

تأثیر زوال بذر و پتانسیل آب بر شاخص‌های جوانه‌زنی و بیوشیمیایی بذر گیاه شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum*) در دماهای مختلف

حسن تیموری^۱، حمید رضا بلوچی^{۲*}، علی مرادی^۳، الیاس سلطانی^۴

چکیده مبسوط

مقدمه: جوانه‌زنی بذر از اولین مراحل مهم و پیچیده در چرخه زندگی گیاهان است و تحت تأثیر عوامل وراثتی و محیطی بسیاری قرار می‌گیرد. عوامل مختلفی در جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه تأثیرگذار هستند. از جمله این عوامل می‌توان به خصوصیات گیاه مادری (تغذیه، ژنتیک)، مرحله‌ی رسیدگی بذر در زمان برداشت و همچنین عوامل محیطی (دما، پتانسیل آب، تهویه و فشردگی خاک) اشاره کرد. بنیه بذر نیز به عنوان اولین جزء از کیفیت بذر تحت تأثیر زوال بذر در طی انبارداری کاهش می‌یابد. هدف از پژوهش حاضر بررسی واکنش جوانه‌زنی و بیوشیمیایی بذرهای زوال یافته گیاه شنبلیله در دماهای دمایی و رطوبتی مختلف می‌باشد.

مواد و روش‌ها: این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در آزمایشگاه علوم و تکنولوژی بذر دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج در سال ۱۳۹۵ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل بذرهای زوال یافته و بدون زوال در نه سطح دمایی (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد) و هفت سطح پتانسیل اسمزی (صفر، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸، ۱ و ۱/۲- مگاپاسکال) بود.

یافته‌ها: در این آزمایش اثر زوال بذر، پتانسیل آب و برهمکنش آن‌ها در هر محیط بر شاخص‌های جوانه‌زنی (درصد و سرعت جوانه‌زنی و شاخص بنیه گیاهچه) و بیوشیمیایی (قندمحلول، پرولین، پروتئین محلول و آنزیم کاتالاز) بذر گیاه شنبلیله معنی‌دار بود. نتایج نشان داد که در بذرهای زوال یافته مقادیر درصد و سرعت جوانه‌زنی و شاخص بنیه گیاهچه با کاهش پتانسیل اسمزی آب محیط در دماهای پایین‌تر و بالاتر از دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد، کاهش و مقادیر ترکیبات بیوشیمیایی بذر (قند محلول، پروتئین محلول، پرولین و آنزیم کاتالاز) نیز افزایش یافت.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی شاخص‌های جوانه‌زنی و بیوشیمیایی بذر گیاه شنبلیله به ترتیب نسبت به پتانسیل‌های آب، زوال بذر و دمای جوانه‌زنی بذر حساسیت نشان می‌دهد. در شرایط کاهش پتانسیل اسمزی آب، دمای جوانه‌زنی کمتر از ۲۰ درجه سانتی‌گراد منجر به افزایش مقاومت جوانه‌زنی بذر شنبلیله به پتانسیل منفی‌تر آب گردید.

واژه‌های کلیدی: بنیه بذر، پرولین، تنش خشکی، درصد جوانه‌زنی، قندمحلول، کاتالاز

جنبه‌های نوآوری:

- ۱- بررسی خصوصیات جوانه‌زنی و بیوشیمیایی بذرهای زوال‌یافته گیاه شنبلیله تحت سطوح مختلف پتانسیل اسمزی و دما
- ۲- در مناطقی با پتانسیل اسمزی منفی‌تر بهتر است بذر شنبلیله در شرایطی با دماهای پایین‌تر از دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد کشت گردد.

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و تکنولوژی بذر، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج

^۲ دانشجویار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج

^۳ استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج

^۴ استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران



CrossMark

* رایانامه نویسنده مسئول: balouchi@yu.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۱۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۱۵)

مقدمه

بذر به عنوان یکی از اصلی‌ترین بخش‌های گیاهان می‌باشد، که تا به امروز ضامن بقای گیاهان بوده است. بذرها واحدهای پراکنش فوق العاده‌ای هستند که در روند تکاملی گیاهان ایجاد شده‌اند (نونوگاکی^۱، ۲۰۰۶). جوانه‌زنی بذر از مهم‌ترین و پیچیده‌ترین مراحل چرخه زندگی گیاهان می‌باشد که تحت تأثیر عوامل ژنتیکی و محیطی قرار می‌گیرد. تاخیر و استقرار نامناسب گیاهچه از معضلات مهم در نواحی است که گیاهان با تنش‌های محیطی مانند تنش خشکی و دمای پایین مواجه هستند (میر و پندلتون^۲، ۲۰۰۰). عوامل مختلفی در جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه تأثیرگذار هستند از جمله این عوامل می‌توان به خصوصیات گیاه مادری (تغذیه، ژنتیک)، مرحله‌ی رسیدگی بذر در زمان برداشت، صدمات مکانیکی، پاتوژن‌ها (آفات و بیماری‌ها) و همچنین عوامل محیطی بستر کشت (دما، پتانسیل آب، تهویه و فشردگی خاک) اشاره کرد که جوانه‌زنی و طویل شدن و سبز شدن گیاهچه و در نتیجه نرخ مرگ و میر گیاهچه را تحت تأثیر قرار می‌دهند (فینچ ساویج^۳ و همکاران، ۲۰۰۴؛ بولی و بلک^۴، ۱۹۹۴).

مهم‌ترین عوامل محیطی تنظیم کننده جوانه‌زنی دما، آب و اکسیژن است (باسکین و باسکین^۵، ۲۰۰۱) و در شرایطی که اکسیژن محدود کننده جوانه‌زنی نیست، دما و رطوبت عمده‌ترین نقش را در کنترل جوانه‌زنی بذرها ایفا می‌نمایند (برادفورد^۶، ۲۰۰۲). در مطالعه‌ای که علوی^۷ و همکاران (۲۰۱۴) روی شاخص‌های جوانه‌زنی بذر گیاه علف مورچه در دماهای ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد انجام دادند، گزارش کردند که دما، درصد و سرعت جوانه‌زنی را تا دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد افزایش داده و سپس کاهش می‌دهد. رطوبت نیز از دیگر عوامل محیطی اثرگذار در جوانه‌زنی بذر گیاهان است و زمانی که جذب آب توسط بذر کاهش پیدا کند جوانه‌زنی ممکن است دچار تاخیر،

کاهش و یا مهار شود (هگارتی^۸، ۱۹۷۸). در مطالعه‌ای که روی اثرات دما و پتانسیل آب بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر گیاه برگ نقره‌ای توسط وانگ^۹ و همکاران (۲۰۰۶) انجام گرفت، گزارش شد که پتانسیل آب و دما بر درصد جوانه‌زنی تأثیر می‌گذارد، به خصوص در زمانی که پتانسیل آب کمتر از ۰/۵- مگاپاسکال و دما کمتر از ۵ درجه سانتی‌گراد باشد و حساسیت درصد جوانه‌زنی به تغییرات پتانسیل آب بیشتر از تغییرات دما می‌باشد.

تحت تأثیر زوال بذر در طی انبارداری به تدریج قوه نامیه و توانایی جوانه‌زنی کاهش می‌یابد (ورما^{۱۰} و همکاران، ۲۰۰۳). رحمان^{۱۱} و همکاران (۱۹۹۹) نیز بیان داشتند در شرایط زوال، بنیه بذر به عنوان اولین جزء از کیفیت بذر، روند کاهش دارد و به دنبال آن ظرفیت جوانه‌زنی و قوه‌نامیه نیز کاهش می‌یابد. رحمان و همکاران (۱۹۹۹) و بارسا^{۱۲} و همکاران (۲۰۰۳) نیز بیان داشتند که زوال به طور معنی‌داری جوانه‌زدن و سبز شدن بذر را کاهش می‌دهد. پس زوال بذر در طول دوره جوانه‌زنی منجر به تاخیر در سبز شدن و کندتر شدن سرعت رشد و نمو گیاهچه، کاهش مقاومت به تنش‌های محیطی و کاهش جوانه‌زنی می‌گردد. تحت تأثیر زوال اگر چه با از دست رفتن قابلیت حیات در برخی از نواحی بذر ممکن است بذر هنوز قادر به جوانه‌زنی باشد، ولی گیاهچه‌ی آن به واسطه‌ی عدم کارکرد نواحی زوال‌یافته، از نظر مورفولوژیکی غیر طبیعی است (قادری‌فر^{۱۳} و همکاران، ۲۰۱۴).

با پیشرفت زوال بذر، نفوذ پذیری انتخابی غشاهای سلولی از بین می‌روند و در نتیجه آن، مواد سیتوپلاسمی داخل سلول به فضاهای بین سلولی نشت پیدا می‌کنند و به دلیل هیدرولیز فسفولیپیدهای غشا و اکسیداسیون خود به خود آن‌ها غشا سلولی آسیب می‌بیند (قادری‌فر و همکاران، ۲۰۱۴). البته شرایط تنش (خشکی، دما و زوال) همان‌طور که بر ویژگی‌های فیزیولوژیک بذر موثر است، می‌تواند بر ساختار مورفولوژیک و ترکیبات بذر هم

⁸ Hegarty⁹ Wang¹⁰ Verma¹¹ Rehman¹² Barsa¹³ Qaderifar¹ Nonogaki² Meyer and Pendelton³ Finch-Savage⁴ Bewley and Black⁵ Baskin and Baskin⁶ Bradford⁷ Alavi

بذر شنبلیله مورد آزمایش از توده کاکان یاسوج و تولید سال ۱۳۹۵ بود. اعمال زوال بذر گیاه شنبلیله به روش پیری تسریع شده به مدت ۳۵ ساعت بر اساس نتایج پژوهش تیموری و بلوچی^۷ (۲۰۱۷) انجام شد. در هر محیط دمایی ابتدا بذرها با محلول هیپوکلریت سدیم (یک درصد) به مدت یک دقیقه ضدعفونی شده و سپس روی کاغذ صافی و درون پتری‌های ۹ سانتی‌متری کشت شدند. معیار برای جوانه‌زنی بذرها خروج ریشه‌چه به اندازه دو میلی‌متر بود. البته به دلیل طولانی بودن دوره کشت و در نتیجه آن کاهش مقدار آب درون پتری‌ها، مرطوب کردن مجدد بستر کشت در روز هفتم کشت به میزان ۵ میلی‌لیتر با محلولهای مورد نظر و تعویض کاغذ صافی انجام شد. در انتها برای بررسی شاخص‌های جوانه‌زنی پس از ۱۴ روز گیاهچه‌ها برای اندازه‌گیری طول و وزن از پتری‌ها خارج شدند. شاخص‌های جوانه‌زنی مورد مطالعه در این بخش شامل درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی (مگور^۸، ۱۹۶۲) و شاخص‌بنیه گیاهچه (عبدالباکی و اندرسون^۹، ۱۹۷۳) بود.

$$(n/N) \times 100 = \text{درصد جوانه‌زنی}$$
 که n: تعداد بذرهای جوانه‌زده و N: تعداد کل بذرها بود.

$$\sum \frac{ni}{ti} = \text{سرعت جوانه‌زنی}$$
 که ni: تعداد بذرهای جوانه‌زده در هر شمارش و ti: مدت زمان پس از شروع آزمایش تا هر بار شمارش بود.

$$(GP \times SS) / 100 = \text{شاخص بنیه گیاهچه}$$
 که SS: طول گیاهچه (میلی‌متر) و GP: درصد جوانه‌زنی بود.

اندازه‌گیری شاخص‌های بیوشیمیایی از بذر و در مرحله آب‌نوشی صورت گرفت. البته زمان انجام این اندازه‌گیری، بر اساس زمان خروج ریشه‌چه هر یک از تیمارها در محیط‌های دمایی مختلف در بخش اول آزمایش تعیین شد. اندازه‌گیری شاخص‌های بیوشیمیایی در این مطالعه برای قند محلول بذر با روش اریگوین^{۱۰} و همکاران (۱۹۹۲) و برای پرولین بذر با روش پاکوین و

مؤثر باشد. ترکیبات آنتی‌اکسیدانی همچون آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و همچنین محتوای قند محلول، پروتئین و پرولین از جمله ترکیباتی هست که در اثر وجود شرایط تنشی همچون زوال، خشکی و دما دچار تغییرات معنی‌دار خواهند شد (شعبان^۱، ۲۰۱۶، توکل افشاری^۲ و همکاران، ۲۰۰۷، زمانی^۳ و همکاران، ۲۰۱۰، اکرم قادری^۴ و همکاران، ۲۰۰۸).

گیاه شنبلیله با نام علمی *Trigonella foenum-graecum* L. از تیره نیامداران (Fabaceae) می‌باشد. بذرها و برگ‌های گیاه شنبلیله در کشورهای مختلف جهان جهت اهداف مختلف از جمله مصارف دارویی (ضد دیابت، کاهش قند و سطح کلسترول خون، ضد سرطان، ضد میکروب و غیره)، خوراکی، تهیه آفت‌کش‌ها، صنایع عطرسازی و غیره مصرف می‌شود (رویدا^۵، ۲۰۱۱). هدف از پژوهش حاضر بررسی واکنش جوانه‌زنی و بیوشیمیایی بذرهای زوال یافته گیاه شنبلیله در دامنه‌های دمایی و رطوبتی مختلف بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در آزمایشگاه علوم و تکنولوژی بذر گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج در سال ۱۳۹۵ و به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار ۳۰ بذری انجام شد. در این پژوهش دما به عنوان محیط و زوال بذر و پتانسیل آب به عنوان تیمار در نظر گرفته شدند. لذا ۹ آزمایش در محیط‌هایی با دمای ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد، که در هر محیط تیمارهای پتانسیل آب شامل هفت سطح (صفر، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸، ۱، ۱/۲ - مگاپاسکال) و زوال بذر در دو سطح (بدون زوال و بذرهای زوال یافته) به صورت فاکتوریل مورد بررسی قرار گرفت. همچنین برای ایجاد سطوح پتانسیل اسمزی آب از پلی‌اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ بر اساس رابطه (میشل و کافمن^۶، ۱۹۷۳) استفاده شد.

¹ Shaban

² Tavakol Afshari

³ Zamani

⁴ Akram Ghaderi

⁵ Ruveyda

⁶ Michel and Kaufmann

⁷ Teimori and Balouchi

⁸ Maguire

⁹ Abdul-Baki and Anderson

¹⁰ Irigoyen

اسپکتروفتومتر قرائت شد و غلظت پروتئین نمونه‌ها بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر بذری با استفاده از نمودار استاندارد آلبومین سرم گاوی (میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) محاسبه گردید.

در این آزمایش برای اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم کاتالاز بذری و تهیه مخلوط واکنش از روش ابی^۳ (۱۹۸۴) (۱۹۸۴) (با اندکی تغییر) استفاده شد، بدین صورت که از عصاره پروتئینی برای اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدان کاتالاز بذری استفاده گردید. در این اندازه‌گیری به ۳ میلی‌لیتر بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار با $\text{pH} = 7$ که حاوی آب اکسیژنه ۳۰ میلی‌مولار بود، ۱۰۰ میکرولیتر عصاره پروتئینی اضافه گردید و سپس در طول موج ۲۴۰ نانومتر در دستگاه اسپکتروفتومتر میزان کاهش جذب در مدت زمان ۳۰ ثانیه قرائت شد. در این اندازه‌گیری ضریب خاموشی برای آنزیم کاتالاز ۰/۰۳۹۴ بر میلی‌مول بر سانتی‌متر بود و در انتها مقادیر آنزیم کاتالاز بذرها بر حسب میلی‌مول بر گرم وزن تر بذری بر دقیقه محاسبه شد.

با توجه به این که هر سطح دمایی به عنوان یک محیط و آزمایش مستقل انجام گردید و با توجه به نتایج آزمون بارتلت و عدم تجانس واریانسها تجزیه مرکب صورت نگرفت. به منظور نرمال کردن داده‌های شاخص‌های جوانه‌زنی بذری تبدیل ریشه‌ای $x+1$ داده‌ها انجام شد و سپس تجزیه واریانس و محاسبات آماری داده‌های حاصل از بخش اول و دوم آزمایش با استفاده از نرم افزار آماری SAS 9.1 و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد و برای رسم نمودارها از نرم افزار Excel 2016 استفاده شد.

نتایج و بحث

درصد جوانه‌زنی بذری

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها برای درصد جوانه‌زنی بذرها گیاه شنبلیله نشان داد که اثر پتانسیل آب بر این شاخص در تمامی دماهای مورد آزمایش معنی‌دار بود، اثر زوال بذری و همچنین برهمکنش پتانسیل آب و زوال بذری تنها در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد معنی‌دار

لچاسور^۱ (۱۹۷۹) انجام شد، برای اندازه‌گیری قندهای محلول به میزان ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره الکلی هر نمونه برداشته و به داخل لوله‌های آزمایشی منتقل شد. در مرحله بعد به میزان ۳ میلی‌لیتر آنترون (۱۵۰ میلی‌گرم آنترون را در ۱۰۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۷۲ درصد مخلوط کرده و سپس به مدت زمان ۱۰ دقیقه در حمام آب جوش دستگاه بن ماری قرار گرفت. در انتها میزان جذب نمونه‌ها در طول موج ۶۲۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید و با توجه به نمودار استاندارد گلوکز (میلی‌گرم بر لیتر) مقادیر قندهای محلول نمونه‌ها بر اساس میلی‌گرم بر گرم وزن تر بذری محاسبه شد. برای اندازه‌گیری پرولین بذری نیز یک میلی‌لیتر عصاره الکلی را با ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر ترکیب شد و سپس به آن ۵ میلی‌لیتر نین هیدرین (به ازای هر نمونه ۰/۱۲۵ گرم نین هیدرین در ۲ میلی‌لیتر اسید فسفوریک ۶ مولار و ۳ میلی‌لیتر استیک اسید گلاسیال ۹۹/۹ درصد) اضافه گردید و به مدت زمان ۱۶ ساعت با استفاده از دستگاه همزن مگنت‌دار ترکیب شد و در مرحله بعد ۵ میلی‌لیتر استیک اسید گلاسیال به آن اضافه گردید و به مدت زمان ۴۵ دقیقه در حمام آب جوش دستگاه بن ماری قرار گرفت و پس از خنک شدن نمونه‌ها به هر کدام ۱۰ میلی‌لیتر بنزن اضافه و سپس به شدت تکان داده شد تا پرولین درون نمونه‌ها وارد فاز بنزن گردد. در نهایت میزان جذب فاز رویی نمونه‌ها در طول موج ۵۱۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد و با توجه به مقادیر استاندارد ال-پرولین (میکرومول بر میلی‌لیتر)، میزان پرولین نمونه‌ها بر اساس میکرومول بر گرم وزن تر بذری محاسبه شد.

برای اندازه‌گیری پروتئین بذری نیز از روش کار و میشر^۲ (۱۹۷۶) استفاده شد بدین صورت که در ابتدا با استفاده از بافر فسفات پتاسیم با $\text{pH} = 6.8$ استخراج عصاره پروتئینی انجام شد و سپس به ۱۰ میکرولیتر عصاره پروتئینی هر نمونه ۹۹۰ میکرولیتر محلول برادفورد داخل کووت اضافه گردید و پس از گذشت یک دقیقه زمان برای کامل شدن فرآیند واکنش جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۹۵ نانومتر در دستگاه

^۱ Paquin and Lechasseur

^۲ Kar and Mishra

^۳ Aebi

در مطالعه‌ای روی شاخص‌های جوانه‌زنی بذر گیاه کتان روغنی تحت پتانسیل‌های آب، گزارش کردند که با کاهش سطوح مختلف پتانسیل آب در شاخص درصد جوانه‌زنی بذرهای روند کاهشی مشاهده شد، به گونه‌ای که بیشترین مقدار اندازه‌گیری شده در تیمارهای شاهد و سطوح بالای پتانسیل آب و کم‌ترین آن‌ها در پتانسیل‌های پایین‌تر بود. بخشنده و غلامحسینی^۴ (۲۰۱۸) نیز در مطالعه‌ای روی واکنش جوانه‌زنی بذرهای گیاه سویا تحت شرایط زوال بذر و پتانسیل‌های مختلف آب، بیان داشتند که درصد جوانه‌زنی با افزایش زوال بذر (صفر تا ۷۲ ساعت) و همچنین کاهش پتانسیل آب (صفر تا ۰/۳۶ - مگاپاسکال) روند کاهشی دارد که با نتایج مشاهده شده در این پژوهش نیز مشابهت داشت.

سرعت جوانه‌زنی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها برای سرعت جوانه‌زنی بذرهای گیاه شنبلیله نشان داد که اثر پتانسیل آب در تمامی دماهای مورد آزمایش معنی‌دار می‌باشد. اثر زوال بذر و برهمکنش پتانسیل آب و زوال بذر نیز در دماهای ۵، ۱۰، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد معنی‌دار بود. در این آزمایش کاهش پتانسیل آب در محیط‌های دمایی ۱۵ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد سرعت جوانه‌زنی بذرهای گیاه شنبلیله را نسبت به پتانسیل صفر کاهش داد و به صفر رساند و بیشترین میزان سرعت جوانه‌زنی بذرهای در محیط‌های دمایی ۱۵ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد در پتانسیل آب صفر مگاپاسکال مشاهده شد و در محیط دمایی ۱۵ درجه سانتی‌گراد در پتانسیل‌های آب ۱- و ۱/۲- مگاپاسکال و در محیط دمایی ۳۵ درجه سانتی‌گراد از پتانسیل آب ۰/۴- تا ۱/۲- مگاپاسکال جوانه‌زنی مشاهده نشد (شکل ۲). نتایج این آزمایش نشان داد که زوال بذر در محیط‌دمایی ۱۵ درجه سانتی‌گراد سرعت جوانه‌زنی بذرهای گیاه شنبلیله را نسبت به سطح بدون زوال ۱۵/۶ درصد کاهش داد. همچنین بیشترین میزان سرعت جوانه‌زنی بذرهای در محیط‌دمایی ۱۵ درجه سانتی‌گراد در سطح بدون زوال ۰/۳۹۳ (جوانه‌زده در ساعت) مشاهده شد (شکل ۳).

بود (داده‌ها ارائه نشده است). نتایج مقایسه میانگین اثر پتانسیل آب برای درصد جوانه‌زنی بذر گیاه شنبلیله در محیط‌های دمایی ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد نشان داد که میزان درصد جوانه‌زنی بذرهای کاهش پتانسیل آب روند کاهشی دارد و بیشترین مقدار درصد جوانه‌زنی در محیط‌های دمایی ۵ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد در سطح صفر پتانسیل آب مشاهده شد. همچنین نتایج درصد جوانه‌زنی بذرهای در تمامی سطوح پتانسیل آب تحت تاثیر محیط‌های دمایی ۵ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد نشان داد، درصد جوانه‌زنی در خارج از محدوده‌ی دمای بهینه (۲۰ درجه سانتی‌گراد) روند کاهشی نشان داد (جدول ۱). نتایج این آزمایش نشان داد که تحت تاثیر کاهش پتانسیل آب و زوال بذر در محیط دمایی ۴۰ درجه سانتی‌گراد مقادیر درصد جوانه‌زنی بذرهای گیاه شنبلیله نسبت به پتانسیل آبی صفر کاهش می‌یابد و به صفر می‌رساند، بیشترین میزان درصد جوانه‌زنی (۱۱ درصد) در این دما در بذرهای بدون زوال و در پتانسیل‌های آب صفر و ۰/۲- مگاپاسکال مشاهده شد که در مقدار با یکدیگر تفاوت معنی‌داری نداشتند. همچنین در این محیط دمایی در بذرهای بدون زوال از پتانسیل ۰/۴- و در بذرهای زوال‌یافته از پتانسیل ۰/۲- مگاپاسکال تا سطوح بالاتر پتانسیل آب جوانه‌زنی مشاهده نشد (شکل ۱).

استادیان بیدگلی^۱ و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی روی شاخص‌های جوانه‌زنی بذر گیاه گلرنگ رقم صفه تحت تأثیر دما و پتانسیل‌های آب بیان داشتند که به طور کلی با کاهش پتانسیل آب و خارج شدن از محدوده‌ی دمای بهینه، درصد جوانه‌زنی بذرهای کاهش یافت. پس با توجه به کاهش میزان دسترسی به آب در سطوح پایین‌تر پتانسیل آبی ناشی از پلی‌اتیلن‌گلاکول فرآیند جذب آب توسط بذر کندتر شده و بذر گیاه شنبلیله مدت زمان بیشتری را برای رسیدن به پتانسیل پایه جهت جوانه‌زنی صرف می‌کند و در نهایت نیز هیدرولیز ماده اندوخته بذر کمتر می‌شود (پاتانه^۲ و همکاران، ۲۰۱۶). رجبی‌خمس^۳ و همکاران (۲۰۱۵) نیز

^۱ Ostadian bidgoly

^۲ Patane

^۳ Rajabi khamseh

^۴ Bakhshandeh and Gholamhossieni

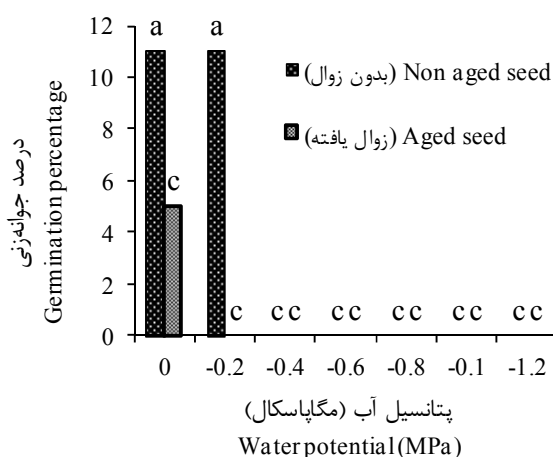
جدول ۱. مقایسه میانگین اثر پتانسیل آب، برای درصد جوانه‌زنی بذر گیاه شنبلیله در دماهای مورد آزمایش

Table 1. Mean comparison of the effect of water potential on germination percentage of Fenugreek at test temperatures

پتانسیل آب Water potential (MPa)	دما (°C) Temperature (°C)						
	5	10	15	20	25	30	35
0	99.5 ^a	98.5 ^a	99 ^a	100 ^a	100 ^a	96.5 ^a	61.5 ^a
-0.2	98.5 ^a	99 ^a	98 ^a	99 ^a	96.5 ^a	75.5 ^b	4.5 ^b
-0.4	98.5 ^a	96.5 ^a	99 ^a	95.5 ^a	10 ^b	0 ^c	0 ^c
-0.6	97.5 ^a	59 ^b	58 ^b	76 ^b	0.5 ^c	0 ^c	0 ^c
-0.8	58.5 ^b	35.5 ^c	8 ^c	0 ^c	0 ^c	0 ^c	0 ^c
-1	0 ^c	0 ^d	0 ^c	0 ^c	0 ^c	0 ^c	0 ^c
-1.2	0 ^c	0 ^d	0 ^c	0 ^c	0 ^c	0 ^c	0 ^c

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری را بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد نشان نمی‌دهند.

In each column, the same letters indicate no significant difference based on the LSD test at the 5% level.



شکل ۱. مقایسه میانگین برهمکنش پتانسیل آب و زوال بذر برای شاخص درصد جوانه‌زنی بذر گیاه شنبلیله در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد. حروف یکسان نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد می‌باشد.

Fig. 1. Mean comparison of interaction effect of water potential and seed aging on germination percentage of Fenugreek at 40 °C temperature. The same letters indicate no significant difference based on the LSD test at the 5% level.

محیط‌های دمایی بر میزان سرعت جوانه‌زنی تحت شرایط پتانسیل آب و زوال بذر مشاهده شد که با افزایش دما تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد سرعت جوانه‌زنی افزایش می‌یابد و سپس با افزایش دما از ۲۰ درجه سانتی‌گراد میزان سرعت جوانه‌زنی روندی کاهشی دارد. بیشترین میزان سرعت جوانه‌زنی در محیط‌های دمایی ۵، ۱۰، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد در بذرهای زوال‌یافته و بدون زوال در سطح صفر پتانسیل آب

نتایج مقایسه میانگین برهمکنش پتانسیل آب و زوال بذر، برای سرعت جوانه‌زنی بذر گیاه شنبلیله در دماهای ۵، ۱۰، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد (جدول ۲) نشان داد که با کاهش پتانسیل آب سرعت جوانه‌زنی بذر گیاه شنبلیله در هر دو دسته بذرهای زوال‌یافته و بدون زوال روند کاهشی داشت و به‌طور کلی این روند کاهشی سرعت جوانه‌زنی در بذرهای زوال‌یافته نسبت به بذرهای بدون زوال بیشتر بود. در بررسی اثر

داشتند که سرعت جوانه‌زنی با افزایش زوال بذر (صفر تا ۷۲ ساعت) و همچنین کاهش پتانسیل آب (صفر تا ۰/۳۶ - مگاپاسکال) روند کاهشی دارد و تاثیرپذیری شاخص سرعت جوانه‌زنی بذرها از پتانسیل‌های مختلف آب نسبت به شرایط زوال بذر بیشتر بود که با نتایج مشاهده شده در این پژوهش نیز مطابقت داشت.

شاخص بنیه گیاهچه

اثر پتانسیل آب و اثر زوال‌بذر بر شاخص بنیه گیاهچه در تمامی دماهای مورد آزمایش معنی‌دار بود. برهمکنش پتانسیل آب و زوال بذر نیز در تمامی دماهای مورد آزمایش به غیر از دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد معنی‌دار بود (داده‌ها ارائه نشده است). نتایج این آزمایش نشان داد که در محیط‌دمایی ۱۵ درجه سانتی‌گراد شاخص بنیه گیاهچه بذره‌های گیاه شنبلیله با افزایش پتانسیل آب روندی کاهشی دارد و بیشترین میزان این شاخص، در محیط‌دمایی ۱۵ درجه سانتی‌گراد، در پتانسیل آب صفر مگاپاسکال مشاهده می‌شود (شکل ۴). همچنین میزان شاخص بنیه گیاهچه در پتانسیل‌های آبی ۰/۲ - و ۰/۴ - مگاپاسکال در این محیط دمایی تفاوت معنی‌داری نداشتند (شکل ۴). نتایج این پژوهش نشان داد که در محیط‌دمایی ۱۵ درجه سانتی‌گراد شاخص بنیه گیاهچه شنبلیله با زوال بذر ۱۸ درصد نسبت به بدون زوال کاهش می‌یابد و بیشترین مقدار این شاخص در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد در بذره‌های بدون زوال می‌باشد که نشان‌دهنده تاثیرات کاهشی زوال بذر بر شاخص‌های جوانه‌زنی و بنیه بذر است (شکل ۴).

در این مطالعه با کاهش پتانسیل آب، شاخص بنیه گیاهچه شنبلیله در هر دو دسته بذره‌های زوال‌یافته و بدون زوال روند کاهشی معنی‌داری داشت و به‌طور کلی این روند کاهش شاخص بنیه گیاهچه، در بذره‌های زوال‌یافته نسبت به بذره‌های بدون زوال بیشتر بود. این کاهش شاخص بنیه گیاهچه در تمامی محیط‌های دمایی تحت تاثیر افزایش پتانسیل آب و زوال بذر به‌طوری بود که بیشترین میزان این شاخص در پتانسیل صفر و کمترین آن در پتانسیل‌های پایین مشاهده شد و روند این نتایج با تغییرات مقادیر شاخص درصد جوانه‌زنی

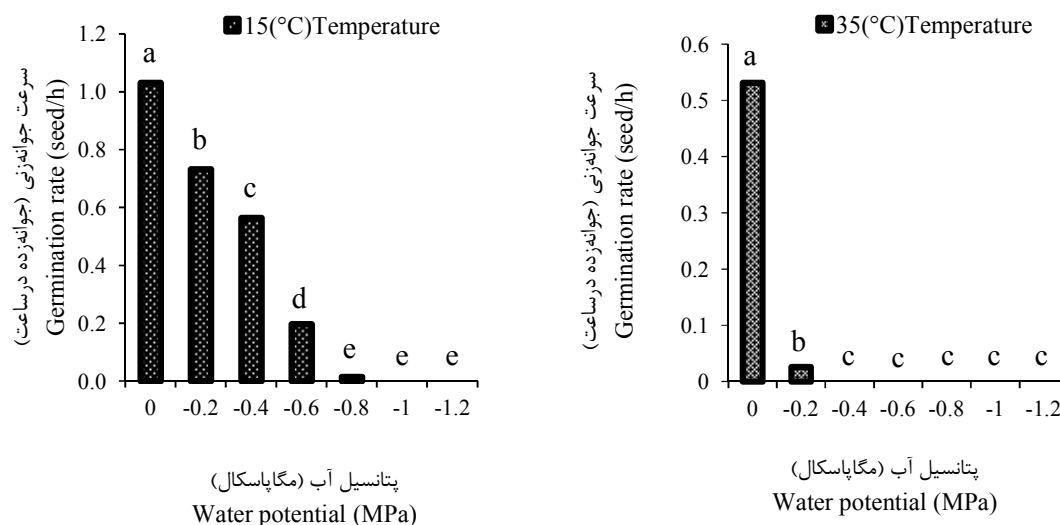
مشاهده شد. در بررسی برهمکنش پتانسیل آب و زوال بذر در دماهای مختلف بر شاخص درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر نیز مشاهده شد که حساسیت شاخص سرعت جوانه‌زنی نسبت به پتانسیل آب و زوال بذر نسبت به درصد جوانه‌زنی بیشتر بود به‌طوری که در شاخص درصد جوانه‌زنی، تحت تاثیر برهمکنش زوال بذر و سطوح پتانسیل آب در دماهای ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید. اما در شاخص سرعت جوانه‌زنی این تفاوت در تمامی دماها به جز دمای ۱۵ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد معنی‌دار بود.

سلطانی^۱ و همکاران (۲۰۰۶) بیان داشتند که سرعت جوانه‌زنی نسبت به درصد جوانه‌زنی شاخص حساس‌تری به دما می‌باشد. واکنش متفاوت مرحله جوانه‌زنی به دماهای مختلف به این دلیل است که با افزایش دما تا دمای مطلوب، فعالیت آنزیم‌ها و به تبع آن کارایی واکنش‌های آنزیمی افزایش می‌یابد که این امر بهبود درصد و سرعت جوانه‌زنی را به دنبال دارد. از طرف دیگر، دماهای خیلی کم و زیاد نیز موجب غیر فعال شدن برخی آنزیم‌ها و کاهش سرعت این واکنش‌ها و در نتیجه کاهش درصد جوانه‌زنی می‌شود. در دماهای پایین، فعالیت متابولیکی به طور نسبی کاهش می‌یابد و واکنش‌های گیاهی نمی‌توانند در گیاه انجام گیرند، از طرف دیگر دماهای زیاد برای مدت زمان طولانی باعث تخریب پروتئین‌ها و در نهایت از بین رفتن بذر می‌شوند (کامکار^۲ و همکاران، ۲۰۱۲). انعقاد پروتئین و اختلال در کار غشاها از جمله عواملی است که باعث کاهش سرعت جوانه‌زنی بذرها در دماهای بیشتر از دمای مطلوب می‌شود.

در پژوهشی بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر گیاه گلرنگ رقم صفه تحت تاثیر دما و پتانسیل‌های آب توسط استادیان‌بیدگلی و همکاران (۲۰۱۷) گزارش شد که به طور کلی سرعت جوانه‌زنی با خارج شدن از محدوده دمای بهینه و کاهش پتانسیل آب روند کاهشی دارد. بخشنده و غلامحسینی (۲۰۱۸) نیز در مطالعه‌ای روی واکنش جوانه‌زنی بذره‌های گیاه سویا تحت شرایط زوال بذر و پتانسیل‌های مختلف آب بیان

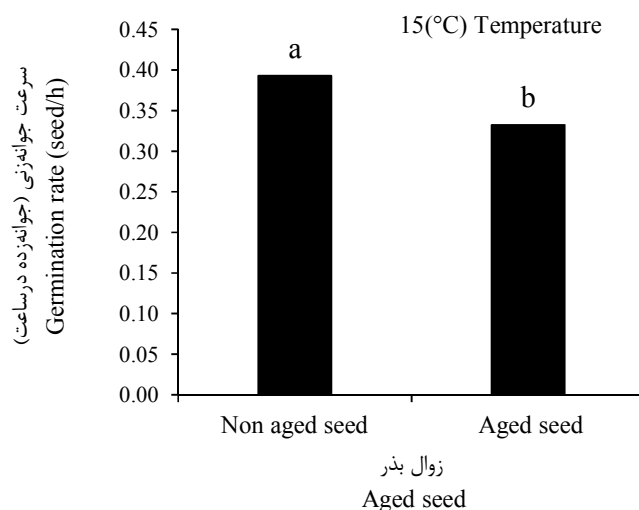
^۱ Soltani

^۲ Kamkar



شکل ۲. اثر پتانسیل آب برای سرعت جوانه‌زنی بذر گیاه شنبلیله در دماهای ۱۵ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد. در هر یک از نمودارهای این شکل حروف یکسان نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد می‌باشد.

Fig. 2. The Effect of Water potential on germination rate of Fenugreek at 15 and 35 °C temperatures. In each section of this figure, the same letters indicate no significant difference based on the LSD test at the 5% level.



شکل ۳. اثر زوال بذر برای سرعت جوانه‌زنی بذر گیاه شنبلیله در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد. حروف یکسان نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد می‌باشد.

Fig. 3. The Effect of seed aging on germination rate of Fenugreek at 15 °C temperature. The same letters indicate no significant difference based on the LSD test at the 5% level.

به دلیل تخریب ساختارهای غشا سلول (هیدرولیز فسفولیپیدها و پروتئین‌های غشا) و تجزیه آنزیم‌ها و ترکیبات حیاتی بذر و کاهش میزان جوانه‌زنی بذر می‌باشد (قادری‌فر و همکاران، ۲۰۱۴). استادیان‌بیدگلی و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای روی بذر گیاه گلرنگ رقم صفه بیان داشتند که بین طول گیاهچه و زمان

بذرهما مطابقت داشت. کاهش بنیه گیاهچه تحت تاثیر پتانسیل آب به علت کاهش دسترس به آب می‌باشد که موجب می‌شود تا فعالیت آنزیم‌ها در انتقال اندوخته‌های ذخایر آندوسپرم برای رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه بذر با اختلال روبرو شود و همچنین میزان جوانه‌زنی نیز کاهش یابد. کاهش بنیه گیاهچه تحت تاثیر زوال بذر نیز

شروع جوانه‌زنی بذر گیاه گلرنگ یک همبستگی مثبت
وجود دارد و افزایش دما تا دمای مطلوب جوانه‌زنی (از
دمای ۵ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد) طول گیاهچه گلرنگ را
افزایش داد و سپس با افزایش دما (۳۵-۴۵ درجه

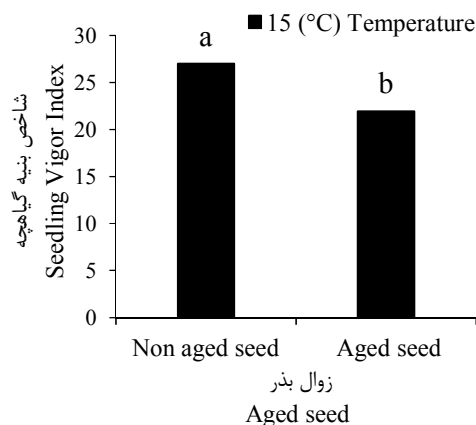
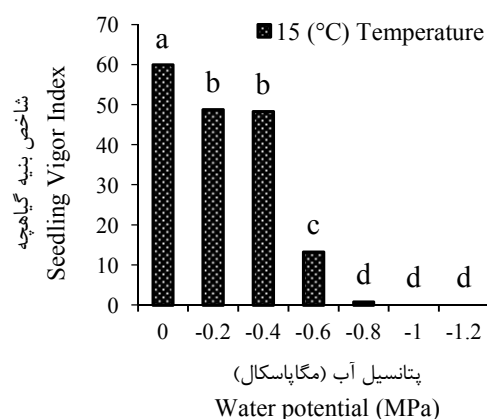
جدول ۲. مقایسه میانگین برهمکنش پتانسیل آب و زوال بذر، برای سرعت جوانه‌زنی (جوانه‌زده در ساعت) بذر گیاه شنبلیله در دماهای مورد
آزمایش

Table 2. Mean comparison of interaction effect of water potential and seed aging on germination rate (seed/h) of Fenugreek at experimental temperatures

زوال بذر Seed aging	پتانسیل آب Water potential (MPa)	دما (°C) Temperature (°C)					
		5	10	20	25	30	40
بدون زوال Non aged	0	0.380 ^a	0.838 ^a	1.607 ^a	1.508 ^a	1.031 ^a	0.084 ^a
	-0.2	0.325 ^b	0.670 ^{bc}	1.107 ^c	0.886 ^c	0.289 ^c	0.084 ^a
	-0.4	0.205 ^d	0.452 ^d	0.712 ^e	0.048 ^e	0 ^d	0 ^c
	-0.6	0.140 ^e	0.255 ^e	0.171 ^g	0.004 ^e	0 ^d	0 ^c
	-0.8	0.049 ^f	0.039 ^{fg}	0 ^h	0 ^e	0 ^d	0 ^c
	-1	0 ^g	0 ^g	0 ^h	0 ^e	0 ^d	0 ^c
	-1.2	0 ^g	0 ^g	0 ^h	0 ^e	0 ^d	0 ^c
	0	0.314 ^b	0.731 ^b	1.456 ^b	1.257 ^b	0.848 ^b	0.023 ^b
زوال یافته Aged	-0.2	0.233 ^c	0.614 ^c	0.974 ^d	0.666 ^d	0.313 ^c	0 ^c
	-0.4	0.197 ^d	0.420 ^d	0.554 ^f	0.034 ^e	0 ^d	0 ^c
	-0.6	0.135 ^e	0.087 ^f	0.142 ^g	0 ^e	0 ^d	0 ^c
	-0.8	0.059 ^f	0.046 ^{fg}	0 ^h	0 ^e	0 ^d	0 ^c
	-1	0 ^g	0 ^g	0 ^h	0 ^e	0 ^d	0 ^c
	-1.2	0 ^g	0 ^g	0 ^h	0 ^e	0 ^d	0 ^c
	0	0.314 ^b	0.731 ^b	1.456 ^b	1.257 ^b	0.848 ^b	0.023 ^b
	-0.2	0.233 ^c	0.614 ^c	0.974 ^d	0.666 ^d	0.313 ^c	0 ^c

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری را بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد نشان نمی‌دهند.

In each column, the same letters indicate no significant difference based on the LSD test at the 5% level.



شکل ۴. اثر پتانسیل آب و زوال بذر بر شاخص بنیه گیاهچه بذر گیاه شنبلیله در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد. در هر یک از نمودارهای این شکل حروف یکسان نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد می‌باشد.

Fig. 4. The effect of water potential and seed aging on seedling vigor index of Fenugreek at 15 °C temperature. In each section of this figure, the same letters indicate no significant difference based on the LSD test at the 5% level.

سانتی‌گراد) مقادیر این شاخص کاهش پیدا کرد. همچنین ایشان در بررسی اثر پتانسیل‌های مختلف رطوبتی روی بذر گیاه گلرنگ گزارش کردند که با کاهش پتانسیل آب شاخص‌های طول و وزن گیاهچه کاهش یافت.

بلدی^۱ و همکاران (۲۰۱۶) نیز در بررسی اثر توام دما و رطوبت بر شاخص‌های جوانه‌زنی و بنیه بذر گیاه کتان روغنی در شرایط زوال نشان دادند که افزایش دما و درصد رطوبت در شرایط زوال، شاخص‌های جوانه‌زنی و بنیه گیاهچه را کاهش می‌دهد. رسام^۲ و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه‌ای روی شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه بذر ارقام آفتابگردان در شرایط زوال بیان داشتند با افزایش زوال درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه و وزن خشک گیاهچه با کاهش مواجه شد. در پژوهشی دیگر روی شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه سه رقم کلزا در شرایط پیری تسریع شده (زوال) توسط بلوچی^۳ و همکاران (۲۰۱۳) نیز بیان شد زوال بذری اثر معنی‌داری بر شاخص‌های جوانه‌زنی و بنیه گیاهچه دارد و به‌طور کلی افزایش زوال بذری کاهش میزان درصد و سرعت جوانه‌زنی و همچنین بنیه طولی و وزنی گیاهچه ارقام کلزا را در پی دارد.

پاتانه و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای روی بذری گیاه سورگوم شیرین تحت شرایط دما و پتانسیل آب گزارش کردند که به‌طور کلی با کاهش زمان شروع جوانه‌زنی شاخص‌های طولی و وزنی گیاهچه افزایش می‌یابد که در نتایج این آزمایش نیز بیشترین کاهش زمان شروع جوانه‌زنی و بیشترین میزان شاخص طولی و وزنی گیاهچه به‌طور هم‌زمان در محدوده‌ی دمای مطلوب مشاهده شد. گراندی^۴ و همکاران (۲۰۰۰) نیز در پژوهشی روی بذری گیاه گندمک تحت تأثیر دما و پتانسیل آب گزارش کردند که با کاهش پتانسیل آب در کلیه دماها شاخص‌های طولی و وزنی بنیه گیاهچه بذری گیاه گندمک کاهش پیدا کرد. همچنین در مطالعه‌ای روی اثرات دما و پتانسیل آب بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذری گیاه برگ نقره‌ای توسط وانگ و همکاران

(۲۰۰۶) بیان شد که افزایش پتانسیل آب و دما بر شاخص‌های جوانه‌زنی و بنیه گیاهچه تأثیر کاهشی دارد. در آزمایشی روی شاخص‌های جوانه‌زنی و بنیه گیاهچه بذری چهل ژنوتیپ گیاه پنبه تحت شرایط تنش خشکی توسط گالشی^۵ و همکاران (۲۰۰۷) با کاهش دسترسی به آب توسط بذری وزن گیاهچه پنبه کاهش یافت.

محتوای قندهای محلول بذری

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به قند محلول بذری گیاه شنبليله نشان داد که اثر پتانسیل آب و زوال بذری بر این شاخص در تمامی دماهای مورد آزمایش معنی‌دار بود. همچنین برهمکنش پتانسیل آب و زوال بذری در تمامی دماهای مورد آزمایش به غیر از دماهای ۲۵، ۳۵ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد معنی‌دار بود (داده‌ها ارائه نشده است).

نتایج این آزمایش نشان داد که در محیط‌های دمایی ۲۵، ۳۵ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد میزان قند محلول بذری گیاه شنبليله با کاهش پتانسیل آب (کاهش دسترسی به آب)، روندی افزایشی دارد، اگر چه در محیط دمایی ۳۵ درجه سانتی‌گراد میزان قند محلول بذری در سطوح پتانسیل آب ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۶ - مگاپاسکال با یکدیگر تفاوت معنی‌داری نداشت، ولی به‌طور کلی بیشترین و کمترین میزان قند محلول در محیط‌های دمایی ۲۵، ۳۵ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد به ترتیب در پتانسیل‌های ۱/۲ - و صفر مگاپاسکال مشاهده شد. بر اساس نتایج همچنین مشاهده گردید افزایش دما بر میزان قند محلول بذری تأثیرگذار بوده و در دمای ۳۵ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد نسبت به دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در تمامی سطوح پتانسیل آب با افزایش دما، میزان قندهای محلول بذری افزایش یافت (شکل ۵).

نتایج این پژوهش نشان داد که در محیط‌های دمایی ۲۵، ۳۵ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد میزان قند محلول بذری گیاه شنبليله تحت تأثیر زوال بذری به ترتیب ۴/۲۶، ۳/۱۹ و ۳/۱۷ درصد افزایش می‌یابد و بیشترین مقدار این شاخص در دمای ۲۵، ۳۵ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد در بذری زوال‌یافته به ترتیب ۲۶/۹۹، ۲۹/۱۹ و ۳۱/۲۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بذری مشاهده

¹ Baladi

² Ressam

³ Balouchi

⁴ Grundy

⁵ Gallashi

جدول ۳. مقایسه میانگین برهمکنش پتانسیل آب و زوال بذر، برای شاخص بنیه گیاهچه بذر گیاه شنبلیله در دماهای مورد آزمایش.

Table 3. Mean comparison of interaction effect of water potential and seed aging on seedling index of Fenugreek seed at experimental temperatures

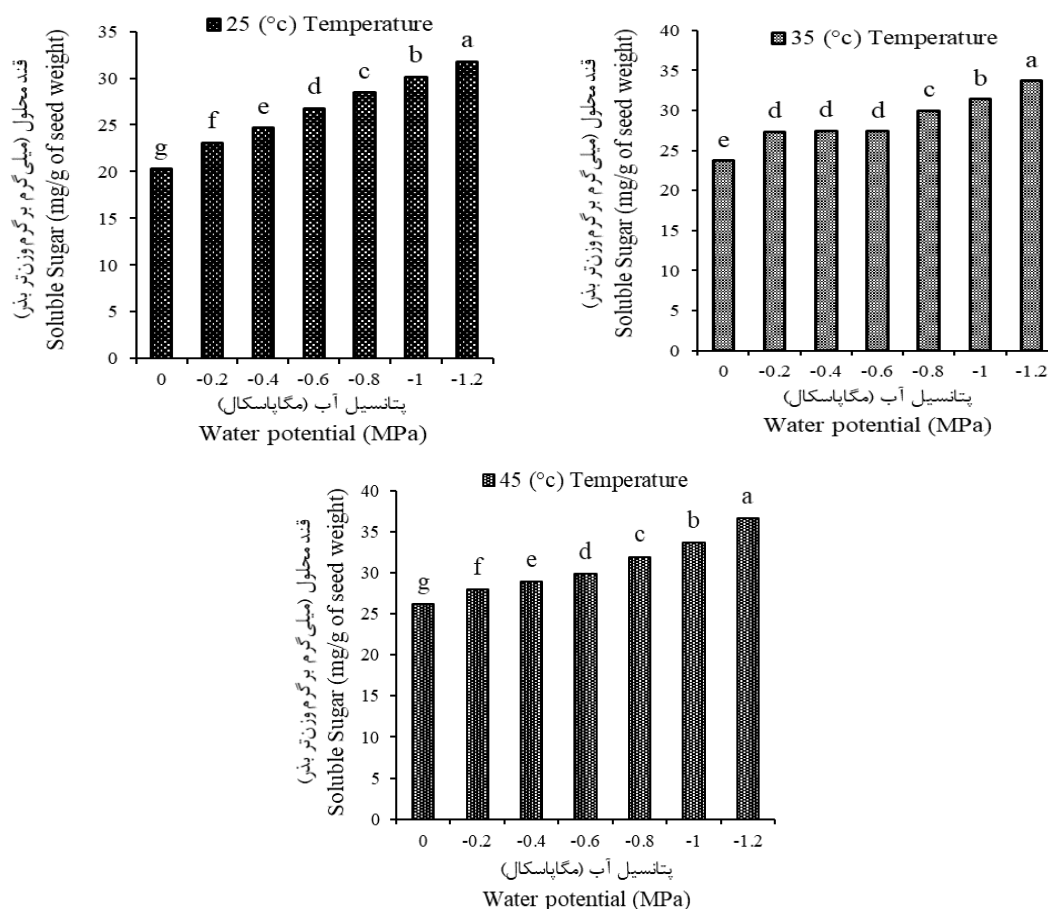
زوال بذر Seed aging	پتانسیل آب Water potential (MPa)	دما (°C) Temperature (°C)						
		5	10	20	25	30	35	40
بدون زوال Non aged	0	57.90 ^a	59.77 ^a	59.37 ^a	33.80 ^a	25.96 ^a	10.49 ^a	1.10 ^a
	-0.2	41.31 ^d	44.9 ^c	44.3 ^c	24.35 ^b	13.19 ^c	0.48 ^c	0.44 ^b
	-0.4	49.21 ^c	50.68 ^b	46.95 ^c	1.05 ^d	0 ^e	0 ^e	0 ^d
	-0.6	24.73 ^g	27.57 ^d	17.73 ^e	0.08 ^d	0 ^e	0 ^e	0 ^d
	-0.8	4.71 ⁱ	5.686 ^e	0 ^g	0 ^d	0 ^e	0 ^e	0 ^d
	-1	0 ^j	0 ^f	0 ^g	0 ^d	0 ^e	0 ^e	0 ^d
	-1.2	0 ^j	0 ^f	0 ^g	0 ^d	0 ^e	0 ^e	0 ^d
زوال یافته Aged	0	54.03 ^b	56.70 ^a	52.65 ^b	25.97 ^b	16.81 ^b	7.29 ^b	0.26 ^c
	-0.2	36.15 ^e	43.88 ^c	36.20 ^d	18.87 ^c	10.85 ^d	0.43 ^c	0 ^d
	-0.4	33.13 ^f	40.24 ^c	33.13 ^d	0.3 ^d	0 ^e	0 ^e	0 ^d
	-0.6	11.86 ^h	5.944 ^e	5.92 ^f	0 ^d	0 ^e	0 ^e	0 ^d
	-0.8	3.74 ⁱ	4.45 ^{ef}	0 ^g	0 ^d	0 ^e	0 ^e	0 ^d
	-1	0 ^j	0 ^f	0 ^g	0 ^d	0 ^e	0 ^e	0 ^d
	-1.2	0 ^j	0 ^f	0 ^g	0 ^d	0 ^e	0 ^e	0 ^d

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری را بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد نشان نمی‌دهند.

In each column, the same letters indicate no significant difference based on the LSD test at the 5% level.

مشاهده شد. البته محیط‌های دمایی نیز بر مقادیر قند محلول بذر در این مطالعه تاثیرگذار بودند و مشاهده شد که به‌طور کلی با افزایش دما میزان قند محلول بذر روند افزایشی دارد که نشان‌دهنده اثرات افزایش دما در بیشتر شدن فعالیت آنزیم‌های هیدرولیز کننده اندوخته غذایی بذر است (جدول ۴). در شرایط کاهش پتانسیل آب یکسری فرآیندهای بیوشیمیایی که شامل کم شدن سیالیت نشاسته از بافت‌های ذخیره‌ای بذر به بافت‌های در حال رشد در شرایط کاهش پتانسیل آب می‌باشد، باعث کاهش جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه می‌شود. بدین صورت که کاهش پتانسیل آب، محتوای نشاسته‌ای در بافت‌های ذخیره‌ای را افزایش داده و با اختلال در لایه آلئورون بذر فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز را کاهش می‌دهد، البته اختلال در فعالیت آنزیم آلفا-آمیلاز می‌تواند ناشی از کاهش تبدیل نشاسته به گلوکز و ساکارز در بافت‌های در حال رشد باشد. رشد سلول‌های در حال تقسیم در بافت جنینی زمانی که ساکارز در دسترس کمتری

شد. البته محیط‌های دمایی نیز در میزان قند محلول بذر تاثیرگذار بود و مشاهده شد در محیط دمایی ۳۵ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد نسبت به دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در هر دو دسته بذرهای زوال‌یافته و بدون زوال، با افزایش دما میزان قند محلول بذر افزایش می‌یابد (شکل ۶). نتایج مقایسه میانگین برهمکنش پتانسیل آب و زوال بذر بر میزان قند محلول بذر گیاه شنبلیله در دماهای ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد نشان داد که قند محلول بذر با کاهش پتانسیل آب در هر دو دسته بذرهای زوال‌یافته و بدون زوال روند افزایشی معنی‌داری داشت و به‌طور کلی این روند افزایش قند محلول، در بذرهای زوال‌یافته نسبت به بذرهای بدون زوال بیشتر بود، همچنین افزایش قند محلول بذر در تمامی محیط‌های دمایی تحت تاثیر کاهش پتانسیل آب و زوال بذر به‌طوری بود که بیشترین میزان قند محلول در پتانسیل‌های پایین و کمترین آن‌ها در پتانسیل آب صفر و سطوح بالای پتانسیل آب



شکل ۵. اثر پتانسیل آب بر میزان قند محلول بذر گیاه شنبليله در دماهای ۲۵، ۳۵ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد. در هر یک از نمودارهای این شکل حروف یکسان نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد می‌باشد.

Fig. 5. The effect of water potential on soluble sugar of Fenugreek at 25, 35, and 45 °C temperatures. In each section of this figure, the same letters indicate no significant difference based on the LSD test at the 5% level.

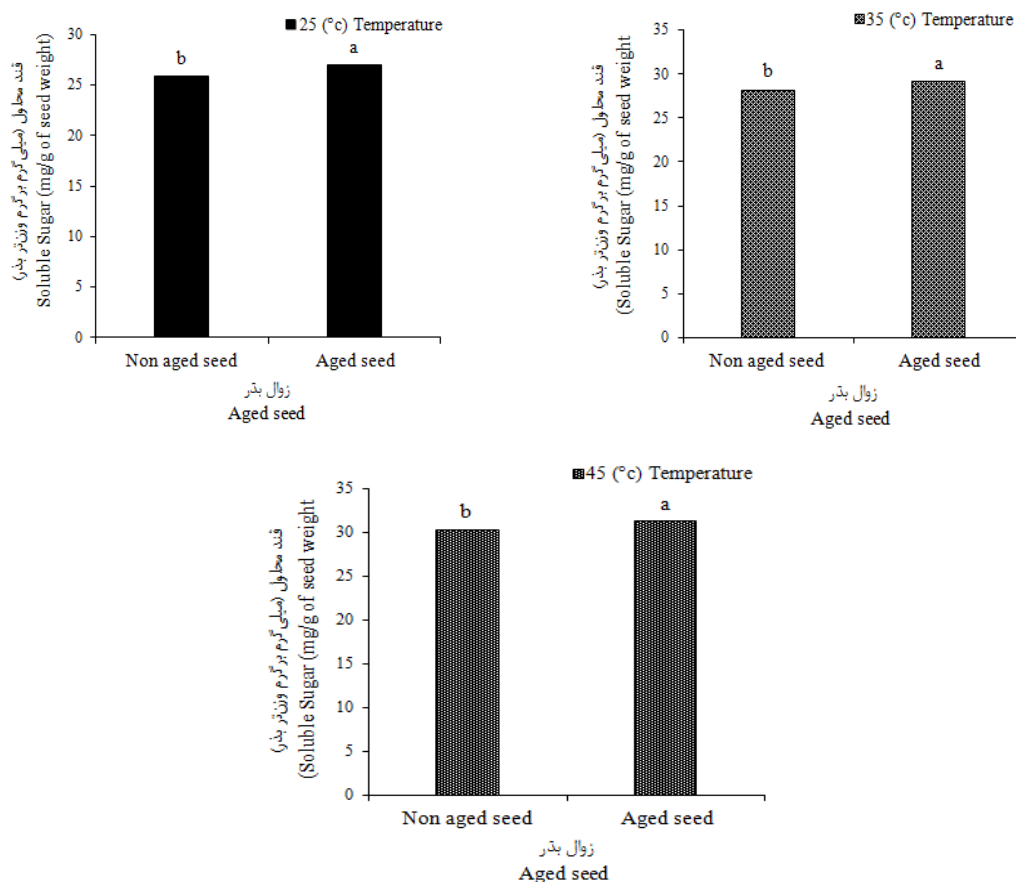
آمادوری-مایلارد را تحریک کرده که نتیجه آن تخریب پروتئین‌ها و آنزیم‌های حیاتی برای جوانه‌زنی بذر و در نهایت کاهش کیفیت و میزان جوانه‌زنی بذر و تولید گیاهچه‌های طبیعی است. همچنین در مطالعه‌ای در شرایط زوال بذر روی شاخص‌های بیوشیمیایی بذر برنج توسط غلامی تیله‌بنی^۳ و همکاران (۲۰۱۰) گزارش شد که مقادیر قندهای محلول و پروتئین بذر تحت تاثیر زوال بذر افزایش می‌یابد.

داشته باشند، کاهش پیدا می‌کند و در نهایت این اختلال به صورت کاهش سرعت جوانه‌زنی و رشد گیاهچه مشاهده می‌شود (نونوگاکي، ۲۰۰۶). در پژوهشی روی شاخص‌های بیوشیمیایی بذر ذرت در شرایط تنش خشکی و تنش شوری توسط رازانی^۱ و همکاران (۲۰۱۶) قندهای محلول بذر ذرت با افزایش تنش خشکی و شوری، افزایش یافت. در بررسی رمضان‌زاده سرستی^۲ (۲۰۱۱) روی شاخص‌های بیوشیمیایی بذر گیاه پنبه در شرایط زوال بذر گزارش کرد که با اضمحلال لیپیدهای بذر و تولید پیش‌ماده مسیر گلوکونوژنز تحت تاثیر شرایط زوال بذر، قندها در بذر تجمع می‌یابند که این امر واکنش‌های مخرب

¹ Razani

² Ramezanzadeh Sarasti

³ Qolami Tilebani



شکل ۶. اثر زوال بذر بر میزان قند محلول بذر گیاه شنبلیله در دماهای ۲۵، ۳۵ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد. در هر یک از نمودارهای این شکل حروف یکسان نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد می‌باشد.

Fig. 6. The effect of seed aging on soluble sugar of Fenugreek at 25, 35, and 45 °C temperatures. In each section of this figure, the same letters indicate no significant difference based on the LSD test at the 5% level.

همچنین داده‌های مربوط به میزان پرولین بذرهای گیاه شنبلیله تحت تاثیر زوال بذر در محیط‌های دمایی ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد، نشان داد که با زوال بذر میزان پرولین در بذرهای افزایش یافت و بیشترین مقدار این شاخص در بذرهای زوال‌یافته مشاهده شد.

البته بر اساس نتایج مشاهده شد محیط‌های دمایی نیز در میزان پرولین بذر تاثیرگذار است و از محیط دمایی ۵ درجه سانتی‌گراد تا تقریباً کمی بعد از محدوده‌ی دمای مطلوب (دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد) یعنی دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد میزان پرولین بذر روند افزایشی و سپس با افزایش دما، روندی کاهشی داشت که نشان‌دهنده تاثیرات مخرب دماهای بالا در تخریب ساختمان ترکیبات پروتئینی (اسید آمینه‌ها) مانند

پرولین بذر

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به پرولین بذر گیاه شنبلیله نشان داد که اثر پتانسیل آب و زوال بذر بر این شاخص در تمامی دماهای مورد آزمایش معنی‌دار بود ولی برهمکنش پتانسیل آب و زوال بذر در دماهای مورد آزمایش معنی‌دار نبود (داده‌ها ارائه نشده است). نتایج این آزمایش (جدول ۵) نشان داد که در محیط‌های دمایی ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد میزان پرولین بذرهای گیاه شنبلیله با کاهش پتانسیل آب (کاهش دسترسی به آب)، روند افزایشی داشت. بیشترین و کمترین میزان این شاخص نیز در محیط‌های دمایی ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد به ترتیب در پتانسیل‌های ۱/۲- و صفر مگاپاسکال مشاهده شد.

تیموری و همکاران: تأثیر زوال بذر و پتانسیل آب بر شاخص‌های جوانه‌زنی و بیوشیمیایی بذر گیاه شنبلیله...

جدول ۴. مقایسه میانگین برهمکنش پتانسیل آب و زوال بذر، بر میزان قند محلول بذر (میلی گرم بر گرم وزن تر بذر) گیاه شنبلیله در دماهای مورد آزمایش.

Table 4. Mean comparison of interaction effect of water potential and seed aging on sugar soluble (mg/g seed weight) of Fenugreek seed at experimental temperatures

زوال بذر Seed aging	پتانسیل آب Water potential (MPa)	دما (°C) Temperature					
		5	10	15	20	30	40
بدون زوال Non aged	0	15.16 ⁱ	16.4 ^k	18.33 ^h	19.23 ⁱ	23.5 ^h	25.1 ^g
	-0.2	16.73 ^h	18.5 ^j	19.43 ^g	22.03 ^h	25.53 ^g	26.43 ^f
	-0.4	18.16 ^g	18.6 ^j	20.56 ^f	24.26 ^{fg}	26.63 ^f	28.83 ^e
	-0.6	19.66 ^f	21.7 ^g	22.16 ^e	24.96 ^{efg}	28.06 ^e	30.33 ^d
	-0.8	21.13 ^e	23.56 ^{ef}	23.03 ^e	25.83 ^{de}	26.6 ^{fg}	30.63 ^d
	-1	22.76 ^d	25.03 ^{cd}	25.6 ^c	26.93 ^c	31.23 ^{bc}	32.16 ^c
	-1.2	25.36 ^b	26.53 ^b	27.46 ^b	29.56 ^b	30.3 ^{cd}	32.53 ^c
	0	16.63 ^h	17 ^k	19.53 ^g	20.06 ⁱ	24.03 ^h	24.9 ^g
زوال یافته Aged	-0.2	18.43 ^g	19.56 ⁱ	20.13 ^{fg}	24.03 ^g	26 ^{fg}	28.8 ^e
	-0.4	19.53 ^f	20.7 ^h	21.03 ^f	25.13 ^{ef}	26.76 ^f	29.2 ^e
	-0.6	21.76 ^e	22.73 ^f	24.03 ^d	27 ^c	28.73 ^e	31 ^d
	-0.8	23.8 ^c	24.4 ^{de}	24.23 ^d	26.33 ^{cd}	29.9 ^d	32.26 ^c
	-1	25.73 ^b	25.5 ^c	26.83 ^b	29.33 ^b	32.16 ^b	35.23 ^b
	-1.2	28.33 ^a	30.43 ^a	30.96 ^a	32.5 ^a	34.53 ^a	36.26 ^a

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری را بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد نشان نمی‌دهند.

In each column, the same letters indicate no significant difference based on the LSD test at the 5% level.

جدول ۵. مقایسه میانگین برهمکنش پتانسیل آب و زوال بذر، بر میزان پرولین بذر (میکرومول بر گرم وزن تر بذر) گیاه شنبلیله در دماهای مورد آزمایش.

Table 5. Mean comparison of interaction effect of water potential and seed aging on proline ($\mu\text{mol/g}$ seed weight) of Fenugreek seed at experimental temperatures

تیمار Treatment		Temperature (°C) دما								
		5	10	15	20	25	30	35	40	45
پتانسیل آب Water potential (MPa)	0	0.8635 ^e	1.087 ^e	1.240 ^d	1.573 ^e	1.662 ^e	2.104 ^e	1.950 ^e	1.841 ^d	1.796 ^d
	-0.2	1.131 ^d	1.310 ^e	1.419 ^d	1.886 ^d	1.990 ^d	2.297 ^{de}	2.07 ^e	2.109 ^c	2.109 ^c
	-0.4	1.488 ^c	1.623 ^d	1.702 ^c	2.094 ^{cd}	2.228 ^{cd}	2.521 ^{cd}	2.397 ^d	2.169 ^c	2.198 ^c
	-0.6	1.802 ^b	1.985 ^c	2.030 ^b	2.318 ^c	2.377 ^c	2.715 ^{bc}	2.456 ^{cd}	2.511 ^b	2.58 ^b
	-0.8	1.965 ^b	2.104 ^{bc}	2.223 ^b	2.362 ^{bc}	2.660 ^b	2.819 ^b	2.71 ^{bc}	2.466 ^b	2.72 ^b
	-1	2.322 ^a	2.402 ^{ab}	2.521 ^a	2.630 ^b	2.854 ^{ab}	3.132 ^a	2.963 ^{ab}	2.943 ^a	2.794 ^b
	-1.2	2.501 ^a	2.596 ^a	2.744 ^a	2.943 ^a	2.943 ^a	3.251 ^a	3.157 ^a	3.032 ^a	3.092 ^a
زوال بذر Seed aging	Non aged	1.452 ^b	1.620 ^b	1.728 ^b	2.081 ^b	2.148 ^b	2.460 ^b	2.334 ^b	2.227 ^b	2.213 ^b
	aged	1.998 ^a	2.124 ^a	2.237 ^a	2.435 ^a	2.627 ^a	2.922 ^a	2.724 ^a	2.650 ^a	2.728 ^a

در هر تیمار و در هر ستون، حروف مشترک در آزمون LSD، عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد را نشان می‌دهد.

In each treatment and column, the same letters indicate no significant difference based on the LSD test at the 5% level.

(۲۰۱۰) گزارش شد که مقادیر پرولین و قندهای محلول بذر تحت تاثیر زوال بذر افزایش می‌یابد که به‌طور کلی با نتایج پژوهش حاضر نیز مشابَهت داشت.

محتوای پروتئین محلول بذر

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به پروتئین محلول بذر گیاه شنبلیله نشان داد که اثر پتانسیل آب و زوال بذر بر این شاخص در تمامی دماهای مورد آزمایش معنی‌دار بود همچنین برهمکنش پتانسیل آب و زوال بذر در تمامی دماهای مورد آزمایش به غیر از دمای ۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد معنی‌دار بود (داده‌ها ارائه نشده است). نتایج این آزمایش نشان داد که در محیط‌های دمایی ۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد میزان پروتئین محلول بذره‌ای گیاه شنبلیله با کاهش پتانسیل آب (کاهش دسترسی به آب)، روندی افزایشی داشت. بیشترین و کمترین میزان این شاخص نیز در محیط‌های دمایی ۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب در پتانسیل‌های ۱/۲- و صفر مگاپاسکال مشاهده شد. در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد نیز میزان پروتئین بذر در سطوح پتانسیل آب ۰/۴- و ۰/۶- مگاپاسکال با یکدیگر تفاوت معنی‌داری نداشت، همچنین به دلیل اثرگذاری محیط‌های دمایی در میزان پروتئین بذر مشاهده شد در محیط دمایی ۳۰ درجه سانتی‌گراد نسبت به دمای ۵ درجه سانتی‌گراد در تمامی سطوح پتانسیل آب با افزایش دما، میزان پروتئین بذر افزایش یافت (شکل ۷).

نتایج این پژوهش نشان داد که در محیط‌های دمایی ۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد میزان پروتئین محلول بذره‌ای شنبلیله تحت تاثیر زوال بذر به ترتیب ۱۴/۵ و ۸/۱ درصد افزایش یافت و بیشترین مقدار این شاخص در دماهای ۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد در بذره‌ای زوال‌یافته به ترتیب ۴۹/۸۶ و ۶۴/۷۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بذر مشاهده شد. محیط‌های دمایی نیز در میزان پروتئین محلول بذر تاثیرگذار بود و مشاهده شد در محیط دمایی ۳۰ درجه سانتی‌گراد نسبت به دمای ۵ درجه سانتی‌گراد در هر دو دسته بذره‌ای زوال‌یافته و بدون زوال با افزایش دما میزان پروتئین بذر افزایش یافت (شکل ۸).

نتایج مقایسه میانگین برهمکنش پتانسیل آب و زوال بذر بر میزان پروتئین بذر گیاه شنبلیله در دماهای

پرولین و آنزیم‌های بذر است (قادری‌فر و همکاران، ۲۰۱۴). در افزایش مقاومت و تحمل در برابر شرایط تنش در سلول‌های گیاهی ترکیباتی دیگری نیز به جز ترکیبات آنتی‌اکسیدانسی، وجود دارند که با حضور در اطراف غشای سلول، باعث حفظ آماس و پتانسیل اسمزی در دو طرف سلول می‌شوند. قندهای محلول و پرولین از این دسته ترکیبات می‌باشند (سدراس و میلروی^۱، ۱۹۹۶). کوزنتسو و شیویاکوا^۲، (۱۹۹۷) نیز بیان کردند که پرولین از طریق جلوگیری از تخریب آنزیم‌ها و از بین بردن رادیکال‌های هیدروکسیل و همچنین تنظیم اسمزی درون سلول، مقاومت و تحمل سلول‌های گیاه را در شرایط تنش افزایش می‌دهد، پس افزایش پرولین در سلول‌های گیاهی هنگام مواجه شدن با شرایط تنش نوعی مکانیسم دفاعی است و انباشته شدن پرولین بر اثر قرار گرفتن در شرایط تنش رطوبتی یک پدیده شایع است (کوستا و مورل^۳، ۱۹۹۴). پس در شرایط نامطلوب این آزمایش (تنش دمایی، خشکی و زوال بذر) افزایش ترکیباتی چون پرولین و قند محلول بذر در جهت حفظ ساختار دیواره‌ی سلولی، تنظیم اسمزی درون سلول و جلوگیری از تخریب ترکیبات آنزیمی حیاتی بذر می‌باشد. در مطالعه‌ای سونگ^۴ و همکاران، (۲۰۰۵) روی شاخص‌های جوانه‌زنی و بیوشیمیایی بذر گیاه گندم در شرایط تنش دمایی و تنش شوری گزارش کردند درصد جوانه‌زنی بذر گندم و میزان پرولین و پروتئین بذر از دمای ۱۵ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت و با افزایش دما از ۲۵ درجه سانتی‌گراد میزان آن‌ها کاهش پیدا کرد. همچنین در پژوهش اوپروز و کازتا^۵ (۲۰۱۶) برای بررسی مقادیر پرولین بذر گیاه ذرت در مرحله جوانه‌زنی تحت شرایط تنش خشکی با پلی‌اتیلن‌گلایکول گزارش کردند که با کاهش پتانسیل‌های آب ناشی از پلی‌اتیلن‌گلایکول در مرحله جوانه‌زنی، مقادیر پرولین بذر روند افزایشی داشت. در پژوهشی در شرایط زوال بذر روی شاخص‌های بیوشیمیایی بذر برنج توسط غلامی تیله‌بنی و همکاران

¹ Sadras and Milroy

² Kuznetsov and Shevyakova

³ Costa and Morel

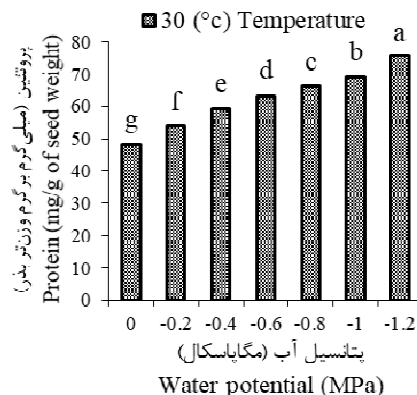
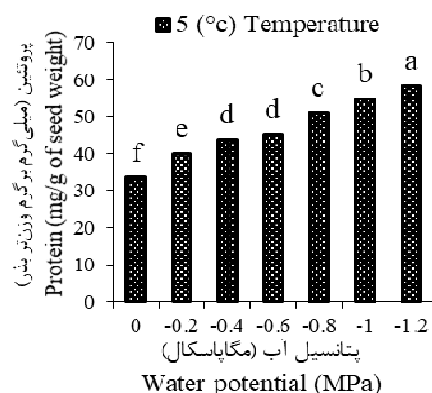
⁴ Song

⁵ Queiroz and Cazetta

پروتئین بذر در این مطالعه تأثیرگذار بود و به‌طور کلی با افزایش دما میزان پروتئین محلول بذر روند افزایشی داشت، ولی در محیط‌های با دمای بالا (۳۵، ۴۰ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد) این روند کاهشی است که نشان‌دهنده اثرات مخرب دماهای بالا در تخریب ساختار ترکیبات پروتئینی بذر است (قادری‌فر و همکاران، ۲۰۱۴).

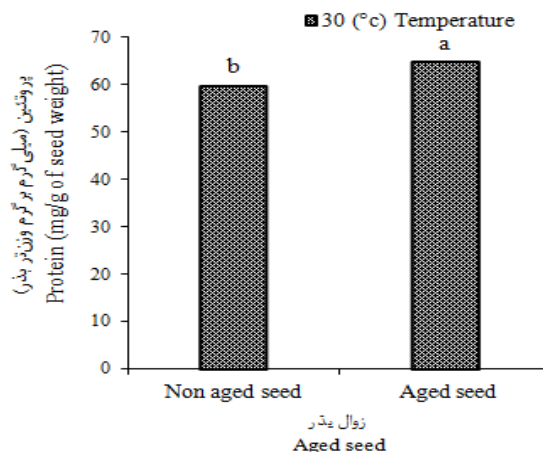
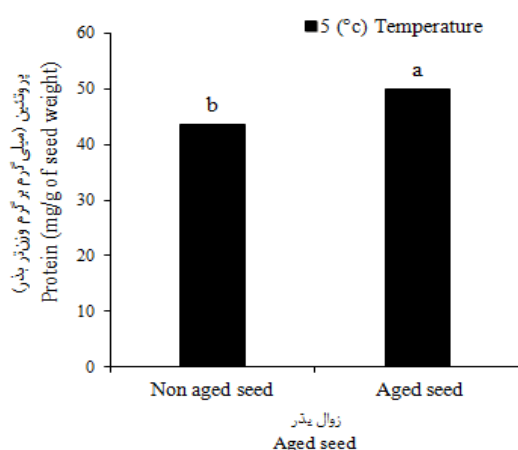
روند افزایش پروتئین بذر در این آزمایش تحت شرایط کاهش دسترسی به آب نشان داد که همانند تولید سایر ترکیبات پروتئینی مانند اسید آمینه پرولین و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان که به عنوان مکانیسمی دفاعی

۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۵، ۴۰ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد (جدول ۶) نشان داد که پروتئین بذر با کاهش پتانسیل آب در هر دو دسته بذرهای زوال‌یافته و بدون زوال روند افزایشی داشت و به‌طور کلی مقادیر این افزایش پروتئین، در بذرهای زوال‌یافته نسبت به بذرهای بدون زوال بیشتر است، در نهایت این افزایش پروتئین محلول بذر در محیط‌های دمایی تحت تأثیر کاهش پتانسیل آب و زوال بذر به‌طوری بود که بیشترین میزان پروتئین در پتانسیل‌های پایین و کمترین آن‌ها به ترتیب در پتانسیل آب صفر مگاپاسکال و سطوح بالای پتانسیل آب مشاهده شد. البته محیط‌های دمایی نیز بر مقادیر



شکل ۷. اثر پتانسیل آب بر میزان پروتئین بذر گیاه شنبلیله در دماهای ۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد. در هر یک از نمودارهای این شکل حروف یکسان نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد می‌باشد.

Fig. 7. The effect of water potential on protein of Fenugreek at 5 and 30 °C temperatures. In each section of this figure, the same letters indicate no significant difference based on the LSD test at the 5% level.



شکل ۸. اثر زوال بذر بر میزان پروتئین بذر گیاه شنبلیله در دماهای ۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد. در هر یک از نمودارهای این شکل حروف یکسان نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد می‌باشد.

Fig. 8. The effect of seed aging on protein of Fenugreek at 5 and 30 °C temperatures. In each section of this figure, the same letters indicate no significant difference based on the LSD test at the 5% level.

کاهش پیدا کرد که نشان‌دهنده اثرات مخرب دماهای بالا در تخریب ساختار ترکیبات پروتئینی بذر بود.

آنزیم کاتالاز

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به میزان فعالیت آنزیم کاتالاز بذر گیاه شنبلیله نشان داد که اثر پتانسیل آب و زوال بذر بر این شاخص در تمامی دماهای مورد آزمایش معنی‌دار بود، البته برهمکنش پتانسیل آب و زوال بذر بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز بذر در دماهای مورد آزمایش معنی‌دار نشد. نتایج این آزمایش نشان داد که در محیط‌های دمایی ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد (جدول ۷) میزان فعالیت آنزیم کاتالاز بذرهای شنبلیله با کاهش پتانسیل آب (کاهش دسترسی به آب)، روند افزایشی داشت و بیشترین و کمترین میزان این شاخص در محیط‌های دمایی ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد به ترتیب در پتانسیل‌های ۱/۲- و صفر مگاپاسکال مشاهده شد. داده‌های مربوط به میزان فعالیت آنزیم کاتالاز بذرهای شنبلیله تحت تاثیر زوال در محیط‌های دمایی (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد) در این آزمایش (جدول ۷) نیز نشان داد که به‌طور کلی با زوال میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در بذرهای افزایش یافت و بیشترین مقادیر کاتالاز در بذرهای زوال‌یافته مشاهده شد. البته به دلیل اثرگذاری محیط‌های دمایی در میزان فعالیت آنزیم کاتالاز بذر (جدول ۷) نیز مشاهده شد که از محیط دمایی ۵ درجه سانتی‌گراد تا دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد که کمی بعد از محدوده‌ی دمای مطلوب (دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد) می‌باشد، میزان فعالیت آنزیم کاتالاز بذر روند افزایشی و سپس با افزایش دما از این محدوده، روندی کاهشی دارد که نشان‌دهنده اثرات مخرب دماهای بالا در تخریب ساختار ترکیبات پروتئینی (آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان) بذر است (قادری‌فر و همکاران، ۲۰۱۴). به‌طور کلی در جنبه‌های مختلف فیزیولوژی بذر گونه‌های فعال اکسیژن (AOS) تاثیرگذار می‌باشند و آزاد شدن گونه‌های اکسیژن فعال در طی شرایط تنشی چون کاهش دسترسی به آب، زوال بذر و دما در بذرهای گیاهچه‌های آن موجب افزایش

برای مقابله با شرایط تنش خشکی می‌باشند، افزایش میزان پروتئین بذر نیز در فرآیند جذب آب تاثیر مثبتی دارد.

قادری‌فر و همکاران (۲۰۱۴) نیز بیان داشتند که بین افزایش پروتئین بذر و مقدار جذب آب توسط بذر همبستگی مثبتی وجود دارد. پس در این آزمایش نیز احتمالاً افزایش مقدار پروتئین محلول در بذرهای تحت شرایط زوال (شرایط دمای بالا و رطوبت بسیار زیاد) به غیر از افزایش سایر ترکیبات پروتئینی (آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و اسید آمینه پرولین) به دلیل ماهیت تعادل رطوبتی (هیگروسکوپی) بذرهای می‌باشد که نشان‌دهنده توانایی بذر در برقراری تعادل رطوبتی بین رطوبت نسبی محیط و محتوای رطوبت خود است. پس در شرایط زوال که میزان رطوبت نسبی محیط افزایش می‌یابد، رطوبت بذرهای نیز افزایش پیدا کرده و در نتیجه آن فعالیت‌های بیوشیمیایی مانند تنفس و فعالیت آنزیم‌های هیدرولیز‌کننده مانند پروتئازها افزایش می‌یابد که افزایش محتوای پروتئین محلول بذر را در پی دارد و البته اگر این شرایط زوال (دمای بالا و رطوبت بسیار زیاد) ادامه یابد، باعث کاهش میزان پروتئین بذر (تخریب ساختار پروتئین)، تخریب ساختار غشا و نشت مواد درون سلول و در انتها باعث از بین رفتن سلول می‌شود (سلطانی و همکاران، ۲۰۱۷). در بررسی میزان محتوای پروتئین بذر کرچک در شرایط زوال سلطانی و همکاران (۲۰۱۷) بیان داشتند با افزایش میزان رطوبت انبار، رطوبت بذرهای افزایش پیدا کرد و موجب افزایش فعالیت‌های بیوشیمیایی مانند تنفس در بذرهای شد همچنین ایشان گزارش کردند در ابتدای انبارداری محتوای پروتئین محلول بذرهای افزایش یافت و با ادامه دوره‌ی انبارداری و کاهش ذخایر غذایی بذر و کاهش تنفس، این میزان محتوای پروتئین محلول کاهش پیدا کرد. در پژوهشی دیگر روی شاخص‌های جوانه‌زنی و بیوشیمیایی بذر گندم در شرایط تنش دمایی توسط سونگ و همکاران (۲۰۰۵) بیان داشتند که میزان درصد جوانه‌زنی بذر گندم و میزان پرولین و پروتئین بذر از دمای ۱۵ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد روند افزایشی داشت ولی با افزایش دما از ۲۵ درجه سانتی‌گراد مقادیر آنها

تیموری و همکاران: تأثیر زوال بذر و پتانسیل آب بر شاخص‌های جوانه‌زنی و بیوشیمیایی بذر گیاه شنبلیله...

جدول ۶. مقایسه میانگین برهمکنش پتانسیل آب و زوال بذر، بر میزان پروتئین بذر (میلی‌گرم بر گرم وزن تر بذر) گیاه شنبلیله در دماهای مورد آزمایش.

Table 6. Mean comparison of interaction effect of water potential and seed aging on protein (mg/g of seed weight) of Fenugreek seed at experimental temperatures

زوال بذر Seed aging	پتانسیل آب Water potential (MPa)	دما (°C) Temperature (°C)						
		10	15	20	25	35	40	45
بدون زوال Non aged	0	31.03 ^g	34.96 ^g	37.73 ^j	38.6 ^h	44.9 ^h	44.26 ^j	40.56 ^h
	-0.2	41.96 ^{ef}	44.43 ^e	47.56 ⁱ	51.06 ^f	48.73 ^g	47.93 ^{hi}	45.66 ^g
	-0.4	44.5 ^{de}	46.8 ^e	51.16 ^{gh}	54.26 ^{ef}	50.2 ^g	53 ^g	48.76 ^{fg}
	-0.6	45.73 ^{de}	50.8 ^d	52.9 ^{fg}	55.1 ^{de}	62.3 ^{cd}	58.8 ^{de}	57.56 ^d
	-0.8	47.86 ^{cd}	53.56 ^{cd}	53.26 ^{fg}	58.43 ^{cd}	60.16 ^d	58.76 ^{de}	60.2 ^d
	-1	55.9 ^b	55.23 ^{bc}	60.06 ^{cd}	68.8 ^b	61.96 ^{cd}	60.53 ^d	63.46 ^c
	-1.2	58.43 ^b	57 ^b	63.13 ^{bc}	71.2 ^b	66.56 ^b	70.56 ^b	65.8 ^{bc}
	0	39.3 ^f	40.56 ^f	45.53 ⁱ	46.16 ^g	55.8 ^e	47.56 ⁱ	50.8 ^{ef}
زوال یافته Aged	-0.2	45.96 ^{cd}	50.5 ^d	48.3 ^{hi}	57.46 ^{cde}	55.63 ^e	51.06 ^{gh}	53.06 ^e
	-0.4	49.73 ^c	50.5 ^d	58.26 ^{de}	55.2 ^{de}	52.06 ^{fg}	53.73 ^{fg}	52.66 ^e
	-0.6	46.86 ^{cd}	52.7 ^{cd}	55.83 ^{ef}	59.43 ^c	54.16 ^{ef}	56.26 ^{ef}	51.56 ^{ef}
	-0.8	59.3 ^b	57.2 ^b	62.16 ^c	70.96 ^b	64.8 ^{bc}	64.23 ^c	67.46 ^{ab}
	-1	63.23 ^a	64.43 ^a	66.56 ^{ab}	75.03 ^a	67.5 ^b	70.83 ^b	68.86 ^{ab}
	-1.2	65.66 ^a	66.16 ^a	70.03 ^a	77.03 ^a	71.6 ^a	75.43 ^a	70.6 ^a

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری را بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد نشان نمی‌دهند.
In each column, the same letters indicate no significant difference based on the LSD test at the 5% level.

جدول ۷. مقایسه میانگین برهمکنش پتانسیل آب و زوال بذر، بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز بذر (میلی‌مول بر گرم وزن تر بذر بر دقیقه) گیاه شنبلیله در دماهای مورد آزمایش.

Table 7. Mean comparison of interaction effect of water potential and seed aging on Catalase enzyme (mmol/g seed weight per minute) of Fenugreek seed at experimental temperatures

تیمار Treatment		دما (°C) Temperature (°C)								
		5	10	15	20	25	30	35	40	45
پتانسیل آب Water potential (MPa)	0	0.054 ^f	0.062 ^e	0.070 ^d	0.077 ^e	0.080 ^d	0.094 ^d	0.092 ^d	0.084 ^d	0.081 ^e
	-0.2	0.066 ^e	0.075 ^d	0.083 ^c	0.086 ^d	0.098 ^c	0.108 ^{cd}	0.099 ^{cd}	0.098 ^{cd}	0.089 ^d
	-0.4	0.073 ^{de}	0.080 ^{cd}	0.084 ^c	0.092 ^{cd}	0.100 ^c	0.106 ^{cd}	0.109 ^{bc}	0.103 ^{bc}	0.100 ^{cd}
	-0.6	0.079 ^{cd}	0.084 ^{cd}	0.093 ^{bc}	0.104 ^{bc}	0.107 ^{bc}	0.116 ^{bc}	0.113 ^{bc}	0.110 ^{bc}	0.108 ^{bc}
	-0.8	0.086 ^{bc}	0.092 ^{bc}	0.099 ^{ab}	0.105 ^{bc}	0.109 ^{bc}	0.121 ^{abc}	0.117 ^{ab}	0.108 ^{bc}	0.112 ^{abc}
	-1	0.098 ^{ab}	0.101 ^{ab}	0.105 ^{ab}	0.114 ^{ab}	0.117 ^{ab}	0.127 ^{ab}	0.123 ^{ab}	0.118 ^{ab}	0.118 ^{ab}
	-1.2	0.102 ^a	0.107 ^a	0.111 ^a	0.120 ^a	0.124 ^a	0.135 ^a	0.130 ^a	0.128 ^a	0.124 ^a
زوال بذر Seed aging	Non aged	0.066 ^b	0.072 ^b	0.082 ^b	0.089 ^b	0.097 ^b	0.104 ^b	0.105 ^b	0.099 ^b	0.096 ^b
	Aged	0.093 ^a	0.099 ^a	0.103 ^a	0.110 ^a	0.113 ^a	0.126 ^a	0.119 ^a	0.115 ^a	0.113 ^a

در هر تیمار و در هر ستون، حروف مشترک در آزمون LSD، عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد را نشان می‌دهد.
In each treatment and column, the same letters indicate no significant difference based on the LSD test at the 5% level.

سلول‌ها برای حفظ بقای خود از ترکیبات آنتی‌اکسیدان
که از بین برنده AOS می‌باشد، بهره می‌برند (سلطانی

پراکسیداسیون چربی و پروتئین‌های غشا و در نهایت
باعث تخریب ساختار غشا سلولی می‌شود. در مقابل

بیوشیمیایی بذر (قند محلول، پروتئین محلول، پرولین و آنزیم کاتالاز) نیز افزایش یافت و این حساسیت در شاخص‌های جوانه‌زنی و بیوشیمیایی بذر نسبت به شرایط تنش، ابتدا نسبت به پتانسیل‌های آب و سپس زوال بذر و محیط‌های دمایی بود. همچنین روند تغییرات شاخص‌های جوانه‌زنی (درصد و سرعت جوانه‌زنی) بذر گیاه شنبلیله تحت تأثیر کاهش پتانسیل‌های آب و محیط‌های دمایی نشان داد که بیشترین میزان درصد و سرعت جوانه‌زنی در شرایط کاهش دسترسی به آب (تنش خشکی) در محیط‌های دمایی پایین‌تر از دمای مطلوب جوانه‌زنی (۲۰ درجه سانتی‌گراد) بود که نشان‌دهنده مقاومت بیشتر بذرهای این گیاه به تنش خشکی در مرحله جوانه‌زنی در دماهای پایین‌تر از دمای مطلوب (۲۰ درجه سانتی‌گراد) نسبت به دماهای بالاتر بود.

و همکاران، ۲۰۱۷). معصومی زواریان^۱ و همکاران (۲۰۱۳) نیز در مطالعه‌ای روی شاخص‌های جوانه‌زنی و فعالیت آنزیم کاتالاز بذر گیاه دارویی سرخارگل در شرایط تنش خشکی بیان داشتند با افزایش تنش خشکی فعالیت آنزیم کاتالاز بذرهای سرخارگل افزایش می‌یابد. همچنین در مطالعه اوزگن^۲ و همکاران (۲۰۰۶) برای ارزیابی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان بذرهای تیره نعنایان گزارش شد که با افزایش تنش خشکی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در بذر و گیاهچه این تیره روند افزایشی داشت. بلوچی و استادیان‌بیدگلی^۳ (۲۰۱۸-۲۰۱۷) در بررسی ترکیبات آنتی‌اکسیدانی بذر کتان روغنی رقم نورمن و توده محلی بزرگ قرمز در شرایط زوال و همچنین دارابی^۴ و همکاران (۲۰۱۷) روی ترکیبات آنتی‌اکسیدانی بذر ارقام هیبرید ذرت در شرایط زوال گزارش کردند کاهش مقادیر شاخص‌های جوانه‌زنی بذرها با کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی چون کاتالاز، سوپراکسیددیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز همراه بود و در مطالعه‌ای دیگر نیز قهرمانی^۵ و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان بذرهای فرسوده گیاه کدوی تخم‌کاغذی، گزارش کردند که فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در بذرهای فرسوده نسبت به شاهد بیشتر بود. در نهایت بر اساس نتایج مقادیر آنزیم آنتی‌اکسیدان کاتالاز بذر گیاه شنبلیله در این مطالعه می‌توان گزارش کرد که روند افزایشی میزان فعالیت این آنزیم آنتی‌اکسیدان در شرایط تنش خشکی، زوال بذر و محیط‌های دمایی در جهت کاهش اثرات مخرب تنش‌روی بذر این گیاه بود.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد تحت تأثیر پیری تسریع‌شده (زوال) و پتانسیل‌های آب و محیط‌های دمایی (دماهای پایین و بالای دمای مطلوب)، به‌طور کلی مقادیر شاخص‌های جوانه‌زنی شنبلیله (درصد و سرعت جوانه‌زنی و بنیه گیاهچه) روند کاهشی داشت و مقادیر ترکیبات

¹ Masoumi Zavariyan

² Ozgen

³ Balouchi and Ostadian Bidgoly

⁴ Darabi

⁵ Qahremani

منابع

- Abdul-Baki, A.A., and Anderson, J.D. 1973. Vigor determination in soybean seed by Multiple criteria. *Crop Science*, 13(6): 630-633. <https://doi.org/10.2135/cropsci1973.0011183X001300060013x>
- Aebi, H. 1984. Catalase in vitro. In: *Methods in Enzymology*. Elsevier, 105: 121-126.
- Akram Ghaderi, R., Soltani, E., and Sadeghipor, H.R. 2008. Biochemical changes in Pumpkin seeds affected by premature aging. Third Congress of Medicinal Plants. Shahed University, Tehran. [In Persian].
- Alavi, S.H. Zand, E. Delkhosh, B. Ghajar, F., and Alipour, H. 2014. Study on the effect of different temperatures on the seed germination of Rosinweed (*Cressa cretica*) in the Rafsanjan pistachio orchards. *Iranian Pistachio Magazine*, 1(1): 49-57. [In Persian with English Summary].
- Bakhshandeh, E., and Gholamhossieni, M. 2018. Quantification of soybean seed germination response to seed deterioration under peg-induced water stress using hydrotime concept. *Acta Physiologiae Plantarum*, 40(7): 126. <https://doi.org/10.1007/s11738-018-2700-1>
- Baladi, S., Balouchi, H., Moradi, A., and Movahedi Dehnavi, M. 2016. The Effect of different temperatures and moisture during storage period on germination indices of *Linum usitatissimum* L. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 5(1): 107-122.
- Balouchi H.R., Bagheri, F., Kayednezami, R., Movahedi Dehnavi, M., and Yadavi, A.R. 2013. Effect of seed aging on germination and seedling growth indices in three cultivars of *Brassica napus*. *Journal of Plant Researches*, 26(4): 397-411. [In Persian with English Summary].
- Balouchi, H.R., and Ostadian Bidgoli, R. 2017. Effect of seed deterioration on physiological and biochemical traits of oilflax (*Linum usitatissimum* L. Norman Var.) seed. *The Plant Production (Scientific Journal of Agriculture)*, 40(2): 37-52. [In Persian with English Summary].
- Balouchi, H.R., and Ostadian Bidgoli, R. 2018. Effect of seed deterioration on germination and antioxidant enzymes activity of oil flax (*Linum usitatissimum* L.) Red Bazrak genotype *Journal of Plant Process and Function*. 7(23): 205-218. [In Persian with English Summary].
- Barsa, S.M.A., Ahmad, N., Khan, M.M., Iqbal, N., and Cheema, M.A. 2003. Assessment of cotton seed deterioration during accelerated ageing. *Seed Science and Technology*, 31: 531-540. <https://doi.org/10.15258/sst.2003.31.3.02>
- Baskin, C.C., and Baskin, J.M. 2001. *Seeds: Ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination*. Elsevier.
- Bewley, J.D., and Black, M. 1994. *Seeds*. In: *Seeds*. Springer. 1-33. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-1002-8_1 <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-1002-8>
- Bradford, K.J. 2002. Applications of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. *Weed Science*, 50(2): 248-260. [https://doi.org/10.1614/0043-1745\(2002\)050\[0248:AOHTTQ\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0043-1745(2002)050[0248:AOHTTQ]2.0.CO;2)
- Costa, G., and Morel, J. 1994. Water relations, gas exchange and amino acid content in cd-treated lettuce. *Plant Physiology and Biochemistry*, 32(4): 561-570.
- Darabi, F., Valipour M., Naseri, R., and Moradi, M. 2017. The effect of accelerated aging on germination and antioxidant activity of maize hybrids (*Zea mays*). *Iranian Journal of Seed Research*, 4(1): 45-59. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.29252/yujs.4.1.45>
- Finch-Savage, W., Dent, K., and Clark, L. 2004. Soak conditions and temperature following sowing influence the response of maize (*Zea mays* L.) seeds to on-farm priming (pre-sowing seed soak). *Field Crops Research*, 90(2-3): 361-374. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.04.006>

- Gallashi, S., Farzaneh, F., Soltani, A., and Rezaei, C. 2007. Evaluation of drought stress in forty cotton genotypes at germination stage. *Journal of Agricultural Science and Natural Resources*, 13(2): 43-51. [In Persian with English Summary].
- Ghaderifar, F., Kamkar, B., and Soltani, A. 2014. *Seed Science and Technology*. (Copland, L., and McDonald, M.B. 1936.) Translated, Jahad University Press of Mashhad, 512 p. [In Persian].
- Ghahremani, P., Sedghi, M., and Tavakoli, H. 2015. Effect of gibberellin and salicylic acid on germination characteristics and activity of antioxidant enzymes in sunflower seeds. *Journal of Seed Research*, 5(2): 29-20. [In Persian with English Summary].
- Gholami Tilehbeni, M., Babayan, S., Mosavinik, M. and Ahmadian, A. 2010. Evaluation of heterotrophic growth of rice seedling and proline and solution sugars Concentrations changes under seed deterioration levels. Fifth National Conference on New Ideas in Agriculture. Islamic Azad University of Khorasan Branch (Isfahan), Faculty of Agriculture. [In Persian].
- Grundy, A., Phelps, K., Reader, R., and Burston, S. 2000. Modelling the germination of stellaria media using the concept of hydrothermal time. *New Phytologist*, 148(3): 433-444. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2000.00778.x>
- Hegarty, T. 1978. The physiology of seed hydration and dehydration, and the relation between water stress and the control of germination: A review. *Plant, Cell and Environment*, 1(2): 101-119. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.1978.tb00752.x>
- Irigoyen, J., Einerich, D., and Sánchez Diaz, M. 1992. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Physiologia Plantarum*, 84(1): 55-60. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.1992.840109.x> <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1992.tb08764.x>
- Kamkar, B., Al-Alahmadi, M.J., Mahdavi-Damghani, A., and Villalobos, F.J. 2012. Quantification of the cardinal temperatures and thermal time requirement of opium poppy (*Papaver somniferum* L.) seeds to germinate using non-linear regression models. *Industrial Crops and Products*, 35(1): 192-198. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.06.033>
- Kar, M., and Mishra, D. 1976. Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. *Plant Physiology*, 57(2): 315-319. <https://doi.org/10.1104/pp.57.2.315>
- Kuznetsov, V.V., and Shevyakova, N.I. 1997. Stress responses of tobacco cells to high temperature and salinity. Proline accumulation and phosphorylation of polypeptides. *Physiologia Plantarum*, 100(2): 320-326. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1997.tb04789.x> <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.1997.1000214.x>
- Maguire, J.D. 1962. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, 2(2): 176-177. <https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>
- Masumi Zavariyan, A., Yousefirad, M., and Asghari, M. 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-Naghd. [In Persian].
- Meyer, S.E., and Pendleton, R.L. 2000. Genetic regulation of seed dormancy in *Purshia tridentata* (rosaceae). *Annals of Botany*, 85(4): 521-529. <https://doi.org/10.1006/anbo.1999.1099>
- Michel, B.E., and Kaufmann, M.R. 1973. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiology*, 51(5): 914-916. <https://doi.org/10.1104/pp.51.5.914>
- Nonogaki, H. 2006. Seed germination-the biochemical and molecular mechanisms. *Breeding Science*, 56(2): 93-105. <https://doi.org/10.1270/jsbbs.56.93>
- Ostadian Bidgoli, R., Balouchi, H.R., Soltani, E., and Moradi, A. 2017. Effects of temperature and water potential on seed germination characteristics in Safflower (*Carthamus tinctorius* L.)

- Sofeh var. Iranian Journal of Seed Science and Technology, 6(1): 11-22. [In Persian with English Summary].
- Ozgen, U., Mavi, A., Terzi, Z., Yildirim, A., Coskun, M., and Houghton, P. 2006. Antioxidant properties of some medicinal Lamiaceae (Labiatae) species. Pharmaceutical Biology, 44(2): 107-112. <https://doi.org/10.1080/13880200600592061>
- Paquin, R., and Lechasseur, P. 1979. Observations sur une methode de dosage de la proline libre dans les extraits de plantes. Canadian Journal of Botany, 57(18): 1851-1854. <https://doi.org/10.1139/b79-233>
- Patane, C., Saita, A., Tubeileh, A., Cosentino, S.L., and Cavallaro, V. 2016. Modeling seed germination of unprimed and primed seeds of sweet sorghum under peg-induced water stress through the hydrotimic analysis. Acta Physiologiae Plantarum, 38(5): 115. <https://doi.org/10.1007/s11738-016-2135-5>
- 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. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n1p22-28>
- Rajabi Khamseh, S., Danesh Shahraki, A.R., and Ghobadi Nia, M. 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].
- Ramezanzadeh Sarasti, N. 2011. Investigating mechanisms of deterioration in cotton seed: lipid peroxidation and hydrolysis of sugars. Master's Degree in Agriculture. University of Agricultural Sciences and Natural Resources Gorgan. [In Persian].
- Rassam, G., Rahban S, Mojtabaii M., and Badri A. 2015. Effect of seed aging on germination and seedling growth of sunflower (*Helianthus annuus*) cultivars. Iranian Journal of Seed Research, 1(2): 115-123. [In Persian with English Summary].
- Razani M., Mir Mohammadi, T., and Jalilnejad, N. 2016. The effect of polyethylene glycol surfaces on biochemical properties and dry weight of maize plant seed. Third Conference on New Findings in the Environment and Agricultural Ecosystems, Tehran, New Energy and Environment Institute of University of Tehran. [In Persian].
- Rehman, S., Harris, P. and Bourne, W. 1999. Effect of artificial ageing on the germination, ion leakage and salinity tolerance of *Acacia tortilis* and *A. coriacea* seeds. Seed Science and Technology, 27(1): 141-149.
- Ruveyda, T. 2011. Salinity exposure modifies nutrient concentration in fenugreek (*Trigonella founum greacum* L.). African Journal of Agriculture, 6(16): 3685-3690.
- Sadras, V., and Milroy, S. 1996. Soil-water thresholds for the responses of leaf expansion and gas exchange: A review. Field Crops Research, 47(2-3): 253-266. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(96\)00014-7](https://doi.org/10.1016/0378-4290(96)00014-7)
- Shaaban, M. 2016. Effect of aging on enzymatic and non-enzymatic antioxidant changes and biochemical characteristics in barley (*Hordeum vulgare* L.) seeds cv. Valfajr. Iranian Journal of Seed Science and Research, 3(3): 79-93. [In Persian with English Summary].
- Soltani, A., Robertson, M., Torabi, B., Yousefi-Daz, M., and Sarparast, R. 2006. Modelling seedling emergence in chickpea as influenced by temperature and sowing depth. Agricultural and Forest Meteorology, 138(1): 156-167. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.04.004>
- Soltani, M., Moradi, A., Tavakol Afshari, R., and Balouchi, H.R. 2017. Effect of different storage conditions on germination and some biochemical characteristics of castor bean (*Ricinus communis*) seed. Iranian Journal of Field Crop Science, 48(1): 91-105. [In Persian with English Summary].

- Song, S., Lei, Y., and Tian, X. 2005. Proline metabolism and cross-tolerance to salinity and heat stress in germinating wheat seeds. *Russian Journal of Plant Physiology*, 52(6): 793-800. <https://doi.org/10.1007/s11183-005-0117-3>
- Tavakol Afshari, R., Ghasemian, F., Majnon Hosseini, N., Alizadeh, H., and Bihamta, M.R. 2007. The effect of early aging on germination and activity of antioxidant enzymes catalase and peroxidase in barley genotypes. *Iranian Journal of Agricultural Science*, 38(2): 337-346. [In Persian with English Summary].
- Teimori, H., and Balouchi, H.R. 2017. The effect of accelerated aging on germination Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*). 4th Seed Science and Technology congress, Karaj. Payam Nour University. [In Persian with English Summary].
- Verma, S., Verma, U., and Tomer, R. 2003. Studies on seed quality parameters in deteriorating seeds in brassica (*Brassica campestris*). *Seed Science and Technology*, 31(2): 389-396. <https://doi.org/10.15258/sst.2003.31.2.15>
- Wang, R., Bai, Y., and Tanino, K. 2006. Seedling emergence of winterfat (*Krascheninnikovia lanata* (pursh) adj meeuse & smit) in the field and its prediction using the hydrothermal time model. *Journal of Arid Environments*, 64(1): 37-53. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2005.04.017>
- Zamani, A., saadatnoori, S.A. Tavakol Afshari, R., Irannejad, H., Akbari, J.U., and Tavakoli, A. 2010. Evaluation of lipid peroxidation and activity of some antioxidant enzymes in safflower seeds under natural and artificial senescence conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science (Agricultural Sciences of Iran)*, 41(3): 545-554. [In Persian with English Summary].

Effect of Seed Aging and Water Potential on Seed Germination and Biochemical Indices of Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*) at Different Temperatures

Hasan Teimori¹, Hamidreza Balouchi^{2,*}, Elias Soltani³, Ali Moradi²

Extended abstract

Introduction: Seed germination is one of the most important and complex stages in the plant life cycle and is affected by many hereditary and environmental factors. Various factors affect germination and seedling establishment. Among these factors are the characteristics of the maternal plant (nutrition, genetics), seed treatment stage at harvest time as well as environmental factors (temperature, water potential, and ventilation and soil compaction). In addition, under the influence of seed loss during storage, seed vigor, which is known as the first component of seed quality, decreases. The aim of this study was to investigate germination and biochemical responses of the aged seeds of Fenugreek to different temperature and humidity ranges.

Materials and Methods: This experiment was conducted as a factorial based on a completely randomized design with four replications in the Laboratory of Seed Science and Technology, Faculty of Agriculture, Yasouj University in 2016. The experimental treatments consisted of nine levels of temperature (5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 and 45 degrees Celsius), water potential comprised seven levels (zero (control), -0.2, -0.4, -0.6, -0.8, -1 and -1.2 MPa) and seed aging at two levels (no aged (control) and aged seed).

Results: In this experiment, the effect of seed aging, water potential and their interactions in each environment on germination indices (germination percentage and germination rate, length and weight vigor index) and biochemical indices (soluble sugar, proline, soluble protein and catalase enzymes) of Fenugreek seeds were significant. The results showed that in the aged seeds, the germination percentage and rate and seedling vigor index tended to decrease with water potential reduction at temperatures below and above 20 degrees Celsius, whereas the amount of biochemical components of the seeds (soluble sugar, soluble protein, proline, and catalase enzyme) increased.

Conclusion: In general, germination and biochemical indices of seeds of Fenugreek are sensitive to water potentials, aging, and seed germination temperatures, respectively. In case of reduction in osmotic potential, the germination temperature less than 20 °C resulted in increased germination resistance of fenugreek seeds to a more negative water potential.

Keywords: *Catalase, Drought stress, Germination percentage, Proline, Seed vigor, Soluble Sugar*

Highlights:

- 1- Investigation of germination and biochemical properties of fenugreek aged seeds under different levels of osmotic potentials and temperatures.
- 2- In areas with a lower osmotic potential, it is advisable to cultivate Fenugreek seeds at temperatures below 20 °C.

¹ M.Sc. Student of Seed Science and Technology, Agronomy and Plant Breeding Department, Yasouj University, Yasouj, Iran

<http://dorl.net/dor/20.1001.1.23831251.1397.5.2.10.5>

² Associate Professor and Assistant Professor of Agronomy and Plant Breeding Department, Yasouj University, Yasouj, Iran

<http://dx.doi.org/10.29252/yujs.5.2.105>

³ Assistant Professor Agronomy and Plant Breeding Department, Pardis Aboryhan, Tehran University, Tehran, Iran

*Corresponding author, E-mail address: balouchi@yu.ac.ir

(Received: 02.09.2018; Accepted: 04.02.2019)



CrossMark