

فرسوده شده کدوی تخم کاغذی (*Cucurbitapepo*) فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز و پراکسیداز، به میزان ۷ و ۲/۸ برابر نسبت به شاهد افزایش یافت. آن‌ها همچنین در بررسی میزان تغییرات پرولین دریافتند که بیشترین میزان پرولین زمانی است که بذر تحت فرسودگی شدید قرار دارد و کمترین آن نیز زمانی است که بذر شاهد را با استفاده اسید سالیسیلیک پیش‌تیمار کرده بودند. در شرایط تنش اسمزی، گیاه به‌منظور ادامه جذب آب، از طریق تجمع ترکیبات اسمزی از جمله پرولین و قند محلول، پتانسیل اسمزی خود را کاهش می‌دهد و یا به عبارت دیگر تنظیم اسمزی صورت می‌گیرد. افزایش میزان پرولین در اثر ممانعت از ورود پرولین به چرخه ساخت پروتئین می‌تواند باشد که این ممکن است خود موجب کاهش رشد شود (Bandurska and Stroinski, 2003).

با توجه به شرایط اقلیمی گرم و خشک در اکثر نقاط ایران، استفاده از گیاهان متحمل به خشکی و گرما می‌تواند در راستای مصرف بهینه آب و افزایش کارایی کشت و تولید محصول باشد. در همین راستا پژوهشی برای بررسی اثر توام پتانسیل آب و زوال بذر در دماهای مختلف جهت ارزیابی تحمل بذر کتان روغنی به شرایط نامساعد محیطی اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در آزمایشگاه علوم و تکنولوژی بذر دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج در سال ۱۳۹۵ انجام شد. بذرهای کتان روغنی مورد استفاده از رقم نرمن بودند که منشأ آن از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان بوده و در سال ۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه یاسوج کشت گردیده و بذور حاصله تا قبل از شروع آزمایش بذرها در دمای ۴-۵ درجه سانتیگراد نگهداری شده بودند. رقم نورمن یک رقم میان رس و نسبتاً مقاوم به خوابیدگی بوده که دارای وزن هزاردانه ۷-۶ گرم و درصد روغن ۵۰-۳۰ درصد می‌باشد (Balouchi et al., 2017). این پژوهش به صورت دو آزمایش جداگانه بود.

مقدمه

جوانه‌زنی بذر یک فرآیند زیستی پیچیده است که توسط عوامل مختلف محیطی و ژنتیکی تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Shafii and Price, 2001). دما می‌تواند بر درصد و سرعت جوانه‌زنی و شاخص‌های بینه‌ای بذر مؤثر باشد. گیاهان در محدوده معینی از دما جوانه‌زنی خواهند داشت و در دماهای پایین‌تر یا بالاتر از این محدوده جوانه‌زنی به شدت کاهش یافته و در نهایت متوقف خواهد شد. رنجبر و همکاران (Ranjbar et al., 2013) با بررسی اثر دما بر شاخص‌های جوانه‌زنی رازیانه (*Foeniculumvulgar*) گزارش کردند که دما اثر معنی‌داری بر درصد و سرعت جوانه‌زنی دارد. طی این آزمایش مشخص شد که جوانه‌زنی این گیاه در گستره دمایی ۳۰-۱۵ درجه سانتی‌گراد صورت می‌گیرد. از دیگر عواملی که بر جوانه‌زنی بذر مؤثر است، میزان دسترسی به آب می‌باشد. هنگامی که متوسط جذب آب توسط بذر کاهش یابد جوانه‌زنی ممکن است تأخیر یافته و یا متوقف شود. همچنین کاهش پتانسیل آب منجر به کاهش در استقرار گیاه، عدم یکنواختی سبز شدن، کاهش سرعت جوانه‌زنی و افت عملکرد شود (Balbaki et al., 1999). توده‌های بذر با بینه اولیه بالا، طول عمر بیشتری در زمان نگهداری نسبت به بذور با بینه اولیه کم دارا می‌باشند. زوال بذر، یکی از مشکلات عمده در تولید بخش کشاورزی است.

با پیشرفت زوال بذر، غشاهای سلولی نفوذ پذیری انتخابی خود را از دست می‌دهند. در نتیجه مواد سیتوپلاسمی می‌توانند به فواصل بین سلولی نشت کنند. خساراتی که به غشا وارد می‌شود، هم به دلیل هیدرولیز فسفولیپیدها می‌باشد و هم از اکسیداسیون خود به خود آن‌ها سبب می‌شود (Akram Ghaderiet al., 2014). بلوچی و استادیان (Baluchi and Ostadian, 2017) بیان داشتند که در گیاه کتان روغنی با اعمال زوال بذر، غشای سلولی تخریب و نشت الکترولیت‌ها پدید آمد. قهرمانی و همکاران (Ghahremani et al., 2015) گزارش کردند که در بذر

(Aebi, 1984) و از عصاره پروتئینی استفاده شد. قرائت در طول موج ۲۴۰ نانومتر و در زمان‌های صفر و ۶۰ ثانیه انجام و با استفاده از ضریب خاموشی میزان نهایی آن محاسبه شد.

آزمایش دوم: اندازه‌گیری شاخص‌های جوانه‌زنی

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار ۳۰ بذری انجام شد. تیمارهای مورد استفاده و کلیه مراحل کشت مشابه آزمایش جوانه‌زنی استاندارد (ISTA, 2010) بود. طول دوره جوانه‌زنی ۱۶۸ ساعت (۷ روز) و تعداد شمارش بر اساس دمای کشت متفاوت بود. معیار جوانه‌زنی خروج ریشه‌چه، حداقل به اندازه دو میلی‌متر در نظر گرفته شد. شاخص‌های مورد ارزیابی در این آزمایش شامل درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی (R50) با استفاده از نرم افزار جرمین (Soltani and Madah, 2010)، و شاخص وزنی بنیه (Abdul-Baki and Anderson, 1973) بود.

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS 9.4 و مقایسه میانگین به روش LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. با توجه به اینکه اثر پتانسیل آب و زوال بذر بر روی صفات مورد بررسی در هر دما به صورت یک آزمایش جداگانه انجام شد، جهت بررسی امکان تجزیه مرکب داده‌ها در دماهای مختلف آزمون بارتلت انجام گرفت و با توجه به معنی دار شدن آزمون بارتلت در تمامی صفات مورد بررسی، تجزیه داده‌ها برای هر دما جداگانه انجام شد. در آزمایش جوانه‌زنی (شاخص‌های جوانه‌زنی) با توجه به داشتن مقادیر صفر در داده‌های حاصله، از تبدیل داده‌ها جهت اطمینان از نرمال بودن توزیع داده‌ها استفاده گردید.

نتایج

میزان پرولین بذر

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که در تمامی دماهای آزمایش (۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد) اثر پتانسیل آب و زوال بذر برای پرولین بذر معنی‌دار بود (جدول ۱). همچنین نتایج نشان داد که با کاهش پتانسیل اسمزی میزان پرولین بذر به طور معنی‌داری افزایش یافت. به

آزمایش اول: اندازه‌گیری شاخص‌های بیوشیمیایی

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار با وزن معادل ۰/۵ گرم بذر برای هر تکرار انجام شد. عامل‌های آزمایش شامل پتانسیل آب در هفت سطح صفر (شاهد)، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸، ۱- و ۱/۲- مگاپاسکال و زوال بذر در دو سطح بدون زوال و زوال یافته بودند که به طور جداگانه در شش دمای ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد مورد بررسی قرار گرفتند. اعمال تیمار زوال بذر پیش از شروع کشت به مدت ۳۰ ساعت (Hoseini poor and Yadavi, 2017) انجام شد. جهت تأمین دما، از ژرمیناتور (با نوسانات دمایی ± 1 درجه سانتی‌گراد) استفاده گردید. سطوح مختلف پتانسیل آب با استفاده از پلی اتیلن گلیکول با جرم مولی ۶۰۰۰ دالتون و مطابق با رابطه (Michel and Kaufman (1973) محاسبه شد. ضد عفونی بذرها با استفاده از محلول هیپوکلریت سدیم یک درصد به مدت ۳۰ ثانیه انجام شد. پس از ضد عفونی با استفاده از آب مقطر بذرها شست‌وشو و بلافاصله کشت در ظروف پتری شیشه‌ای ۹ سانتی‌متری و روی یک لایه کاغذ صافی صورت گرفت. اندازه‌گیری شاخص‌های بیوشیمیایی پیش از شروع جوانه‌زنی و در مرحله آب‌نوشی (مرحله دوم جوانه‌زنی و یا فعالیت آنزیم‌ها) و از بذره‌های کتان روغنی صورت گرفت (Moradi et al., 2014). شاخص‌های مورد ارزیابی در این آزمایش شامل محتوی پرولین بذر با روش (Paquine and Lechasseur, 1979) انجام شد، که در آن جذب نمونه عصاره‌های الکلی در طول موج ۵۱۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت و با توجه به منحنی استاندارد ال-پرولین میزان پرولین نمونه‌ها بر اساس میلی‌مول بر گرم وزن تر بذر محاسبه شد.

محتوی پروتئین محلول بذر به روش (Bradford (1976) با قرائت جذب ۱۰ میکرولیتر نمونه عصاره پروتئینی در طول موج ۵۹۵ نانومتر انجام شد. غلظت پروتئین برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر بذر با استفاده از منحنی استاندارد آلومین سرم گاوی محاسبه شد. برای تعیین فعالیت آنزیم کاتالاز در بذر کتان روغنی از روش

زوال یافته نسبت به شاهد افزایش معنی داری داشت. بررسی روند تغییرات دمایی بذر کتان روغنی بر محتوی پرولین بذر نشان داد که با کاهش دما میزان پرولین بذر روند افزایشی دارد. در دمای ۱۰ درجه سانتی گراد و شرایط زوال و عدم دسترسی به رطوبت کافی جهت جوانه زنی حداکثر میزان پرولین مشاهده شد (جدول ۲).

طوری که در هر سطح دمایی، بالاترین سطح پرولین متعلق به تیمار ۱/۲- مگاپاسکال (اگر چه تفاوت معنی داری با پتانسیل ۱- مگاپاسکال وجود نداشت) و کمترین آن متعلق به پتانسیل صفر (اگر چه تفاوت معنی داری با پتانسیل ۰/۲- مگاپاسکال وجود نداشت) بود. مقایسه میانگین اثر زوال برای میزان پرولین بذر در هر دما نشان داد که میزان این اسید آمینه فعال در شرایط تنش، در تمامی سطوح دمایی در بذور

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر پتانسیل آب و زوال بذر بر محتوی پرولین بذر در دماهای مختلف.

Table 1- Analysis variance (mean square) the effect of water potential and accelerated aging on seed proline content at different temperatures.

| منابع تغییر SOV | درجه آزادی D.F. | Temperature(°C) دما | | | | | |
|------------------------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| | | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 |
| پتانسیل آب Water potential (Wp) | 6 | 0.72** | 0.92** | 1.06** | 0.34** | 0.37** | 0.45** |
| زوال بذر Accelerated aging (Aa) | 1 | 1.76** | 0.89** | 1.00** | 0.68** | 0.89** | 0.99** |
| پتانسیل آب×زوال بذر (Wp)×(Aa) | 6 | 0.02 ^{ns} | 0.20 ^{ns} | 0.03 ^{ns} | 0.004 ^{ns} | 0.08 ^{ns} | 0.04 ^{ns} |
| خطا Error | 28 | 0.06 | 0.20 | 0.08 | 0.09 | 0.06 | 0.03 |
| ضریب تغییرات C.V. | - | 5.63 | 9.74 | 6.53 | 7.26 | 5.80 | 4.58 |

^{ns} و ** به ترتیب عدم معنی دار و معنی داری در سطح احتمال یک درصد را نشان می دهد.

^{ns} and ** indicate a non-significant and significant at 1% probability level

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر پتانسیل آب و زوال بذر برای محتوی پرولین (میلی مول بر گرم وزن تر) بذر در دماهای مختلف.

Table 2- Mean comparison effect of water potential and accelerated aging, on seed Proline content (mmol.g⁻¹ Fresh weight) at different temperatures.

| تیمار Treatment | Temperature(°C) دما | | | | | | |
|-------------------------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|--------------------|-------------------|
| | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | |
| 0 | 4.07 ^c | 3.99 ^c | 3.85 ^d | 3.90 ^d | 3.91 ^d | 3.55 ^c | |
| -0.2 | 4.38 ^{de} | 4.31 ^{bc} | 4.06 ^{cd} | 3.99 ^{cd} | 4.02 ^{cd} | 3.72 ^{bc} | |
| -0.4 | 4.63 ^{cd} | 4.60 ^{ab} | 4.36 ^{bc} | 4.17 ^{bcd} | 4.10 ^{bcd} | 3.87 ^b | |
| پتانسیل آب Water potential (MPa) | -0.6 | 4.72 ^{bc} | 4.84 ^{ab} | 4.63 ^{ab} | 4.27 ^{abc} | 4.30 ^{bc} | 3.92 ^b |
| -0.8 | 5.03 ^a | 4.58 ^{ab} | 4.79 ^a | 4.25 ^{a_d} | 4.29 ^{bc} | 3.93 ^b | |
| -1 | 4.86 ^{abc} | 5.02 ^a | 4.86 ^a | 4.50 ^{ab} | 4.36 ^b | 4.23 ^a | |
| -1.2 | 5.01 ^{ab} | 5.09 ^a | 4.96 ^a | 4.55 ^a | 4.66 ^a | 4.35 ^a | |
| LSD | 0.31 | 0.534 | 0.348 | 0.364 | 0.291 | 0.214 | |
| بدون زوال Non accelerated aging | 4.46 ^b | 4.49 ^b | 4.34 ^b | 4.10 ^b | 4.09 ^b | 3.78 ^b | |
| زوال یافته Accelerated aging | 4.87 ^a | 4.78 ^a | 4.65 ^a | 4.36 ^a | 4.38 ^a | 4.09 ^a | |
| LSD | 0.166 | 0.286 | 0.186 | 0.195 | 0.156 | 0.114 | |

در هر ستون، میانگین های دارای حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

The same letters in each column indicated no significant difference at the 5% probability level base on the LSD test.

فعالیت آنزیم کاتالاز

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که در تمامی دماهای آزمایش (۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد) اثر پتانسیل آب و زوال بذر بر فعالیت آنزیم کاتالاز بذر معنی‌دار بود (جدول ۳). همچنین نتایج نشان داد که در تمام دماهای آزمایش (۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵) میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در بذرهای زوال یافته نسبت به بذرهای بدون زوال به ترتیب ۸/۱۷، ۱۳/۳۵، ۹/۷۳، ۱۰/۴۴، ۹/۰۴ و ۱۹/۲۲ میلی‌مول بر گرم وزن تر بذر بر دقیقه افزایش یافت. به طور مشابه کاهش میزان دسترسی به آب نیز به طور معنی‌دار میزان فعالیت آنزیم کاتالاز را در بذر کتان روغنی افزایش داد. سطح ۱/۲- مگاپاسکال پتانسیل آب بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز را نسبت به دیگر سطوح پتانسیل آب داشت در تمامی دماهای آزمایش نشان داد و کمترین آن در تیمار شاهد مشاهده شد. روند تغییرات فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی کاتالاز در دماهای مختلف نشان داد که فعالیت این آنزیم با افزایش دما نیز افزایشی بود. همچنین بیشترین میزان فعالیت کاتالاز در تمامی سطوح پتانسیلی و تیمار زوال، در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد قرار داشت و حداکثر میزان این شاخص در این دما زمانی حاصل شد که بذر تحت تنش زوال و در پتانسیل ۱/۲- مگاپاسکال قرار گرفت که میزان آن ۸۹/۸۵ میلی‌مول بر گرم وزن تر بذر بر دقیقه گزارش شد (جدول ۴).

میزان پروتئین محلول

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که در تمامی دماهای آزمایش (۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد) اثر پتانسیل آب برای میزان پروتئین محلول بذر معنی‌دار بود و اثر زوال بذر برای این صفت در دماهای ۱۵، ۲۰، ۳۰ و ۳۵ معنی‌دار شد. همچنین نتایج نشان داد که اثر برهمکنش پتانسیل آب و زوال بذر برای صفت پروتئین محلول بذر در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد معنی‌دار شد (جدول ۵). نتایج

مربوط به مقایسه میانگین اثر پتانسیل آب بر میزان پروتئین محلول بذر کتان روغنی در دمای‌های مختلف نشان داد که به طور کلی با کاهش دسترسی به رطوبت، میزان پروتئین محلول بذر افزایش یافت. این پژوهش نشان داد که در تمامی دماهای مورد آزمایش بیشترین میزان پروتئین محلول در سطح ۱/۲- مگاپاسکال مشاهده شد، اگر چه تفاوت معنی‌داری با میزان پروتئین محلول در سطح ۱- و ۰/۸- مگاپاسکال در دماهای فوق نداشت. همچنین کمترین میزان پروتئین را در زمانی که محدودیت دسترسی به آب وجود نداشت (شاهد)، مشاهده شد. در بررسی اثر زوال بذر نیز مشخص شد که اعمال تیمار زوال بذر در دماهای ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد باعث افزایش معنی‌دار در میزان پروتئین محلول در بذر کتان روغنی شد. بررسی محیط آزمایش (دمای کشت) نیز در میزان پروتئین محلول بذر در زمان آب‌نوشی بذر مؤثر بود؛ و با افزایش دما تا دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد میزان پروتئین محلول بذر کتان روغنی افزایش یافت، به طوری که بیشترین میزان پروتئین محلول در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد و در پتانسیل ۱/۲- مگاپاسکال مربوط به بذور زوال یافته به مقدار ۸۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بذر مشاهده شد. بررسی نتایج مربوط به هر دما نشان داد که با نزدیک شدن به دمای مطلوب جوانه‌زنی، یعنی دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، تغییرات مربوط به پتانسیل آب کاهش یافت، به طوری که در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در اکثر سطوح پتانسیل آب تفاوت معنی‌داری در پروتئین محلول مشاهده نشد (جدول ۶).

بررسی نتایج مربوط به برهمکنش پتانسیل آب و زوال بذر در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد نشان داد که اعمال تیمار تنش اسمزی و زوال بذر به صورت همزمان موجب افزایش معنی‌دار در مقدار پروتئین محلول بذر کتان روغنی شد، به طوری که کمترین میزان پروتئین محلول بذر در تیمار ۰/۲- مگاپاسکال بدون زوال مشاهده شد و بیشترین آن نیز در پتانسیل ۱/۲- مگاپاسکال بذور زوال یافته مشاهده شد (شکل ۱).

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر پتانسیل آب و زوال بذر بر فعالیت آنزیم کاتالاز بذر در دماهای مختلف.

Table 3- Analysis variance the effect of water potential and accelerated aging on seed catalase enzyme activity at different temperatures.

| منابع تغییر SOV | درجه آزادی D.F. | Temperature(°C) دما | | | | | |
|------------------------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| | | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 |
| پتانسیل آب Water potential(Wp) | 6 | 400** | 339** | 516** | 381** | 928** | 841** |
| زوال بذر Accelerated aging (Aa) | 1 | 221* | 336** | 128** | 195** | 544** | 749** |
| پتانسیل آب×زوال بذر (Wp)×(Aa) | 6 | 18.24 ^{ns} | 1.77 ^{ns} | 2.99 ^{ns} | 47.82 ^{ns} | 1.50 ^{ns} | 23.15 ^{ns} |
| خطا Error | 28 | 34.51 | 68.8 | 14.9 | 20.1 | 66.08 | 28.55 |
| C.V. ضریب تغییرات. | - | 17.45 | 19.8 | 8.27 | 8.41 | 14.36 | 7.85 |

ns، * و ** به ترتیب عدم معنی داری و معنی داری در سطح احتمال پنج و یک درصد را نشان می دهد.
ns، *and ** indicate a non-significant and significant at 5% and 1% probability level.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر پتانسیل آب و زوال بذر برای فعالیت آنزیم کاتالاز (میلی مول بر گرم وزن تر بذر بر دقیقه) بذر در دماهای مختلف.

Table 4- Mean comparison effect of water potential and accelerated aging, for seed catalase enzyme activity (mmol.g⁻¹.min⁻¹) of Linseed at different temperatures.

| تیمار Treatment | Temperature(°C) دما | | | | | | |
|-------------------------------------|---------------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | |
| 0 | 21.74 ^d | 31.85 ^d | 33.88 ^e | 42.42 ^e | 38.11 ^e | 53.46 ^e | |
| -0.2 | 25.84 ^{cd} | 34.56 ^d | 37.86 ^e | 44.92 ^e | 46.82 ^{de} | 54.44 ^e | |
| -0.4 | 31.43 ^{bc} | 38.28 ^d | 42.72 ^d | 50.04 ^d | 51.10 ^d | 67.34 ^{cd} | |
| پتانسیل آب Water potential (MPa) | -0.6 | 33.08 ^b | 41.15 ^{bcd} | 48.09 ^c | 53.29 ^c | 55.88 ^{cd} | 63.83 ^d |
| -0.8 | 37.43 ^{ab} | 45.22 ^{abc} | 50.42 ^{bc} | 59.51 ^{bc} | 62.18 ^{bc} | 73.18 ^{bc} | |
| -1 | 42.17 ^a | 48.73 ^{ab} | 54.14 ^b | 59.34 ^b | 68.61 ^{ab} | 78.72 ^{ab} | |
| -1.2 | 43.90 ^a | 52.53 ^a | 60.36 ^a | 63.66 ^a | 73.47 ^a | 84.94 ^a | |
| LSD | 6.948 | 9.811 | 4.578 | 5.303 | 9.614 | 6.32 | |
| بدون زوال Non accelerated aging | 25.78 ^b | 31.36 ^b | 38.80 ^b | 45.03 ^b | 51.16 ^b | 52.99 ^b | |
| زوال یافته Accelerated aging | 35.95 ^a | 44.71 ^a | 48.53 ^a | 55.47 ^a | 60.20 ^a | 72.21 ^a | |
| LSD | 3.714 | 5.244 | 2.447 | 2.835 | 5.139 | 3.378 | |

در هر ستون، میانگین های دارای حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

The same letters in each column indicated no significant difference at the 5% probability level base on the LSD test.

جدول ۵- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر پتانسیل آب و زوال بذر بر محتوی پروتئین محلول در دماهای مختلف.

Table 5- Analysis variance (mean square) the effect of water potential and accelerated aging on seed soluble protein content of linseed at different temperatures.

| منابع تغییر SOV | درجه آزادی D.F. | Temperature(°C) دما | | | | | |
|------------------------------------|--------------------|---------------------|---------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 |
| پتانسیل آب Water potential (Wp) | 6 | 86.7* | 244.3** | 71.98** | 251** | 48.72** | 89.79** |
| زوال بذر Accelerated aging (Aa) | 1 | 81.2 ^{ns} | 355.8** | 67.34* | 1.23 ^{ns} | 107.3** | 142.2** |
| پتانسیل آب × زوال بذر (Wp)×(Aa) | 6 | 1.86 ^{ns} | 58.25** | 8.53 ^{ns} | 147 ^{ns} | 4.57 ^{ns} | 3.85 ^{ns} |
| خطا Error | 28 | 23.1 | 15.23 | 15.29 | 126 | 10.21 | 13.93 |
| ضریب تغییرات. C.V. | - | 8.03 | 5.74 | 5.50 | 16.33 | 4.41 | 5.07 |

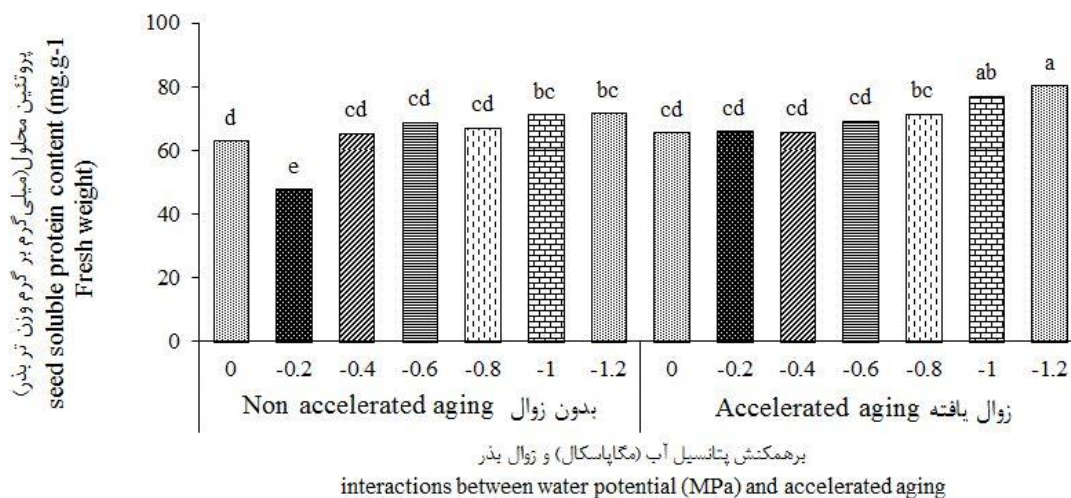
ns، * و ** به ترتیب عدم معنی داری و معنی داری در سطح احتمال پنج و یک درصد را نشان می‌دهد.
ns, *and ** indicate a non-significant and significant at 5% and 1% probability level.

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر پتانسیل آب و زوال بذر برای محتوی پروتئین محلول (میلی گرم بر گرم وزن تر) بذر در دماهای مختلف.

Table 6- Mean comparison effect of water potential and accelerated aging, on seed soluble protein content (mg.g⁻¹Fresh weight) of linseed at different temperatures.

| تیمار | | Temperature(°C) دما | | | | |
|-------------------------------------|---------------------------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| | | 10 | 20 | 25 | 30 | 35 |
| پتانسیل آب Water potential (MPa) | 0 | 55.50 ^c | 66.13 ^d | 65.82 ^{ab} | 68.53 ^c | 68.79 ^c |
| | -0.2 | 55.22 ^c | 67.95 ^d | 65.15 ^{ab} | 69.05 ^c | 69.33 ^c |
| | -0.4 | 57.93 ^{bc} | 69.72 ^{cd} | 57.55 ^b | 71.38 ^{bc} | 72.25 ^{bc} |
| | -0.6 | 59.39 ^{abc} | 70.59 ^{bcd} | 71.27 ^a | 73.29 ^{ab} | 72.77 ^{bc} |
| | -0.8 | 62.87 ^{ab} | 73.07 ^{abc} | 72.09 ^a | 74.60 ^{ab} | 76.26 ^{abc} |
| | -1 | 63.09 ^{ab} | 74.39 ^{ab} | 74.43 ^a | 73.71 ^{ab} | 75.88 ^{ab} |
| | -1.2 | 64.63 ^a | 75.63 ^a | 76.13 ^a | 76.17 ^a | 79.41 ^a |
| | LSD | 5.684 | 4.625 | 13.316 | 3.78 | 4.415 |
| بدون زوال Non accelerated aging | | - | 69.80 ^b | - | 70.79 ^b | 71.69 ^b |
| | زوال یافته Accelerated aging | | 72.34 ^a | - | 73.99 ^a | 75.37 ^a |
| LSD | | | 2.472 | | 2.02 | 2.36 |

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.
The same letters in each column indicated no significant difference at the 5% probability level base on the LSD test.



شکل ۱- مقایسه میانگین برهمکنش پتانسیل آب و زوال بذر بر میزان پروتئین محلول بذر کتان روغنی در دمای ۱۵°C
Figure 1- Comparison of the interactions between water potential and accelerated aging, for seed Soluble protein content of Linseed at 15°C.

جوانه‌زنی و پیری بذر تولید و ممکن است موجب تنش اکسیداتیو و خسارت سلولی شده و زوال بذر شوند. البته سلول‌ها دارای آنزیم‌های سمیت زدا و ترکیبات آنتیاکسیدانت هستند که AOS را از بین می‌برند و بدینوسیله در بقاء سلول نقش دارند (Soltani *et al.*, 2017). افزایش ترکیبات آنتی‌اکسیدانی مانند کاتالاز در زمان تنش احتمالاً به همین علت می‌باشد. به جز آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی فعال در زمان تنش و زوال، ترکیبات دیگری نیز با حضور در اطراف غشای سلول باعث حفظ آماس و پتانسیل اسمزی در دو طرف سلول می‌شوند. پرولین از جمله این ترکیب‌ها می‌باشد. در گیاهان، انباشته شدن پرولین بر اثر قرار گرفتن در شرایط تنش آبی، نوعی مکانیسم دفاعی و یک پدیده شایع است (Costa and Morel, 1994).

پرولین با تنظیم پتانسیل اسمزی، از نابودی آنزیم‌ها جلوگیری و با از بین بردن رادیکال‌های هیدروکسیل، تحمل در برابر تنش‌ها را در گیاه را افزایش می‌دهد (Kuznetsov and Shevyankova, 1994). به این ترتیب، از جمله پاسخ‌های گیاهان در برابر تنش، افزایش سطح

روند تغییرات پتانسیل آب و زوال بذر در شاخص‌های بیوشیمیایی به طور کلی نشان داد که با اعمال زوال بذر و کاهش دسترسی به آب افزایش معنی‌داری در میزان پروتئین محلول، فعالیت کاتالاز و پرولین بذر مشاهده شد. اکثر علائم مشهود در زوال بذر ابتدا در سطح فیزیولوژیک بذر و سپس در طول دوره جوانه‌زنی و رشد گیاهچه مشاهده می‌شوند. می‌توان علائم این تغییرات را به وسیله روش‌های پیشرفته پایشی در سطوح فیزیولوژیکی تشخیص داد (McDonald, 1999). یکی از جنبه‌های رایج بذرهای زوال یافته ناتوانی آن‌ها در حفظ اجزای تشکیل دهنده سلولی است که در طول آب‌نوشی ایجاد می‌شود. این ناتوانی از سه جهت بر کیفیت بذر دخیل است: (۱) این اجزا جزء ساختارهای ضروری برای جوانه‌زنی بذر هستند. (۲) برخی از این ترکیب‌ها جهت حفظ پتانسیل اسمزی درون سلول ضروری می‌باشند تا فشار آماس سلول حفظ شود. (۳) نشأت مواد به بیرون، بستری جهت حمله پاتوژن‌ها به بذر می‌شود (Akram Ghaderiet *al.*, 2014).

با تخریب ساختار غشای بذر گونه‌های فعال اکسیژن (AOS^۱) افزایش می‌یابد. این ترکیبات در طی

¹Active Oxygen Species

۰/۴- مگاپاسکال) برای بذرهای بدون زوال مشاهده نشد؛ اگر چه اختلاف معنی داری با سطوح پایین پتانسیل آب (۱- و ۱/۲- مگاپاسکال) وجود داشت. در بذرهای زوال یافته نیز در دماهای ۱۵، ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی گراد در سطوح بالای پتانسیل آب تفاوت معنی داری در درصد جوانه‌زنی بذر کتان روغنی دیده نشد، اما تفاوت این سطوح پتانسیل آب با سطوح پایین تر پتانسیل آب در هر دمای مورد آزمایش معنی دار بود که نشان می دهد درصد جوانه‌زنی با کاهش دسترسی به آب روند کاهشی داشته است. همچنین بررسی نتایج جدول (۸) نشان داد که با اعمال تیمار زوال کاهش معنی داری در شاخص درصد جوانه‌زنی دیده شد. به طوری که در هر سطح پتانسیل آب، میزان جوانه‌زنی بذرهای زوال یافته کمتر از بذرهای بدون زوال بود، اگرچه در برخی دماها (۲۰ درجه سانتی گراد) این تفاوت معنی دار نبود. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد، افزایش دما اثر مطلوبی در جوانه‌زنی بذر کتان روغنی داشت. به طور کلی افزایش دما از دمای ۱۰ تا ۲۵ درجه سانتی گراد برای بذرهای بدون زوال و از دمای ۱۰ تا ۱۵ درجه سانتی گراد برای بذرهای زوال یافته میزان درصد جوانه‌زنی را در تمامی سطوح پتانسیل آب افزایش داد. اگر چه در دماهای پایین در برخی سطوح پتانسیل آب جوانه‌زنی مشاهده نشد، اما افزایش دما با جبران کاهش دسترسی به آب، شرایط را برای جوانه‌زنی بذرهای بدون زوال و زوال یافته در پتانسیل‌های پایین تر نیز فراهم کرد. نتایج همچنین نشان داد که اثرات نامطلوب دمای بالا در بذرهای زوال یافته محسوس تر بود؛ به طوری که در بذرهای زوال یافته حداکثر درصد جوانه‌زنی در اکثر پتانسیل‌های آب در دمای ۱۵ درجه سانتی گراد مشاهده شد. این در حالی بود که حداکثر جوانه‌زنی برای بذرهای بدون زوال در پتانسیل‌های رطوبتی دمای ۲۵ درجه سانتی گراد مشاهده شد. همچنین مقایسه درصد جوانه‌زنی سطوح مختلف پتانسیل رطوبتی در دمای ۳۵ درجه سانتی گراد نشان داد کاهش درصد جوانه‌زنی در بذرهای زوال یافته نسبت به بذرهای بدون زوال به مراتب شدیدتر است.

پرویلین است (NouraniAzadand chubineh, 2008). با اعمال زوال بر روی بذرهای کرچک میزان محتوی پرویلین بذر روند افزایشی داشت (قهرمانی و همکاران، ۱۳۹۴). رافائلا و کازتال (Rafaela andCazetta1, 2016) نیز بیان داشتند که کاهش پتانسیل اسمزی ناشی از پلی اتیلن گلیکول در طی دوره جوانه‌زنی بذر ذرت به طور معنی داری باعث افزایش میزان پرویلین آندوسپرم شد.

بررسی این پژوهش نشان داد که سنتز ترکیبات پروتئینی همانند آنزیم کاتالاز و اسید آمینه پرویلین به هنگام کاهش دسترسی به آب افزایش یافت. که این نیز خود مکانسمی دفاعی برای مقابله با شرایط تنش اسمزی می باشد. همچنین این افزایش احتمالاً به دلیل تأثیر مثبت ترکیبات پروتئینی، در جذب آب، افزایش میزان پتانسیل اسمزی درون بذر و منفی تر شدن آن نسبت به بیرون جهت جذب آب می باشد که در تایید این مطلب بیان شده که میزان جذب آب با افزایش پروتئین بذر همبستگی مثبت دارد (Ghadarifarand Soltani, 2013). همچنین افزایش میزان پروتئین محلول بذر در زمان زوال احتمالاً به علت ماهیت تعادل رطوبتی (هیگروسکوپ) بذر می باشد که می تواند محتوی رطوبت خود را در هر رطوبت نسبی تنظیم کند. پس افزایش میزان رطوبت نسبی، میزان رطوبت بذر را نیز افزایش می دهد که نتیجه آن افزایش فعالیت‌های متابولیکی جنین بذر است که در آغاز انبارداری (زوال) منجر به افزایش محتوی پروتئین محلول شود (Soltaniet al., 2017).

درصد جوانه‌زنی

نتایج این پژوهش نشان داد که اثر پتانسیل آب، زوال بذر و برهمکنش پتانسیل آب و زوال بذر برای درصد جوانه‌زنی در تمامی دماهای مورد آزمایش معنی دار گردید (جدول ۷). نتایج مقایسه میانگین برهمکنش پتانسیل آب و زوال بذر برای درصد جوانه‌زنی (جدول ۸) نشان داد که در دماهای ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۳۰ درجه سانتی گراد تفاوت معنی داری در سطوح بالای پتانسیل آب (صفر، ۰/۲- و

جدول ۷- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر پتانسیل آب و زوال بذر بر درصد جوانه زنی بذر در دماهای مختلف.

Table 7- Analysis variance (mean square) the effect of water potential and accelerated aging on germination percentage at different temperatures.

| منابع تغییر SOV | درجه آزادی D.F. | Temperature(°C) دما | | | | | |
|------------------------------------|--------------------|---------------------|---------|--------|---------|---------|--------|
| | | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 |
| پتانسیل آب Water potential(Wp) | 6 | 26.52** | 77.57** | 77.5** | 22.06** | 26.28** | 59.6** |
| زوال بذر Accelerated aging(Aa) | 1 | 551.6** | 13.79** | 7.8** | 100** | 417.3** | 173** |
| پتانسیل آب × زوال بذر (Wp)×(Aa) | 6 | 21.25** | 1.42** | 0.99** | 8.68** | 5.63** | 13.1** |
| خطا Error | 42 | 0.25 | 0.17 | 0.35 | 0.45 | 1.10 | 0.58 |
| ضریب تغییرات.C.V. | - | 12 | 5 | 8 | 8 | 19 | 17 |

** indicate significant at 1% probability level

** معنی داری در سطح احتمال یک درصد را نشان می دهد.

جدول ۸- مقایسه میانگین برهمکنش پتانسیل های آب و زوال بذر، برای درصد جوانه زنی بذر در دماهای مختلف.

Table 8- Mean comparison interactions of water potential and accelerated aging, for germination percentage at different temperatures.

| پتانسیل آب Water potential (MPa) | Temperature(°C) دما | | | | | | |
|-------------------------------------|---------------------|-------------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|------------------|
| | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | |
| بدون زوال Non accelerated aging | 0 | 92 ^{ab} | 90 ^{abc} | 93 ^a | 98 ^a | 98 ^a | 69 ^b |
| | -0.2 | 93 ^a | 97 ^a | 91 ^a | 90 ^{abc} | 87 ^a | 86 ^a |
| | -0.4 | 93 ^a | 98 ^a | 93 ^a | 97 ^{ab} | 93 ^a | 93 ^a |
| | -0.6 | 87 ^b | 95 ^{ab} | 96 ^a | 96 ^{abc} | 87 ^a | 73 ^b |
| | -0.8 | 78 ^c | 94 ^{ab} | 93 ^a | 83 ^{bcd} | 85 ^a | 24 ^d |
| | -1 | 21 ^d | 84 ^{cd} | 69 ^b | 82 ^{cd} | 60 ^b | 1 ^f |
| | -1.2 | 0 ^e | 0 ^g | 0 ^d | 65 ^{ef} | 12 ^{cd} | 0 ^f |
| زوال یافته Accelerated aging | 0 | 4 ^e | 82 ^{cd} | 66 ^b | 72 ^{de} | 9 ^{cd} | 3 ^{ef} |
| | -0.2 | 1 ^e | 83 ^{cd} | 83 ^a | 74 ^{de} | 21 ^c | 37 ^c |
| | -0.4 | 1.66 ^e | 87 ^{bc} | 83 ^a | 71 ^{de} | 18 ^c | 18 ^d |
| | -0.6 | 0 ^e | 75 ^d | 83 ^a | 53 ^{fg} | 17 ^c | 13 ^{de} |
| | -0.8 | 0 ^e | 65 ^e | 88 ^a | 38 ^h | 6 ^{cd} | 0 ^f |
| | -1 | 0 ^e | 45 ^f | 43 ^c | 45 ^{gh} | 0 ^d | 0 ^f |
| | -1.2 | 0 ^e | 0 ^g | 0 ^d | 0 ⁱ | 0 ^d | 0 ^f |
| LSD | 5.638 | 9.322 | 12.59 | 14.13 | 15.15 | 11.4 | |

در هر ستون، میانگین های دارای حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

The same letters in each column indicated no significant difference at the 5% probability level base on the LSD test.

آب و زوال بذر برای سرعت جوانه زنی (جدول ۱۰) نشان داد که کاهش پتانسیل آب باعث کاهش معنی دار سرعت جوانه زنی بذر کتان روغنی شد. اما این کاهش در بذرهایی زوال یافته نسبت به بذرهایی بدون زوال شدیدتر بود. مشاهدات میزان سرعت جوانه زنی بذرهایی کتان روغنی در

سرعت جوانه زنی

نتایج این پژوهش نشان داد که اثر پتانسیل آب، زوال بذر و برهمکنش پتانسیل آب و زوال بذر برای سرعت جوانه زنی در تمامی دماهای مورد آزمایش معنی دار شد (جدول ۹). نتایج مقایسه میانگین برهمکنش پتانسیل

دماهای مختلف نشان می‌دهد که با افزایش دما تا دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد میزان این صفت روند افزایشی دارد. بذره‌های بدون زوال در دماهای ۱۰، ۱۵، ۲۵ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد و زوال یافته در دماهای ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد بیشترین سرعت جوانه‌زنی را در پتانسیل آبی ۰/۲- مگاپاسکال دارا بودند (جدول ۱۰) اگر چه در اکثر دماهای مورد آزمایش تفاوت معنی‌داری بین سطوح صفر و ۰/۲- مگاپاسکال مشاهده نشد.

جدول ۹- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر پتانسیل آب و زوال بذر بر سرعت جوانه‌زنی بذر در دماهای مختلف.

Table 9-Analysis variance (mean square) the effect of water potential and accelerated aging on germination rate at different temperatures.

| منابع تغییر SOV | درجه آزادی D.F. | دما Temperature(°C) | | | | | |
|------------------------------------|--------------------|------------------------|---------|----------|---------|---------|-----------|
| | | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 |
| پتانسیل آب Water potential(Wp) | 6 | 0.009** | 0.043** | 0.083** | 0.069** | 0.059** | 0.00025** |
| زوال بذر Accelerated aging(Aa) | 1 | 0.134** | 0.103** | 0.084** | 0.536** | 1.02** | 1.0008** |
| پتانسیل آب × زوال بذر (Wp)×(Aa) | 6 | 0.009** | 0.004** | 0.0075** | 0.008** | 0.043** | 0.00004** |
| خطا Error | 42 | 0.00002 | 0.0001 | 0.0007 | 0.0004 | 0.001 | 0.000008 |
| ضریب تغییرات. C.V. | - | 0.49 | 1.19 | 2.28 | 1.77 | 2.89 | 0.28 |

ns و ** به ترتیب عدم معنی‌دار و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد را نشان می‌دهد.

ns and ** indicate a non-significant and significant at 1% probability level.

جدول ۱۰- مقایسه میانگین برهمکنش پتانسیل‌های مختلف آب و زوال بذر، برای سرعت جوانه‌زنی (جوانه زده بر ساعت) بذر کتان روغنی در دماهای مختلف.

Table 10-Mean comparison interactions of water potential and accelerated aging, for germination rate of linseed at different temperatures.

| پتانسیل آب Water potential (MPa) | دما Temperature(°C) | | | | | | |
|-------------------------------------|------------------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | |
| بدون زوال Non accelerated aging | 0 | 0.348 ^a | 0.48 ^c | 0.82 ^a | 0.95 ^b | 1.07 ^a | 0.037 ^{ab} |
| | -0.2 | 0.348 ^a | 0.63 ^a | 0.80 ^a | 1.03 ^a | 1.04 ^a | 0.044 ^a |
| | -0.4 | 0.314 ^b | 0.55 ^b | 0.69 ^b | 0.89 ^b | 0.97 ^a | 0.033 ^b |
| | -0.6 | 0.244 ^c | 0.44 ^c | 0.60 ^b | 0.71 ^c | 0.76 ^b | 0.021 ^{cd} |
| | -0.8 | 0.184 ^d | 0.34 ^d | 0.45 ^{cd} | 0.55 ^d | 0.57 ^c | 0.024 ^c |
| | -1 | 0.037 ^e | 0.17 ^f | 0.2 ^f | 0.39 ^e | 0.28 ^d | 0 ^f |
| | -1.2 | 0 ^f | 0 ^h | 0 ^h | 0.17 ^g | 0.042 ^e | 0 ^f |
| زوال یافته Accelerated aging | 0 | 0.008 ^f | 0.26 ^e | 0.34 ^{ef} | 0.3 ^f | 0.034 ^e | 0.013 ^{de} |
| | -0.2 | 0.002 ^f | 0.27 ^e | 0.51 ^c | 0.37 ^{ef} | 0.08 ^e | 0.012 ^e |
| | -0.4 | 0.003 ^f | 0.27 ^e | 0.51 ^c | 0.3 ^f | 0.047 ^e | 0.0122 ^e |
| | -0.6 | 0 ^f | 0.18 ^f | 0.40 ^{de} | 0.2 ^g | 0.05 ^e | 0.013 ^{de} |
| | -0.8 | 0 ^f | 0.14 ^f | 0.36 ^{def} | 0.12 ^{gh} | 0.01 ^e | 0 ^f |
| | -1 | 0 ^f | 0.08 ^g | 0.18 ^g | 0.07 ^h | 0 ^e | 0 ^f |
| | -1.2 | 0 ^f | 0 ^h | 0 ^h | 0 ⁱ | 0 ^e | 0 ^f |
| LSD | 0.0163 | 0.045 | 0.092 | 0.078 | 0.123 | 0.008 | |

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

The same letters in each column indicated no significant difference at the 5% probability level base on the LSD test.

همکاران (Khalili et al., 2014) در بررسی اثر دما و پتانسیل آب بر میزان درصد و سرعت جوانه زنی گیاه جو مطابقت داشت. دما با اثر بر فعالیت متابولیسمی بذر و احتمالاً میزان تولیدات و سنتز ترکیبات مورد نیاز برای رشد جنین بذر را افزایش داده که در نهایت به صورت افزایش سرعت جوانه زنی خود را نشان می دهد. رشد سریع باعث می شود که ریشه چه قبل از خشک شدن سطح خاک، وارد خاک شود و استقرار یابد. در اثبات این مدعا گزارش شده که در گیاه آزیوش (*Corchorus solitorius* L.) سرعت جوانه زنی، با افزایش دما از دمای ۱۰ درجه سانتی گراد تا دمای ۳۷ درجه سانتی گراد که دمای مطلوب برای این گیاه بود، به طور معنی داری افزایش یافت (Kamkar et al., 2014).

نتایج پاتانه و هکاران (Patane et al., 2016) نیز مؤید این مسئله بود که دما و پتانسیل آب به طور هم زمان بر درصد و سرعت جوانه زنی مؤثر است. ایشان بیان داشتند که کاهش دما به دماهای زیر دمای مطلوب و همچنین کاهش پتانسیل آب باعث ایجاد شرایط تنشی در سورگوم شیرین (*Sorghum bicolor*) شده و در نهایت باعث کاهش سرعت جوانه زنی شد.

با این وجود، دمای بیش از حد نیز با تخریب ساختار سلولی باعث کاهش در بذرهاى جوانه زده شد. دلایل متعدد بیوشیمیایی و متابولیکی برای کاهش توان جوانه زنی بذرهاى فرسوده عنوان شده است که از جمله می توان به پراکسیداسیون چربی ها و خسارت به غشاهای سلولی و همچنین آسیب به فرآیند سنتز RNA، تخریب DNA، رسوب و غیر فعال شدن آنزیم ها اشاره کرد (Basra et al., 2003). تحقیقات خیرخواه (Kheirkhah, 2016) که به منظور بررسی تأثیر توام زوال (تسریع پیری) و پتانسیل آب (شاهد، ۳- و ۶- بار) روی جوانه زنی و رشد گیاهچه ای بذر گندم انجام شد، نشان داد که بیشترین میانگین ها برای صفات درصد جوانه زنی، سرعت جوانه زنی و شاخص بنیه بذر به تیمار بدون زوال و پتانسیل اسمزی صفر و کمترین میانگین ها در تیمار زوال بذر و پتانسیل اسمزی ۶- بار تعلق داشت.

بر طبق این نتایج به نظر می رسد کاهش جزئی در پتانسیل اسمزی احتمالاً باعث تحریک و افزایش سرعت جوانه زنی بذر کتان روغنی شده است. همچنین در بررسی برهمکنش پتانسیل آب و زوال بذر در دماهای مختلف بر درصد و سرعت جوانه زنی مشخص شد که حساسیت سرعت جوانه زنی به تیمارهای پتانسیل آب و زوال بذر نسبت به درصد جوانه زنی بیشتر بود. به طوری که با کاهش سطوح رطوبتی در بذرهاى زوال یافته و بدون زوال اگر چه در برخی دماها (۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی گراد) تفاوت معنی داری در درصد جوانه زنی مشاهده نشد؛ اما در شاخص سرعت جوانه زنی این تفاوت معنی دار بود (جدول ۱۰).

شاخص های وزنی بنیه گیاهچه

نتایج این پژوهش نشان داد که اثر پتانسیل آب، زوال بذر و برهمکنش پتانسیل آب و زوال بذر برای شاخص وزنی بنیه در تمامی دماهای مورد آزمایش معنی دار شد (جدول ۱۱). حداکثر میزان شاخص وزنی بنیه در بذرهاى کتان روغنی در هر دما، زمانی حاصل شد که بذرها در شرایط بدون زوال و پتانسیل صفر و یا ۰/۲- مگاپاسکال قرار داشت. و کمترین میزان زمانی بود که بذر کتان روغنی تحت شرایط پیری تسریع شده و در کمترین سطح پتانسیل رطوبتی قرار داشت. بررسی اثر دما نیز نشان داد که دما با اثر بر اجزای شاخص وزنی بنیه (درصد جوانه زنی و وزن گیاهچه) بر میزان نهایی بنیه بذر نیز اثر گذار است. به طوری که میزان شاخص وزنی بنیه تا دمای ۳۰ درجه سانتی گراد برای بذرهاى بدون زوال و تا دمای ۲۰ درجه سانتی گراد برای بذرهاى زوال یافته، افزایش و سپس کاهش یافت (جدول ۱۲).

برهمکنش اثرات زوال بذر و پتانسیل آب برای شاخص های جوانه زنی نیز در هر دما نشان داد که با ایجاد تنش اسمزی و زوال بذر کاهش چشم گیری در صفات درصد و سرعت جوانه زنی و شاخص وزنی بنیه بذر شد که این کاهش با افزایش دما تا دمای ۲۵ درجه سانتی گراد در بذرهاى بدون زوال و دمای ۲۰ درجه سانتی گراد برای بذور زوال یافته جبران شد. به طور مشابه نتایج خلیلی و

جدول ۱۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر پتانسیل آب و زوال بذر بر شاخص وزنی بینه کتان روغنی در دماهای مختلف.

Table 11- Analysis variance (mean square) the effect of water potential and accelerated aging on Vigor weight of linseed at different temperatures.

| منابع تغییر SOV | درجه آزادی D.F. | Temperature(°C) دما | | | | | |
|------------------------------------|--------------------|---------------------|---------|--------|--------|--------|--------|
| | | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 |
| پتانسیل آب Water potential (Wp) | 6 | 3.62** | 28.17** | 2.74** | 54.3** | 2.74** | 14.6** |
| زوال بذر Accelerated aging(Aa) | 1 | 39.97** | 38.37** | 0.45** | 79.2** | 0.45** | 82.4** |
| پتانسیل آب × زوال بذر (Wp)×(Aa) | 6 | 3.47** | 5.43** | 0.13** | 2.70** | 0.13** | 10.6** |
| خطا Error | 42 | 0.022 | 0.31 | 0.05 | 0.93 | 0.05 | 0.33 |
| C.V. ضریب تغییرات | - | 8.17 | 15.62 | 12.70 | 20.02 | 12.70 | 23.8 |

ns و ** به ترتیب عدم معنی دار و معنی داری در سطح احتمال یک درصد را نشان می‌دهد.

ns and ** indicate a non-significant and significant at 1% probability level

جدول ۱۲- مقایسه میانگین اثر برهمکنش پتانسیل آب و زوال بذر، برایشاخص وزنی بینه کتان روغنی در دماهای مختلف.

Table 12- Mean comparison interactions of water potential and accelerated aging, for vigor weight index of Linseed at different temperatures.

| پتانسیل آب Water potential (MPa) | Temperature(°C) دما | | | | | | |
|-------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | |
| بدون زوال Non accelerated aging | 0 | 0.176 ^a | 0.180 ^d | 1.400 ^a | 1.340 ^a | 1.960 ^a | 0.670 ^b |
| | -0.2 | 0.179 ^a | 0.510 ^a | 1.690 ^a | 1.490 ^a | 1.550 ^b | 1.100 ^a |
| | -0.4 | 0.146 ^a | 0.380 ^b | 0.920 ^{bc} | 1.270 ^a | 1.470 ^b | 0.440 ^c |
| | -0.6 | 0.073 ^b | 0.220 ^{cd} | 0.670 ^{cd} | 0.590 ^{bc} | 0.690 ^c | 0.190 ^d |
| | -0.8 | 0.026 ^c | 0.230 ^{cd} | 0.350 ^e | 0.370 ^{cd} | 0.570 ^c | 0.024 ^{de} |
| | -1 | 0.008 ^c | 0.060 ^{ef} | 0.060 ^{fg} | 0.180 ^{de} | 0.016 ^d | 0.010 ^e |
| | -1.2 | 0 ^c | 0 ^g | 0 ^g | 0.007 ^e | 0 ^d | 0 ^e |
| زوال یافته Accelerated aging | 0 | 0.001 ^c | 0.200 ^{cd} | 0.800 ^{bc} | 0.660 ^b | 0.006 ^d | 0.001 ^e |
| | -0.2 | 0.0001 ^c | 0.270 ^c | 0.980 ^b | 0.750 ^b | 0.018 ^d | 0.030 ^{de} |
| | -0.4 | 0 ^c | 0.220 ^{cd} | 0.950 ^{bc} | 0.550 ^{bc} | 0.007 ^d | 0.006 ^{de} |
| | -0.6 | 0 ^c | 0.110 ^e | 0.440 ^{de} | 0.220 ^{de} | 0 ^d | 0.003 ^e |
| | -0.8 | 0 ^c | 0.070 ^{ef} | 0.340 ^{ef} | 0.120 ^{de} | 0 ^d | 0 ^e |
| | -1 | 0 ^c | 0.030 ^{fg} | 0.020 ^g | 0.020 ^e | 0 ^d | 0 ^e |
| | -1.2 | 0 ^c | 0 ^g | 0 ^g | 0 ^e | 0 ^d | 0 ^e |
| LSD | | 0.04 | 0.065 | 0.291 | 0.273 | 0.4 | 0.186 |

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

The same letters in each column indicated no significant difference at the 5% probability level base on the LSD test.

جوانه زنی بذر کتان روغنی رقم نرمن شد. اگرچه در محدوده دمایی ۱۵ تا ۲۵ درجه سانتی گراد اثرات کاهش زوال بذر بر میزان جوانه زنی بذر کتان کاسته شد. همچنین نتایج نشان داد که در شرایط دمایی مطلوب کتان روغنی گیاهی متحمل به خشکی در زمان شروع جوانه زنی می باشد و در دامنه دمایی گسترده ای قادر به جوانه زنی در شرایط مطلوب رطوبتی می باشد.

نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که تأثیرات سوء ناشی از زوال بذر به طور گسترده در دماها و پتانسیل های مختلف اتفاق می افتد. اثرات توام پتانسیل پایین آب و زوال بذر به طور گسترده در دماهای خیلی پایین و خیلی بالا مانع از

Reference

منابع

- Abdul-Baki, A.A., and J.D. Anderson.1973.** Vigor determination in soybean seed by multiple criteria. *Crop Sci.* 13(6): 630-633.
- Alvarado, V., and K. Bradford. 2002.** A hydrothermal time model explains the cardinal temperatures for seed germination. *Plant Cell Environ.* 25(8): 1061-1069.
- Baalbaki, R., R. Zurayk, M. Bleik, and S. Talhouk.1999.** Germination and seedling development of drought tolerant and susceptible wheat under moisture stress. *Seed Sci. Technol.* 27(1): 291-302.
- Balouchi, H.R., F. Bagheri, R. Kayednezami, M. Movahedi Dehnavi, and A.R. Yadavi. 2013.** Effect of seed aging on germination and seedling growth indices in three cultivars of *Brassicinapus*. *J. Plant Res.* 26(4): 397-411. (In Persian, with English Abstract)
- Balouchi, H.R., and R. Ostadian Bidgoly. 2017.** Effect of Seed Deterioration on Physiological and Biochemical Traits of Oil Flax (*Linum usitatissimum*L. Norman var.) Seed. *The Plant Prod.* 40(2): 37-53. (In Persian, with English Abstract)
- Balouchi, H., S. Baladi, A. Moradi, and M. Movahadi Dehnavi. 2017.** The influence of temperature and moisture content on seed longevity of two genotypes of *Linum usitatissimum*. *Seed Sci. Technol.* 45:130-138.
- Basra, S., N. Ahmad, M. Khan, N.Iqbal, and M. Cheema.2003.** Assessment of cottonseed deterioration during accelerated ageing. *Seed Sci. Technol.* 31(3): 531-540.
- Bewley, J.D., and M. Black.1994.** Seeds: Physiology of development and germination. Plenum Press, New York.
- Bradford, K.J. 2002.** Applications of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. *Weed Sci.* 50(2): 248-260.
- Copland, L., and M.B. McDonald. 1936.** Seed science and technology. (Translated by Akram Ghaderi, F., B. Kamkar and A. Soltani. 2014. Jahad Uni. Press of Mashhad.
- Costa, G., and J.-L. Morel. 1994.** Water relations, gas exchange and amino acid content in Cd-treated lettuce. *Plant Physiol. Biochem.* 32: 561-570.
- Ghahremani, P., M. Sedghi, and H. Tavakoli, 2015.** Effect of gibberellin and salicylic acid on germination characteristics and activity of antioxidant enzymes in aging seeds of pumpkin. *J. Seed Res.* 5 (15): 20-29. (In Persian)
- Hoseini poor, A., and A. Yadavi. 2017.** The study of the effects of accelerated aging on germination of flaxseed oil (*Linum usitatissimum*).4th Seed Science and Technology Congress. Karaj. Payame Noor University. (In Persian, with English Abstract)
- International Seed Testing Association (ISTA). 2010.** Handbook of vigor test methods. 2nd International Seed Testing Association, Zurich, Switzerland.

- Kamkar B., O. Gorzin, N. Khalili, and M.H ghorbani. 2015.** Determination of temperature-related parameters and response ranges of *Corchorusolitorius* L.seeds and seedlings using nonlinear regression. J. Agric. 17(1): 217-228. (In Persian, with English Abstract)
- Khalili N., A. Soltani, E. Zeinali, and F. Ghaderifar. 2014.** Evaluation of nonlinear regression models to quantify barley germination rate response to temperature and water potential. J. Crop Prod. 7(4): 23-40. (In Persian, with English Abstract)
- Kheirkhah M. 2016.** Effects of combined deterioration (accelerated aging) and drought stress on seed germination and seedling growth of wheat. Third Conference on New Findings in the Environment and Agricultural Ecosystems. Tehran, Tehran University Institute for Renewable Energy and the Environment. (In Persian, with English Abstract)
- Kuznetsov, V.V., and N.I. Shevyakova.1997.** Stress responses of tobacco cells to high temperature and salinity. Proline accumulation and phosphorylation of polypeptides. *Physiol. Plantarum*. 100(2): 320-326.
- Masumi Zavariyan, A., M. Yousefirad, and M. Asghari. 2013.** The effect of drought stress on germination indicators and the amount of proline and catalase, in the the seed of milk thistle medicinal plant. First National Conference on Agricultural Science, Payame Noor University - West Azarbaijan – Naghdeh. (In Persian, with English Abstract)
- McDonald, M. 1999.** Seed deterioration: Physiology, repair and assessment. *Seed Sci. Technol.* 27(1): 177-237.
- Moradi, A., F. Sharifzadeh, R. Tavakol Afshar, and R. Maali Amiri. 2014.** Seed proteome analysis of tall wheatgrass under drought and low temperature conditions. *Iranian J. Field Crop Sci.* 44(3): 379-397. (In Persian, with English Abstract)
- Nourani Azad, H., and D. Chubineh. 2008.** Study of water stress on biomass, soluble sugars, proline, enzymes and ions in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Iranian J. Biol. Sci.* (2): 26-19. (In Persian, with English Abstract)
- Ostadian Bidgoli, R., H. Balouchi, E. Soltani, and A. Moradi. 2017.** Effects of temperature and water potential on seed germination characteristics in Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) Sofeh var. *Iranian J. Seed Sci. Technol.* 6(1): 11-22. (In Persian, with English Abstract)
- Patanè, C., A. Saita, A. Tubeileh, S.L. Cosentino, and V. Cavallaro. 2016.** Modeling seed germination of unprimed and primed seeds of sweet sorghum under PEG-induced water stress through the hydrotime analysis. *Acta Physiol. Plant.* 38(5): 115.
- Queiroz, R.J., and J.O. Cazetta. 2016.** Proline and trehalose in maize seeds germinating under low osmotic potentials. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.* 20(1): 22-28.
- Rajabi Khamseh, S., A.R. Danesh Shahraki, and M. Ghobadi Nia. 2015.** Effect of drought stress on germination and seedling growth of *Linum usitatissimum* L. The first international conference and the 4th National Conference on Plants of Judging and Sustainable Agriculture. Hamedan , Permanent Secretariat of the Conference. (In Persian, with English Abstract)
- Ranjbar, f., A.R. Kochaki, M. Nasiri mahalati, and N. Kamayestani. 2013.** Evaluation of germination and cardinal temperatures of *Foeniculumvulgar*. *J. Seed Res.* 3(3): 61-68. (In Persian)
- Shafii, B., and W.J. Price. 2001.** Estimation of cardinal temperatures in germination data analysis. *J. Agric. Bio. Environ. Statis.* 6(3): 356-366.
- Sohani, M.M. 2013.** Seed testing and control. University of Guilan. University of Guilan press. (In Persian)
- Soltani, M., A. Moradi, R. Tavakol Afshar, and H.R Balouchi. 2017.** Effect of different storage conditions on germination and some biochemical characteristics of castor bean (*Ricinus communis*) seed. *Iranian J. Field Crop Sci.* 48(1): 91-105. . (In Persian, with English Abstract)
- Soltani, A., and V. Madah. 2010.** Simple applications for agriculture education. Publication of the Association of Scientology of the University of Shahid Beheshti. . (In Persian)

