
Seed germination response of two safflower species (*C. oxycanthus* and *C. glaucus*) in response to temperature and water potential during Afterripening

Abdolhossein Rezaei¹, Farshid Ghaderi-Far^{2*}, Hamid Reza Sadeghipour³

¹ Ph.D. Student in Agronomy, Department of Agronomy, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Iran, Email: abdolhosainrezaei@gmail.com

² Professor, Department of Agronomy, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Iran, Email: farshidghaderifar@yahoo.com

³ Associate Professor, Department of Biology, Faculty of Science, Golestan University, Iran, Email: h.r.sadeghipour@gmail.com

Article Info

ABSTRACT

Article type:

Research Full Paper

Article history:

Received: 2023-3-17

Revised:

Accepted: 2023-6-21

Keywords:

Afterripening

Water stress

Temperature stress

Primary dormancy

Secondary dormancy

Background and objectives: The wild species of safflower have different degrees of non-deep physiological dormancy, which affects the seeds germinability under different environmental conditions. Afterripening (dry storage) of seeds with non-deep physiological dormancy can increase their germination by releasing of seed dormancy. Also, it has been found that according to the afterripening period, the germination response of some species changes to temperature and water potential. Wild species of plants are of great importance due to their use as genetic resources in breeding programs. On the other hand, knowing the characteristics and needs of their germination under different environmental conditions leads to facilitating the reproduction and preservation of these valuable genetic resources. Therefore, the present study was conducted to investigate the germination response of safflower wild species to temperature and water potential during different afterripening period.

Materials and methods: In this study, the seeds of two wild species, *C. oxycanthus* and *C. glaucus*, were Afterripened for 0, 2, 4, 6, and 12 months at 25°C. After each afterripening period, the percentage and rate of seed germination at temperatures of 5, 10, 15, 20, 25, 30 and 35 °C were checked and the cardinal temperatures of germination were calculated. Also, the response of germination to different water potential levels including zero, -0.2, -0.4, -0.6 and -0.8 MPa was investigated.

Results: The results showed that afterripening the seeds for 2-6 months increased the germination percentage of the seeds compared to the control, while the germination percentage decreased in the treatment of 12 months afterripening. In addition, the seeds of *C. oxycanthus* and *C. glaucus* species were sensitive to light and gibberellic acid application, and in the presence of these treatments, the germination percentage increased. These findings showed that both species have different degrees of non-deep physiological dormancy. However, the species *C. glaucus* had higher dormancy. Also, different afterripening periods led to an increase in basic, optimum and germination ceiling temperatures compared to fresh

seeds. Examination of the germination response of the seeds of the two studied species showed that in both species, with the increase in the duration of the afterripening period, the base water potential for 50% germination (ψ_{b50}) became more negative, and hence, tolerance to water stress increased during the afterripening period. Nevertheless, afterripening for 12 months significantly increased the hydrotime coefficient (θH) and actually decreased the germination rate compared to other treatments.

Conclusion: In summary, afterripening of seeds in safflower wild species during a suitable period of time (2-6 months) can lead to the improvement of their germination characteristics under different temperature and humidity conditions. In addition, it should be noted that long-term storage of seeds can lead to a decrease in the quality of seeds.

Cite this article: Rezaei, A.H., Ghaderi-Far, F., Sadephipour, H.R. 2023. Seed germination response of two safflower species (*C. oxycanthus* and *C. glaucus*) in response to temperature and water potential during Afterripening. *Crop Production Journal*, 16(3), 155-178.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/ejcp.2024.21198.2571

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources



واکنش جوانه‌زنی بذر دو گونه‌ی وحشی گلرنگ (*Carthamus oxycanthus*)

و *Carthamus glaucus*) در پاسخ به دما و پتانسیل آب در طی پس‌رسی

عبدالحسین رضائی^۱، فرشید قادری‌فر^{۲*}، حمیدرضا صادقی‌پور^۳

^۱دانش آموخته دکتری زراعت، گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران، رایانامه: abdolhosainrezai@gmail.com

^۲استاد گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران، رایانامه: farshidghaderifar@yahoo.com

^۳دانشیار گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان، ایران، رایانامه: h.r.sadeghipour@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله:	سابقه و هدف: گونه‌های وحشی گلرنگ دارای درجات مختلفی از خواب فیزیولوژیکی غیر عمیق هستند که این موضوع بر قابلیت جوانه‌زنی بذر آنها تحت شرایط محیطی مختلف اثرگذار است. پس‌رسی (ذخیره‌سازی خشک) بذرهای دارای خواب فیزیولوژیکی غیر عمیق می‌تواند از طریق رفع خواب بذر، قابلیت جوانه‌زنی آنها را افزایش دهد. همچنین، مشخص شده است که با توجه به طول دوره پس‌رسی، پاسخ جوانه‌زنی برخی گونه‌ها به دما و پتانسیل آب تغییر می‌کند. گونه‌های وحشی گیاهان به واسطه کاربرد آنها به عنوان منابع ژنتیکی در برنامه‌های به‌نژادی از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشند. از طرفی، شناخت خصوصیات و نیازهای جوانه‌زنی آنها تحت شرایط محیطی مختلف منجر به تسهیل در تکثیر و حفظ این منابع ژنتیکی ارزشمند می‌شود. بنابراین، پژوهش حاضر به منظور بررسی پاسخ جوانه‌زنی بذرهای گونه‌های وحشی گلرنگ به دما و پتانسیل آب در طی زمان‌های مختلف پس‌رسی انجام شد.
مقاله کامل علمی-پژوهشی	
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۲۶	
تاریخ ویرایش:	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۳/۳۱	
واژه‌های کلیدی:	
پس‌رسی	
تنش آبی	
تنش دمایی	
خواب اولیه	
خواب ثانویه	
	مواد و روش‌ها: در این مطالعه بذرهای دو گونه وحشی <i>Carthamus oxycanthus</i> و <i>Carthamus glaucus</i> به مدت صفر، ۲، ۴، ۶ و ۱۲ ماه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد پس‌رسی شدند. پس از هر دوره پس‌رسی، درصد و سرعت جوانه‌زنی بذرها در دماهای ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد بررسی و دماهای کاردینال جوانه‌زنی محاسبه شد. همچنین، پاسخ جوانه‌زنی به سطوح مختلف پتانسیل آب شامل صفر، -۰/۲، -۰/۴، -۰/۶ و -۰/۸ مگاپاسکال بررسی شد.
	یافته‌ها: نتایج نشان داد که پس‌رسی بذرها به مدت ۶-۲ ماه باعث افزایش درصد جوانه‌زنی بذرها در مقایسه با شاهد شد، در حالی که در تیمار ۱۲ ماه پس‌رسی درصد جوانه‌زنی کاهش یافت. به علاوه، بذرهای دو گونه <i>C. glaucus</i> و <i>C. oxycanthus</i> به نور و کاربرد جیبرلیک اسید حساس بودند و در حضور این تیمارها، درصد جوانه‌زنی افزایش یافت. این یافته‌ها نشان داد که هر دو گونه دارای درجات مختلفی از خواب فیزیولوژیکی غیر عمیق هستند. با این حال گونه <i>C. glaucus</i> از خواب بالاتری برخوردار بود. همچنین، دوره‌های مختلف پس‌رسی منجر به افزایش دماهای پایه، مطلوب و سقف جوانه‌زنی در مقایسه با بذرهای تازه شدند. بررسی پاسخ

جوانه‌زنی بذرهای دو گونه مورد بررسی نشان داد که در هر دو گونه با افزایش طول دوره پس‌رسی پتانسیل آب پایه برای ۵۰ درصد جوانه‌زنی (Ψ_{b50}) منفی‌تر شد و از این‌رو، تحمل به تنش آبی در طی پس‌رسی افزایش پیدا کرد.

نتیجه‌گیری: به طور خلاصه، پس‌رسی بذرها در گونه‌های وحشی گلرنگ در طی یک بازه زمانی مناسب (۶-۲ ماه) می‌تواند منجر به بهبود خصوصیات جوانه‌زنی آنها تحت شرایط مختلف دمایی و رطوبتی شود. به‌علاوه، باید توجه داشت که انبارداری طولانی مدت بذرها می‌تواند منجر به کاهش کیفیت بذرها شود.

استناد: طاهری، ر.، خدارحم‌پور، ز.، خدارحمی، م.، مرادی، م. (۱۴۰۲). تجزیه چند متغیره لاین‌های اینبرد نو ترکیب گندم دوروم (*Triticum durum* L.) در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی انتهای فصل. مجله تولید گیاهان زراعی، ۱۶ (۳)، ۱۷۸-۱۵۵

DOI: 10.22069/ejcp.2024.21198.2571



© نویسنده‌گان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

جوانه‌زنی بذر مرحله‌ی اساسی در چرخه زندگی گیاهان است (۱). مهم‌ترین عوامل محیطی مؤثر بر جوانه‌زنی دما، اکسیژن، رطوبت و نور هستند که در این بین، تأثیر دما و رطوبت بسیار قابل توجه است (۲). هر دو عامل هرکدام به تنهایی و یا با هم می‌توانند بر درصد و سرعت جوانه‌زنی مؤثر باشند (۳، ۴). دما یک عامل محیطی حیاتی است که شکست خواب بذر، جوانه‌زنی و متعاقب آن استقرار گیاهچه را تنظیم می‌کند (۱). سه "دمای اصلی"، دماهای پایه، مطلوب و سقف، برای توصیف پاسخ جوانه‌زنی بذر به دما استفاده می‌شود. دماهای پایه و سقف به ترتیب کم‌تر و بالاتر از دمایی هستند که جوانه‌زنی در آن رخ می‌دهد، در حالی که در دمای مطلوب حداکثر سرعت و درصد جوانه‌زنی رخ می‌دهد (۵، ۶). علت کاهش سرعت جوانه‌زنی در دماهای پایین‌تر از مطلوب کاهش سرعت جذب آب و نیز کاهش سرعت واکنش‌های بیوشیمیایی مرتبط با فرآیند جوانه‌زنی می‌باشد (۵). برادفورد (۲۰۰۲) اظهار داشت که انعقاد پروتئین‌ها و اختلال در کار غشاها از جمله عواملی هستند که باعث کاهش سرعت جوانه‌زنی بذرها در دماهای بالاتر از دمای مطلوب می‌گردد (۷). از دیگر عوامل کاهش سرعت جوانه‌زنی در دماهای بالاتر از دمای مطلوب کاهش کارایی متابولیکی بذرها بیان شد (۸). بنابراین، دانش پاسخ‌های جوانه‌زنی بذر به دما نه تنها برای درک سازگاری اکولوژیکی گونه‌ها، بلکه برای تدوین استراتژی‌های مؤثر برای احیاء نیز لازم است (۱).

علاوه بر دما، پتانسیل آب یک عامل محیطی مهم و مؤثر بر جوانه‌زنی و استقرار گیاهان می‌باشد (۹). اولین مرحله جوانه‌زنی جذب آب می‌باشد و جهت فعالیت آنزیم‌ها، تجزیه، انتقال و استفاده از مواد

ذخیره‌ای بذر ضروری است (۵). بنابراین، باید دسترسی آب برای آب‌نوشی و توسعه بعدی بذر در حال جوانه‌زنی کافی باشد. بذرها دارای یک پتانسیل پایه می‌باشند که در پتانسیل‌های کم‌تر (منفی‌تر) از آن، بستر بذر برای جوانه‌زنی خیلی خشک می‌شود (۱). چنانچه پتانسیل آب پایه (۷۶) بستر بذر خیلی پایین باشد، از جوانه‌زنی بذر بسیاری از گونه‌های گیاهی ممانعت می‌شود (۲). در مقابل، در پتانسیل‌های آب بالاتر (مثبت‌تر) سرعت و درصد جوانه‌زنی افزایش می‌یابد. پتانسیل آب پایه در ارقام مختلف گلرنگ بین ۰/۵۶- تا ۰/۷۷- مگاپاسکال گزارش شده است (۱۰). گزارش‌هایی در مورد اثرات کاهش پتانسیل آب بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه در گیاهان مختلف وجود دارد که کاهش پتانسیل آب منجر به کاهش شانسی استقرار گیاه، سبز شدن یکنواخت، سرعت جوانه‌زنی و عملکرد می‌شود (۱۱، ۱۲، ۱۳). غالباً با افزایش پتانسیل آب، سرعت جوانه‌زنی به‌طور خطی افزایش (۱۴) و با کاهش پتانسیل آب درصد جوانه‌زنی کاهش می‌یابد (۱۵).

بذرها معمولاً زمانی در مزرعه کاشته می‌شوند که عوامل محیطی برای جوانه‌زنی مساعد تشخیص داده شوند (۱۶). با این وجود، گاهی در شرایط مساعد (دما، رطوبت و تهویه مطلوب) نیز جوانه‌زنی به شکل مطلوب انجام نمی‌شود که علت آن به خواب بذرها مرتبط است (۱۷). اشکال مختلف خواب شامل خواب مورفولوژیکی، خواب مورفوفیزیولوژیکی، خواب فیزیولوژیکی، خواب فیزیکی و خواب ترکیبی (فیزیکی + فیزیولوژیکی) می‌باشند (۱۸). در این بین خواب فیزیولوژیکی رایج‌ترین نوع خواب بذر محسوب می‌شود. بذرهای با خواب فیزیولوژیکی دارای جنین‌هایی توسعه‌یافته‌ای هستند که دارای مکانیسم بازدارندگی فیزیولوژیکی برای جوانه‌زنی

زمستانی نه تنها درصد و سرعت جوانه‌زنی افزایش می‌یابد، بلکه حداکثر دمایی که می‌تواند در آن جوانه بزنند نیز افزایش می‌یابد (۳۰). همچنین، پس‌رسی ممکن است واکنش بذرها به نور/تاریکی و تنش آبی را نیز دچار تغییر کند. به‌عنوان مثال، در گونه *Bromus diandrus* Roth. بذرهایی که به مدت دو ماه در دمای اتاق به‌صورت خشک ذخیره شده بوند، در پتانسیل‌های آب ۰، ۰/۲- و ۰/۴- مگاپاسکال بین ۸۰ تا ۱۰۰ درصد جوانه‌زنی تحت شرایط تاریکی داشتند، اما در نور تنها ۱۰-۰ درصد بدون توجه به شرایط آزمایش جوانه زدند؛ در گونه مذکور پس از ۱۲ ماه پس‌رسی، بذرهایی بزرگ‌تر حتی در پتانسیل آب ۰/۸- مگاپاسکال نیز تا ۹۵ درصد جوانه زدند و در نور نیز در پتانسیل‌های آب ۰ و ۰/۲- مگاپاسکال بین ۸۵ تا ۹۵ جوانه زدند (۳۱). بنابراین، پس‌رسی توانایی بذرها برای جوانه‌زنی در نور و تنش‌های آبی شدیدتر را افزایش داد. در گونه *Bromus tectorum* L. نیز پس‌رسی باعث افزایش قابلیت جوانه‌زنی در پتانسیل‌های آب پایین‌تر (منفی‌تر) شد (۳۲). به‌طور کلی، فرآیند پس‌رسی به دما وابسته است و در دماهای پایین سرعت پس‌رسی کم‌تر از دماهای بالا می‌باشد. برای مثال، پس‌رسی کمی در بذر برنج (*Oryza sativa*) در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد رخ داد و سرعت پس‌رسی با افزایش دما تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد همواره افزایش یافت (۳۳). واضح است، اگر بذرها در طول ذخیره‌سازی خشک پس‌رسی شوند، این یک روش مقرون به‌صرفه برای شکستن خواب قبل از کاشت است. با این حال، بسته به گونه، نیازهای پس‌رسی می‌تواند متفاوت باشد، و تیمار طولانی مدت پس‌رسی می‌تواند منجر به القای خواب ثانویه و یا پیری بذر (از دست دادن بنبه) و مرگ شود.

هستند. سه سطح خواب فیزیولوژیکی (غیر عمیق، متوسط و عمیق) وجود دارد که خواب فیزیولوژیکی غیر عمیق رایج‌ترین آن است (۱۹). خواب فیزیولوژیکی غیر عمیق نوعی خواب در بذرهای خانواده‌های مختلف مانند *Amaranthaceae*، *Caryophyllaceae*، *Brassicaceae*، *Asteraceae*، *Euphorbiaceae*، *Lamiaceae*، *Myrtaceae*، *Poaceae*، *Plantaginaceae*، *Proteaceae*، *Scrophulariaceae* است. مشخص شده است که بذرهایی تازه برداشت شده گل‌رنگ نیز درجات مختلفی از خواب فیزیولوژیکی غیر عمیق را نشان می‌دهند (۲۰، ۲۱). یکی از ویژگی‌های مهم بذرهایی با خواب فیزیولوژیکی غیر عمیق این است که خواب این بذرها در طی انبارداری خشک (پس‌رسی) برطرف می‌گردد، اگرچه، بذرهایی تازه رسیده برخی از گونه‌ها فاقد خواب هستند و نیازی به تیمار شکستن خواب ندارند (۲۲). مدت زمان پس‌رسی مورد نیاز برای شکستن کامل خواب در میان گونه‌ها متفاوت است و معمولاً از ۲ ماه تا ۱ سال متغیر است (۲۳). بذر بسیاری از گونه‌ها در زمان بلوغ خواب هستند. از بین تیمارهای مختلف موجود برای شکستن خواب بذر، پس‌رسی، یعنی شکستن خواب در طول انبارداری خشک، مقرون به‌صرفه‌ترین است. در اصل، "پس‌رسی" برای توصیف شکستن خواب که پس از پراکندگی بذر رخ می‌دهد استفاده می‌شود (۲۴). بسیاری از محققین گیاهی آگاه هستند که یک دوره نگهداری خشک در دمای اتاق ممکن است خواب بذر را بشکند (۲۵، ۲۶، ۲۷).

از طرفی، در طول پس‌رسی، درصد و سرعت جوانه‌زنی و دامنه شرایطی که بذرها در آن جوانه می‌زنند ممکن است افزایش یابد (۲۸، ۲۹). به‌عنوان مثال، در طول پس‌رسی بذر بسیاری از گیاهان یکساله

ساعت نور سفید/۱۲ ساعت تاریکی) و تاریکی مطلق و نیز دو شرایط با و بدون کاربرد جیبرلیک اسید (GA_3) مورد بررسی قرار گرفت. در این آزمون برای هر تیمار از سه تکرار ۲۵ بذری استفاده شد. بذرها بر روی یک لایه کاغذ صافی درون ظرف‌های پتری به قطر ۶ سانتی‌متر و حاوی ۳ میلی‌لیتر آب مقطر آب‌نوشی شدند. تیمارهای دمایی توسط انکوباتور با دقت ۰/۵ درجه سانتی‌گراد تأمین شد. پس از شروع جوانه‌زنی، بذرهاى جوانه‌زده در طی شمارش‌های روزانه (دو الی سه بار در روز) از پتری‌ها حذف شدند. معیار جوانه‌زنی خروج ریشه‌چه و رسیدن طول آن به یک میلی‌متر یا بیش‌تر در نظر گرفته شد (۳۵).

شمارش بذوری که در شرایط تاریکی قرار داشتند در اتاق کاملاً تاریک و زیر نور سبز صورت گرفت. شمارش بذرهاى جوانه‌زده تا زمان عدم جوانه‌زنی طی سه روز متوالی ادامه یافت. در پایان آزمایش درصد و سرعت جوانه‌زنی بذرها محاسبه شد.

برای محاسبه سرعت جوانه‌زنی ابتدا مدل لجیستیک سه پارامتره (رابطه ۱) به داده‌های درصد جوانه‌زنی تجمعی در مقابل زمان برازش داده شد (۳۶).

$$y = \frac{A_{\max}}{1 + \left(\frac{t}{T_{50}}\right)^b} \quad \text{رابطه ۱:}$$

در این معادله y درصد جوانه‌زنی تجمعی در زمان t ، حداکثر درصد جوانه‌زنی تجمعی، b یکنواختی جوانه‌زنی (تندی شیب منحنی) و T_{50} زمان تا رسیدن به ۵۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی می‌باشد. پس از برازش مدل لجیستیک به داده‌های درصد جوانه‌زنی تجمعی در مقابل زمان برای هر تیمار، زمان تا رسیدن به ۲۰ درصد جوانه‌زنی بر اساس جمعیت

از آنجایی که خواب بذر در گیاه گلرنگ عمدتاً در گونه‌های وحشی گزارش شده است (۳۴) و نیز به دلیل اهمیت گونه‌های وحشی به واسطه کاربرد آن‌ها به عنوان منابع ژنتیکی جهت انتقال ژن‌های مطلوب به گیاهان زراعی، بررسی خصوصیات و نیازهای جوانه‌زنی آن‌ها تحت شرایط محیطی مختلف منجر به تسهیل در تکثیر و حفظ این منابع ژنتیکی ارزشمند می‌شود. بنابراین، پژوهش حاضر به منظور بررسی پاسخ جوانه‌زنی بذرهاى گلرنگ در دو گونه وحشی *C. glaucus* و *C. oxycanthus* به دما و پتانسیل آب در طی زمان‌های مختلف پس‌رسی انجام شد.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی و محل انجام آزمایش: در این آزمایش از بذرهاى دو گونه وحشی گلرنگ شامل گونه‌های *C. glaucus* و *oxycanthus* استفاده شد. بذرهاى هر دو گونه از موسسه کنترل، ثبت و گواهی نهال و بذر کرج تهیه شد. ابتدا بذرهاى تهیه شده در شرایط مشابه در مزرعه آموزشی و پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان در تاریخ ۱۲ اسفند سال ۱۳۹۷ کشت شدند. پس از رسیدگی، بذرها به صورت دستی برداشت شدند و پس از انتقال به آزمایشگاه علوم و تکنولوژی بذر، پاسخ جوانه‌زنی آن‌ها به دما و پتانسیل آب در طی زمان‌های مختلف پس‌رسی (انبارداری خشک) شامل صفر (بذر تازه)، ۲، ۴، ۶ و ۱۲ ماه مورد ارزیابی قرار گرفت. دمای پس‌رسی (دمای انبار) ۲۵ درجه سانتی‌گراد بود.

بررسی پاسخ جوانه‌زنی به دما در طی پس‌رسی: در این آزمایش قابلیت جوانه‌زنی بذرهاى دو گونه مذکور پس از سپری شدن دوره‌های مختلف پس‌رسی (صفر، ۲، ۴، ۶ و ۱۲ ماه) در دماهای ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد در دو شرایط نور/تاریکی (۱۲)

۰/۸- مگاپاسکال انجام شد. سطوح مختلف پتانسیل آب با استفاده از پلی اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ بر اساس فرمول میشل و کافمن (۱۹۷۳) ایجاد شد (۳۸). برای تهیه پتانسیل آب صفر (شاهد) از آب مقطر استفاده شد. بدین منظور ۴ تکرار ۲۵ تایی از هر تیمار شمارش و در ظرف‌های پتری به قطر ۶ سانتی‌متر که در کف آن‌ها یک لایه کاغذ صافی واتمن قرار داده شده بود، چیده شدند. مقدار مساوی از هر محلول (۳ میلی‌متر) به همراه آب مقطر به‌عنوان شاهد در ظرف‌های پتری مربوطه ریخته شد و در نهایت نمونه‌ها در انکوباتور و در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. پس از شروع جوانه‌زنی، بذرها در جوانه‌زده در طی شمارش‌های روزانه (دو الی سه بار در روز) از پتری دیش‌ها حذف شدند. معیار جوانه‌زنی خروج ریشه‌چه و رسیدن طول آن‌ها به یک میلی‌متر یا بیش‌تر در نظر گرفته شد (۳۵). برای بررسی واکنش جوانه‌زنی بذرها به سطوح مختلف پتانسیل آب از برازش مدل هیدروتایم (رابطه ۴) به داده‌های درصد جوانه‌زنی تجمعی استفاده شد (۳۹).

$$\text{probit}(g) = \frac{\{\psi - \theta_H\} - \psi_{b(50)}}{\delta\psi_b} \quad \text{رابطه ۴:}$$

که در این رابطه، g تابع پروبیت برای داده‌های درصد جوانه‌زنی تجمعی، ψ پتانسیل آب برحسب مگاپاسکال، t_g زمان موردنیاز برای جوانه‌زنی g درصد از بذرها (برحسب ساعت)، θ_H ضریب هیدروتایم برحسب مگاپاسکال ساعت، $\psi_{b(50)}$ پتانسیل آب پایه برای ۵۰ درصد جوانه‌زنی (برحسب مگاپاسکال) و σ_{ψ_b} انحراف معیار توزیع پتانسیل پایه برای صدک‌های مختلف در جمعیت بذر می‌باشد. برای استفاده از این مدل در هر تیمار، نسبت تجمعی جوانه‌زنی در هر دفعه شمارش از روی نتایج حاصل از شمارش روزانه بذرها در جوانه‌زده به دست آمد.

بذری (T_{20}^{SP})^۱ با استفاده از پارامترهای مدل طبق روش ارائه شده توسط قادری فر و گرزین (۲۰۱۸) محاسبه شد (۳۷). در مرحله بعد با معکوس کردن T_{20}^{SP} سرعت جوانه‌زنی محاسبه شد (رابطه ۲):

$$\text{رابطه ۲:} \quad R_{20}^{SP} = \frac{1}{T_{20}^{SP}}$$

در این رابطه R_{20}^{SP} سرعت جوانه‌زنی براساس زمان تا رسیدن به ۲۰ درصد جوانه‌زنی بر اساس جمعیت بذری می‌باشد زیرا پایین‌ترین درصد جوانه‌زنی بین تیمارها ۲۰ درصد بود. همچنین، علت استفاده از T_{20}^{SP} به جای T_{50} (زمان تا رسیدن به ۵۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی) پرهیز از مقایسه صدک‌های مختلف برای جوانه‌زنی به دلیل تفاوت در حداکثر درصد جوانه‌زنی در دماهای مختلف بود.

در مرحله بعد با استفاده از برازش مدل دوتکه‌ای (رابطه ۳) به داده‌های سرعت جوانه‌زنی دماهای کاردینال جوانه‌زنی محاسبه شد.

$$y = \frac{\left(\frac{(T - T_b)}{(T_o - T_b)} \right)}{f_o} \rightarrow \text{if } T_b < T < T_o$$

$$y = \frac{\left(\frac{1 - (T - T_o)}{(T_c - T_o)} \right)}{f_o} \rightarrow \text{if } T_o < T < T_c$$

$$y = 0 \rightarrow \text{if } T \leq T_b \dots \text{or} \dots T \geq T_c$$

در این رابطه y سرعت جوانه‌زنی، T دمای آزمایش، T_b دمای پایه، T_o دمای مطلوب و T_c دمای سقف جوانه‌زنی می‌باشند.

بررسی پاسخ جوانه‌زنی به پتانسیل آب در طی پس‌رسی: در این آزمایش، جوانه‌زنی بذرها دو گونه وحشی گلرنگ در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد در پاسخ به پتانسیل‌های آب صفر، -۰/۲، -۰/۴، -۰/۶ و

^۱ Time to 20 % of germination based on seed population

شرایط، تیمار ۱۲ ماه پس‌رسی در تمامی دماها (به جز ۱۵ درجه سانتی‌گراد) منجر به کاهش درصد جوانه‌زنی شد (شکل ۱، ب). در شرایط تاریکی، تیمارهای ۲، ۴ و ۶ ماه پس‌رسی منجر به افزایش درصد جوانه‌زنی در دماهای ۵ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد و تیمار ۱۲ ماه پس‌رسی منجر به کاهش درصد جوانه‌زنی در دماهای ۱۰، ۱۵، ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد شد (شکل ۱-پ). در شرایط تاریکی + جیبرلیک اسید، تمامی تیمارهای پس‌رسی منجر به افزایش درصد جوانه‌زنی نسبت به شاهد در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد شدند (شکل ۱، ت). همچنین، در دماهای ۵ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد کاربرد جیبرلیک اسید در هر دو شرایط نور و تاریکی باعث افزایش درصد جوانه‌زنی در مقایسه با شرایط عدم کاربرد جیبرلیک اسید شد. به‌علاوه، درصد جوانه‌زنی در نور (نور + جیبرلیک اسید) همواره بالاتر از درصد جوانه‌زنی در تاریکی (تاریکی + جیبرلیک اسید) بود و این در دماهای ۵ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد مشخص‌تر بود (شکل ۱، الف-ت).

تغییرات سرعت جوانه‌زنی در مقابل دما در گونه *C. oxycanthus* از یک منحنی دو تکه‌ای تبعیت کرد (شکل ۲). بر این اساس، پس‌رسی باعث افزایش دماهای پایه، مطلوب و سقف در شرایط نور، تاریکی، و جیبرلیک اسید + تاریکی در مقایسه با بذرهای تازه شد. در شرایط جیبرلیک اسید + نور نیز دماهای پایه و مطلوب در بذرهای پس‌رسی شده در مقایسه با بذرهای تازه افزایش یافت، اما دمای سقف تغییر نکرد (شکل ۲، جدول ۱).

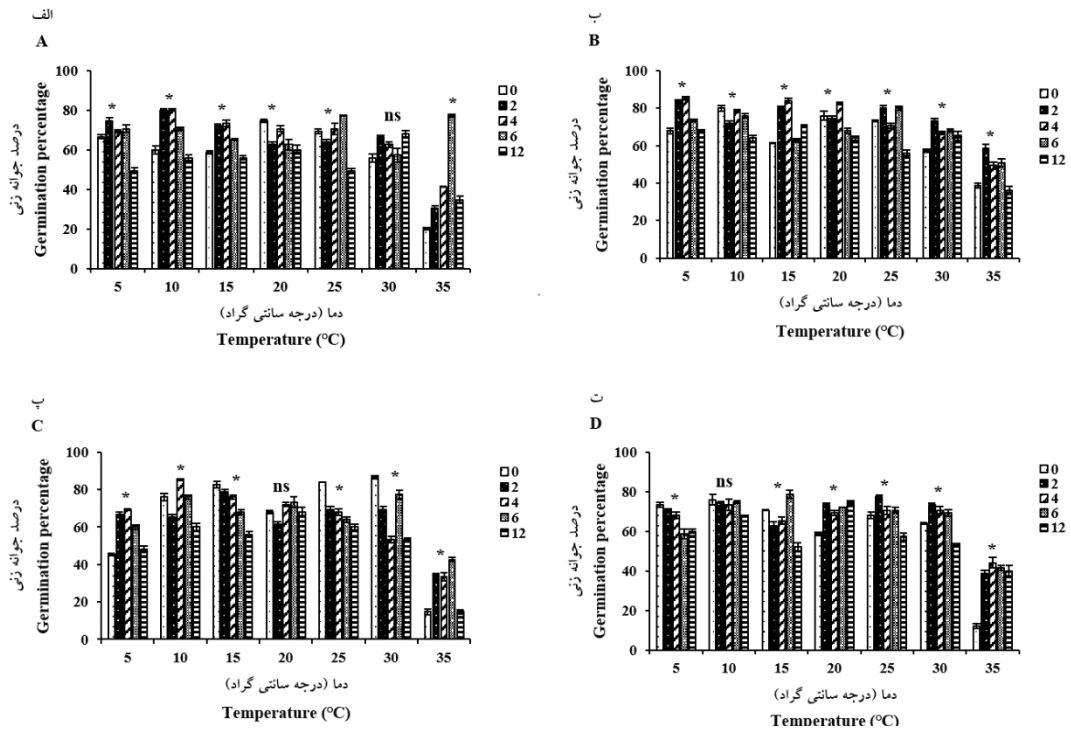
سپس از این داده‌ها پروبیت گرفته شد. سپس مدل ۴ به داده‌های پروبیت گرفته‌شده برازش داده شد. پس از برازش مدل هیدروتایم به کلیه تیمارها، ضرایب مدل، تخمین و برآورد شد. سپس برای بررسی پاسخ هر گونه در طی پس‌رسی به تنش آبی در مرحله جوانه‌زنی، از ضرایب این مدل که هرکدام دارای مفهوم بیولوژیک و قابل تفسیر می‌باشد، استفاده شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹،۴ و برازش مدل‌های رگرسیون غیرخطی با رویه proc nlin صورت گرفت (۴۰).

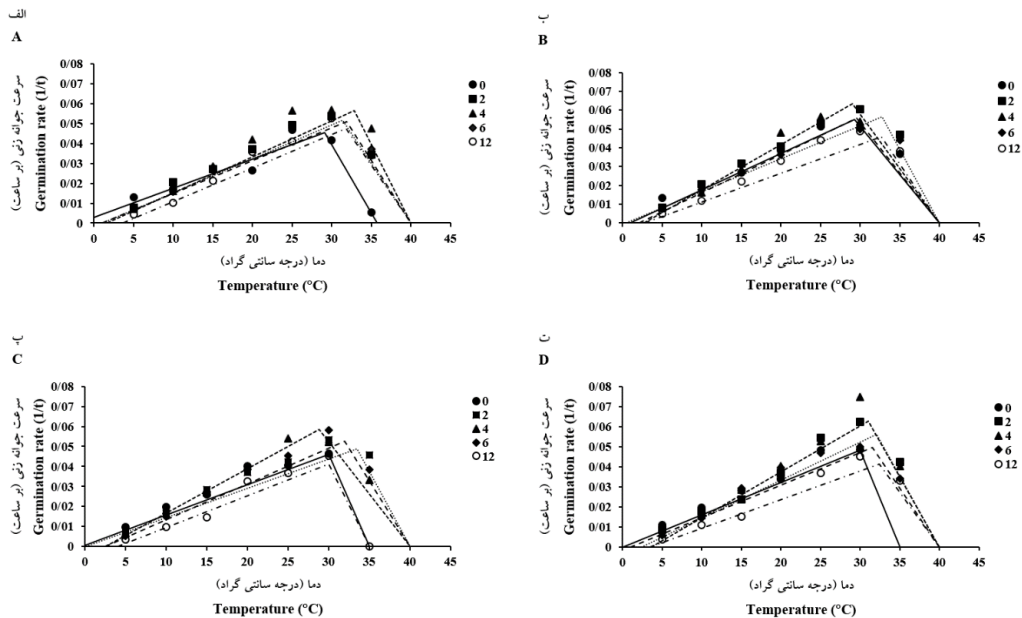
نتایج

پاسخ جوانه‌زنی به دما در طی پس‌رسی: بر اساس نتایج حاصل، پس‌رسی، نور و کاربرد جیبرلیک اسید اثر قابل توجهی بر درصد جوانه‌زنی بذرهای گلرنگ گونه *C. oxycanthus* داشتند (شکل ۱، الف-ت). تیمارهای ۲، ۴ و ۶ ماه پس‌رسی باعث افزایش درصد جوانه‌زنی در مقایسه با شاهد در دماهای ۵، ۱۰، ۱۵ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد تحت شرایط نور شدند (شکل ۱، الف). همچنین در شرایط نور، تیمار ۱۲ ماه پس‌رسی باعث کاهش درصد جوانه‌زنی در مقایسه با شاهد در اکثر دماها (به جز دماهای ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد شدند (شکل ۱، الف). در شرایط نور + جیبرلیک اسید، تیمارهای ۲ و ۴ ماه پس‌رسی باعث افزایش درصد جوانه‌زنی در مقایسه با شاهد در دماهای ۵، ۱۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد شدند. همچنین در این



شکل ۱- تغییرات درصد جوانه‌زنی بذرهای گونه *C. oxycanthus* در پاسخ به طول دوره پس‌رسی (صفر، بذر تازه؛ ۲، ۲ ماه پس‌رسی؛ ۴، ۴ ماه پس‌رسی؛ ۶، ۶ ماه پس‌رسی و ۱۲، ۱۲ ماه پس‌رسی) و دمای جوانه‌زنی در شرایط نور (الف)، نور + جیبرلیک اسید (ب)، تاریکی (پ) و تاریکی + جیبرلیک اسید (ت). ns، * و ** به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد را نشان می‌دهد.

Figure 1- Changes in the germination percentage of *C. oxycanthus* seeds in response to the length of the afterripening period (0, fresh seed; 2, 2 months afterripening; 4, 4 months afterripening; 6, 6 months afterripening and 12, 12 months afterripening) and germination temperature in the conditions of light (A), light + gibberellic acid (B), darkness (C) and darkness + gibberellic acid (D). ns, * and ** indicate non-significance and significance at 5% and 1% probability levels, respectively.



شکل ۲- تغییرات سرعت جوانه‌زنی بذرهای گونه *C. oxycanthus* در پاسخ به طول دوره پس‌رسی (صفر، بذر تازه؛ ۲، ۲ ماه پس‌رسی؛ ۴، ۴ ماه پس‌رسی؛ ۶، ۶ ماه پس‌رسی و ۱۲، ۱۲ ماه پس‌رسی) و دمای جوانه‌زنی در شرایط نور (الف)، نور + جیبرلیک اسید (ب)، تاریکی (پ) و تاریکی + جیبرلیک اسید (ت).

Figure 2- Changes in the germination rate of *C. oxycanthus* seeds in response to the length of the afterripening period (0, fresh seed; 2, 2 months afterripening; 4, 4 months afterripening; 6, 6 months afterripening and 12, 12 months afterripening) and germination temperature in the conditions of light (A), light + gibberellic acid (B), darkness (C) and darkness + gibberellic acid (D).

واکنش جوانه‌زنی بذر دو گونه‌ی وحشی گلرنگ... / عبدالحسین رضائی و همکاران

جدول ۱- پارامترهای حاصل از برازش مدل دو تک‌پای به داده‌های سرعت جوانه‌زنی گونه *C. oxycanthus* در مقابل دما که در شکل ۲ نشان داده شده است.

Table 1- The parameters obtained from fitting the segmented model to the data of the germination rate of *C. oxycanthus* versus temperature shown in Figure 2.

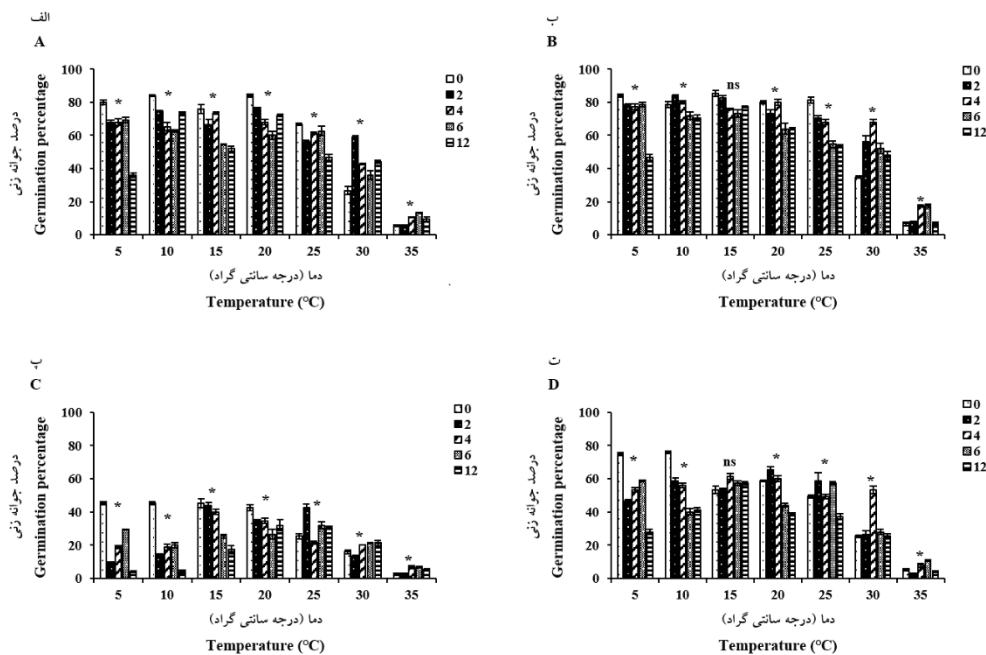
تیماژ	پس‌رسی	دمای پایه	دمای مطلوب	دمای سقف	روز بیولوژیک	R2
Treatment	Afterripening	Tb	To	Tc	Fo	
نور Light	بذر تازه Fresh seed	-1.81±4.17	29.12±0.98	35.75±0.89	20.84±2.06	0.92
	۲ ماه پس‌رسی 2 Month AR	1.24±0.95	31.37±0.58	40±1.45	16.83±0.53	0.96
	۴ ماه پس‌رسی 4 Month AR	1.76±1.55	32.82±0.56	40±4.31	14.68±0.62	0.98
	۶ ماه پس‌رسی 6 Month AR	1.12±0.94	31.94±0.39	40±1.80	16.75±0.41	0.98
	۱۲ ماه پس‌رسی 12 Month AR	3.70±0.93	31.79±0.49	40±2.06	17.85±0.54	0.98
	تاریکی Dark	بذر تازه Fresh seed	-0.33±1.95	30±0.95	35±0.43	19.85±1.20
۲ ماه پس‌رسی 2 Month AR		0.15±0.89	33.47±0.24	40±4.82	16.80±0.37	0.93
۴ ماه پس‌رسی 4 Month AR		2.56±1.33	28.83±0.61	40±1.41	16.24±0.68	0.99
۶ ماه پس‌رسی 6 Month AR		2.50±0.53	31.93±0.25	40±1.15	16.14±0.25	0.99
۱۲ ماه پس‌رسی 12 Month AR		4.04±1.45	30±0.95	35±0.36	21.88±1.16	0.98
نور+جیبرلین Light+GA		بذر تازه Fresh seed	1.01±2	29.28±0.99	40±1.25	16.94±1.17
	۲ ماه پس‌رسی 2 Month AR	0.49±0.58	32.76±0.19	40±2.08	14.75±0.21	0.92
	۴ ماه پس‌رسی 4 Month AR	2.71±3.07	28.99±1.41	40±6.14	14.82±1.42	0.98
	۶ ماه پس‌رسی 6 Month AR	2.15±3.71	29.50±1.54	40±8	16.56±1.90	0.98
	۱۲ ماه پس‌رسی 12 Month AR	2.82±0.84	32.70±0.34	40±3.60	17.92±0.45	0.99
	تاریکی+جیبرلین Dark+GA	بذر تازه Fresh seed	0.06±1.61	30±0.85	35±0.37	18.97±0.98
۲ ماه پس‌رسی 2 Month AR		2.38±1.31	32.10±0.59	40±3.14	14.96±0.57	0.98
۴ ماه پس‌رسی 4 Month AR		3.64±1.17	31.05±0.72	40±1.77	13.83±0.55	0.98
۶ ماه پس‌رسی 6 Month AR		0.99±1.79	31.58±0.81	40±2.74	17.38±0.82	0.98
۱۲ ماه پس‌رسی 12 Month AR		3.47±1.66	32.44±0.75	40±5.89	19.92±1.05	0.97

باعث کاهش درصد جوانه‌زنی در دماهای ۲۵-۵ درجه سانتی‌گراد شدند، اما در دماهای ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد باعث افزایش درصد جوانه‌زنی در مقایسه با شاهد شدند (شکل ۳، الف و ب). در شرایط

پس‌رسی، نور و کاربرد جیبرلین اسید اثر قابل‌توجهی بر درصد جوانه‌زنی بذرهای گلرنگ گونه *C. Glaucus* داشتند (شکل ۳، الف-ت). در دو شرایط نور و نور+جیبرلین اسید، تیمارهای پس‌رسی

ماه پس‌رسی و در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد دو تیمار ۴ و ۶ ماه پس‌رسی منجر به افزایش درصد جوانه‌زنی در مقایسه با شاهد شدند (شکل ۳، ت). از طرف دیگر، در تمامی دماها درصد جوانه‌زنی بذرهای گونه *C. glaucus* تحت تیمار جیبرلیک اسید در دو شرایط نور و تاریکی نسبت به عدم کاربرد جیبرلیک اسید افزایش یافت. به‌علاوه، در تمامی دماها و دوره‌های مختلف پس‌رسی درصد جوانه‌زنی در نور (نور و نور+ جیبرلیک اسید) همواره بالاتر از درصد جوانه‌زنی در تاریکی (تاریکی و تاریکی + جیبرلیک اسید) بود و این در دماهای ۵ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد مشخص‌تر بود (شکل ۳، الف-ت).

تاریکی، تیمارهای پس‌رسی منجر به کاهش درصد جوانه‌زنی در دماهای ۲۰-۵ درجه سانتی‌گراد شدند، اما در دماهای ۳۵-۲۵ درجه سانتی‌گراد باعث افزایش جوانه‌زنی در مقایسه با شاهد شدند (شکل ۳، پ). در شرایط تاریکی + جیبرلیک اسید، تمامی تیمارهای پس‌رسی در دماهای ۵ و ۱۰ درجه سانتی‌گراد منجر به کاهش درصد جوانه‌زنی نسبت به شاهد شدند. در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد اختلاف قابل توجهی بین تیمارهای مختلف پس‌رسی و شاهد مشاهده نشد. در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد تیمارهای ۶ و ۱۲ ماه پس‌رسی و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد تیمار ۱۲ ماه پس‌رسی منجر به کاهش درصد جوانه‌زنی در مقایسه با شاهد شدند. در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد تیمار ۴

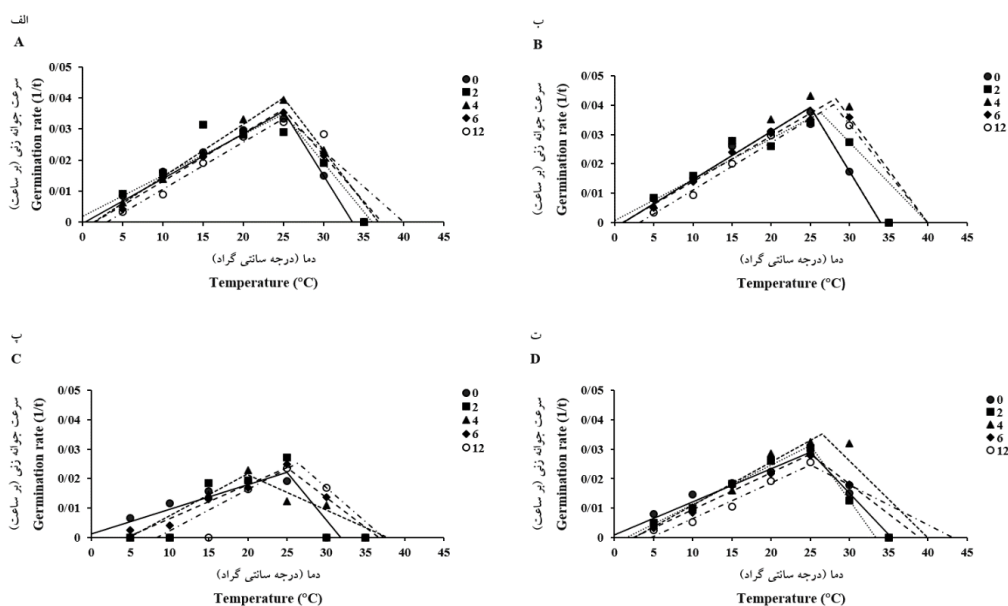


شکل ۳- تغییرات درصد جوانه‌زنی بذرهای گونه *C. glaucus* در پاسخ به طول دوره پس‌رسی (صفر، بذر تازه؛ ۲، ۲ ماه پس‌رسی؛ ۴، ۴ ماه پس‌رسی؛ ۶، ۶ ماه پس‌رسی و ۱۲، ۱۲ ماه پس‌رسی) و دمای جوانه‌زنی در شرایط نور (الف)، نور + جیبرلیک اسید (ب)، تاریکی (پ) و تاریکی + جیبرلیک اسید (ت). ns، * و ** به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد را نشان می‌دهد.

Figure 3- Changes in the germination percentage of *C. glaucus* seeds in response to the length of the afterripening period (0, fresh seed; 2, 2 months afterripening; 4, 4 months afterripening; 6, 6 months afterripening and 12, 12 months afterripening) and germination temperature in the conditions of light (A), light + gibberellic acid (B), darkness (C) and darkness + gibberellic acid (D). ns, * and ** indicate non-significance and significance at 5% and 1% probability levels, respectively.

جیبرلیک اسید هم دمای مطلوب و هم دمای سقف در بذرهای پس‌رسی شده بالاتر از بذرهای تازه بود (شکل ۴، جدول ۲). در تیمارهای تاریکی و تاریکی + جیبرلیک اسید دماهای پایه و سقف در بذرهای پس‌رسی شده همواره بالاتر از بذرهای تازه بود و دمای مطلوب در طی زمان‌های مختلف پس‌رسی (به استثنای ۴ و ۱۲ ماه پس‌رسی در شرایط تاریکی) مشابه بذرهای تازه بود (شکل ۴، جدول ۲).

تغییرات سرعت جوانه‌زنی در مقابل دما در گونه *C. glaucus* نیز از یک منحنی دو تکه‌ای تبعیت کرد (شکل ۴). بر این اساس، دمای پایه در دو شرایط نور و نور + جیبرلیک اسید در بذرهای پس‌رسی شده اختلاف قابل توجهی با بذرهای تازه نداشت. همچنین، دمای مطلوب در شرایط نور اختلاف قابل توجهی با بذرهای تازه نداشت، در حالی که دمای سقف در این تیمار در بذرهای پس‌رسی شده بیش‌تر از بذرهای تازه بود (شکل ۴، جدول ۲). در شرایط نور +



شکل ۴- تغییرات سرعت جوانه‌زنی بذرهای گونه *C. glaucus* در پاسخ به طول دوره پس‌رسی (صفر، بذر تازه؛ ۲، ۴ ماه پس‌رسی؛ ۴، ۶ ماه پس‌رسی؛ ۶، ۱۲ ماه پس‌رسی) و دمای جوانه‌زنی در شرایط نور (الف)، نور + جیبرلیک اسید (ب)، تاریکی (پ) و تاریکی + جیبرلیک اسید (ت).

Figure 4- Changes in the germination rate of *C. glaucus* seeds in response to the length of the afterripening period (0, fresh seed; 2, 2 months afterripening; 4, 4 months afterripening; 6, 6 months afterripening and 12, 12 months afterripening) and germination temperature in the conditions of light (A), light + gibberellic acid (B), darkness (C) and darkness + gibberellic acid (D)

کاهش یافت (شکل ۵). درصد جوانه‌زنی نهایی در پتانسیل‌های آب ۰/۶- و ۰/۸- مگاپاسکال در بذرهای ۲ ماه پس‌رسی شده نسبت به بذرهای تازه کاهش یافت، اما با افزایش دوره پس‌رسی مجدداً افزایش پیدا کرد، به طوری که درصد جوانه‌زنی نهایی پس از ۱۲ ماه پس‌رسی در پتانسیل‌های آب مذکور بالاتر از بذرهای تازه بود (شکل ۵). بر این اساس، ضریب

پاسخ جوانه‌زنی به سطوح مختلف تنش آبی در طی پس‌رسی: نتایج حاصل از برازش مدل هیدروتایم به داده‌های درصد جوانه‌زنی تجمعی گونه *C. oxycanthus* در پاسخ به سطوح مختلف تنش آبی در طی پس‌رسی در شکل ۵ و جدول ۳ نشان داده شده است. درصد جوانه‌زنی نهایی در بذرهای تازه و پس‌رسی شده با منفی‌تر شدن پتانسیل آب همواره

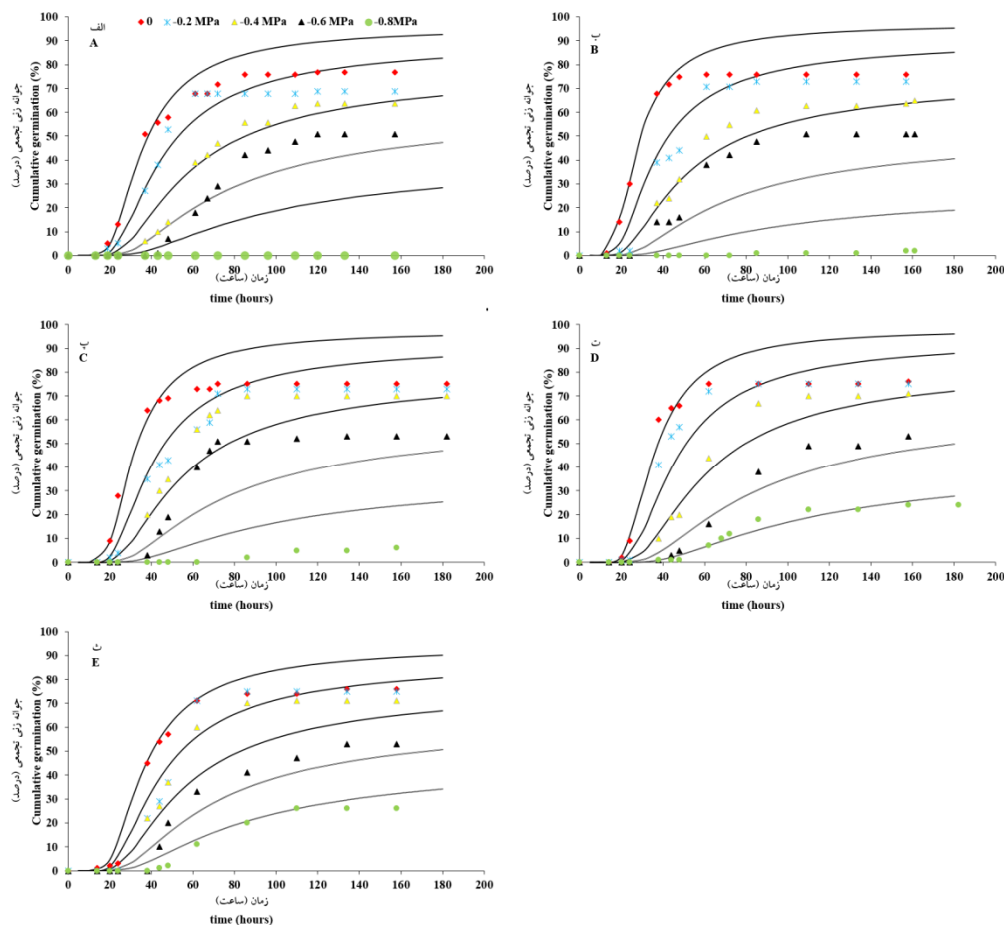
هیدروتایم در بذره‌های تازه ۲۸ مگاپاسکال ساعت بود. ضریب هیدروتایم در بذره‌های ۲ ماه پس‌رسی شده به ۱۸ مگاپاسکال ساعت کاهش یافت، اما با افزایش طول دوره پس‌رسی مقدار ضریب هیدروتایم همواره افزایش یافت و پس از ۱۲ ماه پس‌رسی به ۳۱ مگاپاسکال ساعت رسید (جدول ۳). پتانسیل آب پایه برای ۵۰ درصد جوانه‌زنی (ψ_{b50}) در بذره‌های ۲ ماه پس‌رسی شده بالاتر ($-۰/۶۲$) از بذره‌های تازه ($-۰/۷۰$ مگاپاسکال) بود، اما با افزایش طول دوره پس‌رسی مقدار ψ_{b50} مجدداً کاهش (منفی‌تر) یافت و پس از ۱۲ ماه پس‌رسی به $-۰/۷۸$ مگاپاسکال رسید (جدول ۳).

جدول ۲- پارامترهای حاصل از برازش مدل دو تکه‌ای به داده‌های سرعت جوانه‌زنی گونه *C. Glaucus* در مقابل دما که در شکل ۴ نشان داده شده است.

Table 2- The parameters resulting from fitting the segmented model to the data of the germination rate of *C. Glaucus* versus temperature shown in Figure 4.

تیمار Treatment	پس‌رسی Afterripening	دمای پایه Tb	دمای مطلوب To	دمای سقف Tc	روز بیولوژیک Fo	R ²
نور Light	بذر تازه Fresh seed	0.32±1.47	25±1.11	33.62±1.20	28±1.60	0.99
	۲ ماه پس‌رسی 2 Month AR	-1.39±4.13	25±2.66	36.05±4.85	28.80±3.94	0.87
	۴ ماه پس‌رسی 4 Month AR	1.45±0.62	25±0.75	36.83±0.84	25.05±0.53	0.99
	۶ ماه پس‌رسی 6 Month AR	1.52±0.81	25±1.01	37.26±1.19	27.61±0.77	0.99
	۱۲ ماه پس‌رسی 12 Month AR	3.02±3.49	25.29±2.42	40±4.21	29.57±3.73	0.96
تاریکی Dark	بذر تازه Fresh seed	-1.43±2.88	25±1.25	31.87±1.22	45.37±4.31	0.99
	۲ ماه پس‌رسی 2 Month AR					
	۴ ماه پس‌رسی 4 Month AR	4.76±9.75	19.79±4.12	37.83±6	46.47±7.59	0.61
	۶ ماه پس‌رسی 6 Month AR	4.4±1.35	25±1.33	36.69±2.45	42.06±2.66	0.99
	۱۲ ماه پس‌رسی 12 Month AR	8.37±2.02	26.33±0.98	37.29±1.06	39.51±	
نور+جیبرلین Light+GA	بذر تازه Fresh seed	1.06±1.12	25±0.98	33.91±1.05	25.43±1.19	0.99
	۲ ماه پس‌رسی 2 Month AR	-0.43±2.33	26.33±1.55	40±5.25	26.62±2.02	0.95
	۴ ماه پس‌رسی 4 Month AR	1.44±0.85	26.92±1.02	44.36±4.22	20.85±0.63	0.99
	۶ ماه پس‌رسی 6 Month AR	0.96±1.35	28.22±0.62	40±4.75	23.62±0.88	0.98
	۱۲ ماه پس‌رسی 12 Month AR	3.13±1.14	27.91±0.65	40±5.52	24.92±0.97	
تاریکی+جیبرلین Dark+GA	بذر تازه Fresh seed	-0.79±1.68	25±0.78	35.38±1.82	34.57±2.03	0.99
	۲ ماه پس‌رسی 2 Month AR	1.52±0.86	25±0.85	33.33±0.55	32.04±0.95	0.99
	۴ ماه پس‌رسی 4 Month AR	2.51±4.32	26.45±2.54	40±4.36	28.33±3.93	0.95
	۶ ماه پس‌رسی 6 Month AR	2.43±0.87	25±0.56	38.93±1.83	35.33±1.15	0.99
	۱۲ ماه پس‌رسی 12 Month AR	4.62±1.29	25±1.02	43.14±6.05	40.49±2.51	0.99

واکنش جوانه‌زنی بذر دو گونه‌ی وحشی گلرنگ... / عبدالحسین رضائی و همکاران



شکل ۵- برازش مدل هیدروتایم به داده‌های درصد جوانه‌زنی تجمعی گونه *C. oxycanthus* در پتانسیل‌های مختلف آب و زمان‌های مختلف پس‌رسی (الف، بذر تازه؛ ب، ۲ ماه پس‌رسی؛ پ، ۴ ماه پس‌رسی؛ ت، ۶ ماه پس‌رسی و ث، ۱۲ ماه پس‌رسی).
 Figure 5- Fitting the hydrottime model to the cumulative germination percentage data of *C. oxycanthus* species in different water potentials and different afterripening times (A, fresh seed; B, 2 months afterripening; C, 4 months afterripening; D, 6 months afterripening and E, 12 months afterripening).

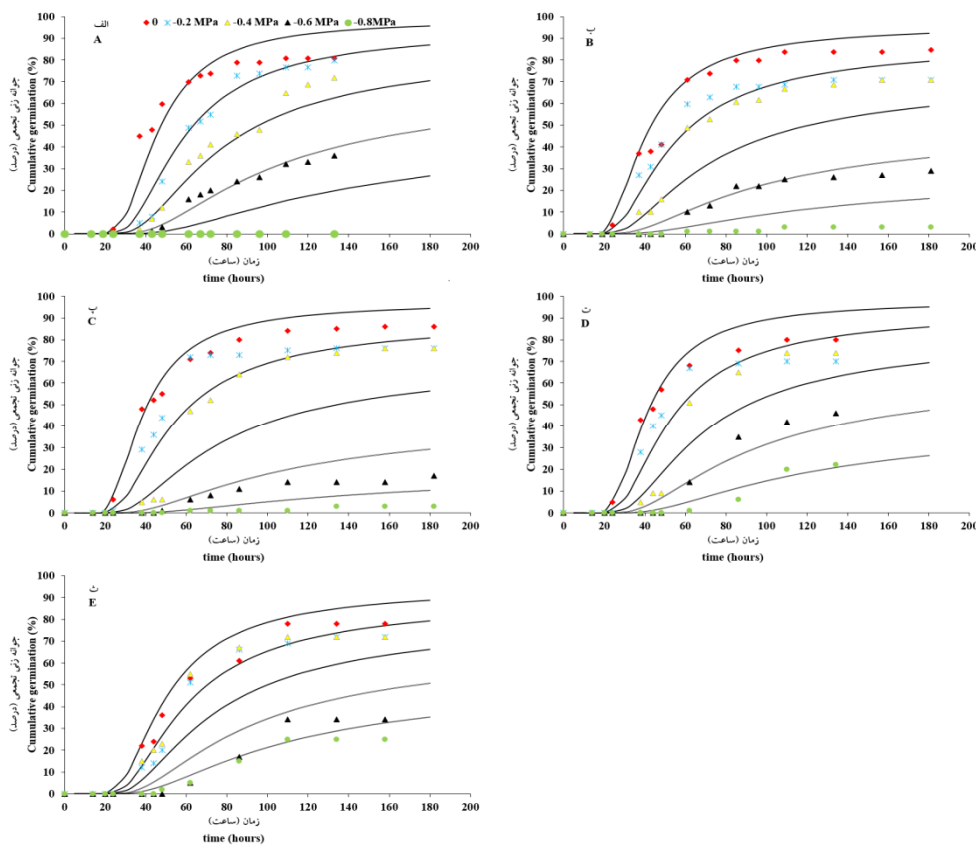
جدول ۳- پارامترهای حاصل از برازش مدل هیدروتایم به داده‌های درصد جوانه‌زنی تجمعی در سطوح مختلف پتانسیل آب در گونه *C. oxycanthus* در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد.

Table 3- The parameters obtained from fitting the hydrottime model to the cumulative germination percentage data at different levels of water potential in *C. oxycanthus* species at 20°C.

پس‌رسی Afterripening	θ_H (MPa h)±SE	ψ_{b50} (MPa)±SE	$\sigma_{\psi b}$ (MPa)±SE	R ²
بذر تازه Fresh seed	28.10±2.64	-0.72±0.04	0.39±0.04	0.99
۲ ماه پس‌رسی 2 Month AR	18.20±1.81*	-0.62±0.04ns	0.31±0.03ns	0.98
۴ ماه پس‌رسی 4 Month AR	23.39±2.56ns	-0.7±0.05ns	0.34±0.03ns	0.98
۶ ماه پس‌رسی 6 Month AR	28.5±2.39ns	-0.75±0.04ns	0.34±0.02ns	0.99
۱۲ ماه پس‌رسی 12 Month AR	31.77±3.63ns	-0.78±0.06ns	0.47±0.05ns	0.98

بذرهای تازه ۳۸ مگاپاسکال ساعت بود. ضریب هیدروتایم در بذرهای ۲ و ۴ ماه پس‌رسی شده به ترتیب به ۲۷ و ۲۴ مگاپاسکال ساعت کاهش یافت، اما با افزایش طول دوره پس‌رسی مقدار ضریب هیدروتایم همواره افزایش یافت و پس از ۱۲ ماه پس‌رسی به ۴۷ مگاپاسکال ساعت رسید (جدول ۴). پتانسیل آب پایه برای ۵۰ درصد جوانه‌زنی (ψ_{b50}) در بذرهای ۲ و ۴ ماه پس‌رسی شده بالاتر (به ترتیب -0.62 و -0.57 مگاپاسکال) از بذرهای تازه (-0.74 مگاپاسکال) بود، اما با افزایش طول دوره پس‌رسی مقدار ψ_{b50} مجدداً کاهش (منفی‌تر) یافت و پس از ۱۲ ماه پس‌رسی به -0.87 مگاپاسکال رسید (جدول ۴).

نتایج حاصل از برازش مدل هیدروتایم به داده‌های درصد جوانه‌زنی تجمعی گونه *C. glaucus* در پاسخ به سطوح مختلف تنش آبی در طی پس‌رسی در شکل ۶ و جدول ۴ نشان داده شده است. درصد جوانه‌زنی نهایی در بذرهای تازه و پس‌رسی شده با منفی‌تر شدن پتانسیل آب همواره کاهش یافت (شکل ۶). درصد جوانه‌زنی نهایی در پتانسیل‌های آب -0.4 ، -0.6 و -0.8 مگاپاسکال در بذرهای ۲ و ۴ ماه پس‌رسی شده نسبت به بذرهای تازه کاهش یافت، اما با افزایش دوره پس‌رسی به بیش از ۴ ماه مجدداً افزایش پیدا کرد، به طوری که درصد جوانه‌زنی نهایی پس از ۱۲ ماه پس‌رسی در پتانسیل‌های آب مذکور بالاتر از بذرهای تازه بود (شکل ۶). ضریب هیدروتایم در



شکل ۶- برازش مدل هیدروتایم به داده‌های درصد جوانه‌زنی تجمعی گونه *C. glaucus* در پتانسیل‌های مختلف آب و زمان‌های مختلف پس‌رسی (الف، بذر تازه؛ ب، ۲ ماه پس‌رسی؛ پ، ۴ ماه پس‌رسی؛ ت، ۶ ماه پس‌رسی و ث، ۱۲ ماه پس‌رسی).

Figure 6- Fitting the hydrotim model to the cumulative germination percentage data of *C. glaucus* species in different water potentials and different afterripening times (A, fresh seed; B, 2 months afterripening; C, 4 months afterripening; D, 6 months afterripening and E, 12 months afterripening).

واکنش جوانه‌زنی بذر دو گونه‌ی وحشی گلرنگ... / عبدالحسین رضائی و همکاران

جدول ۴- پارامترهای حاصل از برازش مدل هیدروتایم به داده‌های درصد جوانه‌زنی تجمعی در سطوح مختلف پتانسیل آب در گونه *C. glaucus* در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد.

Table 4- The parameters obtained from fitting the hydrotim model to the cumulative germination percentage data at different levels of water potential in *C. glaucus* species at 20°C.

پس‌رسی	θH (MPa h)±SE	$\psi b50$ (MPa) ±SE	$\sigma\psi b$ (MPa) ±SE	R2
Afterripening				
بذر تازه	37.89±2.25	-0.79±0.032	0.34±0.019	0.99
Fresh seed				
۲ ماه پس‌رسی	26.80±2.54*	-0.62±0.037ns	0.33±0.02ns	0.99
2 Month AR				
۴ ماه پس‌رسی	23.60±2.45*	-0.57±0.039ns	0.28±0.021ns	0.99
4 Month AR				
۶ ماه پس‌رسی	32.61±3.15ns	-0.75±0.053ns	0.35±0.031ns	0.98
6 Month AR				
۱۲ ماه پس‌رسی	47.44±7.52ns	-0.87±0.11ns	0.5±0.065ns	0.98
12 Month AR				

بحث

فعال شدن آنزیم‌ها و هورمون‌ها در بذرهای می‌گردد که این موضوع قابلیت جوانه‌زنی آن‌ها را تغییر می‌دهد (۴۲). در گونه *Arachis hypogaea* L. پس‌رسی بذرهای (ذخیره‌سازی خشک در دمای اتاق) تولید اتیلن را افزایش داد (در ۴۸ ساعت پس از شروع جذب آب) و به دنبال آن درصد جوانه‌زنی افزایش یافت (۴۳). در گونه *Nicotiana tabacum* پس‌رسی منجر به تسریع در از هم گسیختگی تستا و تجزیه آندوسپرم شد و در نتیجه درصد و سرعت جوانه‌زنی افزایش پیدا کرد (۴۴).

از طرف دیگر، در این مطالعه مشخص شد که طولانی شدن دوره پس‌رسی (۱۲ ماه پس‌رسی) و یا طولانی شدن زمان انبارداری خشک منجر به کاهش قابلیت جوانه‌زنی (کاهش کیفیت بذر) شد، زیرا در اکثر تیمارها درصد جوانه‌زنی پس از ۱۲ ماه پس‌رسی در مقایسه با شاهد (بذرهای تازه) کاهش یافت (شکل ۳-۱ و ۳-۳). در مطالعات پیشین نیز قابلیت جوانه‌زنی بذر گلرنگ در شرایط انبارداری خشک پس از ۱۴ ماه نگهداری با کاهش شدید مواجه شد (۴۵). بذرهای گلرنگ دارای درصد روغن بالایی (۴۰ درصد وزن خشک بذر) هستند (۴۶). اسیدهای چرب غیر اشباع بخش اصلی ترکیب روغن در بذرهای گلرنگ را

بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش پس‌رسی بذرهای در دو گونه وحشی گلرنگ (*C. oxycanthus*) و *C. glaucus* اثر قابل توجهی بر درصد جوانه‌زنی آن‌ها داشت (شکل ۱ و ۳). به طور کلی، تاثیر پس‌رسی بذرهای در دو گونه مورد بررسی به دمای جوانه‌زنی پس از دوره‌های مختلف پس‌رسی وابسته بود. بیش‌ترین تاثیر پس‌رسی بر درصد جوانه‌زنی عمدتاً در دماهای پایین (۱۰-۵ درجه سانتی‌گراد) و بالا (۳۵-۳۰ درجه سانتی‌گراد) مشاهده شد. در گونه *C. oxycanthus* در دماهای پایین و بالا پس‌رسی باعث افزایش درصد جوانه‌زنی شد، در حالی که در دماهای متعادل‌تر تاثیر پس‌رسی بر جوانه‌زنی کاهش یافت. در گونه *C. glaucus* تیمارهای مختلف پس‌رسی تنها در دماهای بالا (۳۵-۳۰ درجه سانتی‌گراد) باعث افزایش درصد جوانه‌زنی شد و در سایر دماها یا منجر به کاهش درصد جوانه‌زنی و یا عدم اختلاف معنی‌دار نسبت به شاهد شد. برخی از مطالعات تغییرات بیوشیمیایی و بیولوژیکی را در سطح مولکولی بذرهای را در طول دوره پس‌رسی بررسی کرده‌اند (۴۱). به طور کلی، پس‌رسی موجب تغییرات فیزیکی، شیمیایی، بلوغ جنین‌های نارس و

اسید می‌تواند با خشتی کردن اثر بازدارندگی آبسازیک اسید منجر به وقوع جوانه‌زنی شود (۵۶). نور نیز می‌تواند با افزایش بیوسنتز جیبرلیک اسید و یا کاتابولسم آبسازیک اسید در بذرها منجر به رفع خواب و افزایش قابلیت جوانه‌زنی شود (۵۷). حساسیت بالای جوانه‌زنی به نور و کاربرد جیبرلیک اسید در دو گونه مورد بررسی به‌ویژه در دماهای پایین و بالا ممکن است ناشی از نقش جیبرلیک اسید و نور در رفع بازدارندگی دمایی و یا خواب ثانویه ناشی از تنش‌های دمای بالا و پایین باشد. تنش‌های دمایی می‌توانند از طریق افزایش محتوای آبسازیک اسید در بذرها دارای پتانسیل خواب فیزیولوژیکی باعث القای خواب ثانویه در آن‌ها شوند (۵۸). نور و یا کاربرد جیبرلیک اسید هر یک می‌توانند منجر به کاهش پتانسیل القای خواب ثانویه در بذرها شوند (۵۹، ۶۰).

بررسی دماهای کاردینال جوانه‌زنی در بذرها *C. glaucus* و *C. oxycanthus* شده دو گونه بررسی شده می‌تواند دامنه‌های دمایی وقوع جوانه‌زنی را تغییر دهد. به طوری که بررسی باعث افزایش دماهای پایه، مطلوب و سقف جوانه‌زنی در مقایسه با بذرها تازه در دو گونه مورد بررسی شد (شکل ۲ و ۴). نقش بررسی در افزایش دامنه جوانه‌زنی در سایر گیاهان نیز مشاهده شد؛ برای مثال، در گیاه انجیلی (*Parrotia persica* C.A. Meyer) بررسی باعث افزایش دامنه دمایی وقوع جوانه‌زنی و افزایش دامنه دمای مطلوب و سقف در مقایسه با شاهد شد (۶۱). در گیاه ماریتیغال (*Silybum marianum* L. Gaertn) نیز بررسی باعث افزایش دماهای مطلوب و سقف جوانه‌زنی در مقایسه با بذرها تازه شد (۶۲). نتایج مشابهی نیز در گیاه آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) و گونه *Stipa bungeana* مشاهده شد (۶۳، ۶۴). طبق یک قاعده

تشکیل می‌دهند که این موضوع ذخیره‌سازی آن‌ها را دشوار می‌سازد، زیرا دانه‌های روغنی غنی از اسیدهای چرب غیراشباع به پراکسیداسیون حساس هستند (۴۷، ۴۸، ۴۹). در دانه‌های روغنی آفتابگردان تجمع گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) در سلول‌های محور جنینی در طی پس‌رسی منجر به اکسیداسیون پروتئین‌های جنینی و پراکسیداسیون لیپیدی شد (۵۰). تولید و تجمع ROS همچنین در طول دوره پس‌رسی بذرها *Hordeum vulgare* L. (۵۱) و *Arabidopsis thaliana* (۵۲) نیز مشاهده شد. بنابراین، اگر بذرها برای مدت طولانی ذخیره شوند، ممکن است به دلیل تجمع ROS و کاهش پتانسیل آنتی‌اکسیدانی سلول‌ها در جنین، قابلیت حیات خود را از دست بدهند (۵۳). همچنین، نتایج پژوهش حاضر نشان داد که بذرها *C. glaucus* و *C. oxycanthus* دو گونه نور حساس هستند. میزان حساسیت به نور در گونه *C. oxycanthus* کمتر از گونه *C. glaucus* بود و این حساسیت در دماهای پایین و بالا مشخص‌تر بود. با اینکه کاربرد جیبرلیک اسید منجر به افزایش قابلیت جوانه‌زنی در هر دو گونه شد، اما گونه *C. glaucus* حساسیت بیشتری به کاربرد جیبرلیک اسید نشان داد (شکل ۱ و ۳). این یافته‌ها نشان داد که هر دو گونه دارای درجات مختلفی از خواب بذر هستند. با این حال گونه *C. glaucus* از خواب بالاتری برخوردار بود. از طرفی، کمتر بودن تاثیر نور و جیبرلیک اسید در دماهای مطلوب در گونه *C. oxycanthus* نشان داد که این گونه از خواب اولیه پایینی برخوردار بود. وجود خواب فیزیولوژیک غیر عمیق در بذرها گلرنگ پیش‌تر مشخص شده است (۲۱). نور و جیبرلیک اسید هر دو می‌توانند باعث رفع خواب فیزیولوژیک غیر عمیق شوند (۵۴). القای خواب اولیه به واسطه افزایش بیوسنتز آبسازیک اسید در حین رسیدگی بذرها رخ می‌دهد (۵۵). بنابراین، جیبرلیک

هیدروتایم معیاری از سرعت جوانه‌زنی است و مقادیر پایین‌تر آن نشان‌دهنده سرعت جوانه‌زنی بالاتر می‌باشد (۶۸، ۳۹). بنابراین، سرعت جوانه‌زنی در تیمار ۱۲ ماه پس‌رسی در هر دو گونه در مقایسه با شاهد و سایر تیمارهای پس‌رسی کاهش یافت. این موضوع ممکن است ناشی از کاهش کیفیت بذر با طولانی شدن دوره پس‌رسی مرتبط باشد که قبلاً در به آن پرداخته شد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که هرچند اثر پس‌رسی بذرهای گونه‌های وحشی (*C. oxycanthus*) و (*C. glaucus*) گلرنگ به دمای جوانه‌زنی وابسته است، اما به طور کلی، درصد جوانه‌زنی بذرهای در طی پس‌رسی افزایش می‌یابد. همچنین، پس‌رسی منجر به افزایش دماهای پایه، مطلوب و سقف جوانه‌زنی در هر دو گونه مورد بررسی شد. از طرف دیگر، افزایش طول دوره پس‌رسی باعث افزایش تحمل به تنش آبی از طریق کاهش Ψ_{b50} در بذرهای گلرنگ شد. همچنین، در این مطالعه مشخص شد که پس‌رسی (انبارداری خشک) طولانی مدت (۱۲ ماه) بذرهای گلرنگ می‌تواند باعث کاهش کیفیت بذرها شود که این موضوع با کاهش درصد جوانه‌زنی بذرهای پس از ۱۲ ماه انبارداری و نیز بالاتر بودن ضریب هیدروتایم (θ_H) مشخص شد. از این‌رو، تیمارهای ۶-۲ ماه پس‌رسی می‌تواند جهت افزایش قابلیت جوانه‌زنی بذرهای با حفظ کیفیت بذر در گونه‌های وحشی گلرنگ مناسب باشد. این موضوع می‌تواند در تعیین زمان نیاز به تجدید کشت در بانک‌های بذر و بانک‌های ژن مورد توجه قرار گیرد. به‌علاوه، قابلیت جوانه‌زنی بذرهای گونه‌های وحشی گلرنگ در حضور نور و جیبرلیک اسید افزایش می‌یابد و می‌توان از این تیمارها به منظور افزایش درصد جوانه‌زنی و استقرار استفاده کرد.

کلی، محدوده حرارتی برای جوانه‌زنی در طول از دست دادن خواب افزایش می‌یابد (۶۵) که در این مطالعه پس‌رسی به عنوان عامل رفع خواب اثرگذار بود. در این پژوهش مشخص شد که پس‌رسی باعث افزایش تحمل به تنش آبی در بذرهای گلرنگ می‌شود، زیرا در هر دو گونه *C. oxycanthus* و *C. glaucus* با افزایش طول دوره پس‌رسی پتانسیل آب پایه برای ۵۰ درصد جوانه‌زنی (Ψ_{b50}) کاهش (منفی‌تر) یافت (جدول ۳ و ۴). جیانیتی و آلن کان (۲۰۰۷) گزارش کردند که کاهش Ψ_{b50} در بذرهای برنج قرمز (*Oryza sativa* L.) در پتانسیل‌های مختلف آب با رفع خواب بذرهای در طی پس‌رسی مرتبط است (۶۶). با توجه به اینکه نتایج پژوهش حاضر نیز نشان دهنده وجود درجات مختلفی از خواب فیزیولوژیکی در بذرهای گونه‌های وحشی گلرنگ بود، یک دلیل برای کاهش (منفی‌تر شدن) Ψ_{b50} در طی پس‌رسی می‌تواند رفع خواب بذرهای بوده باشد. با این حال، Ψ_{b50} در ارزیابی تحمل به تنش آبی در بذرهای فاقد خواب نیز کاملاً کارآمد است. برای مثال، مدل هیدروتایم در غربال کردن لاین‌های مختلف لوبیا از نظر میزان مقاومت به تنش آبی مورد استفاده قرار گرفت (۶۷). به طور کلی، در تجزیه و تحلیل مدل هیدروتایم، پارامتر Ψ_{b50} نشان‌دهنده تحمل ذاتی به تنش آبی می‌باشد؛ به طوری که هرچه Ψ_{b50} منفی‌تر شود، سرعت جوانه‌زنی همه بذرهای سریع‌تر و درصد جوانه‌زنی نهایی بالاتر خواهد بود (۶۸). بنابراین، افزایش ذاتی تحمل به تنش آبی می‌تواند دلیل دیگری برای کاهش Ψ_{b50} در بذرهای پس‌رسی شده گلرنگ در مطالعه حاضر باشد. از طرف دیگر، در هر دو گونه مورد بررسی ضریب هیدروتایم در تیمارهای ۲، ۴ و ۶ ماه پس‌رسی همواره پایین‌تر از تیمار شاهد (بذر تازه) بود، اما در تیمار ۱۲ ماه پس‌رسی بالاترین ضریب هیدروتایم مشاهده شد (جدول ۳ و ۴). ضریب

References

1. Baskin, C.C. & Baskin, J.M. (2014). Seeds: Ecology, Biogeography and Evolution of Dormancy and Germination, 2nd ed. Academic Press/Elsevier: San Diego, CA, USA.
2. Alvarado, V. & Bradford, K.J. (2002). A hydrothermal time model explains the cardinal temperatures for seed germination. *Plant Cell Environemnt*, 25(8), 1061-1069.
3. Baskin, C.C. & Baskin, J.M. 2001. Seeds: ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination. Academic Press, San Diego, California, 666p.
4. Larsen, S.U., Bailly, C. Come, D. & Corbineau, F. (2004). Use of the hydrothermal time model to analysis interacting effects of water and temperature on germination of three grass species. *Seed Science Research*, 14(1), 35-50.
5. Bewley, J.D., Bradford, K.J. Hilhorst, H.W.M. & Nonogaki, H. (2013). Seeds (Physiology of development, germination and dormancy). Third edition. New York: Springer. 392 p.
6. Durr, C., Dickie, J.B. Yang, X.Y. & Pritchard, H.W. (2015). Ranges of critical temperature and water potential values for the germination of species worldwide: contribution to a seed trait database. *Agricultural Forest Meteorology*, 200, 222-232.
7. Brodford, K.J. (2002). Applications of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. *Weed Science*, 50(2), 248-260.
8. Thygerson, T., Harris, J.M. Smith, B.N. Hansen, L.D. Pendleton, R.L. & Booth, D.T. (2002). Metabolic response to temperature for six populations of winterfat (*Eurotia lanata*). *Thermochimica Acta*, 394(1-2), 211-217.
9. Anda, A. & Pinter, L. (1994). Sorghum germination and development at influenced by soil temperature and water content. *Agronomy Journal*, 86(4), 621-624.
10. Tabatabaei, S.A. & Ansari, O. (2017). Predicting seed germination of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars using hydrotime model. *Cercetări Agronomice in Moldova*, 169, 79-87.
11. Hucl, P. (1993). Effect of temperature and moisture stress on the germination of diverse common bean genotypes. *Canada Journal of Plant Science*, 73(3), 697-702.
12. Balbaki, R.Z., Zurayk, R.A. Blelk, M.M. & Tahouk, S.N. (1999). Germination and seedling development of drought tolerant and susceptible wheat under moisture stress. *Seed Science and Technology*, 27(1), 291-302.
13. Springer, T.L. (2005). Germination and early seedling growth of chaffy-seeded grasses at negative water potentials. *Crop Science*, 45(5), 2075-2080.
14. Guerke, W.R., Gutormson, T. Meyer, D. McDonald, M. Mesa, D. Robinson, J.C. & Tekrony, D. (2004). Application of hydrotime analysis in seed testing. *Seed Technology*, 26, 75-85.
15. Grundy, A.C., Phelps, K. Reader, R.J. & Burston, S. (2000). Modeling the germination of *Stellaria media* using the concept of hydrothermal time. *New Phytology*, 148(3), 433-444.
16. Gibson-Roy, P. Delpratt, J. & Moore, G. (2007). Restoring Western (Basalt) Plains grassland. 2. Field emergence, establishment and recruitment following direct seedlings. *Ecological Management and Restoration*, 8(2), 123-132.
17. Goodwin, J.R., Doescher, P.S. & Eddleman, L.E. (1995). After-ripening in *Festuca idahoensis* seeds: Adaptive dormancy and implications for restoration. *Restoration Ecology*, 3(2), 137-142.
18. Ghadrifar, F. and Soltani, A. (2016). Seed control and certification. Publications University of Mashhad. 200 p. [In Persian]
19. Baskin, C.C. & Baskin, J.M. (2014). Seeds: Ecology, Biogeography and Evolution of Dormancy and Germination, 2nd ed. Academic Press/Elsevier: San Diego, CA, USA.
20. Mayerhofer, M., Mayerhofer, R. Topinka, D. Christianson, J. & Good, A.G. (2011). Introgression potential between safflower (*Carthamus tinctorius*) and wild relatives of the genus *Carthamus*. *BMC Plant Biology*, 11(47), 1-10.

21. Oba, G.C., Goneli, A.L.D. Masetto, T.E. Hartmann Filho, C.P. Patricio, V.S. & Sarath, K.L.L. (2017). Dormancy of safflower seeds: effect of storage and cold stratification. *Journal of Seed Science*, 39(4), 433-439.
22. Russell, M. (2011). Dormancy and germination pre-treatments in Willamette Valley native plants. *Northwest Science*, 85(2), 389-402.
23. Iglesias-Fernández, R., Rodríguez-Gacio, M.C. & Matilla, A.J. (2011). Progress in research on dry afterripening. *Seed Science Research*, 21(2), 69-80.
24. Davis, W.E. & Rose, R.C. (1912). The effect of external conditions upon the after-ripening of the seeds of *Crataegus mollis*. *Botanical Gazette*, 54(1), 49-62.
25. Kaye, T.N. (1997). Seed dormancy in high elevation plants: Implications for ecology and restoration. In Conservation and Management of Native Plants and Fungi; Kaye, T.N., Love, R.M., Luoma, D.L., Meinke, R.J., Wilson, M.V., Eds.; Native Plant Society of Oregon: Corvallis, OR, USA, pp: 115-120.
26. Valbuena, L. & Vera, M.L. (2002). The effects of thermal scarification and seed storage on germination of four heathland species. *Plant Ecology*, 161, 137-144.
27. Cristaudo, A. Catara, S. Mingo, A. Restuccia, A. & Onofri, A. (2019). Temperature and storage time strongly affect the germination success of perennial *Euphorbia* species in Mediterranean regions. *Ecology Evolution*, 9(19), 10984-10999.
28. Baskin, J.M. & Baskin, C.C. (1985). The annual dormancy cycle in buried weed seeds: A continuum. *BioScience*, 35(8), 492-498.
29. Soltani, E. Baskin, C.C. & Baskin, J.M. (2017). A graphical method for identifying the six types of non-deep physiological dormancy in seeds. *Plant Biology*, 19(5), 673-682.
30. Baskin, J.M. & Baskin, C.C. (1977). Germination ecology of *Sedum pulchellum* Michx. (*Crassulaceae*). *American Journal of Botany*, 64(10), 1242-1247.
31. Del Monte, J.P. & Dorado, J. (2011). Effects of light conditions and after-ripening time on seed dormancy loss of *Bromus diandrus* Roth. *Weed Research*, 51(6), 581-590.
32. Christensen, M., Meyer, S.E. & Allen, P.S. (1996). A hydrothermal time model of seed after-ripening in *Bromus tectorum* L. *Seed Science Research*, 6(4), 155-163.
33. Cohn, M.A. & Hughes, J.A. (1981). Seed dormancy in red rice (*Oryza sativa*) I. Effect of temperature on dry-afterripening. *Weed Science*, 29(4), 402-404.
34. Arsalan, Y., Guler, S. Subasi, A.S. Subasi, I. Hacıoglu, B.T. Katar, D. & Bulbul, A.S. (2018). Effects of different pre-treatments on wild safflower (*Carthamus* spp.) seed germination. *Research Journal Biology Sciences*, 11(1), 38-41.
35. Soltani, A., Galeshi, S. Zeinali, E. & Latifi, N. (2002). Germination, seed reserve utilization and seedling growth of chickpea as affected by salinity and seed size. *Seed Science and Technology*, 30(1), 51-60.
36. Ghaderi-Far, F., Alimaghani, S.M. Kameli, A.M. & Jamali, M. (2012). Isabgol (*Plantago ovata* Forsk) seed germination and emergence as affected by environmental factors and planting depth. *International Journal of Plant Production*, 6(2), 1735-8043.
37. Ghadrifar, F. & Gerzin, M. (2018). Applied researches in seed technology. Publications of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. 240 p. [In Persian]
38. Michel, B.E. & Kaufmann, M.R. (1973). The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiology*, 51(5), 914-916.
39. Alimaghani, S.M. & Ghaderi-Far, F. (2014). Hydrotime model: Introduction and application of this model in seed researches. *Environmental Stresses in Agricultural Sciences*, 7(1), 41-52. [In Persian]
40. Soltani, A. (2016). Application of SAS software in statistical analyses. Publications University of Mashhad. 182 p. [In Persian]
41. Holdsworth, M.J., Bentsink, L. & Soppe, W.J.J. (2008). Molecular networks

- regulating Arabidopsis seed maturation, after-ripening, dormancy and germination. *New Phytology*, 179(1), 33–54.
42. Morrison, D.A., Auld, T.D. Rish, S. Porter, C. & McClay, K. (1992). Patterns of testa-imposed seed dormancy in native Australian legumes. *Annals of Botany*, 70(2), 157-163.
43. Ketring, D.L. & Patee, H.E. (1985). Ethylene and lipoxygenase in relation to afterripening of dormant NC-13 peanut seeds. *Peanut Science*, 12(1), 45–49.
44. Leubner-Metzger, G. (2002). Seed after-ripening and over-expression of class I β -1,3-glucanase confer maternal effects on tobacco testa rupture and dormancy release. *Planta*, 215(6), 959–968.
45. Kumari, A. (2009). Germination behaviour, viability and longevity of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) seeds. *Journal of Biosciences*, 3(1), 11-15.
46. Kumar, S., Ambreen, H. T Variath, M. R Rao, A. Agarwal, M. & Kumar, A. (2016). Utilization of molecular, phenotypic, and geographical diversity to develop compact composite core collection in the oilseed crop, safflower (*Carthamus tinctorius* L.) through maximization strategy. *Frontier Plant Science*, 7, 1554.
47. Goel, A. & Sheoran, I.S. (2003). Lipid peroxidation and peroxide-scavenging enzymes in cotton seeds under natural ageing. *Biological Plantarum*, 46, 429–434.
48. Siddiqi, E. H., Ashraf, M. Al-Qurainy, F. & Akram, N.A. (2011). Salt-induced modulation in inorganic nutrients, antioxidant enzymes, proline content and seed oil composition in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Science of Food and Agriculture*. 91(15), 2785-2793.
49. Shuai, H., Meng, Y. Luo, X. Chen, F. Zhou, W. & Dai, Y. (2017). Exogenous auxin represses soybean seed germination through decreasing the gibberellin/abscisic acid (GA/ABA) ratio. *Scientific Report*, 7, 1–11.
50. Oracz, K., El-Maarouf-Bouteau, H. Farrant, J.M. Cooper, K. Belghazi, M. Job, C. Job, D. Corbineau, F. & Bailly, C. (2007). ROS production and protein oxidation as a novel mechanism for seed dormancy alleviation. *Plant Journal*, 50(3), 452–465.
51. Bahin, E., Bailly, C. Sotta, B. Kranner, I. Corbineau, F. & Leymarie, J. (2011). Crosstalk between reactive oxygen species and hormonal signaling pathways regulates grain dormancy in barley. *Plant Cell Environ*, 34(6), 980–993.
52. Buijs, G., Kodde, J. Groot, S.P.C. & Bentsink, L. (2018). Seed dormancy release accelerated by elevated partial pressure of oxygen is associated with DOG loci. *Journal of Experimental Botany*, 69(15), 3601–3608.
53. Kumar, S.P.J., Prasad, S.R. Banerjee, R. & Thammineni, C. (2015). Seed birth to death: Dual functions of reactive oxygen species in seed physiology. *Annals of Botany*, 116(4), 663–668.
54. Gorzin, M., Ghaderi-Far, F. Sadeghipour, H.R. & Zeinali, E. (2020). Induced Thermo-dormancy in rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars by sub- and supra-optimal temperatures. *Journal of Plant Growth Regulation*, 40 (5), 2164-2177.
55. Weitbrecht, K., Muller, K. & Leubner-Metzger, G. (2011). First off the mark: early seed germination. *Journal of Experimental Botany*, 62 (10), 3289-3309.
56. Topham, A.T., Taylor, R.E. Yan, D. Nambara, E. Johnston, I.G. & Bassel, G.W. (2017). Temperature variability is integrated by a spatially embedded decision making center to break dormancy in Arabidopsis seeds. *PNAS*, 114(25), 6629-6634.
57. Heschel, M.S., Butler, C.M. Barua, D. Chiang, G.C.K. Wheeler, A. Sharrock, R.A. Whitelam, G.C. & Donohue, K. (2008). New roles of phytochromes during seed germination. *Journal of Plant Science*, 169(4), 531–540.
58. Argyris, J.P., Dahal, E. Hayashi, D.W. Still, & Bradford, K.J. (2008). Genetic variation for lettuce seed thermoinhibition is associated with temperature-sensitive expression of abscisic acid, gibberellin, and ethylene biosynthesis, metabolism, and response genes. *Plant Physiology*, 148(2), 926–947.

59. Oh, E., Yamaguchi, S. Kamiya, Y. Bae, G. Chung, W.I. & Choi, G. (2006). Light activates the degradation of PIL5 protein to promote seed germination through gibberellin in Arabidopsis. *Plant Journal*, 47(1), 124–139.
60. Martel, C., Blair L.K. & Donohue, K. (2018). PHYD prevents secondary dormancy establishment of seeds exposed to high temperature and is associated with lower PIL5 accumulation. *Journal of Experimental Botany*, 69 (12), 3157–3169.
61. Maleki, K., Soltani, E. & Heshmati, S. 2019. Modeling cardinal temperatures and germination behavior of seeds of *Parrotia persica* C.A. Meyer as affected by temperature and breaking dormancy treatments. *Journal of Forest and Wood Products*. 73 (4), 427-437. [In Persian]
62. Toloo Hafezian Awal, M., Ghaderifar, F. Sadeghipour, H.R. Siamarguee, A. Fadaee, F. & Torabi, B. (2018). Determination of seed dormancy of *Silybum marianum* L. Gaertn. seeds : Effects of afterripening and gibberellic acid treatments at different temperatures. *Journal of Crop Production*, 12(2), 171-186. [In Persian]
63. Corbineau, F., Bagniol, S. & Come, D. (1990). Sunflower (*Helianthus annuus* L.) seed dormancy and its regulation by ethylene. *Journal of Plant Science*, 39(4-6), 313-325.
64. Zhang, R., Baskin, J.M. Baskin, C.C. Mo, Q. Chen, L. Hu, X. & Wang, Y. (2017). Effect of population, collection year, after-ripening and incubation condition on seed germination of *Stipa bungeana*. *Scientific Report*, 7, 13893.
65. Batlla, D. & Banech-Arnold, R.L. (2004). A predictive model for dormancy loss in *Polygonum aviculare* L. seeds based on changes in population hydrotime parameters. *Seed Science Research*, 14(3), 277–286.
66. Gianinetti, A. & Cohn, M.A. (2007). Seed dormancy in red rice. XII: Population-based analysis of dry-afterripening with a hydrotime model. *Seed Science Research*, 17(4), 253–271.
67. Cardoso, V.J.M. & Bianconi, A. (2013). Hydrotime model can describe the response of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seeds to temperature and reduced water potential. *Acta Scientiarum Biological Sciences*, 35(2), 255–261
68. Bradford, K.J & Still, D.W. (2004). Applications of hydrotime analysis in seed testing. *Seed Technology*, 26, 74–85.

