Iranian Journal of Seed Research, 2024, 10(2): 1-19

Research Article

Impacts of priming on germination and vigor of safflower (*Carthamus tinctorius*) seeds during artificial deterioration

Abdolhosein Rezaei[1], Farshid Ghaderi-Far[2*], Hamid Reza Sadeghipour[3]

Extended Abstract

Introduction: Safflower seeds are rich in unsaturated fatty acids with a high capacity for peroxidation, which have a high potential to reduce germination and seed vigor during the storage period. Therefore, Introducing appropriate methods to preserve or improve their germplasm during storage would be advantageous. The aim of this study was to investigate the effects of seed priming on germination and vigor of safflower seeds (Sofeh and Sina cultivars).

Materials and Methods: A three-factor experiment was conducted in a completely randomized design with three replications before and after artificial deterioration. The experimental factors included controlled deterioration of seeds at 45°C in six levels (no deterioration, 1, 2, 3, 4, and 6 days) and priming in four levels (no prime, hydropriming, salicylic acid 50 mg/l and sodium chloride 5 percent).

Results: Artificial aging strongly and linearly reduced the germination ability of safflower seeds, and germinability and seed vigor reach zero in a time interval which lasts between 2.5 to 4.5 days (depending on the treatment and the investigated trait). The use of priming prior to artificial aging was more advantageous than priming after artificial aging. In addition, priming with salicylic acid was more useful compared to other priming treatments.

Conclusion: Priming of safflower seeds before storage would result in the extended shelf-life of the stored seeds while also preserving the seed germination potential.

Keywords: Controlled deterioration, Safflower, Seed enhancements, Seed Priming, Seed vigor.

***Highlights*:**

1- The effect of priming on germination and vigor of safflower seeds before and after artificial deterioration was compared and investigated.
2- The effect of priming before and after artificial deterioration on the improvement of safflower seed quality varied in different cultivars.

[1] Department of Agriculture, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
[2] Department of Agriculture, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
[3] Department of Biology, Golestan University, Gorgan, Iran.

*Corresponding author, E-mail: farshidghaderifar@gau.ac.ir

Received: 8.2.2023; Revised: 5.3.2023;
Accepted: 11.3.2023; Online Published: 2.1.2024

DOR:

DOI: 10.61186/yujs.10.2.1

ISSN: 2383-1480 (On-Line); 2383-1251 (Print)

Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

پژوهش‌های بذر ایران/ سال دهم/ شماره دوم/ ۱۴۰۲/ صفحات: ۱۹-۱

مقاله پژوهشی

اثرات پرایمینگ بر قابلیت جوانه‌زنی و بنیه بذرهای گلرنگ (*Carthamus tinctorius*) در طی زوال مصنوعی

عبدالحسین رضائی[۱]، فرشید قادری‌فر[*۲]، حمیدرضا صادقی‌پور[۳]

چکیده مبسوط

مقدمه: بذرهای گلرنگ سرشار از اسیدهای چرب غیر اشباع با قابلیت زیاد برای پراکسیداسیون بوده که در طی دوره انبارداری پتانسیل بالایی برای کاهش قابلیت جوانه‌زنی و بنیه بذر دارند. بنابراین، یافتن روش‌های مناسب جهت حفظ یا بهبود بنیه بذرهای ذخیره شده بسیار مفید است. هدف از آزمایش بررسی اثرات پرایمینگ بذر بر قابلیت جوانه‌زنی و بنیه بذرهای گلرنگ (ارقام صفه و سینا) بود.

مواد و روش‌ها: آزمایش بصورت سه عاملی در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار پیش از زوال مصنوعی و پس از آن انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل زوال کنترل شده بذر در دمای ۴۵ درجه سلسیوس در شش سطح (بدون زوال، ۱، ۲، ۳، ۴ و ۶ روز) و پرایمینگ در چهار سطح (بدون پرایم، هیدروپرایمینگ، اسید سالیسیلیک ۵۰ میلی‌گرم در لیتر و کلرید سدیم ۵ درصد) بود.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که زوال مصنوعی قابلیت جوانه‌زنی و بنیه بذرهای گلرنگ را به شدت و به صورت خطی کاهش می‌دهد و در فاصله زمانی بین ۴/۵-۲/۵ روز (بسته به نوع تیمار و صفت مورد بررسی) قابلیت جوانه‌زنی و بنیه بذر به صفر می‌رسد. استفاده از پرایمینگ پیش از زوال مصنوعی از سودمندی بیشتری در مقایسه با پرایمینگ پس از زوال مصنوعی برخوردار بود. به‌علاوه، روش پرایمینگ با اسید سالیسیلیک از سودمندی بیشتری در مقایسه با سایر تیمارهای پرایمینگ برخوردار بود.

نتیجه گیری: پرایم کردن بذر گلرنگ قبل از انبارداری می‌تواند به افزایش ماندگاری بذر کمک کند و در عین حال توانایی جوانه‌زنی بذر را نیز حفظ کند.

واژه‌های کلیدی: بنیه بذر، پرایمینگ، تیمارهای بهبود دهنده بذر، زوال کنترل شده، گلرنگ

جنبه‌های نوآوری:

۱- اثر پرایمینگ قبل و بعد از زوال مصنوعی بر قابلیت جوانه‌زنی و بنیه بذرهای گلرنگ مقایسه و بررسی شد.

۲- تاثیر پرایمینگ قبل و بعد از زوال بر بهبود کیفیت بذر ارقام گلرنگ متفاوت بود.

[۱] دانشجوی دکتری، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

[۲] استاد گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

[۳] استاد گروه زیست شناسی، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

[*] رایانامه نویسنده مسئول: farshidghaderifar@gau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۱۹؛ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۱/۱۲/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۲۰؛ تاریخ انتشار برخط: ۱۴۰۲/۱۰/۱۲

DOR:

DOI: 10.61186/yujs.10.2.1

شاپا: ۱۴۸۰-۲۳۸۳ (برخط)؛ ۱۲۵۱-۲۳۸۳ (چاپی)

مقدمه

زوال بذر در طی دوره انبارداری منجر به از دست رفتن بنیه بذر و کاهش توانایی جوانه‌زنی (قابلیت زنده‌مانی) به دلیل وقوع آسیب‌های ناشی از واکنش‌های اکسیداسیون می‌شود (بیلی[1]، ۲۰۰۴). طول عمر بذر یکی از ویژگی‌های حیاتی کیفیت بذر است که بقای گیاهان گلدار را از نسلی به نسل دیگر تضمین می‌کند و به دوره‌ای گفته می‌شود که بذرها در طی انبارداری زنده می‌مانند. بقای طولانی مدت بذرها در خاک، بانک بذر (ژن)، یا انبارهای تجاری دارای اهمیت اکولوژیکی و اجتماعی- اقتصادی گسترده‌ای است (لی و پریچارد[2]، ۲۰۰۹؛ پروبرت[3] و همکاران، ۲۰۰۹). در طی انبارداری، چه در خاک و چه در انبارها، زوال اجتناب ناپذیر است و عملکرد جوانه‌زنی بذرها را مختل می‌کند (پراسد[4] و همکاران، ۲۰۲۲).

بذرهای گیاهان روغنی در مقایسه با بذرهای نشاسته‌ای و پروتئینی به دلیل برخورداری از مقادیر زیاد اسیدهای چرب غیراشباع از پتانسیل زوال بیشتری برخوردار هستند (ژانگ[5] و همکاران، ۲۰۲۲). یکی از بذرهای گیاهان روغنی گلرنگ است که محتوای روغن بذرهای آن در حالت خشک به طور متوسط ۴۰ درصد وزنی است و از این نظر با بذرهای آفتابگردان، زیتون و بادام زمینی قابل مقایسه است (کومار[6] و همکاران، ۲۰۱۶). لینولئیک اسید یکی از با ارزش‌ترین اسیدهای چرب موجود در روغن‌های خوراکی است که بیش از ۷۰ درصد از کل اسیدهای چرب دانه‌های گلرنگ را تشکیل می‌دهد (صدیقی[7] و همکاران، ۲۰۱۱). روغن دانه گلرنگ دارای ارزش‌های دارویی و غذایی عالی است، اما انبارداری آن بسیار حساس است، زیرا دانه‌های روغنی غنی از اسیدهای چرب غیراشباع قابلیت پراکسیداسیون زیادی دارند (گوئل و شیران[8]، ۲۰۰۳؛ شای[9] و همکاران، ۲۰۱۷).

در محیط انبارداری، رطوبت و دما عوامل اصلی موثر بر طول عمر بذرها هستند (قادری‌فر و سلطانی[10]، ۲۰۱۶). افزایش محتوای رطوبت بذر، رطوبت نسبی و دمای هوای محل انبارداری بذر هر سه منجر به کاهش قابلیت حیات بذرها در طی دوره انبارداری می‌شوند (کراوفورد[11] و همکاران، ۲۰۱۳). با توجه به سرعت کند واکنش‌های زوال در دانه‌های خشک، مطالعه علائم و سازوکارهای آن در شرایط انبارداری بهینه زمان زیادی می‌برد. بنابراین، آزمون‌های تجربی به نسبت سریع برای زوال (چند روز تا چند هفته) مانند «پیری تسریع‌شده» (دیویس[12] و همکاران، ۲۰۱۶) یا آزمون «زوال کنترل‌شده» (سیوو[13] و همکاران، ۲۰۱۶) به طور گسترده برای بررسی اثرات و سازوکارهای زوال بذر استفاده می‌شوند. در این دو آزمایش، بذرها در معرض درجه حرارت و رطوبت بالا قرار می‌گیرند تا روند زوال را تسریع کنند (تسنیر[14] و همکاران، ۲۰۰۲). پیری تسریع شده شامل تولید رادیکال‌های آزاد و گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) مانند آنیون سوپراکسید، پراکسید هیدروژن و رادیکال‌های هیدروکسیل است (المعروف و بایلی[15]، ۲۰۰۸). ROS با انواع مواد زیستی کلیدی مانند DNA، RNA، کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها (جاب[16] و همکاران، ۲۰۰۵) و لیپیدها (گارج و مانچاندا[17]، ۲۰۰۹) واکنش نشان می‌دهد. در این میان، برهم‌کنش لیپید - ROS پیامدهای قابل‌توجهی بر ساختار داخلی سلول (راتاجیسزگ و پاکجا[18]، ۲۰۰۵) و نفوذپذیری کلی غشا (مکدونالد[19]، ۱۹۹۹) دارد. این فرآیندها که بطور مستقیم توسط محصولات نهایی پراکسیداسیون لیپیدی هدایت می‌شوند، در نهایت منجر به مرگ بذر می‌شوند (مکدونالد، ۱۹۹۹).

[1] Bailly
[2] Li and Pritchard
[3] Probert
[4] Prasad
[5] Zhuang
[6] Kumar
[7] Siddiqi
[8] Goel and Sheoran
[9] Shuai
[10] Ghadrifar and Soltani
[11] Crawford
[12] Davies
[13] Sew
[14] Tesnier
[15] El-Maarouf Bouteau and Bailly
[16] Job
[17] Garg and Manchanda
[18] Ratajczak and Pukacka
[19] McDonald

از دست رفتن قابلیت حیات بذر در شرایط طبیعی چالشی بزرگ برای تولید و بهره‌وری کشاورزی محسوب می‌شود (گائو[1] و همکاران، ۲۰۱۶). بنابراین، در کنار بهینه‌سازی شرایط تولید و یا انبارداری، به‌کارگیری راهکارهای عملی دیگر جهت افزایش قابلیت حیات بذرها در طی دوره انبارداری و یا بهبود بنیه بذر پس از طی دوره انبارداری می‌تواند گامی موثر در رفع این چالش محسوب شود. به نظر می‌رسد که استفاده از روش‌های پرایمینگ بذر می‌تواند در این زمینه مفید باشد. پرایمینگ بذر به طور معمول نوعی تیمار قبل از کاشت است که تا حدی به بذرها امکان آبگیری بدون اجازه ظهور ریشه‌چه را می‌دهد (بیولی[2] و همکاران، ۲۰۱۳). در نتیجه، در بذرهای پرایم شده بخشی از فرآیندهای مربوط به جوانه‌زنی انجام می‌شود و سرعت جوانه‌زنی و یکنواختی بهبود می‌یابد (جمالی[3] و همکاران، ۲۰۱۷). از طرف دیگر، پرایمینگ منجر به افزایش تحمل به تنش‌های محیطی در بذرها و در حین جوانه‌زنی می‌شود (ناکان[4] و همکاران، ۲۰۱۲).

از طرف دیگر، پرایمینگ بذر می‌تواند باعث بهبود قابلیت جوانه‌زنی و بنیه بذرهای زوال یافته شود (رمضانی یگانه[5] و همکاران، ۲۰۱۹). همچنین، پرایمینگ پیش از انبارداری می‌تواند باعث افزایش ماندگاری و طول عمر بذرها در طی انبارداری شود که البته این موضوع به نوع پرایمینگ و نوع رقم بستگی دارد (ملک[6] و همکاران، ۲۰۱۹). سنتز آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نظیر کاتالاز در اثر پرایمینگ افزایش می‌یابد و منجر به کاهش اثرات منفی زوال بر جوانه‌زنی بذرها می‌شوند (کیبنزا[7] و همکاران، ۲۰۱۱).

بنابراین، با توجه به برخورداری بذرهای گلرنگ از پتانسیل بالای زوال در طی انبارداری که بر اساس آنچه گفته شد، این موضوع به واسطه بالا بودن اسیدهای چرب آزاد در آن ها رخ می‌دهد، یافتن روش هایی که بتواند قابلیت جوانه زنی و بنیه بذرهای گلرنگ در طی انبارداری را حفظ و یا افزایش دهد، ضروری به نظر می‌رسد. در همین راستا، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثرات کاربرد روش های مختلف پرایمینگ در قبل و یا پس از بروز زوال مصنوعی بر کارکرد بذرهای گلرنگ در طی فرآیند جوانه‌زنی و رشد گیاهچه انجام شد.

مواد و روش‌ها

محل انجام آزمایش

در این پژوهش از بذرهای گلرنگ شامل دو رقم صفه و سینا تهیه شده از موسسه کنترل، ثبت و گواهی نهال و بذر کرج و دانشگاه صنعتی اصفهان استفاده شد. بذرها در مزرعه آموزشی و پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان در تاریخ ۱۲ اسفند سال ۱۳۹۷ کشت شدند. در زمان رسیدگی بذرها به صورت دستی برداشت و جهت انجام آزمون‌های زوال و پرایمینگ به آزمایشگاه علوم و تکنولوژی بذر دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان منتقل شدند. بنابراین به منظور بررسی اثرات پرایمینگ بذر بر قابلیت جوانه‌زنی و بنیه بذرهای گلرنگ (ارقام صفه و سینا)، آزمایشی سه عاملی در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار پیش از زوال مصنوعی و پس از آن انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل زوال کنترل شده بذر در دمای ۴۵ درجه سلسیوس در شش سطح (بدون زوال، ۱، ۲، ۳، ۴ و ۶ روز) و پرایمینگ در چهار سطح (بدون پرایم، هیدروپرایمینگ، اسید سالیسیلیک ۵۰ میلی‌گرم در لیتر و کلرید سدیم ۵ درصد) بود.

اثر پرایمینگ پس از زوال مصنوعی بر قابلیت جوانه‌زنی و بنیه بذر

در ابتدا بذرها توسط سم قارچ‌کش ایپردیوم کاربندازیوم بذرمال شدند. سپس بذرها با استفاده از روش زوال کنترل شده دچار زوال مصنوعی شدند. فاصله زمانی بین زوال کنترل شده تا ارزیابی اولیه بلافاصله انجام گرفت. بر این اساس، بذرهای گلرنگ با رطوبت اولیه ۵-۶ درصد روی توری‌های سیمی در ظرف‌های وکیوم حاوی ۴۰ میلی‌لیتر محلول اشباع کلرید سدیم به

[1] Gao
[2] Bewley
[3] Jamali
[4] Nakaune
[5] Ramezani Yeganeh
[6] Malek
[7] Kibinza

مدت ۴۸ ساعت قرار گرفتند (بروگینک[1] و همکاران، ۱۹۹۹). به این ترتیب رطوبت بذرها به ۲۱ درصد افزایش یافت (ملک و همکاران، ۲۰۲۰الف). برای رساندن بذرها به رطوبت ۲۱ درصد از روش هامپتون و تکرونی[2] (۱۹۹۵) (رابطه ۱) استفاده شد:

رابطه ۱

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

در این رابطه A درصد رطوبت اولیه بذر، B درصد رطوبت موردنظر، W1 وزن اولیه نمونه بذری و W2 وزن ثانویه نمونه بذری پس از اضافه کردن رطوبت برای رسیدن به رطوبت موردنظر می‌باشد. سپس بذرها در داخل ظرف‌های مهر و موم شده (تحت شرایطی که رطوبت آن‌ها حفظ شود)، به دمای ۴۵ درجه سلسیوس به مدت ۱، ۲، ۳، ۴ و ۶ روز منتقل شدند. بعد از اعمال دوره‌های مختلف زوال بذرها به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق خشک شدند (ملک و همکاران، ۲۰۲۰ب). که با اندازه گیری رطوبت بذرها در آون در دمای ۱۰۳ درجه سلسیوس به مدت ۱۷ ساعت، بذرها به رطوبت اولیه خود (۵-۶ درصد) رسیدند. در مرحله بعد تیمارهای مختلف پرایمینگ شامل هیدروپرایمینگ، پرایمینگ با کلرید سدیم ۵ درصد و پرایمینگ با اسید سالیسیلیک ۵۰ میلی‌گرم در لیتر روی بذرها اعمال شدند. برای این کار بذرها درون بشر به حالت غوطه‌ور در آب و یا محلول‌های پرایم با نسبت ۱ به ۵ (به ازای هر گرم بذر ۵ میلی‌لیتر آب و یا محلول‌های پرایم استفاده شد) به مدت ۶ ساعت قرار گرفتند. در طی مدت آبنوشی به‌منظور اکسیژن‌رسانی و جلوگیری از خسارات ناشی از کمبود اکسیژن، هوادهی با استفاده از پمپ آکواریوم صورت گرفت. هوادهی به صورتی انجام می‌شد که بذرها طی آبنوشی در آب و یا محلول‌های مذکور معلق می‌شدند. پس از پایان دوره آب‌نوشی بذرها در محیط آزمایشگاه (۲۴ ساعت در دمای اتاق ۲۵ درجه سلسیوس) خشک شدند. سپس آزمون‌های ارزیابی جوانه‌زنی و بنیه بذر روی بذرها انجام شد.

بررسی اثر پرایمینگ پیش از زوال مصنوعی بر قابلیت جوانه‌زنی و بنیه بذر

در این آزمایش بر خلاف آزمایش قبل، ابتدا بذرها در معرض تیمارهای پرایمینگ قرار گرفتند و سپس تیمارهای زوال روی بذرهای پرایمینگ شده اعمال شد. اعمال تیمارهای هیدروپرایمینگ، پرایمینگ با کلرید سدیم و پرایمینگ با اسید سالیسیلیک مانند شرایط آزمایش قبل (۶ ساعت آب‌نوشی) بود. پس از آن، بذرها در معرض زوال کنترل شده که در آزمایش قبل توضیح داده شد، به مدت ۱، ۲، ۳، ۴ و ۶ روز قرار گرفتند. در نهایت آزمون‌های ارزیابی جوانه‌زنی و بنیه بذر روی بذرها انجام شد.

ارزیابی قابلیت جوانه‌زنی و بنیه بذر پس از آزمون زوال مصنوعی و پرایمینگ

برای ارزیابی قابلیت جوانه‌زنی و بنیه بذر در آزمایش‌های قبل و پس از اعمال تیمار زوال مصنوعی و پرایمینگ از آزمون جوانه‌زنی استفاده شد. در این آزمون از سه تکرار ۲۵ بذری روی یک لایه کاغذ صافی در ظرف‌های پتری به قطر ۹ سانتی‌متر و حاوی ۶ میلی‌لیتر آب مقطر استفاده شد. در تمام آزمایش‌ها (زوال و پرایمینگ) آزمون جوانه‌زنی در دمای ۲۰ درجه سلسیوس انجام شد (ایستا[3]، ۲۰۱۰). پس از شروع جوانه‌زنی، بذرهای جوانه‌زده دو الی سه بار در روز شمارش شدند. شمارش بذرها تا زمان اتمام جوانه‌زنی و یا ثابت شدن آن، به‌طور مرتب و مداوم انجام شد. معیار جوانه‌زنی خروج ریشه‌چه و رسیدن طول آن به اندازه دو میلی‌متر در نظر گرفته شد. شمارش‌های روزانه برای محاسبه درصد و سرعت جوانه‌زنی مورد استفاده قرار گرفتند. همچنین، بذرهای جوانه زده در پتری‌ها تا پایان دوره آزمون انبارداری شدند و خصوصیاتی شامل درصد گیاهچه عادی، طول گیاهچه و وزن خشک گیاهچه نیز اندازه‌گیری شدند. برای تشخیص گیاهچه‌های عادی از روش ارائه شده توسط انجمن بین‌المللی آزمون بذر (ایستا، ۲۰۰۶؛ قادری‌فر و گرزین[4]، ۲۰۱۸) استفاده شد. برای اندازه‌گیری طول گیاهچه، طول تمامی گیاهچه‌های

[1] Bruggink
[2] Hampton and Tekrony
[3] ISTA
[4] Ghadrifar and Gerzin

عادی با استفاده از خط‌کشی با دقت یک میلی‌متر اندازه‌گیری شد و سپس میانگین رشد طولی گیاهچه بر حسب میلی‌متر محاسبه شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک گیاهچه نیز ابتدا گیاهچه‌های عادی در هر ظرف پتری در آون با دمای ۷۵ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند و سپس وزن آن‌ها با ترازویی با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم اندازه‌گیری و میانگین وزن خشک گیاهچه بر حسب میلی‌گرم محاسبه شد. در نهایت سرعت رشد طولی گیاهچه (میلی‌متر در روز) و سرعت رشد وزنی گیاهچه (میلی‌گرم در روز) به ترتیب با استفاده از رابطه ۲ و ۳ محاسبه گردید (همپتون و تکرونی، ۱۹۹۵).

رابطه ۲

$$SLS\ (mm.d) = \frac{\text{Average length of normal seedlings } (mm)}{Day}$$

رابطه ۳

$$SGR\ (mg.d) = \frac{\text{Average dry weight of normal seedlings } (mg)}{Day}$$

تجزیه و تحلیل داده‌ها

به منظور توصیف تغییرات درصد جوانه‌زنی در مقابل زمان (ساعت) از مدل لجیستیک سه پارامتره (رابطه ۴) استفاده شد (قادری‌فر[1] و همکاران، ۲۰۱۲).

رابطه۴

$$y = \frac{G\max}{1+(\frac{t}{T_{50}})^b}$$

در این رابطه y درصد جوانه‌زنی تجمعی در زمان t، Gmax 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 ۳۰ درصد جوانه‌زنی بر اساس جمعیت بذری (T_{30}^{SP})با استفاده از پارامترهای مدل طبق روش ارائه شده توسط قادری‌فر و گرزین (۲۰۱۸) محاسبه شد. در مرحله بعد با معکوس کردن T_{30}^{SP} سرعت جوانه‌زنی محاسبه شد (رابطه ۵):

رابطه۵

$$R_{30}^{SP} = \frac{1}{T_{30}^{SP}}$$

در این رابطه R_{30}^{SP} سرعت جوانه‌زنی بر اساس زمان تا رسیدن به ۳۰ درصد جوانه‌زنی بر اساس جمعیت بذری می‌باشد. علت استفاده از T_{30}^{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.

برای توصیف روند تغییرات درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، درصد گیاهچه عادی، سرعت طول و سرعت رشد وزنی گیاهچه در طی دوره‌های مختلف زوال مصنوعی از مدل دو تکه‌ای (رابطه ۶) استفاده شد (گرزین[2] و همکاران، ۲۰۲۰).

رابطه۶

$$y = ax + b \xrightarrow{if} x < x_0$$
$$y = ax_0 + b \xrightarrow{if} x \geq x_0$$

در این رابطه y صفت مورد بررسی، x طول دوره زوال مصنوعی بر حسب روز، x_0 نقطه چرخش منحنی، a شیب منحنی و b عرض از مبدا منحنی می‌باشد.

تمامی تجزیه و تحلیل‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای آماری SAS نسخه ۹/۰ (SAS Institute, 2004) انجام شد. برای رسم شکل‌ها از نرم‌افزار Excel نسخه ۲۰۱۳ استفاده شد.

نتایج

بررسی اثر پرایمینگ پس از زوال مصنوعی بر قابلیت جوانه‌زنی و بنیه بذر

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که رقم، پرایمینگ و زوال اثر معنی‌داری بر تمامی صفات مورد اندازه‌گیری داشت (جدول ۱). همچنین، اثرات متقابل دوگانه رقم × پرایمینگ (به جز سرعت جوانه‌زنی و سرعت رشد طولی گیاهچه)، رقم × زوال، پرایمینگ × زوال و اثر متقابل سه گانه رقم × پرایمینگ × زوال (به جز سرعت جوانه‌زنی) بر صفات مورد بررسی معنی‌دار

[1] Ghaderi-Far

[2] Gorzin

بودند (جدول ۱). در هر دو رقم سینا و صفه درصد گیاهچه‌های عادی با افزایش طول دوره زوال به صورت خطی کاهش یافت (شکل ۱). در رقم سینا استفاده از تیمار پرایمینگ با اسید سالیسیلیک و کلرید سدیم باعث تاخیر در زمان به صفر رسیدن درصد گیاهچه‌های عادی با افزایش طول دوره زوال شد. در رقم صفه، تمامی تیمارهای پرایمینگ در مقایسه با تیمار بدون پرایمینگ باعث کاهش شیب خط و در نتیجه تاخیر در زمان به صفر رسیدن درصد گیاهچه‌های عادی با افزایش طول دوره زوال شدند (شکل ۱، جدول ۲). سرعت جوانه‌زنی بذرهای دو رقم سینا و صفه نیز با افزایش طول دوره زوال به صورت خطی کاهش یافت و در نهایت به صفر رسید (شکل ۱). مقایسه سرعت جوانه‌زنی بذرهای بدون زوال (صفر روز زوال) در دو رقم نشان داد که سرعت جوانه‌زنی در تمام سطوح پرایمینگ بیشتر از تیمار شاهد (بدون پرایمینگ) بود، اما با افزایش طول دوره زوال این اختلاف کاهش یافت. از طرفی، هیچ یک از سطوح پرایمینگ باعث تاخیر در زمان به صفر رسیدن سرعت جوانه‌زنی با افزایش طول دوره زوال نشدند (شکل ۱، جدول ۲).

سرعت رشد طولی گیاهچه نیز در هر دو رقم و در تمام سطوح پرایمینگ با افزایش طول دوره زوال به صورت خطی کاهش یافت و در فاصله زمانی ۴-۳ روز زوال به صفر رسید (شکل ۲، جدول ۲). روش‌های هیدروپرایمینگ و پرایمینگ با کلرید سدیم باعث بهبود سرعت رشد طولی گیاهچه و تاخیر در زمان به صفر رسیدن آن در مقایسه با تیمار بدون پرایمینگ برای رقم صفه شدند. در سایر موارد اختلاف قابل توجهی از لحاظ سرعت رشد طولی گیاهچه و زمان رسیدن آن به صفر در طول زوال بین دو شرایط پرایمینگ و بدون پرایمینگ مشاهده نشد (شکل ۲، جدول ۲). سرعت رشد وزنی گیاهچه نیز در هر دو رقم و در تمام سطوح

جدول۱- تجزیه واریانس اثر رقم، پرایمینگ و زوال بر درصد گیاهچه عادی، سرعت جوانه‌زنی، سرعت رشد طولی و وزنی گیاهچه گلرنگ در طی زوال مصنوعی (در این آزمایش بذرها ابتدا دچار زوال شدند و سپس پرایمینگ روی آن‌ها انجام شد).

Table 1- Analysis of variance for effects of cultivar, priming, and aging on normal seedling percentage, germination rate, and longitudinal and weight growth rate of safflower during artificial deterioration (In this experiment, seed deterioration was carried out prior to priming).

		میانگین مربعات (Mean square)			
منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	گیاهچه طبیعی Normal seedling	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	سرعت رشد طولی گیاهچه Seedling longitudinal growth rate	سرعت رشد وزنی گیاهچه Seedling weight growth rate
Cultivar **(C)** **رقم**	1	1393**	0.001**	0.21**	1.66**
Priming **(P)** **پرایمینگ**	3	240**	0.001**	0.04**	0.007**
Aging (A) **زوال**	5	18179**	0.16**	4.85**	2.40**
P×C	3	103**	0.0003^{ns}	0.001^{ns}	0.01**
A×C	5	276**	0.001**	0.05**	0.2**
A×P	15	138**	0.0003*	0.03**	0.005**
C× P×A	15	80**	0.0002^{ns}	0.01**	0.004**
خطای آزمایش Error	96	1.80	0.0001	0.001	0.0003
درصد ضریب تغییرات C.V %		5.49	11.36	7.95	5.50

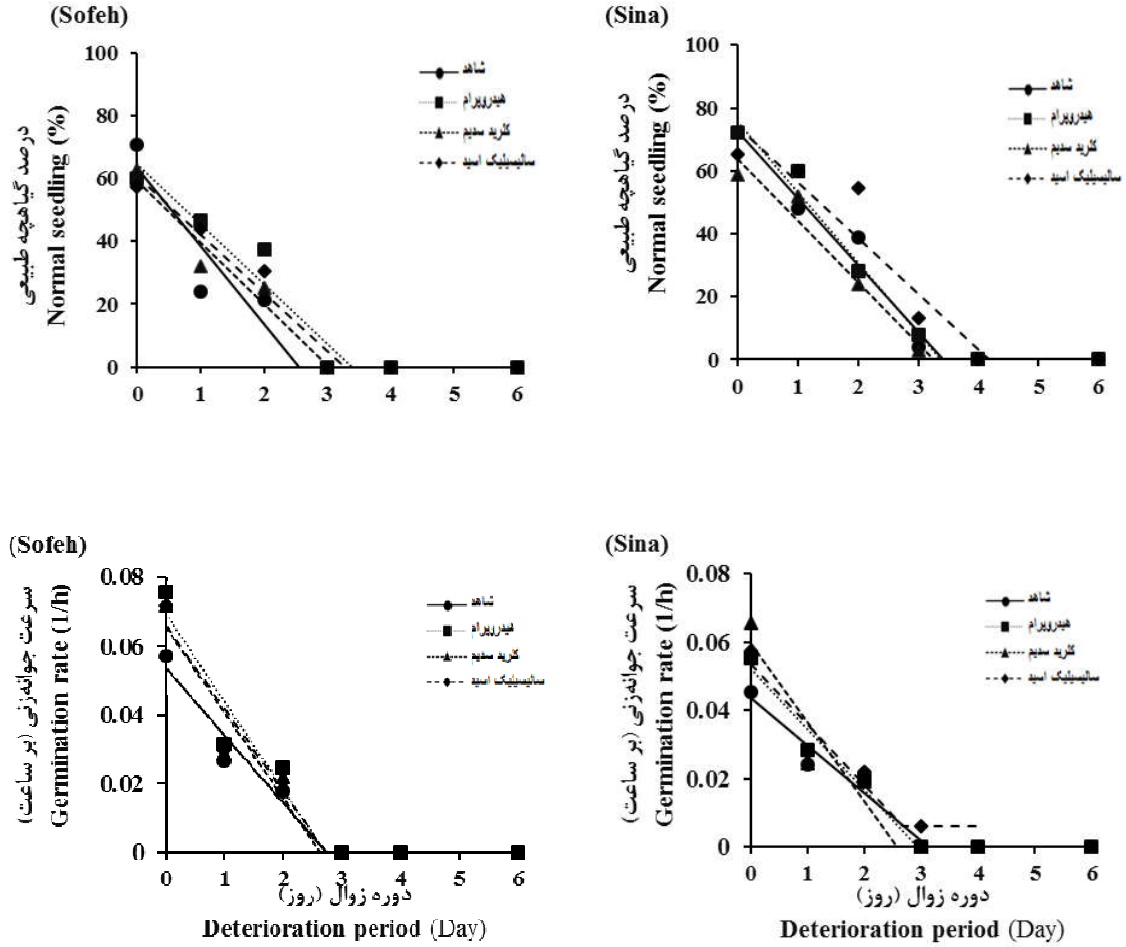
ns، * و ** به‌ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد را نشان می‌دهد.

ns, *, and ** indicate non-significance and significance at 5% and 1% probability levels, respectively.

پرایمینگ با افزایش طول دوره زوال به صورت خطی کاهش پیدا کرد (شکل ۲). پرایمینگ بذرهای زوال یافته به وسیله کلرید سدیم و اسید سالیسیلیک باعث کاهش شیب خط افت سرعت رشد وزنی گیاهچه در طول زوال برای رقم صفه و در نتیجه تاخیر در زمان به صفر رسیدن سرعت رشد وزنی گیاهچه شد، اما در سایر تیمارها اختلافی بین پرایمینگ و عدم پرایمینگ مشاهده نشد (شکل ۲، جدول ۲).

بررسی اثر پرایمینگ پیش از زوال مصنوعی بر قابلیت جوانه‌زنی و بنیه بذر

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که رقم، پرایمینگ و زوال اثر معنی‌داری بر تمامی صفات مورد اندازه‌گیری داشت (جدول ۳). همچنین، اثرات متقابل دوگانه رقم × پرایمینگ (به جز سرعت جوانه‌زنی)، رقم × زوال، پرایمینگ × زوال (به جز سرعت جوانه‌زنی) و اثر متقابل سه گانه رقم × پرایمینگ × زوال بر صفات مورد بررسی معنی‌دار بودند (جدول ۳). درصد گیاهچه عادی



شکل ۱- تغییرات درصد گیاهچه طبیعی و سرعت جوانه‌زنی بذرهای دو رقم سینا و صفه گلرنگ در پاسخ به طول دوره زوال و انواع پرایمینگ (در این آزمایش بذرها ابتدا دچار زوال شدند و سپس پرایمینگ بر روی آن‌ها انجام شد).

Figure 1- Changes in the percentage of normal seedlings and rates of germination in seeds of two safflower cultivars (Sina and Sofeh) in response to deterioration period and types of priming (In this experiment, seed deterioration was carried out prior to priming).

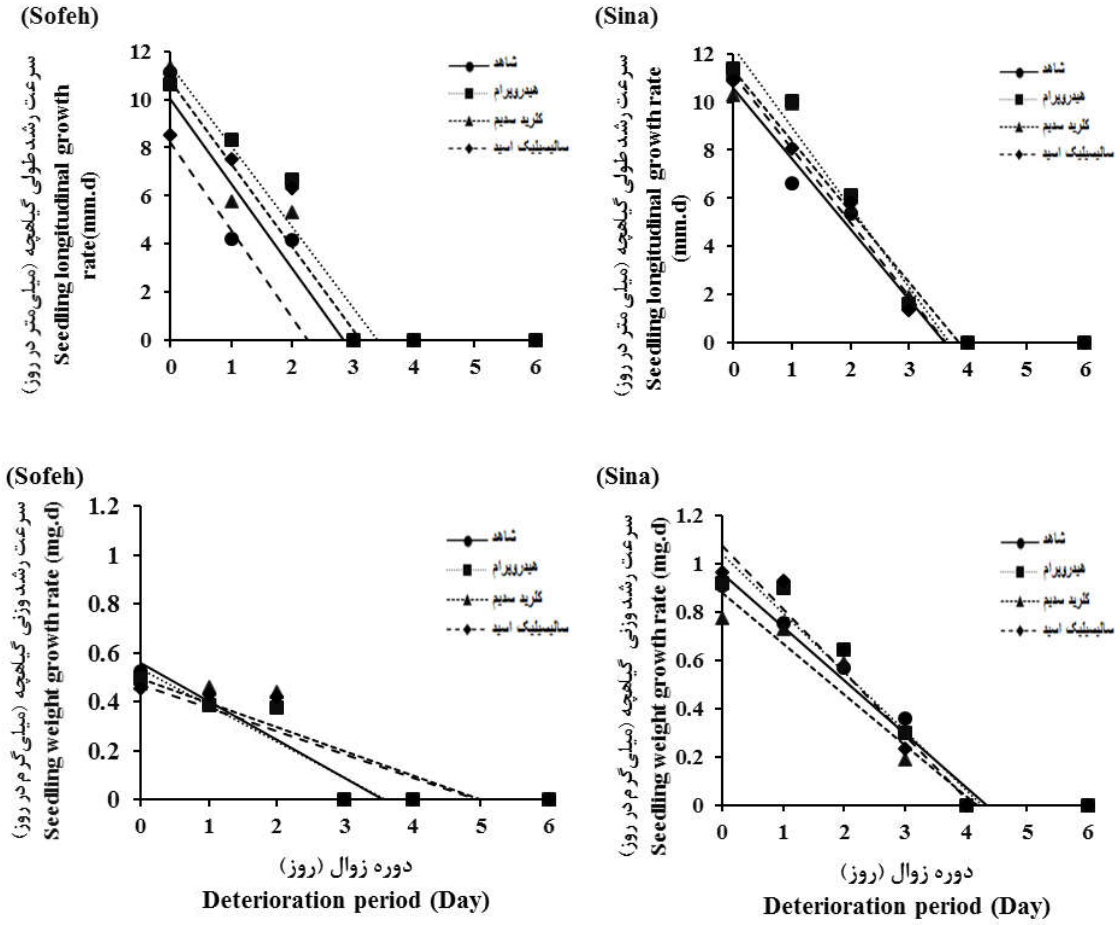
جدول ۲- پارامترهای حاصل از برازش مدل دو تکه‌ای به داده‌های درصد گیاهچه طبیعی، سرعت جوانه‌زنی، سرعت رشد طولی گیاهچه و سرعت رشد وزنی گیاهچه که در شکل ۱ و ۲ نشان داده شده است.

Table 2- The parameters obtained from fitting the segmented model to the data related to normal seedling percentage, germination rate, seedling longitudinal growth rate, and seedling weight growth rate shown in Figures 1 and 2.

		C. tinctorius (Sofeh)				*C. tinctorius* (Sina)			
صفات Traits	پرایمینگ Priming	a (شیب خط)	b (عرض از مبدأ)	c (نقطه چرخش)	R^2	a (شیب خط)	b (عرض از مبدأ)	c (نقطه چرخش)	R^2
درصد گیاهچه طبیعی Normal seedling percentage	بدون پرایم Non- primed	-24.67±7.33	63.33±9.46	2.56±0.57	0.93	-21.33±2.68	72.66±5.03	3.40±0.34	0.98
	هیدروپرایم Hydroprime	-18.93±3.60	64.40±6.74	3.40±0.51	0.96	-22.4±2.11	75.6±3.95	3.37±0.25	0.99
	کلرید سدیم Sodium Chloride	-19.46±2.55	59.20±4.78	3.04±0.32	0.97	-19.6±2.48	63.73±4.65	3.25±0.33	0.98
	اسید سالیسیلیک Salicylic acid	-18.53±2.45	60.79±4.58	3.28±0.34	0.98	-17.733±3.71	74.13±9.10	4.18±0.85	0.93
سرعت جوانه‌زنی Germination rate	بدون پرایم Non- primed	-0.019±0.003	0.053±0.004	2.73±0.38	0.97	-0.013±0.002	0.043±0.003	3.12±0.38	0.97
	هیدروپرایم Hydroprime	-0.025±0.006	0.069±0.007	2.72±0.50	0.96	-0.017±0.003	0.052±0.003	2.93±0.38	0.98
	کلرید سدیم Sodium Chloride	-0.024±0.006	0.065±0.007	2.63±0.48	0.96	-0.023±0.005	0.059±0.007	2.56±0.49	0.95
	اسید سالیسیلیک Salicylic acid	-0.024±0.006	0.065±0.007	2.73±0.51	0.96	-0.017±0.006	0.053±0.008	2.69±0.92	0.85
سرعت رشد طولی گیاهچه Seedling longitudinal growth rate	بدون پرایم Non- primed	-0.35±0.11	0.99±0.14	2.84±0.70	0.94	-0.29±0.034	1.05±0.063	3.62±0.33	0.98
	هیدروپرایم Hydroprime	-0.33±0.06	1.14±0.12	3.41±0.53	0.96	-0.33±0.041	1.22±0.077	3.68±0.36	0.98
	کلرید سدیم Sodium Chloride	-0.34±0.05	1.07±0.10	3.12±0.41	0.96	-0.29±0.049	1.13±0.093	3.84±0.51	0.97
	اسید سالیسیلیک Salicylic acid	-0.26±0.07	0.95±0.13	3.58±0.78	0.92	-0.30±0.025	1.11±0.047	3.62±0.23	0.99
سرعت رشد وزنی گیاهچه Seedling weight growth rate	بدون پرایم Non- primed	-0.15±0.04	0.55±0.08	3.55±0.77	0.92	-0.22±0.022	0.96±0.054	4.34±0.42	0.98
	هیدروپرایم Hydroprime	-0.14±0.04	0.53±0.08	3.59±0.81	0.92	-0.24±0.035	1.04±0.086	4.26±0.59	0.97
	کلرید سدیم Sodium Chloride	-0.099±0.03	0.49±0.09	11.27±0.75	0.91	-0.21±0.034	0.87±0.084	4.18±0.67	0.96
	اسید سالیسیلیک Salicylic acid	-0.095±0.02	0.47±0.09	8.78±0.81	0.91	-0.26±0.036	1.07±0.088	4.10±0.55	0.97

دو رقم سینا و صفه با افزایش طول دوره زوال به صورت خطی کاهش یافت (شکل ۳). همچنین، درصد گیاهچه عادی در تمام تیمارها در رقم سینا همواره بیشتر از رقم صفه بود. در هر دو رقم تمامی سطوح پرایمینگ باعث تاخیر در زمان رسیدن درصد گیاهچه عادی به صفر در طی زوال در مقایسه با تیمار عدم پرایمینگ شدند.

(شکل ۳، جدول ۴). سرعت جوانه‌زنی بذرهای دو رقم سینا و صفه نیز با افزایش طول دوره زوال به صورت خطی کاهش یافت و در نهایت به صفر رسید (شکل ۳). در رقم سینا هر سه روش پرایمینگ باعث یک روز تاخیر در زمان رسیدن سرعت جوانه‌زنی به صفر در مقایسه با شرایط عدم پرایمینگ شدند. (شکل ۳، جدول ۴). سرعت رشد طولی گیاهچه نیز در دو رقم سینا و صفه با افزایش طول دوره زوال به صورت خطی کاهش یافت (شکل ۴). در هر دو رقم، روش‌های مختلف پرایمینگ باعث افزایش سرعت رشد طولی گیاهچه در سطح صفر روز زوال در مقایسه با شرایط عدم پرایمینگ شدند، (شکل ۴، جدول ۴). سرعت رشد وزنی گیاهچه نیز در دو رقم سینا و صفه با افزایش طول دوره زوال به صورت خطی کاهش یافت (شکل ۴). هر سه تیمار پرایمینگ باعث تاخیر قابل توجهی در زمان رسیدن سرعت رشد وزنی گیاهچه به صفر در طی زوال برای رقم سینا شدند (شکل ۴، جدول ۴).



شکل ۲- تغییرات سرعت رشد طولی گیاهچه و سرعت رشد وزنی گیاهچه بذرهای دو رقم سینا و صفه گلرنگ در پاسخ به طول دوره زوال و انواع پرایمینگ (در این آزمایش بذرها ابتدا دچار زوال شدند و سپس پرایمینگ بر روی آن‌ها انجام شد).

Figure 2- Changes in the seedling longitudinal growth rate and seedling weight growth rate of two safflower seed cultivars (Sina and Sofeh) in response to deterioration period and types of priming (In this experiment, seed deterioration was carried out before priming).

جدول۳- تجزیه واریانس برای اثر رقم، پرایمینگ و زوال و اثرات متقابل آن‌ها بر درصد گیاهچه عادی، سرعت جوانه‌زنی، سرعت رشد طولی گیاهچه و سرعت رشد وزنی گیاهچه گلرنگ در طی زوال مصنوعی (در این آزمایش بذرها ابتدا پرایمینگ شدند و سپس زوال بر روی آن‌ها انجام شد).

Table 3- Analysis of variance for the effects of cultivar, priming, and aging and their mutual effects on normal seedling percentage, germination rate, seedling longitudinal growth rate, and seedling weight growth rate of safflower during artificial deterioration (in this experiment, the seeds were first primed and then deterioration was performed on them became).

		Mean square میانگین مربعات			
منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	گیاهچه طبیعی Normal seedling	سرعت جوانه زنی Germination rate	سرعت رشد طولی گیاهچه Seedling longitudinal growth rate	سرعت رشد وزنی گیاهچه Seedling weight growth rate
رقم Cultivar **(C)**	1	5476**	0.00001^{ns}	1.42**	0.35**
پرایمینگ Priming **(P)**	3	573**	0.001*	0.13**	0.06**
زوال Aging (A)	5	16896**	0.012**	3.99**	3.62**
C×P	3	265**	0.0004^{ns}	0.05**	0.04**
C×A	5	808**	0.004**	0.01**	0.2**
P×A	15	163**	0.0007^{ns}	0.06**	0.01**
A×P× C	15	78**	0.0009*	0.01**	0.01**
خطای آزمایش Error	96	8.68	0.0004	0.001	0.0006
درصد ضریب تغییرات C.V %		12.22	18.55	10.67	6.22

ns، * و ** به‌ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد را نشان می‌دهد.

ns, *, and ** indicate non-significance and significance at 5% and 1% probability levels, respectively.

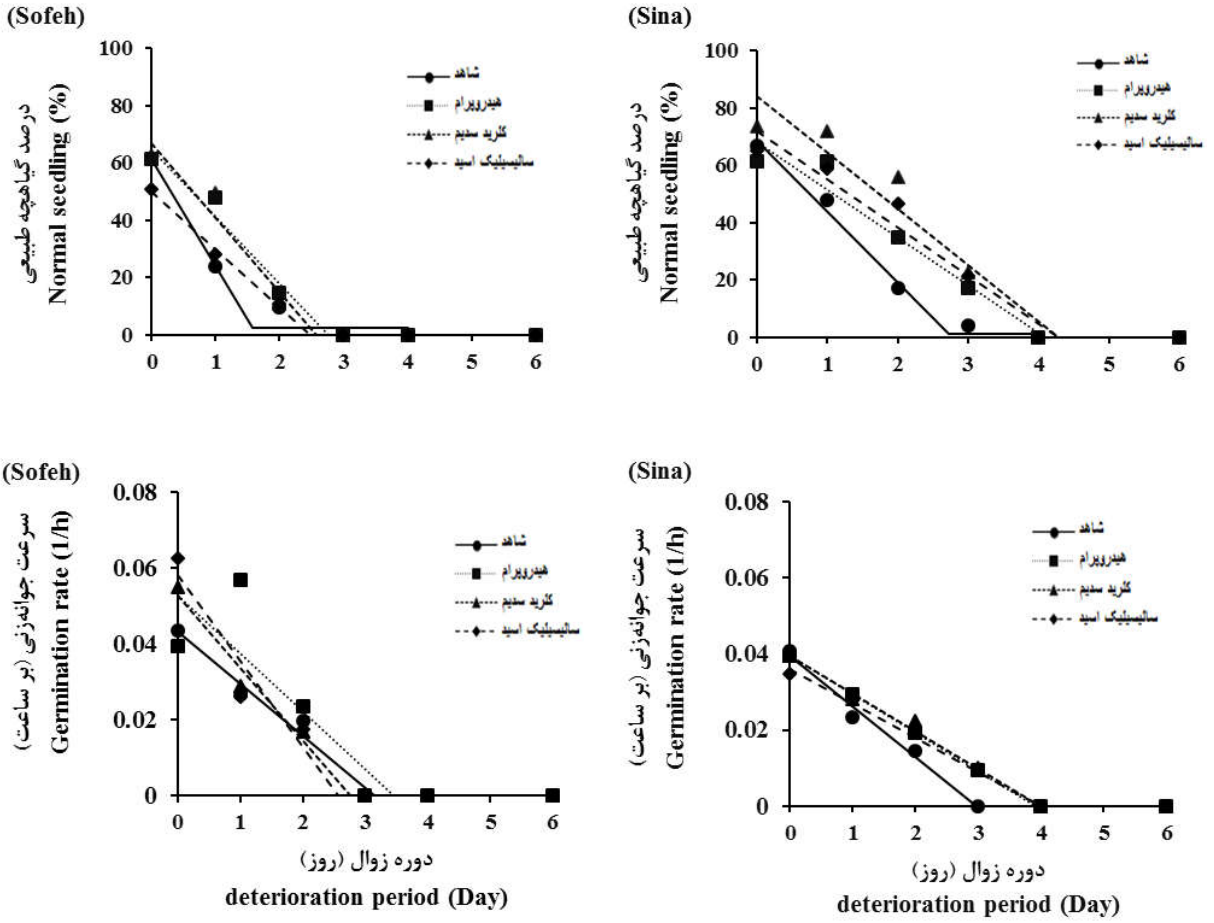
بحث

بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش، زوال مصنوعی بذرها منجر به کاهش شدید درصد گیاهچه عادی، سرعت جوانه‌زنی، سرعت رشد طولی و سرعت رشد وزنی گیاهچه بذرهای گلرنگ شد؛ به طوری که با افزایش طول دوره زوال مصنوعی هر یک از صفات مذکور به صورت خطی کاهش یافتند و در کمتر از ۵ روز زوال به صفر رسیدند (شکل‌های ۱تا ۴). کاهش سریع قابلیت جوانه‌زنی و بنیه بذر در طی زوال مصنوعی به دلیل آسیب به مولکول‌های درشت (DNA، RNA و پروتئین‌ها) و غشاهای زیستی ناشی از گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) است (بایلی، ۲۰۰۴؛ سانو[1] و همکاران، ۲۰۱۶).

همچنین، مشخص شده است که در طی زوال مصنوعی فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی نظیر کاتالاز، سوپر اکسید دیسموتاز و پراکسیداز نیز کاهش می‌یابد (پیری[2] و همکاران، ۲۰۱۸؛ لطیف‌زاده شاهخالی[3] و همکاران، ۲۰۲۲). کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها و تنش اکسیداتیو ناشی از تجمع ROSها در نهایت منجر به کاهش شدید قابلیت جوانه‌زنی و بنیه بذر می‌شود (قادری‌فر و همکاران، ۲۰۱۲). در طی زوال مصنوعی بذرها در معرض درجه حرارت و رطوبت بالا قرار می‌گیرند تا روند پیری را تسریع کنند (رحمان آریف[4] و همکاران، ۲۰۱۲). از زوال مصنوعی به منظور تعیین تنوع ژنتیکی برای طول عمر بذر گیاهانی نظیر

[1] Sano

[2] Piri
[3] Latifzadeh Shahkhali
[4] Rehman Arif



شکل ۳- تغییرات درصد گیاهچه طبیعی و سرعت جوانه‌زنی بذرهای دو رقم سینا و صفه گلرنگ در پاسخ به طول دوره زوال و انواع پرایمینگ (در این آزمایش بذرها ابتدا پرایمینگ شدند و سپس زوال بر روی آن‌ها انجام شد).

Figure 3- Changes in the percentages of normal seedlings and rates of germination in seeds of two safflower cultivars (Sina and Sofeh) in response to deterioration period and types of priming (In this experiment, seed deterioration was carried out after priming).

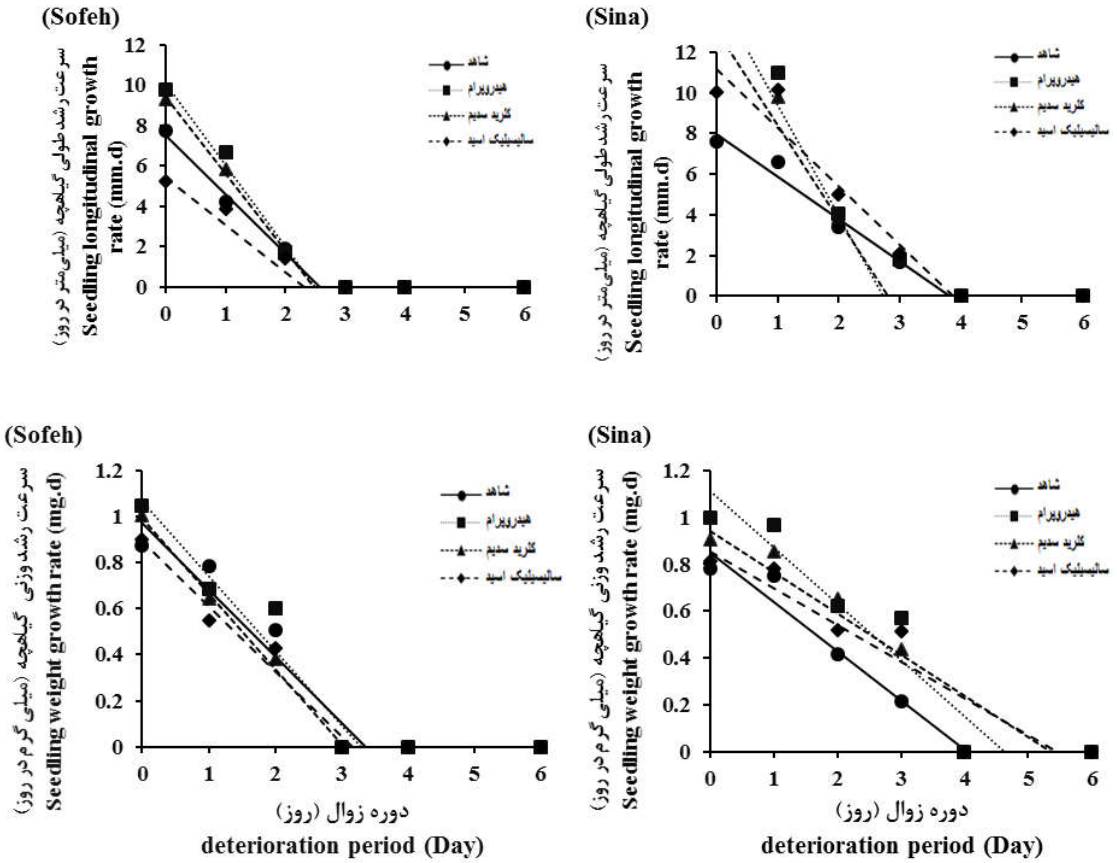
آرابیدوپسیس (بنتسینک[1] و همکاران، ۲۰۰۰)، گندم (زو[2] و همکاران، ۲۰۲۰)، کاهو (اسچومبر و برادفورد[3]، ۲۰۱۰)، کلزا (ناگل[4] و همکاران، ۲۰۱۱) و جو (ناگل و همکاران، ۲۰۰۹) استفاده شد. برخی مطالعات نشان می‌دهند که آزمایش‌های زوال (پیری) تسریع شده در دما و رطوبت بالا اغلب همبستگی قوی با انبارداری طولانی مدت بذرها در شرایط خشک (انبارداری طبیعی) نشان نمی‌دهند (ناگل و همکاران، ۲۰۱۵؛ آگاچا-مولدچ[5] و همکاران، ۲۰۱۶)، اما واکنش‌های بیوشیمیایی در بذرهای زوال یافته مصنوعی و طبیعی تا حدودی مشابه هستند هرچند که شدت آن‌ها متفاوت است (جرنا[6] و همکاران، ۲۰۲۲). در شرایطی که پرایمینگ پس از زوال مصنوعی به کار رفت، برخی تیمارهای پرایمینگ منجر به تاخیر در زمان به صفر رسیدن درصد گیاهچه عادی و سرعت رشد وزنی گیاهچه شدند (کاهش شیب خط). این در حالی بود که روش‌های مختلف پرایمینگ بذرها (به‌ویژه پرایمینگ با اسید سالیسیلیک) پیش از زوال مصنوعی باعث تاخیر در زمان رسیدن به صفر برای

[1] Bentsink
[2] Zuo
[3] Schwember and Bradford
[4] Nagel
[5] Agacka-Mołdoch
[6] Gerna

جدول ۴- پارامترهای حاصل از برازش مدل دو تکه‌ای به داده‌های سرعت جوانه‌زنی، درصد گیاهچه عادی، سرعت رشد طولی گیاهچه و سرعت رشد وزنی گیاهچه که در شکل ۳ و ۴ نشان داده شده است.

Table 4- The parameters obtained by fitting the segmented model to the data of germination rate, normal seedling percentage, seedling longitudinal growth rate, and seedling weight growth rate shown in Figures 3 and 4.

		C. tinctorius (Sofeh)				*C. tinctorius* (Sina)			
صفات Traits	پرایمینگ Priming	a (شیب خط)	b (عرض از مبدأ)	C (نقطه چرخش)	R^2	a (شیب خط)	b (عرض از مبدأ)	C (نقطه چرخش)	R^2
درصد گیاهچه طبیعی Normal seedling percentage	بدون پرایم Non- primed	-37.33±6.59	61.33±4.66	1.58±0.21	0.98	-24.67±2.40	68.67±3.10	2.72±0.20	0.99
	هیدروپرایم Hydroprime	-23.33±3.33	64.66±4.30	2.77±0.30	0.98	-16.66±2.20	68.26±5.40	4.09±0.53	0.97
	کلرید سدیم Sodium Chloride	-26±4.22	66.89±5.44	2.57±0.31	0.98	-19.59±3.34	83.99±8.18	4.28±0.70	0.95
	اسید سالیسیلیک Salicylic acid	-20±0.89	49.78±1.14	2.48±0.08	0.99	-16.8±2.22	72±5.44	4.28±0.54	0.97
سرعت جوانه زنی Germination rate	بدون پرایم Non- primed	-0.013±0.001	0.04±0.002	3.14±0.25	0.98	-0.013±0.001	0.039±0.001	2.98±0.24	0.99
	هیدروپرایم Hydroprime	-0.015±0.006	0.05±0.01	3.47±1.14	0.83	-0.0101±0.0004	0.039±0.0008	3.91±0.013	0.99
	کلرید سدیم Sodium Chloride	-0.019±0.002	5.27E-02±0.002	2.75±0.25	0.99	-0.0097±0.0005	0.039±0.001	4.05±0.20	0.99
	اسید سالیسیلیک Salicylic acid	-0.022±0.004	0.05±0.006	2.56±0.4	0.97	-0.00874±0.0004	0.035±0.001	4.10±0.20	0.99
سرعت رشد طولی گیاهچه Seedling longitudinal growth rate	بدون پرایم Non- primed	-0.29±0.02	0.75±0.02	2.58±0.13	0.99	-0.20±0.02	0.79±0.04	3.80±0.33	0.98
	هیدروپرایم Hydroprime	-0.40±0.03	1.01±0.04	2.49±0.14	0.99	-0.54±0.07	1.54±0.1	2.71±0.3	0.98
	کلرید سدیم Sodium Chloride	-0.38±0.01	0.94±0.01	2.47±0.04	0.99	-0.45±0.08	1.34±0.1	2.80±0.3	0.98
	اسید سالیسیلیک Salicylic acid	-0.19±0.02	0.54±0.02	2.84±0.22	0.99	-0.28±0.05	1.10±0.1	3.86±0.5	0.96
سرعت رشد وزنی گیاهچه Seedling weight growth rate	بدون پرایم Non- primed	-0.28±0.05	0.97±0.1	3.37±0.5	0.96	-0.21±0.02	0.85±0.05	4.04±0.46	0.98
	هیدروپرایم Hydroprime	-0.32±0.05	1.06±0.1	3.30±0.4	0.96	-0.24±0.05	1.11±0.12	4.63±0.91	0.94
	کلرید سدیم Sodium Chloride	-0.32±0.01	0.99±0.02	3.04±0.09	0.99	-0.17±0.02	0.94±0.09	6.77±0.81	0.97
	اسید سالیسیلیک Salicylic acid	-0.28±0.03	0.89±0.06	3.16±0.29	0.98	-0.15±0.03	0.85±0.09	6.32±0.51	0.96



شکل ۴- تغییرات سرعت رشد طولی گیاهچه و سرعت رشد وزنی گیاهچه بذرهای دو رقم سینا و صفه گلرنگ در پاسخ به طول دوره زوال و انواع پرایمینگ (در این آزمایش بذرها ابتدا پرایمینگ شدند و سپس زوال بر روی آن‌ها انجام شد.).

Figure 4- Changes in the seedling longitudinal growth rate and seedling weight growth rate in two safflower seed cultivars (Sina and Sofeh) in response to deterioration period and types of priming (In this experiment, seed deterioration was carried out after priming).

سرعت جوانه‌زنی، درصد گیاهچه عادی، سرعت رشد طولی گیاهچه و سرعت رشد وزنی گیاهچه در مقایسه با شاهد شدند (شکل ۱ الی ۴). درواقع کاربرد پرایمینگ پیش از زوال در بهبود قابلیت جوانه‌زنی و بنیه بذرهای گلرنگ موثرتر بود. این موضوع می‌تواند در بحث انبارداری بذرها مورد توجه قرار گیرد. به عبارتی، پرایمینگ بذرها پیش از انبارداری می‌تواند در افزایش طول عمر بذر موثر باشد. هر چند که برخی از مطالعات حاکی از کاهش قابلیت انبارداری بذرهای پرایمینگ شده می‌باشند (حسین[1] و همکاران، ۲۰۱۶؛ یان[2]، ۲۰۱۷)، اما برخی مطالعات نیز نشان‌دهنده عدم تفاوت در طول عمر بذرهای پرایمینگ شده و پرایمینگ نشده در طول دوره انبارداری هستند (کاپسامی و رانگانتان[3]، ۲۰۱۴). در کلزا انبارداری بذرهای پرایمینگ شده و پرایمینگ نشده اخلاف قابل توجهی از لحاظ خصوصیات جوانه‌زنی پس از طی ۲۲۶ روز انبارداری نداشتند، ضمن اینکه سرعت جوانه‌زنی بذرهای پرایمینگ شده و نیز مقاومت به شوری در آن‌ها بیشتر بود (تقی ذوقی[4] و همکاران، ۲۰۱۸؛ افروشه[5] و همکاران، ۲۰۱۸). به طور کلی، بهبود در پرایمینگ تا حد زیادی به عواملی مانند نوع گونه گیاهی، پتانسیل آبی عامل پرایمینگ، مدت زمان پرایمینگ، دما، بنیه

[1] Hussain
[2] Yan
[3] Kuppusamy and Ranganathan
[4] Taghi Zoghi
[5] Afrosheh

بذر و شرایط انبارداری بذر پرایمینگ شده بستگی دارد (مابشهر[1] و همکاران، ۲۰۰۶). برای مثال، حسین و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که بذرهای پرایم شده برنج همچون بذرهای بدون پرایم برای مدت طولانی (۲۱۰ روز) در دمای ۴- درجه سلسیوس قابلیت انبارداری دارند، اما در دمای ۲۵ درجه سلسیوس قابلیت جوانه‌زنی بذرهای پرایم شده طی دوره مذکور بیش از ۹۰ درصد کاهش یافت. ملک و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند که پرایمینگ حرارتی (شوک حرارتی) باعث افزایش قابلیت ماندگاری بذرهای کلزا شد، اما اسموپرایمینگ باعث کاهش ماندگاری بذرها شد. بنابراین، استفاده از تیمارهای مناسب پرایمینگ پیش از انبارداری بذرها می‌تواند بسیار مفید واقع شود که در پژوهش حاضر نیز مشخص شده است.

تحت رژیم‌های انبارداری مرطوب (شرایط زوال مصنوعی)، سیتوپلاسم بذر در حالت سیال (مایع)[2] است و تحرک مولکولی بالایی را نشان می‌دهد و سرعت بالایی از واکنش‌های شیمیایی را امکان‌پذیر می‌کند (ناگل و همکاران، ۲۰۱۹)، که در شرایط انبارداری خشک با حالت کریستالی چنین نیست. سیتوپلاسم در حالت کریستالی، تنها واکنش‌های شیمیایی خود به خودی مانند حمله اکسیداتیو مستقیم (اکسیداسیون لیپیدی)، ازدحام مولکولی و واکنش‌های آمادوری و مایلارد ناشی از آسیب مولکولی را نشان می‌دهد (ناریانا مورثی و سان[3]، ۲۰۰۰). این در حالی است که در سیتوپلاسم سیال علاوه بر این واکنش‌ها، در ارتباط با پتانسیل فعالیت‌های آنزیمی فرآورده‌های تخمیر (مانند استالدئید و اتانول) نیز با پیر شدن بذرها تحت رژیم های مرطوب و گرم مشاهده می‌شود (کالویل[4] و همکاران، ۲۰۱۲؛ جرنا و همکاران، ۲۰۲۲). به‌علاوه، تأثیر اکسیژن بر طول عمر بذر بسته به اینکه سیتوپلاسم بذر در حالت کریستالی یا سیال باشد، متفاوت است. اکسیژن در بذرهای خشک (با سیتوپلاسم کریستالی) در مقایسه با بذرهایی که رطوبت بیشتری دارند (سیتوپلاسم سیال) اثرات مخرب‌تری بر جای می‌گذارد (جرنا و همکاران، ۲۰۲۲). این به معنی تولید بیشتر ROSها و آسیب بیشتر به بذرها در طی زوال مصنوعی در مقایسه با زوال طبیعی می‌باشد (گالشی[5] و همکاران، ۲۰۰۲؛ روچ[6] و همکاران، ۲۰۱۸).

نتیجه‌گیری

با توجه به یافته‌های حاصل از این پژوهش می‌توان گفت که استفاده از روش‌های مناسب پرایمینگ پیش از زوال و به عبارتی پیش از انبارداری می‌تواند منجر به بهبود قابلیت جوانه‌زنی و بنیه بذر گلرنگ شود. در واقع پرایمینگ می‌تواند باعث افزایش طول عمر بذرهای گلرنگ در طی انبارداری شود. همچنین، پرایمینگ نقش مهم‌تری در افزایش سرعت جوانه‌زنی بذرها در مقایسه با سایر صفات ایفا می‌کند. به‌علاوه، روش پرایمینگ با اسید سالیسیلیک از سودمندی بیشتری در مقایسه با سایر تیمارهای پرایمینگ برخوردار بود. پرایمینگ بذر پس از انبارداری طولانی مدت بذرها نیز سبب بهبود خصوصیات جوانه‌زنی و رشد گیاهچه در مقایسه با عدم پرایمینگ شد. رقم سینا در مقایسه با رقم صفه چه در شاهد و چه در روش‌های مختلف پرایمینگ در طی انبارداری از کیفیت بالاتری برخوردار بودند و دارای مقاومت بیشتری در برابر شرایط نامساعد انبار بودند.

[1] Mubshar
[2] Fluid
[3] Narayana Murthy and Sun
[4] Colville
[5] Galleschi
[6] Roach

منابع

Afrosheh, R., Balouchi, H. Movahhedi Dehnavi, M. Gharineh, M.H. 2018. The effects of salicylic acid and seed deterioration on germination indices and antioxidant enzymes changes of *Carthamus tinctorius* L. cv. Soffeh seed. Iranian Journal of Seed Science and Technology, 7(1): 53-64. [In Persian with English Summary]

Agacka-Mołdoch, M., Arif, M.A.R. Lohwasser, U. Doroszewska, T. Qualset, C. and Borner, A. 2016. The inheritance of wheat grain longevity: a comparison between induced and natural ageing. Journal of Applied Genetics, 57: 477-481. https://doi.org/10.1007/s13353-016-0348-3

Bailly, C. 2004. Active oxygen species and antioxidants in seed biology. Seed Science Research, 14(2): 93-107. https://doi.org/10.1079/SSR2004159

Bentsink, L., Alonso-Blanco, C. Vreugdenhil, D. Tesnier, K. Groot, S.P.C. and Koornneef, M. 2000. Genetic analysis of seed-soluble oligosaccharides in relation to seed storability of arabidopsis. Plant Physiology, 124(4): 1595-1604. https://doi.org/10.1104/pp.124.4.1595

Bewley, J.D., Bradford, K.J. Hilhorst, H.W.M. and Nonogaki, H. 2013. Seeds: Physiology of development, germination and dormancy, 3rd Edition. Springer. New York Heidelberg Dordrecht London, 392 p. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4693-4

Bruggink, G., Ooms, J. and Van Der Toorm, P. 1999. Induction of longevity in primed seeds. Seed Science Research, 9: 49-53. https://doi.org/10.1017/S0960258599000057

Colville, L., Bradley, E.L. Lloyd, A.S. Pritchard, H.W. Castle, L. and Kranner, I. 2012. Volatile fingerprints of seeds of four species indicate the involvement of alcoholic fermentation, lipid peroxidation, and maillard reactions in seed deterioration during ageing and desiccation stress. Journal of Experimental Botany, 63(18): 6519-6530. https://doi.org/10.1093/jxb/ers307

Crawford, A.D., Hay, F.R. Plummer, J.A. Probert, R.J. and Steadman, K.J. 2013. One-step fitting of seed viability constants for two Australian plant species, *Eucalyptus erythrocorys* (Myrtaceae) and *Xanthorrhoea preissii* (Xanthorrhoeacea). Australian Journal of Botany, 61: 1-10. https://doi.org/10.1071/BT12171

Davies, R.M., Newton, R.J. Hay, F.R. and Probert, R.J. 2016. 150-seed comparative longevity protocol a reduced seed number screening method for identifying short-lived seed conservation collections. Seed Science and Technology, 44: 569-584. https://doi.org/10.15258/sst.2016.44.3.13

El-Maarouf Bouteau, H., and Bailly, C. 2008. Oxidative signalling in seed germination and dormancy. Plant Signal Behav, 3: 175-182. https://doi.org/10.4161/psb.3.3.5539

Galleschi, L., Capocchi, A. Ghiringhelli, S. Saviozzi, F. Calucci, L. Pinzino, C. 2002. Antioxidants, free radicals, storage proteins, and proteolytic activities in wheat (*Triticum durum*) seeds during accelerated aging. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 50(19): 5450-5457. https://doi.org/10.1021/jf0201430

Gao, J., Fu, H. Zhou, X. Chen, Z. Luo, Y. Cui, B. 2016. Comparative proteomic analysis of seed embryo proteins associated with seed storability in rice (*Oryza sativa* L.) during natural aging. Plant Physiology Biochemistry, 103: 31-44. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.02.026

Garg, N, and Manchanda, G. 2009. ROS generation in plants: boon or bane? Plant Biosystem, 143: 81-96. https://doi.org/10.1080/11263500802633626

Gerna, D., Ballesteros, D. Arc, E. Stöggl,W. Seal, C.E. Marami-Zonouz, N.N, Sun Na.C. Kranner, I. and Roach, T. 2022. Does oxygen affect ageing mechanisms of Pinus densiflora seeds? a matter of cytoplasmic physical state. Journal of Experimental Botany, 73(8): 2631-2649. https://doi.org/10.1093/jxb/erac024

Ghaderi-Far, F., Alimagham, S.M. Kameli, A.M. and 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: 185-194.

Ghadrifar, F., and Gerzin, M. 2018. Applied researches in seed technology. Publications of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 240 p.

Ghadrifar, F., and Soltani, A. 2016. Seed control and certification. Publications University of Mashhad, 200 p.

Goel, A., and Sheoran, I.S. 2003. Lipid peroxidation and peroxide-scavenging enzymes in cotton seeds under natural ageing. Biologia Plantarum, 46: 429-434. https://doi.org/10.1023/A:1024398724076

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, 1-14. https://doi.org/10.1007/s00344-020-10266-2

Hampton, J.G. and Tekrony, D.M. 1995. Handbook of vigour test methods. The International Seed Testing Association, Zurich (Switzerland).

Hussain, M.I., Lyra, D.A. Farooq, M. Nikoloudakis, N. and Khalid, N. 2016. Salt and drought stresses in safflower: a review. Agronomy for Sustainable Development, 36: 1-31. https://doi.org/10.1007/s13593-015-0344-8

International Seed Testing Association (ISTA). 2006. Handbook on seedling evaluation, 267 p.

International Seed Testing Association. 2010. International Rules, for Seed Testing.Seed Science and Technology, 13: 299-513.

Jamali, M., Ghaderi-Far, F. Sadeghipour, H.R. Soltani, E. Alimagham, S.M. 2017. Evaluation of germination of wheat seeds with different levels of seed vigor by using the hydrotime model. Environmental Stresses in Crop Science, 10(3): 403-413.

Job, C., Rajjou, L. Lovigny, Y. Belghazi, M. Job, D. 2005. Patterns of protein oxidation in Arabidopsis seeds and during germination. Plant Physiology, 138: 790-802. https://doi.org/10.1104/pp.105.062778

Kibinza, S., Bazin, J. Bailly, C. Farrant, J.M. Oise Corbineau, F. El-Maarouf-Bouteaua. H. 2011. Catalase is a key enzyme in seed recovery from ageing during priming. Plant Science, 181: 309-315. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2011.06.003

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. Front, Plant Science, 7: 1554. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01554

Kuppusamy, N., and Ranganathan, U. 2014. Storage potential of primed seeds of okra (*Abelmoschus esculentus*) and beet root (*Beta vulgaris*). Australian Journal of Crop Science, 8(9): 1290-1297.

Latifzadeh Shahkhali, M., Ehtehsami, S.M.R. Moradi, F. 2022. Investigating the effects of natural and artificial seed deterioration on reactive oxygen species, antioxidant enzymes, and seed germination characteristics in local and improved rice (*Oryza sativa*) cultivars derived from the farms in Guilan province. Iranian Journal of Seed Research, 8(2): 21-40. [In Persian with English Summary] https://doi.org/10.52547/yujs.8.2.21

Li, D.Z., and Pritchard, H.W. 2009. The science and economics of ex situ plant conservation. Trends Plant Science, 14 (11): 614-621. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2009.09.005

Malek, M., Ghaderi-Far, F. Torabi, B. sadeghipour, H.R. 2019. Rapeseed seed viability reaction to priming treatments and drying conditions of primed seeds. Journal of Agronomy, 22(1): 27-42. [In Persian with English Summary]

Malek, M. Ghaderi-Far, F. Torabi, B. Sadeghipour, H.R. 2020. Quantification of changes in relative humidity and seed moisture contents of canola cultivars under different temperatures using hygroscopic equilibrium curve. Iranian Journal of Seed Research, 7(1): 39-52. [In Persian with English Summary] https://doi.org/10.29252/yujs.7.1.39

Malek, M. Ghaderi-Far, F. Torabi, B. Sadeghipour, H.R. 2020. The effect of priming on seed viability of canola (*Brassica napus*) cultivars under different storage conditions. Iranian Journal of Seed Research, 6(2): 45-60. [In Persian with English Summary] https://doi.org/10.29252/yujs.6.2.45

McDonald, M.B. 1999. Seed deterioration: physiology, repair and assessment. Seed Science and Technology, 27: 177-237.

Mubshar, H., Farooq, M. Basra, S.M.A. Ahmad, N. 2006 Influence of seed priming techniques on the seedling establishment, yield and quality of hybrid Sunflower. International Journal of Agriculture and Biology, 8(1): 14-18.

Nagel, M., Kranner, I. Neumann, K. Rolletschek, H. Seal, C.E. Colville, L. Fernández-Marín, B. and Börner, A. 2015. Genome-wide association mapping and biochemical markers reveal that seed ageing and longevity are intricately affected by genetic background and developmental and environmental conditions in barley. Plant Cell and Environment, 38(6): 1011-1022. https://doi.org/10.1111/pce.12474

Nagel, M., Rosenhauer, M. Willner, E. Snowdon, R.J. Friedt, W. and Börner, A. 2011. Seed longevity in oilseed rape (*Brassica napus* L.) genetic variation and QTL mapping. Plant Genetic Resources, 9(2): 260-263. https://doi.org/10.1017/S1479262111000372

Nagel, M., Seal, C.E. Colville, L. Rodenstein, A. UN, S. Richter, J. 2019. Wheat seed ageing viewed through the cellular redox environment and changes in pH. Free Radical Research, 53 (6): 641-654. https://doi.org/10.1080/10715762.2019.1620226

Nagel, M., Vogel, H. Landjeva, S. Buck-Sorlin, G. Lohwasser, U. Scholz, U. and Börner, A. 2009. Seed conservation in ex situ genebanks-genetic studies on longevity in barley. Euphytica, 170 (1-2): 5-14. https://doi.org/10.1007/s10681-009-9975-7

Nakaune, M., Hanada, A. Yin, Y.G. Matsukura, C. Yamaguchi, S. Ezura, H. 2012. Molecular and physiological dissection of enhanced seed germination using short-term low-concentration salt seed priming in tomato. Plant Physiology and Biochemistry, 52: 28-37. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2011.11.005

Narayana Murthy, U.M., and Sun, W.Q. 2000. Protein modification by amadori and maillard reactions during seed storage: roles of sugar hydrolysis and lipid peroxidation. Journal of Experimental Botany, 51(348): 1221-1228. https://doi.org/10.1093/jexbot/51.348.1221

Piri, R., Moradi, A. Hoseini Moghaddam, M. 2018. Effect of accelerated aging and seed priming on germination and some biochemical indices of cumin (*Cuminum Cyminum* L.). Iranian Journal of Seed Science and Research, 5(1): 69-81. [In Persian with English Summary]

Prasad, M., Kodde, J., Angenent, G.C., De vos, R.C.H., Diez-Simon, C., Mumm, R., Hay, F.R. Siricharoen, S., Yadava D.K., and Groot S.P.C. 2022. Experimental rice seed aging under elevated oxygen pressure: Methodology and mechanism. Frontiers in Plant Science, 13: 1050411. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1050411

Probert, R.J., Daws, M.I. and Hay, F.R. 2009. Ecological correlates of ex situ seed longevity: a comparative study on 195 species. Annals of Botany, 104(1): 57-69. https://doi.org/10.1093/aob/mcp082

Ramezani Yeganeh, M., Jafari, A.A. Sani B. 2019. The effects of priming on seed vigority and seedling growth of deteriorated seeds in three Astragalus species. Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research, 27(1): 59-70. [In Persian with English Summary]

Ratajczak, E., Pukacka, S. 2005. Decrease in beech (*Fagus sylvatica*) seed viability caused by temperature and humidity conditions as related to membrane damage and lipid composition. Acta Physiologiae Plantarum, 27: 3-12. https://doi.org/10.1007/s11738-005-0030-6

Rehman Arif, M.A., Nagel, M. Neumann, K. Kobiljski, B. Lohwasser, U. and Börner, A. 2012. Genetic studies of seed longevity in hexaploid wheat using segregation and association mapping approaches. Euphytica, 186(1): 1-13. https://doi.org/10.1007/s10681-011-0471-5

Roach, T., Nagel, M. Börner, A. Eberle, C. and Kranner, I. 2018. Changes in tocochromanols and glutathione reveal differences in the mechanisms of seed ageing under seed bank conditions and controlled deterioration in barley. Environmental and Experimental Botany, 156: 8-15. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.08.027

Sano, N., Rajjou, L. North, H.M. Debeaujon, I. Marion-Poll, A. and Seo, M. 2016. Staying alive: Molecular aspects of seed longevity. Plant and Cell Physiology, 57: 660-674. https://doi.org/10.1093/pcp/pcv186

Schwember, A.R., and Bradford, K.J. 2010. Quantitative trait loci associated with longevity of lettuce seeds under conventional and controlled deterioration storage conditions. Journal of Experimental Botany, 61(15): 4423-4436. https://doi.org/10.1093/jxb/erq248

Sew, Y.S., Stroher, E., Fenske, R. and Millar, A.H. 2016. Loss of mitochondrial malate dehydrogenase activity alters seed metabolism impairing seed maturation and post-germination growth in arabidopsis. Plant Physiology, 171: 849-863.

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 Reports, 7: 1-11. https://doi.org/10.1038/s41598-017-13093-w

Siddiqi, E.H., Ashraf, M. Al-Qurainy, F. and 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 the Science of Food and Agriculture, 91(15): 2785-2793. https://doi.org/10.1002/jsfa.4522

Taghi Zoghi, S., Soltani, E. Alahdadi, I. Sadeghi, R. 2018. The effects of different priming methods on the storability and germination under salinity stress in rapeseed (*Brassica napus*) line Karaj 3. Iranian Journal of Seed Research, 4(2): 79-91. [In Persian with English Summary] https://doi.org/10.29252/yujs.4.2.79

Tesnier, K., Strookman-Donkers, H.M., van Pijlen, J.G., van der Geest, A.H.M., Bino, R.J. and Groot, S.P.C. 2002. A controlled deterioration test for Arabidopsis thaliana reveals genetic variation in seed quality. Seed Science and Technology, 30: 149-165.

Yan, M. 2017. Prolonged storage reduced the positive effect of hydropriming in Chinese cabbage seeds stored at different temperatures. South African Journal of Botany, 111: 313-315. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2017.04.005

Zhuang, Y., Dong, J. He, X. Wang, J. Li, C. Dong, L. Zhang, Y. Zhou, X. Wang, H. Yi, Y. and Wang, S. 2022. Impact of heating temperature and fatty acid type on the formation of lipid oxidation products during thermal processing. Frontiers in Nutrition, 9: 913297. https://doi.org/10.3389/fnut.2022.913297

Zuo, J. H., Chen, F.Y. Li, X.Y. Xia, X.C. Cao, H. Liu, J.D. and Xiu Liu, Y. 2020. Genomewide association study reveals loci associated with seed longevity in common wheat (*Triticum aestivum* L.). Plant Breeding, 139(2): 295-303. https://doi.org/10.1111/pbr.12784