال در بذرهای شاهد و پرایم شده به شدت کاهش یافت (شکل ۸، ۹ و ۱۰). در ادامه نتایج برازش مدل سیگموئیدی سه پارامتر به داده‌ها نشان داد که میزان پروتئین، فعالیت کاتالاز و پراکسیداز با روندی سیگموئیدی در سطوح مختلف زوال بذر کاهش یافت و بیشترین میزان پروتئین، فعالیت کاتالاز و پراکسیداز برآورد شده توسط مدل به ترتیب با میانگین ۰/۴۵ میلی‌گرم در گرم بذر، ۰/۰۷ تغییرات جذب بر دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین بذر و ۰/۹۳ تغییرات جذب بر دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین بذر مربوط به پرایمینگ با

۲۰۰۷؛ مارمیکال و کاوالارو^۲، ۱۹۹۶). گزارش‌های مختلف نشان دهنده این موضوع است که استفاده از تیمارهای مختلف پرایمینگ بذری افزایش در شاخص‌های جوانه‌زنی بذرهای زوال یافته را به دنبال خواهد داشت (انصاری و شریف زاده، ۲۰۱۲؛ عالیوند و همکاران، ۲۰۱۲).

بسیاری از محققین گزارش کردند که شاخص‌های جوانه‌زنی بذر تحت تأثیر پیری و زوال کاهش خواهد یافت (بصرا^۳ و همکاران، ۲۰۰۳؛ کاپور^۴ و همکاران، ۲۰۱۰؛ انصاری و شریف زاده، ۲۰۱۲). عالیوند و همکاران (۲۰۱۰) روی تعدادی از گیاهان روغنی بیان نمودند که زوال بذر سبب کاهش در شاخص‌های جوانه‌زنی بذر و افزایش در هدایت الکتریکی خواهد شد. همچنین بسیاری از محققین اثر مثبت پرایمینگ بر بذرهای زوال یافته را گزارش نموده‌اند، در این رابطه عالیوند و همکاران (۲۰۱۲) روی کلزا نشان دادند که پرایمینگ بذر با اسید سالیسیلیک سبب بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی اندازه‌گیری شده در بذرهای زوال یافته شد. همچنین، صیدمحمدی و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند که درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول گیاهچه و وزن خشک گیاهچه بذرهای زوال یافته کلزا در نتیجه استفاده از تیمارهای پرایمینگ افزایش یافت، در ادامه ایشان بیان داشتند که اثر تنش رطوبتی بر بذرهای زوال یافته بیشتر از بذرهای شاهد می‌باشند و استفاده از پرایمینگ شاخص‌های بذر زوال یافته تحت هر دو شرایط نرمال و تنش را افزایش خواهد داد. اسدی آق‌بلاغی و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند که تیمار پرایمینگ درصد جوانه‌زنی بذر پیر شده آفتابگردان را افزایش داد. پاول و ماتو^۵ (۱۹۷۷) افزایش پروتئین بتا تبولین در سلول‌های مریستم ریشه‌چه را دلیل افزایش در جوانه‌زنی بذرهای زوال یافته با استفاده از تیمار پرایمینگ گزارش کردند. محمدی^۶ و همکاران (۲۰۱۱) بیان داشتند که کاهش در مصرف مواد ذخیره‌ای بذر و

¹ Kang

² Maurmicale and Cavallaro

³ Basra

⁴ Kapoor

⁵ Powell and Mathew

⁶ Mohammadi

یافته و سبب تخریب آنها می‌شود می‌باشد (بیلی، ۲۰۰۴).

تنش اکسیداتیو ناشی از زوال بذر سبب افزایش تجمع ماکرو مولکول‌های اکسید شده خواهد شد که آنزیم‌های آنتی اکسیدانتی متفاوتی در غیرفعال کردن این ترکیبات نقش دارند. نتایج تعدادی از مطالعات نشان داد که با افزایش در زوال بذر پروتئین محلول، کاتالاز و آسکوربات پرواکسیداز کاهش خواهد یافت که با نتایج به‌دست آمده مطابقت دارد (انصاری و شریف زاده، ۲۰۱۳؛ اسدی آقبلاغی و همکاران، ۲۰۱۴؛ دمیر کایا و همکاران، ۲۰۱۰). به‌طور کلی سنتز پروتئین‌ها در طی فرآیند جوانه‌زنی، رشد محور جنینی و تولید آنزیم‌های هیدرولیز کننده و سایر سامانه‌های سلولی انتقال دهنده مواد اندوخته‌ای بذر نقش مهمی را ایفا می‌نمایند و زوال بذر سبب کاهش در سنتز پروتئین شده و در نتیجه با ایجاد اختلال در سازوکارهای مربوط به جوانه‌زنی کاهش شاخص‌های جوانه‌زنی را به‌دنبال خواهد داشت (بیلی، ۲۰۰۴). نتایج مطالعات سیادت و همکاران (سیادت و همکاران، ۲۰۱۲) در گیاه ذرت و همچنین انصاری و شریف زاده (۲۰۱۳) در گیاه چاودار کوهی نشان دادند که فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت در تیمار پیری تسریع شده کاهش می‌یابد و استفاده از تیمارهای مختلف پرایمینگ سبب افزایش در فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانتی خواهد شد که این موضوع سبب افزایش در شاخص‌های جوانه‌زنی می‌شود. با توجه به نتایج به‌دست آمده مشخص شد که پراکسیداز نسبت به سایر آنزیم‌های آنتی اکسیدانتی حساسیت بیشتری را نسبت به زوال بذر دارد، بنابراین احتمال دارد با افزایش زوال بذر به بالاتر از حد آستانه و یا در سطوح بسیار بالای زوال به‌دلیل خسارت وارد شده به سامانه‌های دفاعی فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانتی کاهش یابد.

کم شدن فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت در نتیجه پیری بذر به عوامل مختلفی از قبیل آسیب به سنتز RNA و حمله گونه‌های فعال اکسیژن به آنزیم‌های آنتی اکسیدانت دارد که در شرایط زوال بذر افزایش می‌یابد و سبب تخریب آنزیم‌ها خواهد شد (بیلی، ۲۰۰۴). به‌طور کلی در طی زوال بذر تولید رادیکال‌های

آزاد و پراکسیداسیون چربی باعث آسیب به غشاء

اسید جیبرلیک ۵۰ میلی گرم بر لیتر بود (شکل ۸، ۹ و ۱۰ و جدول ۸). نتایج نشان داد که حداکثر مدت زمان زوال مورد نیاز جهت رسیدن به ۵۰ درصد حداکثر میزان پروتئین، فعالیت کاتالاز و پراکسیداز با میانگین ۴/۵۲، ۳/۶۶ و ۴/۰۳ روز زوال مربوط به پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۵۰ میلی گرم بر لیتر بود (جدول ۸).

سلول‌های گیاهی جهت حفاظت در مقابل آسیب‌های اکسیداتیو به یک سیستم حذف کننده رادیکال‌های آزاد مجهز می‌باشند. بخشی از این سامانه شامل آنزیم‌های آنتی اکسیدانت می‌باشند. همچنین افزایش در زوال بذر کاهش در فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانتی و میزان پروتئین را سبب خواهد شد، بنابراین گزارش شده است که آنزیم‌های آنتی اکسیدانت در جوانه‌زنی بذر بعد از زوال اثر گذار خواهد بود و بذرهایی دارای فعالیت آنزیمی بیشتر توانایی جوانه‌زنی بیشتری را خواهند داشت (انصاری و همکاران، ۲۰۱۳؛ سیادت^۱ و همکاران، ۲۰۱۲).

گیاهان در پاسخ به تنش‌های مختلف (زنده و غیرزنده)، توانایی تولید پروتئین‌هایی را دارند، که تولید تعدادی از این پروتئین‌ها به‌وسیله کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشدی گیاه افزایش می‌یابد (جین^۲ و همکاران، ۲۰۰۰). در طی دوره زوال بذر تولید رادیکال‌های آزاد و پراکسیداسیون چربی سبب آسیب به غشا سلولی، DNA و پروتئین‌های بذری می‌شود که این موضوع سبب تولید ترکیبات جانبی سمی در بذر خواهد شد. این تغییرات اغلب به گونه‌های فعال اکسیژن نسبت داده می‌شود (هندری^۳، ۱۹۹۳). نتایج مختلف نشان داده‌اند که تیمارهای مختلف پرایمینگ سبب بهبود در فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانتی در بذرهایی پیر شده می‌شود (افروشه و همکاران، ۲۰۱۸؛ انصاری و همکاران، ۲۰۱۳؛ سیادت و همکاران، ۲۰۱۲). کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت در نتیجه پیری بذر به دلایل متعددی از قبیل آسیب رسیدن به ساخت RNA و همچنین حمله گونه‌های فعال اکسیژن به آنزیم‌های آنتی اکسیدانت است که در شرایط پیری بذر افزایش

¹ Seiadat

² Jin

³ Hendry

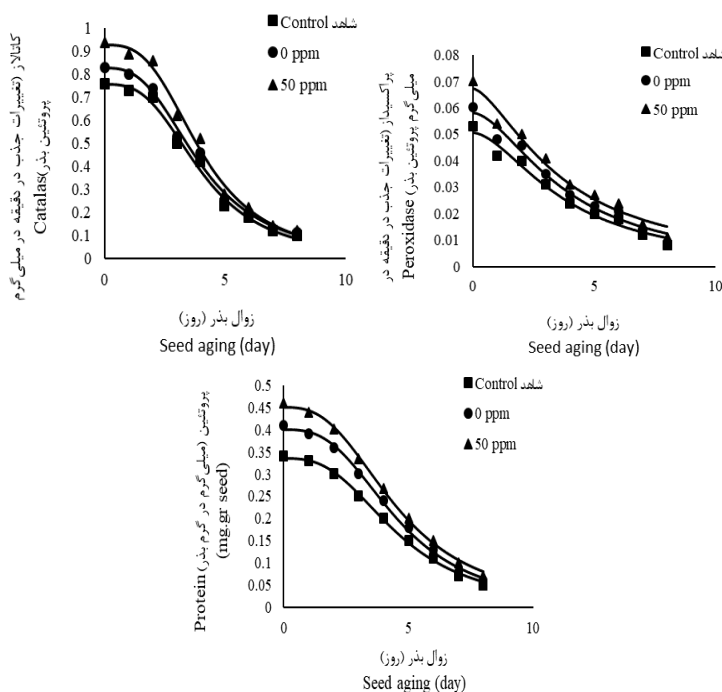
جدول ۷. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر پرایمینگ بر میزان فعالیت کاتالاز، پراکسیداز و مقدار پروتئین بذر گلرنگ زوال یافته

Table 7. Analysis of variance for the effect of priming and seed deterioration on activity of catalase, peroxidase and protein of deteriorated *Carthamus tinctorius* seed.

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	کاتالاز Catalase	پراکسیداز Peroxidase	پروتئین Protein
پرایمینگ Priming	2	0.06**	0.0005**	0.03**
زوال Seed deterioration	8	0.80**	0.003**	0.15**
پرایمینگ × زوال Priming × Seed deterioration	16	0.003**	0.00002**	0.001**
خطا Error	52	0.0003	0.0000003	0.00002
ضریب تغییرات (درصد) C.V (%)	-	3.57	1.72	1.87

** نشان دهنده معنی‌داری در سطح ۱٪ می‌باشد.

Indicates significant difference at the $P \leq 0.01$ level**



شکل ۸. برازش مدل سیگموئیدی ۳ پارامتره به داده‌های میزان فعالیت کاتالاز، پراکسیداز و مقدار پروتئین بذر گلرنگ زوال یافته پرایم شده
Fig. 8. Fitting the 3-parametric sigmoid model to the activity of catalase, peroxidase and protein of deteriorated *Carthamus tinctorius* seed data of deteriorated *Carthamus tinctorius* seed primed.

جدول ۸. ضرایب تخمین زده شده توسط مدل سیگموئیدی ۳ پارامتره برازش داده شده به داده‌های کاتالاز، پراکسیداز و پروتئین بذر گلرنگ زوال یافته پرایم شده. a حداکثر کاتالاز، پراکسیداز و پروتئین، X_{50} زمان زوال رسیدن به ۵۰ درصد کاتالاز، پراکسیداز و پروتئین و b شیب منحنی یا فاز تأخیری

Table 8. Parameters estimated by the 3-parametric sigmoid model fitted to catalase, peroxidase and protein data of deteriorated *Carthamus tinctorius* seed primed. a is the maximum seedling length vigor and seedling weight vigor, X_{50} is the time to 50% maximum catalase, peroxidase and protein and b is the slope of the curve or lag phase

شاخص‌های بیوشیمیایی Biochemical characteristics	پرایمینگ Priming	a	b	X50
کاتالاز Catalase	شاهد Control	0.76±0.02	2.98±0.27	4.03±0.15
	صفر میلی گرم بر لیتر 0mg/l	0.83±0.02	2.83±0.3	3.97±0.16
	۵۰ میلی گرم بر لیتر 50mg/l	0.93±0.03	3.04±0.28	4.02±0.15
پراکسیداز Peroxidase	شاهد Control	0.05±0.00	1.74±0.24	3.66±0.36
	صفر میلی گرم بر لیتر 0mg/l	0.06±0.00	1.73±0.24	3.79±0.34
	۵۰ میلی گرم بر لیتر 50mg/l	0.07±0.00	1.57±0.22	3.79±0.33
پروتئین Protein	شاهد Control	0.34±0.00	2.8±0.13	4.53±0.08
	صفر میلی گرم بر لیتر 0mg/l	0.4±0.01	2.85±0.15	4.53±0.09
	۵۰ میلی گرم بر لیتر 50mg/l	0.45±0.01	2.71±0.12	4.53±0.08

کاهش می‌یابد (برای و داسگوپا^۵، ۱۹۷۶؛ شن و اوزبورن^۶، ۱۹۷۷)، رشته‌های دوگانه شکسته شده DNA تجمع می‌یابد زیرا مسیرهای بازسازی دچار نقص شده‌اند (برای و وست^۷، ۲۰۰۵) و تمامیت DNA و RNA از بین بین رفته (کرانر و کولیوا، ۲۰۱۰) و مواد ذخیره‌ای نمی‌توانند انتقال یابند (کرانر و کولیوا، ۲۰۱۰) از این‌رو جوانه‌زنی کاهش می‌یابد.

نتیجه‌گیری

روند تغییرات پاسخ جوانه‌زنی بذر گلرنگ به سطوح مختلف پرایمینگ بذر، زوال بذر و تنش رطوبتی نشان داد که شاخص‌های جوانه‌زنی تحت شرایط زوال بذر و تنش رطوبتی کاهش یافت ولی استفاده از تیمار اسید جیبرلیک سبب بهبود در شاخص‌های جوانه‌زنی شد. همچنین میزان پروتئین محلول، فعالیت آنزیم کاتالاز و

سلولی، DNA و پروتئین‌های بذر، می‌گردد که خود باعث تولید ترکیبات جانبی سمی در بذر می‌شود. این تغییرات اغلب به انواع اکسیژن فعال نسبت داده می‌شود و باعث کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانسی می‌شود (بیلی، ۲۰۰۴). پراکسیداسیون لیپید همراه با خسارت به پروتئین سبب کاهش سیالیت غشا می‌شود (تاملا و همکاران، ۲۰۰۵؛ پوکاکا و راتازاک، ۲۰۰۷) و در مرگ سلولی بذرهای ارتودوکس^۱ و ریکالسیترانت^۲ پس‌ابیده سهیم است همچنین این حالت در بذرهای آبنوشی کرده مشاهده می‌شود (هوکسترا^۳ و همکاران، ۱۹۹۹؛ نیا^۴ و همکاران، ۲۰۰۴). به علاوه طی آبنوشی بذرهای غیرزنده زوال یافته فعال‌سازی آنزیم‌های بازسازی DNA انجام نمی‌شود و سنتز RNA و پروتئین

¹ Orthodox

² Ricalcitrant

³ Hoekstra

⁴ Neya

⁵ Bray and Dasgupta

⁶ Sen and Ratajczak

⁷ Bray and West

پراکسیداز با افزایش زوال بذر کاهش یافت ولی استفاده از تیمار اسید جیبرلیک بهبود این شاخص‌ها را نیز به‌همراه داشت. و مناسب‌ترین سطح پرایم استفاده شده اسید جیبرلیک ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر بود که هم در شرایط تنش و هم شرایط نرمال و زوال و عدم زوال نتایج قابل قبولی را در مقایسه با سایر تیمارها داشت. با توجه به نتایج به‌دست آمده مشخص گردید که کاربرد اسید جیبرلیک ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر تحت شرایط نرمال و تنش می‌تواند به افزایش جوانه‌زنی بذر گلرنک کمک نماید و شدت تنش را کاهش دهد.

منابع

- Afrosheh, R., Balouchi, H., Movahedi Dehnavi, M. and Gharineh, M. 2018. The effects of salicylic acid and seed deterioration on germination indices and antioxidant enzymes changes of *Carthamus tinctorius* L. cv. Soffeh seed. Iranian Journal of Seed Science and Technology, 7(1): 53-64. [In Persian with English Summary]
- Alivand, R., Tavakkol Afshari, R. and Sharif zadeh, F. 2013. Effects of gibberellin, salicylic acid, and ascorbic acid on improvement of germination characteristics of deteriorated seeds of *Brassica napus*. Iranian Journal of Agriculture Science, 43(4): 561-571. [In Persian with English Summary]
- Ansari, O. and Sharif-Zadeh, F. 2013. Enzyme activity and germination characteristics improved with treatments that extend vigor of primed mountain rye seeds under ageing. Theo. Experimental Plant Physiology, 25(3): 1-6.
- Ansari, O. Chogazardi, H.R., Sharifzadeh, F. and Nazarli, H. 2012. Seed reserve utilization and seedling growth of treated seeds of mountain rye (*Secale montanum*) as affected by drought stress. Cercetări Agronomice în Moldova, 2: 43-48. <https://doi.org/10.2478/v10298-012-0013-x>
- Ansari, O., Gherekhloo, J., Kamkar, B. and Ghaderi-Far, F. 2016. Breaking seed dormancy and determining cardinal temperatures for *Malva sylvestris* using nonlinear regression. Seed Science and Technology, 44(3): 1-14. <https://doi.org/10.15258/sst.2016.44.3.05>
- Ansari, O., Sharif Zadeh, F. 2012. Slow Moisture Content Reduction (SMCR) can improve some seed germination indexes in primed seeds of Mountain Rye (*Secale montanum*) under accelerated aging conditions. Journal Seed Science and Technology, 2(2): 68-76. [In Persian with English Summary]
- Asadi Aghbolaghi, M., Ansari O. and Sedghi, M. 2014. The effect of salicylic acid and gibberellic acid on germination characteristics and changes of antioxidant enzymes under accelerated aging in sunflower (*Helianthus annuus*). Iranian Journal of Seed Science and Technology, 3(1): 31-40. [In Persian with English Summary]
- Association of Official Seed Analysts (AOSA). 1986. Rules for seed testing. Journal Seed Technology.
- Bailly, C. 2004. Active oxygen species and antioxidants in seed biology. Seed Science Research, 14: 93-107. <https://doi.org/10.1079/SSR2004159>
- Bailly, C., Benamar, A., Corbineau, F. and Come, D. 2000. Antioxidant systems in sunflower (*Helianthus annuus* L.) seeds as affected by priming. Seed Science Research, 10: 35-42. <https://doi.org/10.1017/S0960258500000040>
- Basra, S.M. A., Farooq, M., Wahid, A. and Khan, M.B. 2006. Rice seed invigoration by hormonal and vitamin priming. Seed Science and Technology, 34: 755-780. <https://doi.org/10.15258/sst.2006.34.3.23>
- Bayatian, B., Nikoumaram, N. and Ansari, O. 2021. The effect of drought stress and seed deterioration on cardinal temperatures of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Environmental Stresses in Crop Sciences, 14(1): 143-155. [In Persian with English Summary]

- Bradford, K.J. 1986. Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions. *HortScience*, 21: 1005-1112. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.21.5.1105>
- Bradford, M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Annual Review of Biochemistry*, 72: 248-254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
- Bray, C.M. and Dasgupta J. 1976. Ribonucleic acid synthesis and loss of viability in pea seed. *Planta*, 132: 103-108. <https://doi.org/10.1007/BF00388890>
- Bray, C.M. and West, C.E. 2005. DNA repair mechanisms in plants: crucial sensors and effectors for the maintenance of genome integrity. *New Phytologist*, 68: 511-528. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2005.01548.x>
- Buitink, J., Vu, B.L., Pascale, S. and Leprince, O. 2003. The re-establishment of desiccation tolerance in germinated radicles of *Medicago truncatula* Gaertn. seeds. *Seed Science Research*, 13: 273-286. <https://doi.org/10.1079/SSR2003145>
- Chaitanya, K.S.K. and Naithani, S.C. 1994. Role of superoxide, lipid peroxidation and superoxide dismutase in membrane perturbation during loss of viability in seeds of *Shorea robusta* Gaertn. *New Phytologist Foundation*, 126: 623-627. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1994.tb02957.x>
- Chen, K., Arora, R. and Arora, U. 2010. Osmopriming of spinach (*Spinacia oleracea* L. cv. Bloomsdale) seeds and germination performance under temperature and water stress. *Seed Science Technology*, 38: 36-48. <https://doi.org/10.15258/sst.2010.38.1.04>
- Demir Kaya, M., Gamze, O., Atak, M., Çikili, Y. and Kolsarici, O. 2006. Seed treatment to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *European Journal of Agronomy*, 24: 291-295. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2005.08.001>
- Derakhshan, A., Gharekhloo, J., Vidal, R.B. and De Prado, R. 2014. Quantitative description of the germination of little seed canarygrass (*Phalaris minor*) in response to temperature. *Weed Science*, 62: 250-257. <https://doi.org/10.1614/WS-D-13-00055.1>
- Farooq, M., Aziz, T., Basra, S.M.A., Wahid, A., Khaliq, A. and Cheema, M.A. 2008. Exploring the role of calcium to improve chilling tolerance in hybrid maize. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 194(5): 350-359. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2008.00322.x>
- Froozan, K. 2005. Safflower production in Iran (past, now, future). 2005. P. 255-257. In E. Esendel (ed.). *Proceedings of the 6th International Safflower Conference*. 6-10 June. 2005. Istanbul, Turkey.
- Harris, D. 1996. The effects of manure, genotype, seed priming, depth and date of sowing on the emergence and early growth of *Sorghum bicolor* (L.) Moench in semi-arid Botswana. *Soil and Tillage Research*, 40: 73-88. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(96\)80007-9](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(96)80007-9) ; [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(96\)01047-1](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(96)01047-1)
- Hendry, G.A.F. 1993. Oxygen, free radical processes and seed longevity. *Seed Science Research*, 3: 141-153. <https://doi.org/10.1017/S0960258500001720>
- Hoekstra, F.A., Golovina, E.A., Van Aelst, A.C. and Hemminga, MA. 1999. Imbibitional leakage from anhydrobiotes revisited. *Plant, Cell & Environment*, 22: 1121-1131. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.1999.00491.x>
- Iqbal, M. and Ashraf, M. 2007. Seed preconditioning modulates growth, ionic relations, and photosynthetic capacity in adult plants of hexaploid wheat under salt stress. *Journal of Plant Nutrition*, 30: 381-396. <https://doi.org/10.1080/01904160601171330>
- International Seed Testing Association. 2010. *International Rules, for Seed Testing*. *Seed Science and Technology*. 13:299-513.

- Janda, T., Szalai, G., Tari, I. and Paldi, E. 1999. Hydroponic treatment with salicylic acid decreases the effects of chilling injury in maize (*Zea mays* L.) plants. *Planta*, 208: 175-180. <https://doi.org/10.1007/s004250050547>
- Jin, S., Chen, C.C.S. and Plant, A.L. 2000. Regulation by ABA of osmotic stress-induced changes in protein synthesis in tomato roots. *Plant Cell and Environment*, 23: 51-60. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2000.00520.x>
- Johnson, L.B. and Cunningham, B.A. 1972. Peroxidase activity in healthy and leaf-rustinfected wheat leaves. *Photochemistry*, 11: 547-551. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(72\)80011-6](https://doi.org/10.1016/0031-9422(72)80011-6)
- Kamkar, B., Jami Al-Ahmadi, M. and Mahdavi-Damghani, A. 2011. Quantification of the cardinal temperatures and thermal time requirement of opium poppy (*Papaver somniferum* L.) seeds germinate using non-linear regression models. *Industrial Crops and Products*, 35: 192-198. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.06.033>
- Kang, G.Z., Wang, Z.X., Xia, K.F. and Sun, G.C. 2007. Protection of ultrastructure in chilling-stressed banana leaves by salicylic acid. *Journal of Zheijang University Science B*, 8: 277-282. <https://doi.org/10.1631/jzus.2007.B0277>
- Kapoor, N., Arya, A., Siddiqui, M.A., Amir A. and Kumar, H. 2010. Seed deterioration in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under accelerated aging. *Asian Journal of Plant Science*, 9(3): 158-162. <https://doi.org/10.3923/ajps.2010.158.162>
- Korkmaz, A., and Korkmaz, Y. 2009. Promotion by 5-aminolevulinic acid of pepper seed germination and seedling emergence under low-temperature stress. *Scientia Horticulturae*, 119: 98-102. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.07.016>
- Kranner, I. and Colville, L. 2010. Metals and seeds: biochemical and molecular implications and their significance for seed germination. *Environmental and Experimental Botany*, 72(1): 93-105. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2010.05.005>
- Leprince, O., Harren, F.J.M., Buitink, J., Alberda, M. and Hoekstra, E.A. 2000. Metabolic dysfunction and unabated respiration precede the loss of membrane integrity during dehydration of germinating radicles. *Plant Physiology*, 122: 597-608. <https://doi.org/10.1104/pp.122.2.597>
- Maurmicale, G. and Cavallaro, V. 1996. Effect of seed osmopriming on germination of three herbage grasses at low temperatures. *Seed Science and Technology*, 24: 331-338.
- McDonald, M.B. 1999. Seed deterioration: physiology, repair and assessment. *Seed Science Technology*, 27:177-237.
- Mohammadi, H., Soltani, A., Sadeghipour, H.R. and Zeinali, H. 2011. Effects of seed aging on subsequent seed reserve utilization and seedling growth in soybean. *International Journal of Plant Production*, 5(1): 65-70.
- Murungu, F.S., Nyamugafata, P., Chiduzi, C., Clark, L.J. and Whalley, W.R. 2003. Effects of seed priming aggregate size and soil matric potential on emergence of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) and maize (*Zea mays* L.). *Soil and Tillage Research*, 74: 161-168. <https://doi.org/10.1016/j.still.2003.06.003>
- Nanogaki, H., Bassel, G.W., and Bewley, J.D. 2010. Germination-still a mystery. *Plant Science*, 179: 574-581. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.02.010>
- Neya, O., Golovina, E.A., Nijse, J. and Hoekstra, F.A. 2004. Ageing increases the sensitivity of neem (*Azadirachta indica*) seeds to imbibitional stress. *Seed Science Research*, 14: 205-217. <https://doi.org/10.1079/SSR2004170>
- Powell, A.A. and Mathew, S. 1977. Deteriorative changes in pea seed stored in humid or dry conditions. *Journal Experimental of Botany*, 28: 225-234. <https://doi.org/10.1093/jxb/28.1.225>

- Pukacka, S. and Ratajczak, E. 2007. Age-related biochemical changes during storage of beech (*Fagus sylvatica* L.) seeds. Seed Science Research, 17: 45-53. <https://doi.org/10.1017/S0960258507629432>
- Rajjou, L., Lovigny, Y., Groot, S.P.C., Belghaz, M., Job, C., and Job, D. 2008. Proteome-wide characterization of seed aging in Arabidopsis: a comparison between artificial and natural aging protocols. Plant Physiology, 148: 620-641. <https://doi.org/10.1104/pp.108.123141>
- Seal, C.E., Zammit, R., Scott, P., Flowers, T.J. and Kranner, I. 2010. Glutathione half-cell reduction potential and α -tocopherol as viability markers during the prolonged storage of Suaeda maritime seeds. Seed Science Research, 20: 47-53. <https://doi.org/10.1017/S0960258509990250>
- Seiadat, S.A., Moosavi, A. and M. Sharafizadeh. 2012. Effect of seed priming on antioxidant activity and germination characteristics of maize seeds under different aging treatments. Research Journal of Seed Science, 5: 51-62. <https://doi.org/10.3923/rjss.2012.51.62>
- Seid Mohammadi, M., 2012. The effect of salicylic acid on temperature-moisture responses in aged seed of Brassica napus. M.Sc. Thesis. University of Tehran, Iran. [In Persian with English Summary]
- Sen, S., and Osborne, D.J. 1977. Decline in ribonucleic acid and protein synthesis with loss of viability during the early hours of imbibition of rye (*Secale cereal* L.) embryos. Biochemical Journal, 166: 33-38. <https://doi.org/10.1042/bj1660033>
- Shir Esmaeili, G., Maghsoudi Mood, A.A., Khajouei nezhad, Gh. and Abdolshahi, R. 2017. Effect of irrigation cut treatment on yield and yield components of ten safflower cultivars in spring and summer crops. Applied Research in Field Crops, 30(3): 1-17. [In Persian with English Summary]
- Soltani, A., Gholipoor, M. and Zeinali, E. 2006. Seed reserve utilization and seedling growth of wheat as affected by drought and salinity. Environmental and Experimental Botany, 55: 195-200. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2004.10.012>
- Tabatabaei, S.A. and Ansari, O. 2018. Quantification of safflower (*Carthamus tinctorius*) seed germination response to water potential and priming: hydro time models on the basis of normal, weibull and gumbel distributions. Environmental Stresses in Crop Sciences, 11(2): 327-340. [In Persian with English Summary]
- Tabatabaei, S.A. and Ansari, O. 2019. Evaluation of germination and biochemical changes of two wheat (*Triticum aestivum*) cultivars under Pb(NO₃)₂ Stress. Iranian Journal of Seed Research, 5(2): 15-28. [In Persian with English Summary] <https://doi.org/10.29252/yujs.5.2.15>
- Tammela, P., Salo-Vaänaänen, P., Laakso, I., Hopia, A., Vuorela, H. and Nygren, M. 2005. Tocopherols, tocotrienols and fatty acids as indicators of natural ageing in *Pinus sylvestris* seeds. Scandinavian Journal of Forest Research, 20: 378-384. <https://doi.org/10.1080/02827580500292063>
- Tayebi, A. Afshari, H. Farahvash, F. and Masood Sinki, J. 2012. Effect of drought stress and different planting dates on safflower yield and its components in Tabriz region. Iranian Journal of Plant Physiology, 2(3): 445-453. [In Persian with English Summary]
- Zhuo, J., Wang, W., Lu, Y., Sen, W. and Wang, X. 2009. Osmopriming-regulated changes of plasma membrane composition and function were inhibited by phenylarsine oxide in soybean seeds. Journal of Integrative Plant Biology, 51: 858-867. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7909.2009.00861.x>

Research Article

The effect of gibberellic acid application on germination and biochemical indices of deteriorated safflower seed (*Carthamus tinctorius*) under water stress conditionsOmid Ansari ^{1*}, Esmail Shirghani ², Khodadad shabani ³**Extended abstract**

Introduction: Due to the high sensitivity of seeds to damage caused by diseases or environmental stresses, germination is considered an important stage in the plant life cycle. Germination, its uniformity and emergence decline during storage due to seed vigor deterioration. Moisture stress is one of the important environmental factors affecting germination, especially during improper storage. Seed priming with gibberellic acid improves seedling characteristics in different plants under different environmental conditions. Therefore, this research aims to investigate the effect of gibberellic acid and seed deterioration on germination indices and antioxidant enzymes of safflower seeds (*Carthamus tinctorius* L.) under water stress conditions.

Materials and Methods: In order to investigate the effect of gibberellic acid on germination indicators and changes in antioxidant enzymes of aged safflower seeds under osmotic stress conditions, a factorial experiment was conducted in the form of a completely randomized design with four replications. The first factor includes three osmotic stress levels: zero (control), -0.4, and -0.8 MPa, the second factor includes nine aging levels (zero, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, and 8 days of aging). at a temperature of 41 degrees Celsius) and the third factor included seed priming treatment at three control levels (non-priming), zero (hydro-priming), and priming with 50 mg/l gibberellic acid. A 3-parametric sigmoid model was used to show the changes in germination indices at different levels of seed deterioration.

Results: The effect of osmotic stress, seed deterioration, and seed priming on the measured indices such as germination percentage, germination rate, seedling dry weight, normal seedling percentage, seedling length, seed germ, catalase, and ascorbate peroxidase, as well as seed protein were significant so that the measured indicators decreased with increasing seed deterioration and moisture stress. The results showed that the highest measured germination indices were obtained from seed treatment with 50 mg/l gibberellic acid under normal osmosis and non-deterioration conditions. Also, seed priming with gibberellic acid treatment caused an increase in catalase, ascorbate peroxidase, and protein activity compared to non-primed seeds under deterioration and non-deterioration conditions.

Conclusion: Results showed that the most suitable prime level used was gibberellic acid 50 mg/l, which had acceptable results under both stress conditions and normal conditions and deterioration and non-deterioration in comparison with other treatments. Therefore, the use of gibberellic acid hormone can help to improve germination indices as a result of changes in biochemical activities.

Keywords: Peroxidase, Accelerated aging, Seed treatment, Germination indices, Catalase, Safflower

Highlights:

1. The effect of accelerated aging and priming on safflower seed germination under moisture stress conditions was investigated.
2. The effect of priming on catalase and peroxidase activity of aged safflower seeds was investigated.

¹ Ph.D. in Seed Science and Technology, University of Gorgan, Gorgan, Iran.

² Master's Student in Agroecology, Agricultural Faculty of Shirvan, University of Bojnord, Bojnord, Iran.

³ Ph.D. student in Agriculture, Azad University, Shirvan Branch, Shirvan, Iran

<http://dorl.net/dor/20.1001.1.23831251.1402.10.1.2.0>

DOI: 10.61186/yujs.10.1.19

*Corresponding author, E-mail: omid0091@yahoo.com

(Received: 08.13.2022; Accepted: 11.05.2022)



CrossMark