



علوم و تحقیقات بذر ایران
سال دوازدهم/ شماره چهارم/ ۱۴۰۴ (۹۹-۸۱)

مقاله پژوهشی

DOI: 10.22124/jms.2026.9716



اثر غلظت‌های مختلف تنظیم‌کننده رشد پیکس (مپیکوات کلراید) بر درصد جوانه‌زنی و شاخص‌های بیوشیمیایی بذر کنجد (*Sesamum indicum* L.) رقم داراب ۱ در شرایط مختلف انبارداری

رامین زیلاب‌پور^۱، علی مرادی^{۲*}، حجت‌اله لطیف‌منش^۳، حمیدرضا بلوچی^۴، علیرضا یدوی^۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۱/۳۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۴/۲

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی اثر غلظت‌های مختلف تنظیم‌کننده رشد گیاهی "پیکس" بر جوانه‌زنی و شاخص‌های بیوشیمیایی بذر کنجد رقم داراب ۱ در شرایط مختلف انبارداری انجام شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل چهار عاملی در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. تیمارها شامل دو سطح دما (۱۵ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد)، دو سطح رطوبت بذر (۹ و ۱۵ درصد)، سه غلظت پیکس (صفر، ۳۰۰۰ و ۴۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و سه دوره انبارداری (۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ روز) بودند. نتایج نشان داد با افزایش دوره انبارداری، رطوبت و دما، پروتئین محلول و فعالیت آنزیم پراکسیداز کاهش یافت در حالی که قند محلول، مالون‌دی‌آلدئید، پرولین و هدایت الکتریکی افزایش یافت. کاربرد پیکس (به‌ویژه ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر) این روندها را بهبود بخشید. بیشترین جوانه‌زنی (۸۵/۳۳ درصد) مربوط به بذور تحت تیمار ۳۰۰۰ پیکس، دمای انباری ۱۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت بذر ۹ درصد ثبت شد. در شرایط بحرانی (۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۱۵ درصد)، جوانه‌زنی در شاهد و تیمار کاربرد پیکس ۴۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر پس از ۶۰ روز به صفر رسید، در حالی که با کاربرد پیکس ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر مقدار آن به ۲۳ درصد رسید. پیکس می‌تواند با تعدیل آسیب‌های اکسیداتیو و کاهش شدت زوال بذر، ضمن حفظ بخشی از توان جوانه‌زنی بذر نقش حفاظتی نسبی تحت تنش انبارداری ایفا کند.

واژه‌های کلیدی: انبارداری، پراکسیداز، جوانه‌زنی، کنجد، مالون‌دی‌آلدئید، مپیکوات کلراید

- ۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم و تکنولوژی بذر، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران.
r.zeilabpoor408@gmail.com
amoradi@yu.ac.ir
- ۲- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران.
- ۳- استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران.
- ۴- استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران.
- ۵- استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران.

*نویسنده مسئول: amoradi@yu.ac.ir

مقدمه

کنجد (*Sesamum indicum* L.) محصولی حیاتی است که به دلیل مزایای سلامتی، پایداری روغن آن و همچنین سازگاری با آب و هوای خشک شناخته می‌شود. این گیاه دارای ۵۰ درصد روغن، ۲۵ درصد پروتئین، سرشار از آهن، منیزیم و کلسیم و حاوی ویتامین‌های A، B و E می‌باشد (Li *et al.*, 2024). مطابق با آخرین اطلاعات آماری سطح زیر کشت کنجد در ایران معادل ۵۸۱۷۵ هکتار و میزان تولید آن برابر با ۶۱۶۲۷ تن گزارش شده است (Deputy for Statistics, 2025).

کشاورزان از آغاز کشاورزی نیازمند ذخیره‌سازی بذر برای کشت در فصل بعدی بوده‌اند. بذره‌های اغلب گیاهان به‌طور معمول پس از برداشت به مدت چند روز تا چند ماه یا چند سال در انبار نگهداری می‌شوند. توده‌های بذر با بنیه اولیه بالا، طول عمر بیشتری در زمان نگهداری نسبت به بذره‌های با بنیه اولیه پایین دارند (Leprince *et al.*, 2016). زوال بذر یک فرآیند نامطلوب، غیرقابل بازگشت و مضر در کشاورزی است که منجر به کاهش کیفیت، زنده‌مانی و بنیه بذر می‌شود (Song *et al.*, 2021). عوامل متعددی در میزان حساسیت بذرها به زوال دخالت دارند که مهم‌ترین آن‌ها درجه حرارت و رطوبت نسبی انبار، محتوای رطوبت بذر و خسارت ناشی از آفات و بیماری‌ها هستند (Copeland and McDonald, 2008; Han *et al.*, 2022).

اگرچه زوال بذر اجتناب‌ناپذیر است، اما روش‌های مطلوب انبارداری می‌تواند سرعت آن را به تأخیر بیندازد (Kapoor *et al.*, 2010; Corbineau, 2024). برای گیاهان زراعی، جلوگیری یا به حداقل رساندن کاهش کیفیت بذر و قابلیت حیات در طی انبارداری، به منظور کشت در فصول بعدی حیاتی و ضروری است (Bewley *et al.*, 2013; Han *et al.*, 2022). درک خصوصیات پیچیده‌ای که طول عمر بذر را کنترل می‌کنند، دارای اهمیت اکولوژیکی، زراعی و اقتصادی است. زمانی که بذرها در طی نگهداری زوال پیدا می‌کنند، بنیه خود را از دست می‌دهند و به تنش‌های محیطی در طی جوانه‌زنی حساس‌تر می‌شوند که روی میزان جوانه‌زنی آن‌ها تاثیر منفی می‌گذارد (Kibar and Yücesan, 2021; Ma *et al.*, 2004).

تنظیم‌کننده رشد مپیکوات کلراید با نام عمومی پیکس (PIX) به‌صورت کریستال‌های قرمز رنگ بی‌بو است که در آب به‌خوبی حل می‌شود. این ماده که از ۴/۲ درصد N-N dimethyl piperi dinidm chloride و یک ترکیب چهار جزئی Ammonia تشکیل شده است اثرات متقابلی بر کنترل جیبرلین و در نتیجه فرآیند جوانه‌زنی دارد. مطالعات جدید نشان داده‌اند که پیکس از طریق تحریک سریع اسید آبسزیک (ABA) و تنظیم انتقال‌دهنده‌های یونی کلر، تحمل به تنش را در بذر افزایش می‌دهد. در این مکانیسم، ABA با فعال کردن مسیرهای سیگنالینگ پایین‌دست، باعث حفظ هموستاز یونی و کاهش آسیب اکسیداتیو می‌شود (Wang *et al.*, 2024). همچنین به نظر می‌رسد پیکس می‌تواند هورمون اسید آبسزیک را تحریک نماید (Stewart, 2005). با استفاده از پیکس و شرایط مطلوب انبارداری (دما و رطوبت مناسب) می‌توان شرایط را برای کندتر شدن زوال بذر اعمال کرد. هرچه رطوبت و دمای نگهداری بذر بالاتر باشد، شرایط برای زوال فراهم می‌شود و به دنبال آن قابلیت نگهداری کاهش می‌یابد (McDonald and Kwong, 2005; Alaa *et al.*, 2021; Asseri *et al.*, 2021; El-Mahdy Shahein *et al.*, 2022). به‌طور کلی زمانی که محیط اطراف مرطوب و بذر خشک باشد، آب از محیط به طرف بذرها حرکت می‌کند و در نتیجه رطوبت بذرها افزایش می‌یابد و عکس این قضیه نیز صحیح است (Zhan *et al.*, 2014).

ژان و همکاران (Zhan *et al.*, 2014) در پژوهشی بیان کردند فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی از جمله سوپراکسید دیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز به‌طور قابل توجهی در بذر سویا با محتوای رطوبت ۶/۱۲ درصد در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد طی دوره ۸ تا ۴۱ روز کاهش یافت. در مطالعه‌ای روی کلزا گزارش شد که با افزایش زوال بذر، میزان مالون دی‌آلدئید افزایش یافت (Lin *et al.*, 2011). بذره‌های حساس به دمای بالا به شدت وابسته به محتوای رطوبتی خود هستند، به‌طوری که کاهش بنیه بذر با افزایش محتوای رطوبتی آن سرعت می‌یابد (Kibinza *et al.*, 2006). ژیا و همکاران (Xia *et al.*, 2015) در تحقیقی با نگهداری بذور جودوسر در محتوای رطوبت ۴، ۱۰ و ۱۶ درصد و رطوبت نسبی ۱۰، ۵۳ و ۸۰ درصد به مدت صفر، ۱۶، ۲۴، ۳۲ و ۴۰ روز در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد بیان کردند که با افزایش محتوای رطوبت بذر و زمان نگهداری،

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز کاهش یافت. جین و همکاران (Jin *et al.*, 2000) و هان و همکاران (Han *et al.*, 2023) گزارش کردند که در بذره‌های زوال‌یافته به دلیل تجمع رادیکال‌های اکسیژن، حساسیت پروتئین‌ها به آنزیم پروتئاز افزایش می‌یابد که در نهایت یکی از علل کاهش میزان پروتئین در طی فرآیند زوال می‌باشد. بنال و همکاران (Beanal *et al.*, 2000) با بررسی اثر پیری بذر بر سیستم آنتی‌اکسیدانی ارقام ذرت به این نتیجه رسیدند که فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز در بذره‌های زوال‌یافته به دلیل تجمع پراکسید هیدروژن و صدمه رساندن به سیستم آنتی‌اکسیدانی کاهش یافت.

اگرچه تنظیم‌کننده‌های مختلف رشد گیاهی در پیش‌تیمار بذرها برای القای مقاومت به تنش‌ها استفاده شده است، اما جوانه‌زنی و رشد گیاهچه یکی از عوامل مهم در تعیین عملکرد نهایی است. تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی به عنوان پیام‌رسان‌های شیمیایی در نظر گرفته می‌شوند که روند طبیعی تغییرات رشد و همچنین پاسخ به سیگنال‌های محیطی را تنظیم می‌کنند (Pirredda *et al.*, 2024). تیمار بذر با کاربرد پیکس قبل از کاشت می‌تواند ابزار موفقی در تولید گیاهان زراعی باشد. مطالعات اخیر نشان داده‌اند که پیکس با غلظت ۳۰ میلی‌گرم در لیتر سبب افزایش معنی‌دار ارتفاع گیاه، طول ریشه و وزن تر در گندم می‌شود (Wang *et al.*, 2025). همچنین در گیاه پنبه، کاربرد پیکس باعث افزایش معنی‌دار درصد جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، محتوای پرولین و ترکیبات فنلی در شرایط شوری شده است (Jafari *et al.*, 2018) و از این رو با تداخل در هورمون‌ها، پیکس بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه تأثیر می‌گذارد (Stewart, 2005). مطالعات تحقیقاتی زیادی در مورد نحوه تأثیر پیکس بر رشد و نمو گیاهان مختلف وجود دارد (Niakan *et al.*, 2011; Havargi, 2007) اما به طور محدود اثرات آن بر روی جوانه‌زنی و انبارداری بذر و مطالعه رفتارهای آن بررسی شده است.

به طور خاص در مورد گیاه کنجد، مطالعات پایداری انبارداری نشان داده است که شرایط انبارداری نامطلوب (دمای بالا و رطوبت نسبی زیاد) باعث کاهش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، افزایش پراکسیداسیون لیپیدها و کاهش کیفیت بذر می‌شود. در این راستا، پرایمینگ بذر با عوامل زیستی مانند *Trichoderma viride* می‌تواند تا حدودی

روند زوال را کاهش دهد (Manojkumar and Padmavathi, 2026). همچنین مطالعه السافی و همکاران (Elsafy *et al.*, 2024) نشان داد که انبارداری تسریع‌شده (دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۶۰ درصد) در کنجد باعث افزایش پراکسید هیدروژن و کاهش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی می‌گردد. از آنجایی که کنجد جزو گیاهان روغنی بوده و بذر این گیاهان در شرایط مختلف انبارداری به دلیل روغن زیاد، سریع‌تر تحت تأثیر قرار گرفته و نتیجه آن کاهش کیفیت بذر و کاهش جوانه‌زنی است و تاکنون مطالعه‌ای راجع به حفظ کیفیت بذر کنجد با استفاده از تنظیم‌کننده رشد پیکس انجام نشده است، این پژوهش به منظور بررسی اثر غلظت‌های مختلف پیکس بر حفظ قابلیت انبارداری و بهبود درصد جوانه‌زنی بذر کنجد رقم داراب ۱ تحت رطوبت و دماهای مختلف در شرایط آزمایشگاه به اجرا درآمد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به منظور بررسی تأثیر غلظت‌های مختلف تنظیم‌کننده رشد هورمون پیکس (Pix SL 5%) محصولی از شرکت BASF آلمان بر قابلیت ماندگاری بذر کنجد (*Sesamum indicum* L.) رقم داراب ۱ در شرایط دما و طول دوره انبارداری با رطوبت‌های مختلف بذر اجرا شد. بذره‌های مورد استفاده دارای جوانه زنی اولیه ۹۰ درصد بود، یک رقم اصلاح شده ایرانی است که به عنوان ژنوتیپ متحمل به خشکی معرفی شده است. عملکرد دانه این رقم در شرایط نرمال بین ۱۴۰۷ تا ۱۵۹۱ کیلوگرم در هکتار و در شرایط تنش خشکی حدود ۸۰۶-۸۲۸ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است. درصد روغن دانه این رقم ۴۷٫۸۸ درصد می‌باشد که بالاتر از ارقام متداول دیگر است. این رقم دارای تعداد کپسول ۱۲۲-۱۳۸ عدد در بوته و تعداد دانه ۶۸-۷۹ عدد در کپسول می‌باشد. از نظر کیفی، بذر این رقم دارای ظرفیت آنتی‌اکسیدانی مناسب است که از مؤسسه ثبت و گواهی بذر کرج تهیه شدند. تحقیق حاضر به صورت فاکتوریل چهار عاملی در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار در آزمایشگاه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج صورت گرفت. کلیه آزمایش‌ها در شرایط کنترل شده آزمایشگاهی با دمای 25 ± 2 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی 60 ± 5 درصد انجام شد.

تیمارهای آزمایش شامل ترکیبی از چهار عامل شامل (۱) دمای انبارداری در دو سطح: ۱۵ و ۲۵ درجه سانتی گراد؛ (۲) رطوبت بذر در دو سطح: ۹ و ۱۵ درصد؛ (۳) تنظیم کننده رشد پیکس (مپیکوات کلراید) در سه سطح: صفر (شاهد)، ۳۰۰۰ و ۴۵۰۰ میلی گرم در لیتر و (۴) طول دوره انبارداری در سه سطح: ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ روز بود.

به منظور انجام آزمایش، ابتدا برای اندازه گیری رطوبت اولیه بذر، سه تکرار پنج گرمی بذر (هر تکرار شامل ۵ گرم بذر) با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم وزن شدند. سپس نمونه ها به مدت ۱۷ ساعت در آون الکتریکی با دمای ۱۰۳ درجه سانتی گراد قرار داده شدند. پس از خروج از آون، نمونه ها در داخل دسیکاتور حاوی سیلیکاژل به مدت ۳۰ دقیقه سرد شده و مجدداً توزین شدند. میزان رطوبت بر پایه وزن تر بر حسب درصد با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (Jorg and Ray, 2004):

$$\text{رطوبت (\%)} = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100$$

که در آن W_i : وزن اولیه بذر (گرم) و W_f : وزن نهایی بذر پس از خشک شدن (گرم) می باشد. رطوبت اولیه بذرهای کنجد رقم داراب ۱ برابر ۸/۶ درصد تعیین گردید.

پس از تعیین رطوبت اولیه، بذور به رطوبت مورد نظر (۹ و ۱۵ درصد) رسانیده شدند. برای ایجاد رطوبت های مورد نظر از رابطه زیر استفاده شد (Desai, 2004):

$$W_2 = W_1 \times \frac{100 - A}{100 - B}$$

که در آن W_1 : وزن اولیه بذر (گرم)، W_2 : وزن نهایی بذر پس از افزودن محلول پیکس (گرم)، A : محتوای رطوبت مورد نظر (درصد) و B : محتوای رطوبت اولیه بذر (درصد) می باشد. مقدار آب مورد نیاز برای افزایش رطوبت از رابطه $W_2 - W_1$ محاسبه گردید.

به منظور تأمین رطوبت بذرها، ابتدا محلول پیکس (مپیکوات کلراید با خلوص ۹۸ درصد، ساخت شرکت سیگما-آلد ریچ) با غلظت های صفر (آب مقطر)، ۳۰۰۰ و ۴۵۰۰ میلی گرم در لیتر تهیه گردید. برای تهیه محلول های ۳۰۰۰ و ۴۵۰۰ میلی گرم در لیتر به ترتیب ۳ و ۴/۵ گرم پیکس در ۱ لیتر آب مقطر حل شد. سپس بذور در داخل پوشش های آلومینیومی سه لایه (به ابعاد ۱۵×۱۰ سانتی متر) قرار داده شدند. برای رسیدن به رطوبت مورد نظر، به میزان محاسبه شده از محلول پیکس (با استفاده از رابطه فوق) به بذرها اضافه شد. محلول پیکس به صورت

یکنواخت با استفاده از یک پیپت اتوماتیک روی بذرها اسپری گردید. سپس درب پوشش ها با استفاده از دستگاه دوخت حرارتی در شرایط خلأ (واکیوم) با فشار ۰/۸ بار به دقت بسته شدند تا با محیط بیرون تبادلات رطوبتی صورت نگیرد. صحت بسته بندی با قرار دادن پاکت ها در زیر آب به مدت ۵ دقیقه بررسی شد. پاکت های حاوی بذور با رطوبت های مورد نظر در داخل انکوباتورهای مجهز به کنترل دما (مدل emmert INE-400) که از قبل برای دماهای مورد نظر (۱۵ و ۲۵ درجه سانتی گراد) تنظیم شده بودند، قرار داده شدند. رطوبت نسبی داخل انکوباتورها در طول دوره انبارداری با استفاده از محلول اشباع نمک NaCl در حدود ۷۵ درصد کنترل گردید. دما و رطوبت به صورت روزانه با استفاده از دیتالاگر ثبت و پایش شد.

به منظور ارزیابی قابلیت بنبیه بذرها، به فاصله هر ماه یکبار (در پایان دوره های ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ روز)، بذور نگهداری شده در شرایط مختلف انبارداری از انکوباتور خارج شده و آزمون جوانه زنی روی آن ها انجام شد. آزمون جوانه زنی استاندارد در ظروف پتری (به قطر ۹ سانتی متر) و به روش روی کاغذ (بین دو لایه کاغذ صافی واتمن شماره ۱) انجام شد. در هر پتری، ۲۵ بذر به صورت کاملاً تصادفی قرار داده شد. ظروف پتری در ژرمیناتور با دمای متناوب ۳۰-۲۰ درجه سانتی گراد (۱۶ ساعت در ۲۰ درجه و ۸ ساعت در ۳۰ درجه) به مدت ۷ روز قرار داده شدند. نوردهی به میزان ۱۰۰۰ لوکس به مدت ۸ ساعت در روز انجام شد. بذرها زمانی جوانه زده تلقی شدند که طول ریشه چه به حداقل ۲ میلی متر رسیده باشد. شمارش جوانه زنی روزانه انجام شد و در نهایت درصد جوانه زنی نهایی در روز هفتم محاسبه گردید. این آزمون مطابق با قوانین (ISTA 2010) انجام شد.

برای اندازه گیری شاخص های بیوشیمیایی، نمونه های بذر در زمان های تعیین شده (پس از ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ روز انبارداری) از انکوباتور خارج شده و بلافاصله در نیتروژن مایع منجمد شده و سپس در فریزر -۸۰ درجه سانتی گراد تا زمان انجام آزمایش ها نگهداری شدند. تمامی اندازه گیری ها در سه تکرار انجام شد.

اندازه گیری پرولین با استفاده از روش بیتس و همکاران (Bates et al., 1973) انجام شد. به این منظور، ۰/۵ گرم از بذرها آسیاب شده با ۱۰ میلی لیتر اسید سولفوسالسیلیک ۳ درصد هموژن شد. پس از سانتریفیوژ

(۱۰۰۰۰) دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه)، ۲ میلی‌لیتر از محلول رویی با ۲ میلی‌لیتر نین هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک یخچالی مخلوط شد. نمونه‌ها به مدت ۱ ساعت در حمام آب جوش (۱۰۰ درجه سانتی‌گراد) قرار داده شدند. پس از خنک شدن، ۴ میلی‌لیتر تولوئن به نمونه‌ها اضافه و به شدت ورتکس شد. فاز تولوئن حاوی رنگ جدا شده و جذب آن در طول موج ۵۱۵ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر (مدل SHIMADZO 54A) قرائت گردید. مقدار پرولین با استفاده از منحنی استاندارد تهیه شده با پرولین خالص و بر حسب میکرومول بر گرم وزن تر بذر محاسبه شد.

محتوای قند محلول به روش اموکولو و همکاران (Omokolo et al., 1996) اندازه‌گیری شد. به این منظور، ۰/۱ گرم از بذر آسیاب شده با ۵ میلی‌لیتر اتانول ۸۰ درصد به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب جوش قرار داده شد. پس از سانتریفیوژ (۴۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه)، ۰/۱ میلی‌لیتر از محلول رویی با ۳ میلی‌لیتر معرف آنترون (۰/۲ گرم آنترون در ۱۰۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۹۵ درصد) مخلوط شد. نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب جوش قرار داده شده و سپس به سرعت در یخ سرد شدند. جذب نمونه‌ها در طول موج ۶۲۵ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر (مدل SHIMADZO 54A) قرائت گردید. مقدار قند محلول با استفاده از منحنی استاندارد گلوکز و بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر بذر محاسبه شد.

اندازه‌گیری پراکسید هیدروژن با استفاده از روش لورتو و ولیکووا (Loreto and Velikova, 2001) انجام شد. به این منظور، ۰/۲۵ گرم بذر آسیاب شده با ۲ میلی‌لیتر تری‌کلرواستیک اسید ۰/۱ درصد هموژن شد. پس از سانتریفیوژ (۱۲۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه)، ۰/۵ میلی‌لیتر از محلول رویی با ۰/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات (pH= 7.0) و ۱ میلی‌لیتر یدید پتاسیم (۱ مولار) مخلوط شد. جذب نمونه‌ها در طول موج ۳۹۰ نانومتر قرائت گردید. مقدار پراکسید هیدروژن با استفاده از منحنی استاندارد و بر حسب میکرومول بر گرم وزن تر بذر محاسبه شد.

میزان مالون دی‌آلدئید (MDA) با استفاده از روش هیث و پاکر (Heath and Paker, 1969) اندازه‌گیری شد. به این منظور، ۰/۲۵ گرم بذر آسیاب شده با ۵ میلی‌لیتر تری‌کلرواستیک اسید ۰/۱ درصد هموژن شد. پس از

سانتریفیوژ (۱۰۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه)، ۱ میلی‌لیتر از محلول رویی با ۴ میلی‌لیتر اسید تیوباریتوریک ۰/۵ درصد (تهیه شده در تری‌کلرواستیک اسید ۲۰ درصد) مخلوط شد. نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب جوش (۹۵ درجه سانتی‌گراد) قرار داده شدند. پس از سرد شدن و سانتریفیوژ مجدد، جذب نمونه‌ها در طول موج‌های ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد. میزان MDA با استفاده از ضریب خاموشی ۱۵۵ میلی‌مول بر سانتی‌متر و بر حسب میلی‌مول بر گرم وزن تر بذر محاسبه گردید:

$$MDA = \frac{(A_{532} - A_{600})}{155} \times 1000$$

پروتئین کل به روش برادفورد (Bradford, 1976) اندازه‌گیری شد. به این منظور، ۰/۱ گرم بذر آسیاب شده با ۲ میلی‌لیتر بافر فسفات ۵۰ میلی‌مول، (pH= 7.0) هموژن شد. پس از سانتریفیوژ (۱۲۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد)، ۰/۱ میلی‌لیتر از محلول رویی با ۵ میلی‌لیتر معرف برادفورد (۰/۱۱ درصد کوماسی برلیانت بلو G-250، ۷/۴ درصد اتانول، ۵/۸ درصد اسید فسفریک) مخلوط و به مدت ۵ دقیقه در دمای اتاق نگهداری شد. جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۹۵ نانومتر قرائت گردید. مقدار پروتئین با استفاده از منحنی استاندارد آلبومین سرم گاوی (BSA) و بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر بذر محاسبه شد.

هدایت الکتریکی به روش همپتون و تکرونای (Hampton and Tekrony, 1995) اندازه‌گیری شد. به این منظور، ۵۰ بذر سالم و یکنواخت از هر تیمار انتخاب و پس از شستشو با آب مقطر سه بار، در ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر (با هدایت اولیه کمتر از ۲ میکروزیمنس بر سانتی‌متر) در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خیس‌انده شدند. پس از ۲۴ ساعت، هدایت الکتریکی محلول با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج (مدل Metrohm 712) اندازه‌گیری و بر حسب میکروزیمنس بر سانتی‌متر بر گرم بذر گزارش گردید.

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۴) انجام گردید. رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel (نسخه ۲۰۱۹) انجام شد. قبل از تجزیه و تحلیل، نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و همگنی واریانس‌ها با آزمون لون بررسی شد. مقایسه میانگین اثرات

غلظت ۳۰۰۰ میلی گرم در لیتر، احتمالاً نشان دهنده کاهش شدت فرآیندهای تخریبی و حفظ بهتر وضعیت متابولیکی بذر طی انبارداری است که می تواند در نهایت به حفظ توان جوانه زنی کمک کند. شی و همکاران (Shi et al., 2025) در مرور خود بر مکانیسم های زوال بذر، تجمع قندها را یکی از عوامل القای PCD معرفی کرده و کاهش آنها را نشانه حفظ سلامت بذر می دانند.

پرولین

با افزایش دوره انبارداری از ۶۰ به ۱۸۰ روز، محتوای پرولین در تمام تیمارها افزایش یافت، اما شدت این افزایش به شدت تحت تأثیر دما، رطوبت و غلظت پیکس قرار گرفت. در شدیدترین شرایط (دمای ۲۵ درجه سانتی گراد، رطوبت ۱۵ درصد)، پرولین تیمار شاهد از ۸۰/۴۵ در ۶۰ روز به ۱۲۷/۶ میکرومول بر گرم در ۱۸۰ روز رسید (بیش از ۵ برابر تیمار ۶۰ روزه). در همین شرایط، کاربرد ۳۰۰۰ میلی گرم در لیتر پیکس، پرولین را به ۷۳/۸۳ میکرومول محدود کرد (کاهش حدود ۴۰ درصدی) (جدول ۴). در شرایط مطلوب (دمای ۱۵ درجه سانتی گراد، رطوبت ۹ درصد)، شاهد به ۶۷/۲۲ میکرومول بر گرم رسید در حالی که پیکس ۳۰۰۰ میلی گرم در لیتر آن را به ۶۳/۲۲ میکرومول بر گرم کاهش داد (کمتر از یک سوم) (جدول ۳). غلظت ۴۵۰۰ میلی گرم در لیتر پیکس در تمام شرایط عملکردی بین شاهد و غلظت ۳۰۰۰ میلی گرم در لیتر داشت (جدول های ۳ و ۴).

افزایش پرولین طی زوال بذر، پاسخی فیزیولوژیک به تنش اکسیداتیو است. پرولین به عنوان یک اسمولیت سازگار، با حفظ تعادل اسمزی و خنثی سازی رادیکال های آزاد، از سلول در برابر آسیب محافظت می کند (Gao et al., 2016). در مرور سیستماتیک نیکاس و همکاران (Nickas et al., 2025) نیز تأیید شده است که تجمع پرولین یکی از پاسخ های اولیه بذر به شرایط پیری می باشد. مطالعه من و همکاران (Men et al., 2025) نشان داد که تجمع پرولین با فسفوریلاسیون اکسیداتیو میتوکندری و تلاش سلول برای تولید ATP جهت ترمیم آسیب ها مرتبط است. در لاین های overexpress سیترا سنتاز، میزان پرولین به طور معنی داری کاهش یافت که همسو با یافته های پژوهش حاضر می باشد. کاهش چشمگیر پرولین

اصلی با استفاده از آزمون چنددامنه ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت. در صورت معنی دار بودن برهمکنش ها از رویه L.S.Means (حداقل اختلاف معنی دار) و برش دهی برای مقایسه میانگین صفات مورد ارزیابی در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که اثر متقابل چهارگانه دما، رطوبت، دوره انبارداری و پیکس بر محتوای قند محلول و نشت الکترولیت در سطح احتمال ۵ درصد و بر صفات محتوای پرولین، محتوای پروتئین های محلول، میزان مالون دی آلدئید، فعالیت آنزیم پراکسیداز و درصد جوانه زنی در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود. از آنجایی که اثر چهارگانه تیمارها معنی دار بود، تحلیل به صورت جداگانه برای هر دما و سپس برش دهی بر اساس رطوبت انجام شد (جدول ۲).

محتوای قندهای محلول

محتوای قندهای محلول در طی دوره انبارداری افزایش یافت، اما این افزایش در تیمارهای پیکس محدودتر بود. در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد و رطوبت ۱۵ درصد، قند محلول شاهد از ۶۵/۲۸ در ۶۰ روز به ۹۰/۹۳ میلی گرم بر گرم در ۱۸۰ روز رسید (افزایش حدود ۴۰ درصدی). کاربرد ۳۰۰۰ میلی گرم در لیتر پیکس در همین شرایط، این افزایش را به ۲۷/۸۱ میلی گرم بر گرم محدود کرد (جدول ۴). در دمای ۱۵ درجه سانتی گراد و رطوبت ۹ درصد، شاهد به ۵۹/۱ و پیکس ۳۰۰۰ میلی گرم در لیتر به ۵۷/۶۷ میلی گرم بر گرم رسید (تفاوت ناچیز) (جدول ۳). غلظت ۴۵۰۰ میلی گرم در لیتر پیکس در شرایط تنش شدید عملکردی بین شاهد و ۳۰۰۰ میلی گرم در لیتر داشت (۸۸/۳ میلی گرم بر گرم) (جدول ۴).

افزایش قندهای محلول طی زوال بذر می تواند دو پیامد داشته باشد: از یک سو به عنوان اسمولیت تنظیم کننده تعادل اسمزی عمل می کند، اما از سوی دیگر، تجمع بیش از حد آنها واکنش های آمادوری-مایلارد را تحریک کرده و به تخریب پروتئین ها منجر می شود. السانی و همکاران (Elsafy et al., 2024) نیز افزایش قندهای احیا کننده را در بذر کنجد پیر گزارش کردند و این افزایش را با کاهش ظرفیت آنتی اکسیدانی و کاهش جوانه زنی همبسته دانستند. کاهش تجمع قندهای محلول در تیمار پیکس، به ویژه در

جدول ۱- نتایج حاصل از تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر دمای انبار، محتوای رطوبت بذر، غلظت پیکس (می‌پیکوات کلراید) و طول دوره انبارداری برای درصد جوانه زنی و برخی صفات بیوشیمیایی و جوانه‌زنی بذر کنگد رقم داراب ۱

Table 1- analysis of variance (mean square) of the effect of temperature, seed moisture content, PIX and storage period for some biochemical traits and germination of Sesame cv, Darab1

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	محتوای قندهای محلول soluble sugars content	محتوای پرولین Proline content	محتوای پروتئین‌های محلول Soluble protein content	محتوای مالون دی آلدئید Malondialdehyde content	نشت اکترولیت Electrolyte leakage	فعالیت پراکسیداز peroxidase activity	درصد جوانه‌زنی Germination percentage
دمای انبارداری Storage Temperature (T)	1	14308 **	42999 **	780 **	1568 **	14931 **	2.3**	65621 **
رطوبت بذر Seed Moisture (H)	1	234 **	4741 **	2105 **	103 **	989 **	5.33**	132753 **
غلظت پیکس Pix concentration (P)	2	250 **	914 **	42 **	31.1**	296 **	0.11**	2772 **
طول دوره انبارداری Storage period (SP)	2	3276 **	13433 **	979 **	438 **	4179 **	2.62**	16577 **
(T*H)	1	110 **	53.3**	71.3**	4.64**	44.2**	0.16**	30803 **
(T*P)	2	20.5**	36.2**	2.33**	1.61**	15.4**	0.01**	113 **
(H*P)	2	17.5**	29.3**	3.63**	1.31**	78.1**	0.01**	74.2**
(T*SP)	2	82.1**	219 **	17.6**	8.2**	20.3**	0.04**	694 **
(H*SP)	3	14.9**	68.5**	9.37**	2.13**	4.64*	0.02**	1796 **
(P*SP)	4	6.62**	10.3**	1.6**	0.48*	18.9**	0.008**	184 **
(T*H*P)	2	20.9**	50.1**	1.4**	1.98**	50.7**	0.1**	111 **
(T*H*SP)	3	78.6**	103 **	9.75**	5.32**	5.76*	0.03**	1626 **
(T*P*SP)	4	4.1**	31.1**	2.03**	0.84**	4.84*	0.003*	75.8**
(H*SP*P)	4	3.48*	18.8**	2.4**	0.74**	4.01*	0.12**	111 **
(T*H*SP*P)	4	3.92*	12.5**	2.32**	0.39**	3.99*	0.08**	63.5**
Error خطا	70	1.9	4.47	0.4	0.18	1.66	0.0009	3.54
C.V (%) ضریب تغییرات		2.21	2.88	3.12	2.54	2.54	3.33	7.03

ns، * و ** به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار، معنی‌دار در سطوح ۵٪ و ۱٪ را نشان می‌دهد.

ns, * and ** indicate the no significant difference, significant at 5% and 1% levels, respectively.

جدول ۲- نتایج حاصل از تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برش دهی بر اساس رطوبت در دمای ۱۵ و ۲۵ درجه سانتی گراد برای برخی صفات بیوشیمیایی و جوانه زنی کنگد رقم داراب ۱

Table 2- Analysis of variance (mean square) of slicing based on seed moisture content at 15 °C and 25 °C temperature for some biochemical traits and germination of Darab variety 1 sesame.

درصد جوانه زنی Germination percentage	فعالیت پراکسیداز Proxidase activity	نشت اکترولیت ها Electrolyte leakage	محتوای مالون دی آلدئید malondialdehyde	محتوای پروتئین های محلول Soluble proteins	محتوای پرولین proline	محتوای قندهای محلول content of soluble sugars	درجه آزادی df	منابع تغییرات S.O.V
63.1**	0.18**	2.45**	30 **	68 **	910 **	229 **	۸	رطوبت ۹ درصد 9% humidity دمای ۱۵ درجه سانتی گراد Temperature 15 °C
357 **	0.17**	0.33**	15.9**	65.2**	515 **	108 **	۸	رطوبت ۱۵ درصد 15% humidity
532 **	0.24**	2.45**	1122 **	93 **	1133 **	264 **	۸	رطوبت ۹ درصد 9% humidity دمای ۲۵ درجه سانتی گراد Temperature 25 °C
233 **	0.11**	0.33**	1101 **	41.1**	1171 **	346 **	۸	رطوبت ۱۵ درصد 15% humidity

** معنی دار در سطح احتمال خطای ۱٪

** significant at the 1% error probability level.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر غلظت پیکس و طول دوره انبارداری بر برخی صفات بیوشیمیایی بذر کنجد رقم داراب ۱ تحت شرایط دمایی ۱۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۹ و ۱۵ درصد

Table 3- Mean comparison effect of pix and storage period some biochemical traits of sesame Darab 1 variety at 15°C and seed moisture content of 9% and 15%

دما Temperature	رطوبت Humidity	غلظت پیکس Pix concentration (mg L ⁻¹)	انبارداری storage (day)	محتوای قندهای محلول content of soluble sugars (mg.g FW ⁻¹)	پروترین Proline (mmol.g FW ⁻¹)	پروتئین‌های محلول Soluble proteins (mg.g FW ⁻¹)	مالون دی آلدئید Malondialdehyde (mmol.g FW ⁻¹)	نشت الکترولیت Electrolyte leakage (%)	پراکسیداز Peroxidase (μmol.g ⁻¹ .min ⁻¹)
۱۵ درجه سانتی‌گراد 15 °C	۹ درصد 9%	0	60	40.2 ^d	28.83 ^{ef}	31.47 ^b	8.36 ^d	25.8 ^c	1.53 ^a
			120	53.73 ^{cd}	52.37 ^c	28.23 ^c	12.85 ^c	39.65 ^b	1.36 ^b
			180	59.1 ^a	67.22 ^a	21.43 ^e	15.3 ^a	47.21 ^a	1.01 ^d
		3000	60	38.13 ^e	22.63 ^g	34.75 ^a	7.36 ^d	22.71 ^d	1.69 ^a
			120	52.77 ^d	47.92 ^d	31.23 ^b	12.19 ^c	37.63 ^b	1.51 ^a
			180	57.67 ^b	62.97 ^b	23.53 ^d	14.61 ^b	45.08 ^a	1.12 ^c
		4500	60	39.23 ^{de}	26.85 ^f	32 ^b	8 ^d	24.7 ^{cd}	1.56 ^a
			120	54.2 ^c	52.47 ^c	28.83 ^c	12.92 ^c	39.86 ^b	1.39 ^b
			180	58.97 ^{ab}	66.45 ^a	22 ^e	15.19 ^a	46.87 ^a	1.04 ^d
	۱۵ درصد 15%	0	60	47.65 ^f	50.01 ^f	19.41 ^b	11.83 ^{ef}	36.5 ^f	1.03 ^b
			120	57.6 ^b	68.17 ^c	17.23 ^d	15.23 ^b	47 ^b	0.85 ^d
			180	60.37 ^a	79.12 ^a	11.01 ^e	16.89 ^a	52.13 ^a	0.51 ^e
		3000	60	42.43 ^g	40.22 ^h	23.43 ^a	10.01 ^g	30.89 ^g	1.13 ^a
			120	50.33 ^e	55.5 ^e	20 ^c	12.82 ^{de}	39.55 ^e	0.95 ^{bc}
			180	53.2 ^d	67.2 ^c	12.6 ^e	14.58 ^b	44.99 ^c	0.58 ^e
		4500	60	43.73 ^g	43.7 ^g	21.9 ^{ab}	10.59 ^{fg}	32.67 ^g	1.05 ^{ab}
			120	52.13 ^{cd}	59.63 ^d	18.57 ^{cd}	13.54 ^{cd}	41.77 ^{de}	0.88 ^{cd}
			180	54.9 ^c	70.78 ^{bc}	11.57 ^e	15.22 ^b	46.97 ^{bc}	0.52 ^e

اعداد با حروف مشابه نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد می باشد.

Numbers with the same letters indicate no significant difference at the 5% level.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر غلظت پیکس و طول دوره انبارداری بر برخی صفات بیوشیمیایی بذر کنجد رقم داراب ۱ تحت شرایط دمایی ۱۵ درجه سانتی گراد و رطوبت ۹ و ۱۵ درصد

Table 4- Mean comparison effect of pix and storage period some biochemical traits of sesame Darab 1 variety at 15°C and seed moisture content of 9% and 15%

دما Temperature	رطوبت Humidity	غلظت پیکس Pix concentration (mg L ⁻¹)	انبارداری storage (day)	محتوای قندهای محلول content of soluble sugars (mg.g FW ⁻¹)	پروترین Proline (mmol.g FW ⁻¹)	پروتئین های محلول Soluble proteins (mg.g FW ⁻¹)	مالون دی آلدئید Malondialdehyde (mmol.g FW ⁻¹)	نشت الکترولیت Electrolyte leakage (%)	پراکسیداز Peroxidase (μmol.g ⁻¹ .min ⁻¹)
۱۵ درجه سانتی گراد 15 °C	۹ درصد 9%	0	60	40.2 ^d	28.83 ^{ef}	31.47 ^b	8.36 ^d	25.8 ^c	1.53 ^a
			120	53.73 ^{cd}	52.37 ^c	28.23 ^c	12.85 ^c	39.65 ^b	1.36 ^b
			180	59.1 ^a	67.22 ^a	21.43 ^e	15.3 ^a	47.21 ^a	1.01 ^d
		3000	60	38.13 ^e	22.63 ^g	34.75 ^a	7.36 ^d	22.71 ^d	1.69 ^a
			120	52.77 ^d	47.92 ^d	31.23 ^b	12.19 ^c	37.63 ^b	1.51 ^a
			180	57.67 ^b	62.97 ^b	23.53 ^d	14.61 ^b	45.08 ^a	1.12 ^c
		4500	60	39.23 ^{de}	26.85 ^f	32 ^b	8 ^d	24.7 ^{cd}	1.56 ^a
			120	54.2 ^c	52.47 ^c	28.83 ^c	12.92 ^c	39.86 ^b	1.39 ^b
			180	58.97 ^{ab}	66.45 ^a	22 ^e	15.19 ^a	46.87 ^a	1.04 ^d
	۱۵ درصد 15%	0	60	47.65 ^f	50.01 ^f	19.41 ^b	11.83 ^{ef}	36.5 ^f	1.03 ^b
			120	57.6 ^b	68.17 ^c	17.23 ^d	15.23 ^b	47 ^b	0.85 ^d
			180	60.37 ^a	79.12 ^a	11.01 ^e	16.89 ^a	52.13 ^a	0.51 ^e
		3000	60	42.43 ^g	40.22 ^h	23.43 ^a	10.01 ^g	30.89 ^g	1.13 ^a
			120	50.33 ^e	55.5 ^e	20 ^c	12.82 ^{de}	39.55 ^e	0.95 ^{bc}
			180	53.2 ^d	67.2 ^c	12.6 ^e	14.58 ^b	44.99 ^c	0.58 ^e
		4500	60	43.73 ^g	43.7 ^g	21.9 ^{ab}	10.59 ^{fg}	32.67 ^g	1.05 ^{ab}
			120	52.13 ^{cd}	59.63 ^d	18.57 ^{cd}	13.54 ^{cd}	41.77 ^{de}	0.88 ^{cd}
			180	54.9 ^c	70.78 ^{bc}	11.57 ^e	15.22 ^b	46.97 ^{bc}	0.52 ^e

اعداد با حروف مشابه نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد می باشد.

Numbers with the same letters indicate no significant difference at the 5% level.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر غلظت پیکس و طول دوره انبارداری بر برخی صفات بیوشیمیایی بذر کنگد رقم داراب ۱ تحت شرایط دمایی ۲۵ درجه سانتیگراد و رطوبت ۹ و ۱۵ درصد

Table 5- Mean comparison effect of pix and storage period on some biochemical traits of sesame Darab 1 variety at 25 °C and seed moisture content of 9% and 15%

دما Temperature (°C)	رطوبت Humidity (%)	غلظت پیکس Pix concentration (mg L ⁻¹)	انبارداری storage (day)	محتوای قندهای محلول content of soluble sugars (mg.g FW ⁻¹)	پروترین Proline (mmol.g FW ⁻¹)	پروتئین‌های محلول Soluble proteins (mg.g FW ⁻¹)	مالون دی آلدئید Malondialdehyde (mmol.g FW ⁻¹)	نشت الکترولیت Electrolyte leakage (%)	پراکسیداز Peroxidase (μmol.g ⁻¹ .min ⁻¹)
۲۵ درجه سانتی‌گراد 25 °C	۹ درصد 9%	0	60	61.8 ^f	66.8 ^f	25.9 ^b	15.57 ^{ef}	48.06 ^f	1.23 ^c
			120	78.1 ^{bc}	98.05 ^c	19.1 ^d	21.33 ^{bc}	65.83 ^c	0.88 ^f
			180	83.47 ^a	111.13 ^a	14.07 ^f	23.57 ^a	72.72 ^a	0.62 ^h
		3000	60	57.43 ^g	56.86 ^g	29.29 ^a	13.84 ^f	42.71 ^h	1.41 ^a
			120	70.09 ^e	82.8 ^e	22.33 ^c	18.52 ^d	57.14 ^e	1.05 ^{de}
			180	75 ^d	96.57 ^{cd}	15.93 ^e	20.78 ^c	64.11 ^{cd}	0.72 ^g
		4500	60	60.75 ^f	63.7 ^f	27.43 ^{ab}	15.07 ^{ef}	46.51 ^g	1.31 ^b
			120	76.43 ^{cd}	93.58 ^d	21.07 ^c	20.59 ^c	63.54 ^d	0.98 ^e
			180	79.93 ^b	104.73 ^b	15.17 ^{ef}	22.37 ^{ab}	69.01 ^b	0.68 ^h
	۱۵ درصد 15%	0	60	65.28 ^{de}	80.45 ^g	17.47 ^b	17.65 ^d	54.46 ^c	0.81 ^b
			120	81.73 ^b	109.57 ^d	13.03 ^e	23.17 ^b	71.49 ^b	0.57 ^d
			180	90.93 ^a	127.6 ^a	8.8 ^g	26.47 ^a	81.67 ^a	0.35 ^f
		3000	60	61.8 ^e	73.83 ^h	18.87 ^a	16.43 ^d	50.69 ^d	0.88 ^a
			120	76.63 ^c	100.72 ^f	14.23 ^c	21.48 ^c	66.28 ^b	0.64 ^c
			180	81.27 ^b	111.33 ^c	10.57 ^f	23.33 ^b	71.98 ^b	0.45 ^e
		4500	60	63.1 ^e	76.05 ^h	18.6 ^a	16.85 ^d	52 ^{cd}	0.87 ^{ab}
			120	78.67 ^{bc}	104.6 ^{ef}	13.4 ^{de}	22.2 ^{bc}	68.49 ^b	0.59 ^{cd}
			180	88.3 ^a	121.98 ^b	10.47 ^f	25.47 ^a	78.58 ^a	0.44 ^e

اعداد با حروف مشابه نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد می باشد.

Numbers with the same letters indicate no significant difference at the 5% level

توسط پیکس ۳۰۰۰ میلی گرم در لیتر نشان می دهد که این تنظیم کننده رشد با کاهش مؤثر گونه های فعال اکسیژن، نیاز سلول به تجمع پرولین را کاهش می دهد. عملکرد ضعیف تر غلظت ۴۵۰۰ میلی گرم در لیتر ممکن است ناشی از اثرات بازدارندگی غلظت های بالای تنظیم کننده های رشد بر متابولیسم سلول باشد.

مالون دی آلدئید

میزان MDA به عنوان شاخص پراکسیداسیون لیپیدها، با افزایش دوره انبارداری روند صعودی داشت. در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد و رطوبت ۱۵ درصد، MDA شاهد از ۱۷/۶۵ در ۶۰ روز به ۲۶/۴۷ میلی مول بر گرم در ۱۸۰ روز رسید. کاربرد ۳۰۰۰ میلی گرم در لیتر پیکس در همین شرایط، MDA را به ۲۲/۳۳ میلی مول بر گرم محدود کرد (جدول ۴). در دمای ۱۵ درجه سانتی گراد و رطوبت ۹ درصد، شاهد به ۳/۱۵ میلی مول بر گرم و پیکس ۳۰۰۰ میلی گرم در لیتر به ۶۱/۱۴ میلی مول بر گرم رسید (تفاوت کمتر محسوس). جالب توجه اینکه در شرایط تنش ملایم (دمای ۱۵ درجه سانتی گراد، رطوبت ۹ درصد)، غلظت ۴۵۰۰ میلی گرم در لیتر پیکس عملکرد مشابه ۳۰۰۰ میلی گرم در لیتر داشت (جدول ۳).

پراکسیداسیون لیپیدها یکی از مهم ترین پیامدهای زوال بذر است که به تخریب غشاهای سلولی و میتوکندریایی منجر می شود (McDonald, 1999). شی و همکاران (Shi et al., 2025) در مرور خود بر مکانیسم های مولکولی زوال بذر، دو فرضیه اصلی را برای تبیین این پدیده ارائه می دهند: (۱) پراکسیداسیون لیپیدهای غشا توسط رادیکال های آزاد که یکپارچگی غشا را مختل می کند، و (۲) نظریه پیری میتوکندریایی که طی آن اختلال در زنجیره انتقال الکترون میتوکندری، تولید ROS را افزایش داده و چرخه TCA را مختل می سازد. السانی و همکاران (Elsafy et al., 2024) نیز افزایش معنی دار MDA را در بذر کنجد تحت انبارداری تسریع شده (دمای ۵۵ درجه سانتی گراد، رطوبت ۶۰ درصد) گزارش کرده و آن را با کاهش جوانه زنی همبسته دانستند. علاوه بر این، مطالعه چانگ و همکاران (Chang et al., 2026) روی بذر کنجد نشان داد که آسیب مکانیکی با افزایش فعالیت لیپاز و لیپواکسیژناز، پراکسیداسیون اسیدهای چرب و در نهایت تجمع MDA را تشدید می کند. در پژوهش حاضر، برخلاف

مطالعات مذکور که عمدتاً بر توصیف زوال تمرکز داشتند، نقش تعدیلی پیکس بر آسیب اکسیداتیو طی انبارداری بررسی شد. کاهش MDA در تیمار پیکس، به ویژه در شرایط تنش شدید (دمای ۲۵ درجه سانتی گراد، رطوبت ۱۵ درصد) نشان دهنده نقش احتمالی این تنظیم کننده رشد در حفظ پایداری غشا است. این یافته با گزارش من و همکاران (Men et al., 2025) مبنی بر ارتباط کاهش MDA با بهبود سامانه های محافظتی سلول همسو می باشد.

هدایت الکتریکی

هدایت الکتریکی به عنوان شاخص نشت الکترولیت ها، روندی مشابه MDA داشت. در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد و رطوبت ۱۵ درصد، EC شاهد از ۵۴/۴۶ در ۶۰ روز به ۸۱/۶۷ میکروزیمنس بر سانتی متر بر گرم در ۱۸۰ روز افزایش یافت. کاربرد ۳۰۰۰ میلی گرم در لیتر پیکس در همین شرایط، EC را به ۷۱/۹۸ میکروزیمنس بر سانتی متر بر گرم رساند (حدود ۱۰ واحد کمتر) (جدول ۴). در دمای ۱۵ درجه سانتی گراد و رطوبت ۹ درصد، شاهد به ۲۱/۴۷ میکروزیمنس بر سانتی متر بر گرم رسید در حالی که پیکس ۳۰۰۰ میلی گرم در لیتر آن را در ۴۵/۰۸ میکروزیمنس بر سانتی متر بر گرم نگه داشت. غلظت ۴۵۰۰ میلی گرم در لیتر پیکس در این شرایط عملکردی مشابه ۳۰۰۰ میلی گرم در لیتر داشت (جدول ۳).

نشت الکترولیت ها نشان دهنده از دست رفتن یکپارچگی غشای پلاسمایی و افزایش نفوذپذیری آن در اثر پراکسیداسیون لیپیدهاست (Mohammadi et al., 2011). افزایش EC طی زوال بذر در پژوهش حاضر با یافته های مرور سیستماتیک نیکاس و همکاران (Nickas et al., 2025) همخوانی دارد که نشان می دهد نشت الکترولیت یکی از قابل اعتمادترین شاخص های ارزیابی پیری بذر در مطالعات مختلف می باشد. جعفری و همکاران (Jafari et al., 2018) نیز گزارش کردند که پیکس نشت الکترولیت را در گیاه پنبه تحت تنش شوری کاهش می دهد و این اثر را به حفظ فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان نسبت دادند. همخوانی این یافته با پژوهش حاضر نشان می دهد که اثر حفاظتی پیکس بر غشا مستقل از نوع تنش (زوال بذر یا شوری) است. از سوی دیگر، شی و همکاران (Shi et al., 2025) ارتباط مستقیمی بین افزایش نفوذپذیری غشا

و مرگ برنامه‌ریزی شده سلول (PCD) در بذرهای پیر گزارش کرده‌اند.

فعالیت آنزیم پراکسیداز

فعالیت آنزیم پراکسیداز در طی دوره انبارداری کاهش یافت، اما شدت این کاهش در تیمارهای پیکس کمتر بود. در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۱۵ درصد، فعالیت پراکسیداز شاهد از ۰/۸۱ در ۶۰ روز به ۰/۳۵ میکرومول بر گرم وزن تر برگ در دقیقه در ۱۸۰ روز کاهش یافت (کمتر از نصف). کاربرد ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر پیکس در همین شرایط، فعالیت را در سطح ۰/۴۵ میکرومول بر گرم وزن تر برگ در دقیقه حفظ کرد (جدول ۴). در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۹ درصد، شاهد به ۱/۰۱ میکرومول بر گرم وزن تر برگ در دقیقه و پیکس ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر به ۱/۱۲ میکرومول بر گرم وزن تر برگ در دقیقه رسید (اختلاف ناچیز). جالب توجه اینکه در شرایط مطلوب، غلظت ۴۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر پیکس عملکرد ضعیف‌تری داشت (جدول ۳).

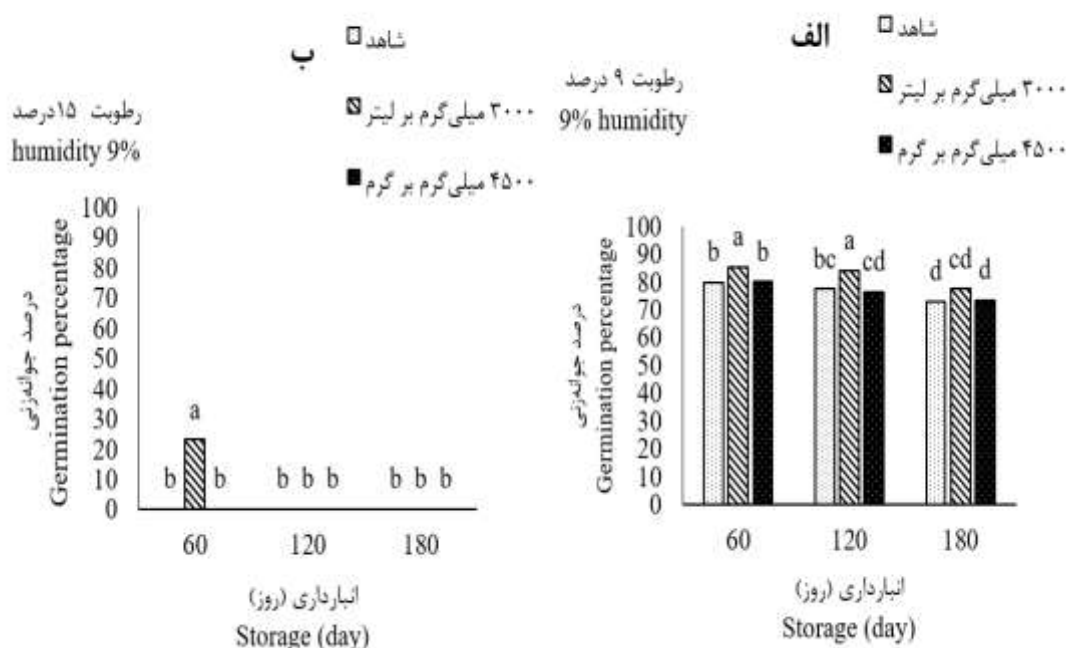
پراکسیداز یکی از آنزیم‌های کلیدی در سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی است که هیدروژن پراکسید را به آب تبدیل کرده و از تجمع گونه‌های فعال اکسیژن جلوگیری می‌کند (Kibinza et al., 2011). کاهش فعالیت پراکسیداز طی زوال بذر، یکی از دلایل اصلی افزایش تنش اکسیداتیو است. در مرور سیستماتیک نیکاس و همکاران (Nickas et al., 2025) تأیید شده است که فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان (به جز پراکسیداز و دهیدروآسکوربات ردوکتاز) در طی پیری بذر کاهش می‌یابد. این مطالعه همچنین نشان می‌دهد که پرایمینگ بذر می‌تواند فعالیت آنتی‌اکسیدانی را احیا کند. وانگ و همکاران (Wang et al., 2024) با استفاده از تکنیک‌های مولکولی نشان دادند که پیکس از طریق مسیر سیگنالینگ ABA، بیان ژن‌های کدکننده آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان از جمله پراکسیداز را افزایش می‌دهد. چانگ و همکاران (Chang et al., 2026) نیز گزارش کردند که در بذرهای کنجد دارای آسیب مکانیکی، کاهش فعالیت پراکسیداز طی انبارداری با تشدید پراکسیداسیون لیپیدی و اختلال در متابولیسم اسیدهای چرب غیراشباع همراه بود. اگرچه منشأ تنش در پژوهش حاضر متفاوت و ناشی از شرایط نامطلوب انبارداری بود،

نتایج هر دو مطالعه نشان می‌دهد که تضعیف سامانه آنتی‌اکسیدانی، به‌ویژه کاهش فعالیت پراکسیداز، از مؤلفه‌های کلیدی پیشرفت زوال بذر است. در این پژوهش، حفظ نسبی فعالیت پراکسیداز در تیمار پیکس ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر احتمالاً در کاهش شدت آسیب‌های اکسیداتیو نقش داشته است.

درصد جوانه‌زنی

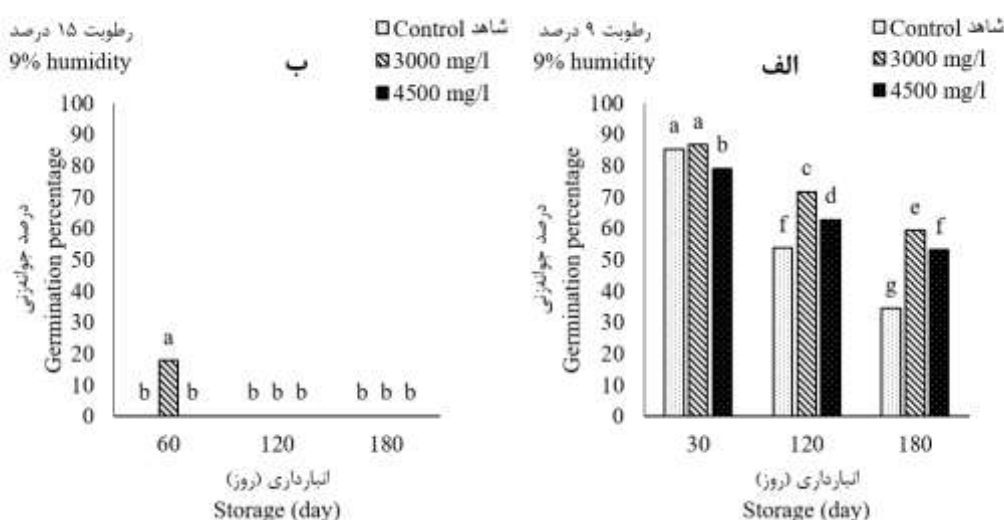
درصد جوانه‌زنی به عنوان مهم‌ترین شاخص کیفیت بذر، تحت تأثیر شدید دما، رطوبت و پیکس قرار گرفت. دو نقطه عطف مهم قابل شناسایی است: اول، در شرایط بحرانی (دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، رطوبت ۱۵ درصد)، جوانه‌زنی شاهد و تیمار پیکس ۴۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر پس از ۶۰ روز به صفر رسید، در حالی که پیکس ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر جوانه‌زنی را تا ۲۳ درصد احیا کرد (شکل ۲). دوم، در شرایط مطلوب (دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد، رطوبت ۹ درصد)، پیکس ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر با ۸۵/۳۳ درصد بیشترین جوانه‌زنی را نشان داد و شاهد (۸۵/۳۳ درصد) و پیکس ۴۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر (۷۳/۳۳ درصد) تفاوت معنی‌داری نداشتند. همچنین افزایش رطوبت از ۹ به ۱۵ درصد در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد، شاهد را از ۸۵/۳۳ درصد به صفر رساند (سقوط کامل) (شکل ۱).

نتایج جوانه‌زنی به وضوح نشان می‌دهد که غلظت ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر پیکس در شرایط بحرانی (دمای بالا و رطوبت زیاد) مؤثرترین تیمار است، در حالی که در شرایط مطلوب، تفاوت چندانی با شاهد ندارد. منوجکومار و پادماواتی (Manojkumar and Padmavathi, 2026) نیز کاهش شدید جوانه‌زنی کنجد (از ۹۸ به ۲۴ درصد) را با افزایش رطوبت انبار از ۸ به ۱۴ درصد گزارش کردند و تأکید نمودند که تیمارهای پیش از انبارداری می‌توانند این کاهش را تعدیل کنند. در مطالعه‌ای دیگر روی بذر کنجد، تیمار با هالو پلیمر باعث افزایش جوانه‌زنی به ۹۴ درصد و افزایش فعالیت کاتالاز گردید که نشان می‌دهد تیمارهای پیش از انبارداری می‌توانند کیفیت بذر را حفظ کنند (Ezhilarasi and Thailappan, 2025). حفظ جوانه‌زنی توسط پیکس ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر را می‌توان به اثرات تجمعی آن در کاهش MDA (حفظ غشا)، حفظ پروتئین (تأمین آنزیم‌های جوانه‌زنی) و حفظ فعالیت پراکسیداز (کاهش تنش اکسیداتیو) نسبت داد. عملکرد ضعیف غلظت



شکل ۱- اثرات اصلی تیمارهای پیکس و انبارداری بر درصد جوانه زنی کنگد رقم داراب ۱ تحت شرایط دمایی ۱۵ درجه سانتیگراد و رطوبت ۹ درصد (الف) و ۱۵ درصد (ب).

Figure 1- The main effects of pix and storage treatments on the germination percentage of Darab variety 1 sesame under temperature conditions of 15 °C and humidity of 9% (a) and 15% (b).



شکل ۲- اثرات اصلی تیمارهای پیکس و انبارداری بر درصد جوانه زنی کنگد رقم داراب ۱ تحت شرایط دمایی ۲۵ درجه سانتیگراد و رطوبت ۹ درصد (الف) و ۱۵ درصد (ب).

Figure 2- The main effects of pix and storage treatments on the germination percentage of Darab variety 1 sesame under temperature conditions of 25 °C and humidity of 9% (a) and 15% (b).

بهبود شاخص‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی بذر و کاهش شدت زوال طی انبارداری گردید. به طور کلی، پیش‌تیمار بذر کنگد رقم داراب ۱ با پیکس می‌تواند به عنوان روشی مؤثر برای کاهش شدت افت کیفیت بذر تحت شرایط تنش انبارداری مورد توجه قرار گیرد، هرچند رعایت شرایط مناسب انبارداری (دمای پایین و رطوبت کم) همچنان به عنوان اصل اساسی در حفظ کیفیت بذر ضروری است. همچنین انجام تحقیقات تکمیلی در سطح مولکولی برای شناسایی دقیق‌تر مکانیسم اثر پیکس بر بیان ژن‌های مرتبط با آنتی‌اکسیدان‌ها و بررسی اثر این تنظیم‌کننده رشد بر سایر ارقام کنگد و گیاهان روغنی دیگر پیشنهاد می‌گردد.

تشکر و قدردانی

نگارندگان بر خود لازم می‌دانند از کار شناسان محترم آزمایشگاه‌های علوم و تکنولوژی بذر و ژنتیک دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه یاسوج که در انجام این پژوهش همکاری نمودند، صمیمانه تشکر و قدردانی نمایند. همچنین از مؤسسه ثبت و گواهی بذر کرج برای تأمین بذرهای مورد استفاده سپاسگزاری می‌گردد.

۴۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر در شرایط بحرانی ممکن است ناشی از اثرات سمی غلظت‌های بالای پیکس بر فرآیندهای متابولیک بذر باشد. به طور کلی، یافته‌های این پژوهش با مرور جامع شی و همکاران (Shi et al., 2025) همخوانی دارد که نشان می‌دهد تیمارهای پرایمینگ می‌توانند با کاهش شدت آسیب‌های اکسیداتیو و بهبود سامانه‌های دفاعی و ترمیمی بذر به حفظ بنيه و جوانه‌زنی بذرهای در حال زوال کمک کنند

نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که زوال بذر کنگد به طور معنی‌داری تحت تأثیر شرایط انبارداری قرار گرفته و افزایش دما، رطوبت بذر و مدت انبارداری موجب کاهش درصد جوانه‌زنی، فعالیت آنزیم پراکسیداز و میزان پروتئین محلول و در مقابل افزایش هدایت الکتریکی، مالون‌دی‌آلدئید، قند محلول و پرولین شد. بیشترین درصد جوانه‌زنی (۳۳/۸۵) در شرایط دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد، رطوبت ۹ درصد و غلظت ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر پیکس مشاهده شد، در حالی که در رطوبت ۱۵ درصد و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد پس از ۶۰ روز جوانه‌زنی به صفر رسید. کاربرد پیکس به‌ویژه در غلظت ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر موجب

منابع

- Alaa, M., Shahein, E.A. and Nagwa, E.S. 2021. Longevity of maize seed (*Zea mays* L.) under different storage conditions. *Journal of Sustainable Agricultural Sciences*, 47(4): 45-55. DOI: 10.21608/jsas.2021.88439.1300 (**Journal**)
- Asseri, I.A., Omar, A.M., Mosalm, M.E., Yehia, W.M., Azza El-Sayed, B. and Abdelaal, K.A. 2021. Effect of storage period varieties storage environments and packaging material on cotton germination and seedling parameters. *Fresenius Environmental Bulletin*, 30(6A): 6633-6641. DOI: 10.21608/ejar.2011.179081 (**Journal**)
- Bailly, C. 2004. Active oxygen species and antioxidants in seed biology. *Seed Science Research*, 14: 193-107. DOI: 10.1079/SSR2004159 (**Journal**)
- Bates, L.S., Waldern, R.P. and Teave, I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Journal of Plant and Soil*, 39: 205-207. DOI: 10.1007/BF00018060 (**Journal**)
- Beanal, L.A., Camacho, A. and Carballo, A. 1999. Effect of seed ageing on the enzymic antioxidant system of maize cultivars. In: Ellis, R.H., Black, M., Murdoch, A.J. and Hong, T.D. (eds.) *Seed Biology: Advances and Applications. Proceedings of the Sixth International Workshop on Seeds, Merida, Mexico, 1999*. CAB International, Wallingford, pp. 151-160. (**Conference Proceedings**)
- Bewley, J.D., Bradford, K.J., Hilhorst, H.W. and Nonogaki, H. 2013. *Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy*. 3rd ed. Springer, New York. (**Book**)
- Bradford, M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72: 248-254. DOI: 10.1016/0003-2697(76)90527-3 (**Journal**)
- Chang, Y.L., Niu, Y.L., Li, J.R., Zhang, Z.F., Liu, H.M., Wang, X.D., Wen, X.Y., Zhang, H.Y. and Liu, H.W. 2026. Effects of mechanized harvesting on sesame seed storage: Quality, volatile compounds, and metabolites. *Food Chemistry*, 509: 148517. DOI: 10.1016/j.foodchem.2026.148517 (**Journal**)

- Copeland, L.O. and McDonald, M.B. 2008. *Principles of Seed Science and Technology*. 4th ed. Springer, New York. **(Book)**
- Corbineau, F. 2024. The effects of storage conditions on seed deterioration and ageing: How to improve seed longevity. *Seeds*, 3: 56-75. DOI: 10.3390/seeds3010005 **(Journal)**
- Deputy for Statistics, Center for Statistics, Information and Communication Technology. 2025. *Agricultural Statistics for the Year 2023-2024, Volume 1: Crops*. Ministry of Agricultural Jihad, Deputy for Economic Planning. **(Book)**
- Desai, B.B. 2004. *Seeds Handbook: Biology, Production, Processing and Storage*. Marcel Dekker, Inc., New York. **(Book)**
- El-Mahdy Shahein, A.M., Shalaby, N.E. and Mahmoud, B.A. 2022. Effect of storage period and condition on cotton seed viability and its chemical composition. *Journal of the Advances in Agricultural Researches*, 27(3): 582-591. DOI: 10.21608/jalexu.2022.161397.1080 **(Journal)**
- Elsafy, M., Ekholm, A., Sir Elkhatim, K.A., Hamid, M.G., Othman, M.H., Abdelhalim, T.S., Rahmatov, M., Johansson, E. and Hassan, A.B. 2024. Tracking the storage stability in sesame (*Sesamum indicum* L.): Impact of accelerated storage on storability characteristics, seed quality, phytochemical content, and fatty acids. *Discover Agriculture*, 2(1): 1-13. DOI: 10.1007/s44279-024-00077-4 **(Journal)**
- Ezhilarasi, T. and Thailappan, M. 2025. Seed treatments and storage conditions on vigour and viability of sesame seeds. *CORE Agricultural Research* (in press). **(Journal)**
- Gao, J., Fu, H., Zhou, X., Chen, Z., Luo, Y., Cui, B., Chen, G. and Liu, J. 2016. Comparative proteomic analysis of seed embryo proteins associated with seed storability in rice (*Oryza sativa* L.) during natural aging. *Plant Physiology and Biochemistry*, 103: 31-44. DOI: 10.1016/j.plaphy.2016.02.026 **(Journal)**
- Hampton, J. G., and Tekrony, D. M. 1995. *Hand book of Vigor Test Methods*. The International Seed Testing Association, Zurich. **(Book)**
- Han, P., Li, Y., Liu, Z., Zhou, W., Yang, F., Wang, J., Yan, X. and Lin, J. 2022. The physiology of plant seed aging: A review. *Chinese Journal of Biotechnology*, 38(1): 77-88. DOI: 10.13345/j.cjb.210128 **(Journal)**
- Han, Y., Gao, H., Wang, Y., Zhang, L., Jia, J. and Ma, H. 2023. Storage time affects the viability, longevity, and germination of *Eriochloa villosa* (Thunb.) Kunth seeds. *Sustainability*, 15(11): 8576. DOI: 10.3390/su15118576 **(Journal)**
- Havargi, R. 2007. Mitigation drought stress through plant growth regulators in vesicular arbuscular mycorrhizae (VAM) cotton. M.Sc. Thesis, Department of Crop Physiology, College of Agriculture, Dharwad, University of Agricultural Science. **(Thesis)**
- Heath, R.L. and Packer, L. 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 125: 189-198. DOI: 10.1016/0003-9861(68)90654-1 **(Journal)**
- Jafari, A., Dadkhodaie, A. and Bagheri, A. 2018. Effect of Pix (mepiquat chloride) on the salinity resistance of new cultivars of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) in the seedling stage. *Applied Ecology and Environmental Research*, 16(4): 4097-4114. DOI: 10.15666/aeer/1604_40974114 **(Journal)**
- 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. DOI: 10.1046/j.1365-3040.2000.00520.x **(Journal)**
- Jorg, W. and Ray, A. 2004. *Seed Moisture Determination: Methods and Protocols*. International Seed Testing Association, Zurich. **(Book)**
- Kapoor, R., Kumar, A. and Sharma, P. 2010. Seed storage and deterioration: A review. *Seed Research*, 38(1): 1-12. **(Journal)**
- Kibar, H. and Yucesan, B. 2021. Effects of storage durations at different temperatures on various physiological parameters of einkorn seed (*Triticum monococcum* L.) germination. *Journal of Stored Products Research*, 93: 101851. DOI: 10.1016/j.jspr.2021.101851 **(Journal)**
- Kibinza, S., Bazin, J., Bailly, C., Farrant, J.M., Corbineau, F. and El-Maarouf-Bouteau, H. 2011. Catalase is a key enzyme in seed recovery from ageing during priming. *Plant Science*, 181: 309-315. DOI: 10.1016/j.plantsci.2011.06.003 **(Journal)**

- Kibinza, S., Vinel, D., Côme, D., Bailly, C. and Corbineau, F. 2006. Sunflower seed deterioration as related to moisture content during aging, energy metabolism and active oxygen species scavenging. *Physiologia Plantarum*, 128(3): 496-506. DOI: 10.1111/j.1399-3054.2006.00771.x **(Journal)**
- Leprince, O., Pellizzaro, A., Berriri, S. and Buitink, J. 2016. Late seed maturation: Drying without dying. *Journal of Experimental Botany*, 67(7): 1971-1984. DOI: 10.1093/jxb/erw019 **(Journal)**
- Li, Y., Wang, Y., Xue, H., Pritchard, H.W. and Wang, X. 2017. Changes in the mitochondrial protein profile due to ROS eruption during ageing of elm (*Ulmus pumila* L.) seeds. *Plant Physiology and Biochemistry*, 114: 72-87. DOI: 10.1016/j.plaphy.2017.02.023 **(Journal)**
- Li, M., Luo, J., Nawaz, M.A., Stockmann, R., Buckow, R., Barrow, C., Dunshea, F. and Rasul Suleria, H.A., 2024. Phytochemistry, bioaccessibility, and bioactivities of sesame seeds: An overview. *Food Reviews International*, 40, pp.309-335. <https://doi.org/10.1080/87559129.2023.2168280>
- Lin, R.H., Chen, K.Y., Chen, C.L., Chen, J.J. and Sung, J.M. 2005. Slow post-hydration drying improves initial quality but reduces longevity of primed bitter melon seeds. *Scientia Horticulturae*, 106: 114-124. DOI: 10.1016/j.scienta.2005.02.016 **(Journal)**
- Lin, R.H., Chen, K.Y., Chen, C.L., Chen, J.J. and Sung, J.M. 2011. Slow post-hydration drying improves initial quality but reduces longevity of primed bitter melon seeds. *Scientia Horticulturae*, 106: 114-124. DOI: 10.1016/j.scienta.2005.02.016 **(Journal)**
- Loreto, F. and Velikova, V. 2001. Isoprene produced by leaves protects the photosynthetic apparatus against ozone damage, quenches ozone products, and reduces lipid peroxidation of cellular membranes. *Plant Physiology*, 127(4): 1781-1787. DOI: 10.1104/pp.010497 **(Journal)**
- Ma, F., Ewa, C., Tasneem, M., Peterson, C.A. and Gijzen, M. 2004. Cracks in the palisade cuticle of soybean seed coats correlate with their permeability to water. *Annals of Botany*, 94: 213-228. **(Journal)**
- Manojkumar, D.S. and Padmavathi, S. 2026. Effect of different seed priming on seed quality and storability of sesame (*Sesamum indicum* L.). *Journal of Advances in Biology and Biotechnology*, 29(2): 272-279. DOI: 10.9734/jabb/2026/v29i23636 **(Journal)**
- McDonald, M.B. 1999. Seed deterioration: Physiology, repair, and assessment. *Seed Science and Technology*, 27: 177-237. **(Journal)**
- McDonald, M.B. and Kwong, F.Y. 2005. *Flower Seeds: Biology and Technology*. CABI Publishing, Wallingford. **(Book)**
- Men, Y., Wei, P., Zhang, F., Huang, X., Zhang, D., Feng, R., He, X. and Yang, Z. 2025. Spermidine improves seed viability in *Allium mongolicum* by regulating AmCS-mediated metabolic and antioxidant networks. *Frontiers in Plant Science*, 16: 1683362. DOI: 10.3389/fpls.2025.1683362 **(Journal)**
- 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. **(Journal)**
- Nickas, J., N'Danikou, S., Shango, A.J. and Kilasi, N. 2025. Physio-biochemical response of vegetable seeds to ageing: A systematic review. *Plant Physiology and Biochemistry*, 211: 109384. DOI: 10.1016/j.plaphy.2025.109384 **(Journal)**
- Niakan, M., Habibi, A. and Ghorbanli, M. 2011. Effect of pix on germination, growth, carbohydrates and antioxidant enzymes in cotton seed. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 2(1): 301-307. **(Journal)**
- Omokolo, N.D., Mbou, S. and Ntsomboh, G. 1996. Changes in carbohydrate content and enzyme activities during seed development in *Vigna unguiculata*. *Journal of Plant Physiology*, 148(5): 589-594. **(Journal)**
- Pirredda, M., Fananas-Pueyo, L., Onate-Sanchez, L. and Mira, S. 2024. Seed longevity and ageing: A review on physiological and genetic factors with an emphasis on hormonal regulation. *Plants*, 13(1): 1-21. DOI: 10.3390/plants13010041 **(Journal)**
- Shi, J., Ma, X., Zhang, J., Zhou, Y., Liu, M., Huang, L., Sun, W., Wang, C., Liu, L. and Yang, W. 2025. Deciphering seed deterioration: Molecular insights and priming strategies for revitalizing aged seeds. *Plants*, 14(11): 1730. DOI: 10.3390/plants14111730 **(Journal)**
- Song, P., Wang, Z., Yue, X., Bai, Y. and Feng, L.L. 2021. Evaluating the effect of aging process on the physicochemical characteristics of rice seeds by low field nuclear magnetic resonance and its

- imaging technique. *Journal of Cereal Science*, 99: 103190. DOI: 10.1016/j.jcs.2021.103190 **(Journal)**
- Stewart, A.M. 2005. Suggested guidelines for plant growth regulator use on Louisiana cotton. *Louisiana State University AgCenter Publication*, No. 2918. **(Report)**
- Wang, G., Lu, P., Li, J., Wang, Y., Guo, M., Xu, Y., Yue, L., Li, W., Zhou, F. and Liu, R. 2025. Effects of three plant growth regulators on growth traits and yield of wheat seedlings. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 41(9): 18-24. DOI: 10.11924/j.issn.1000-6850.casb2024-0689 **(Journal)**
- Wang, N., Wang, X., Zhang, H., Liu, X., Shi, J., Dong, Q., Xu, Q., Gui, H., Song, M. and Yan, G. 2024. Early ABA-stimulated maintenance of Cl⁻ homeostasis by mepiquat chloride priming confers salt tolerance in cotton seeds. *The Crop Journal*, 12(2): 387-399. DOI: 10.1016/j.cj.2024.08.001 **(Journal)**
- Xia, F., Chen, L., Sun, Y. and Mao, P. 2015. Relationships between ultrastructure of embryo cells and biochemical variations during ageing of oat (*Avena sativa* L.) seeds with different moisture content. *Acta Physiologiae Plantarum*, 37(4): 88-99. DOI: 10.1007/s11738-015-1825-8 **(Journal)**
- Zhan, J., Li, W., He, H.Y., Li, C.Z. and He, L.F. 2014. Mitochondrial alterations during Al-induced PCD in peanut root tips. *Plant Physiology and Biochemistry*, 75: 105-113. DOI: 10.1016/j.plaphy.2013.12.010 **(Journal)**



Effect of different concentrations of the growth regulator Pix (mepiquat chloride) on germination percentage and biochemical indices of sesame seeds (*Sesamum indicum* L.) cultivar Darab 1 under different storage conditions

Ramin Zeylabpoor¹, Ali Moradi^{*2}, Hojjatollah Latifmanesh³, HamidReza Balouchi⁴, AliReza Yadavi⁵

Received: April 20, 2026

Accepted: June 23, 2026

Abstract

This study was conducted to investigate the effects of different concentrations of the plant growth retardant Pix (mepiquat chloride) on germination and biochemical characteristics of sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds (cv. Darab 1) under different storage conditions. The experiment was arranged as a four-factor factorial in a completely randomized design with three replications. Treatments included two storage temperatures (15 and 25 °C), two seed moisture contents (9 and 15%), three Pix concentrations (0, 3000, and 4500 mg L⁻¹), and three storage periods (60, 120, and 180 days). Results showed that increasing storage duration, seed moisture content, and temperature significantly reduced soluble protein content and peroxidase activity, whereas soluble sugars, malondialdehyde, proline content, and electrical conductivity increased. Application of Pix, particularly at 3000 mg L⁻¹, mitigated these detrimental changes. The highest germination percentage (85.33%) was observed in seeds treated with 3000 mg L⁻¹ Pix, stored at 15 °C with 9% seed moisture. Under critical storage conditions (25 °C and 15% seed moisture), germination of control seeds and those treated with 4500 mg L⁻¹ Pix declined to zero after 60 days, whereas seeds treated with 3000 mg L⁻¹ Pix maintained a germination of 23%. These findings suggest that Pix may exert a protective role under storage stress by alleviating oxidative damage and reducing the severity of seed deterioration, thereby preserving part of the seed germination potential.

Keywords: Germination; Malondialdehyde; Mepiquat chloride; Peroxidase; Sesame, Storage

How to cite this article

Zeylabpoor, R., Moradi, A., Latifmanesh, H., Balouchi, H.R. and Yadavi, A.R. 2026. Effect of different concentrations of the growth regulator Pix (mepiquat chloride) on germination percentage and biochemical indices of sesame seeds (*Sesamum indicum* L.) cultivar Darab 1 under different storage conditions. Iranian Journal of Seed Science and Research, 12(4): 81-99. (In Persian)(Journal)
DOI: [10.22124/jms.2026.9716](https://doi.org/10.22124/jms.2026.9716)

COPYRIGHTS

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

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

1. MSc Graduate of Seed Science and Technology, Department of Agronomy and Plant Breeding, Yasouj University, Yasouj, Iran. r.zeylabpoor408@gmail.com

2. Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Yasouj University, Yasouj, Iran. amoradi@yu.ac.ir

3. Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Yasouj University, Yasouj, Iran. h.latifmanesh@yu.ac.ir

4. Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Yasouj University, Yasouj, Iran. balouchi@yu.ac.ir

5. Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Yasouj University, Yasouj, Iran. yadavi@yu.ac.ir

*Corresponding author: amoradi@yu.ac.ir