

مقاله پژوهشی

اثر رژیم‌های دما و نور بر رفتار جوانه‌زنی بذر ارقام کلزا (*Brassica napus*)مرتضی گرزین^۱، فرشید قادری فر^{۲*}، حمیدرضا صادقی پور^۳، ابراهیم زینلی^۲

چکیده مبسوط

مقدمه: حداکثر درصد و سرعت جوانه‌زنی بذرهای کلزا در دمای خاصی صورت می‌پذیرد. یافتن این دماها می‌تواند نقش مهمی در تعیین زمان و مکان مناسب برای کشت ارقام مختلف را فراهم نماید. نور نیز می‌تواند بر درصد جوانه‌زنی بذرهای کلزا در دماهای مختلف مؤثر باشد، اما واکنش بذرهای کلزا به نور به‌ویژه در صورت بروز دماهای پایین‌تر و بالاتر از مطلوب چندان مورد بررسی قرار نگرفته است. از این‌رو، این مطالعه با هدف بررسی تغییرات جوانه‌زنی ارقام کلزا در دماهای مختلف و تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی بر اساس درصد و سرعت جوانه‌زنی در دو شرایط حضور و عدم حضور نور انجام شد.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق، آزمون جوانه‌زنی در دماهای ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۳۷ و ۴۰ درجه سلسیوس در دو شرایط نور (۱۲ ساعت نور / ۱۲ ساعت تاریکی) و تاریکی روی نه رقم بهاره (تراپر، آگامکس، هایولا-۵۰، هایولا-۴۲۰، آرچی‌اس، مهتاب، هایولا-۶۱، ظفر و زرفام) و یک رقم زمستانه (گارو) انجام شد. برای توصیف تغییرات جوانه‌زنی در مقابل زمان از مدل چهار پارامتره هیل و برای محاسبه دماهای کاردینال جوانه‌زنی از مدل دندان‌مانند استفاده شد. بررسی زنده‌مانی بذرها در دماهای پایین‌تر و بالاتر از مطلوب نیز به‌وسیله آزمون تترازولیوم انجام شد.

یافته‌ها: بررسی روند تغییرات درصد جوانه‌زنی تجمعی در طی زمان در ارقام مختلف نشان داد که تمامی ارقام در دامنه دمایی بین ۳۰-۱۵ درجه سلسیوس، برخی در دامنه دمایی ۳۰-۱۰ درجه سلسیوس (هایولا-۶۱) و برخی دیگر حتی در دامنه دمایی ۳۰-۵ درجه سلسیوس (آرچی‌اس، مهتاب، گارو، ظفر و زرفام) از حداکثر درصد جوانه‌زنی برخوردار بودند. حداکثر سرعت جوانه‌زنی نیز در تمامی ارقام به طور میانگین در دامنه دمایی ۳۵-۲۲ درجه سلسیوس رخ داد. نور تنها بر درصد جوانه‌زنی بذرهای تحت دماهای پایین‌تر و بالاتر از مطلوب مؤثر بود. در این دماها نور باعث افزایش درصد جوانه‌زنی شد. بذرهای باقی‌مانده در دماهای ۵، ۱۰، ۳۵، ۳۷ و ۴۰ درجه سلسیوس پس از انتقال به دمای ۲۰ درجه سلسیوس نیز جوانه نزدند، در حالی که بر اساس آزمون تترازولیوم بیشتر آن‌ها زنده بودند.

نتیجه‌گیری: تفاوت در دامنه دمای مطلوب برای درصد و سرعت جوانه‌زنی نشان داد که برای بهینه‌سازی کارکرد بذرها لازم است دامنه دمای مطلوب مشترک بین درصد و سرعت جوانه‌زنی به عنوان دمای مطلوب جوانه‌زنی در نظر گرفته شود. در دماهای بالاتر و پایین‌تر از حد مطلوب نور باعث افزایش جوانه‌زنی در برخی از ارقام شد. تأثیر نور بر جوانه‌زنی در دماهای بالا به مراتب بیشتر از دماهای پایین بود. زنده‌مانی بذرهای باقی‌مانده در دماهای پایین‌تر و بالاتر از حد مطلوب در برخی ارقام نیز شواهدی مبنی بر وجود خواب ناشی از دما در ارقام مذکور را ارائه کرد که این موضوع نیاز به بررسی بیشتری در آینده دارد.

واژه‌های کلیدی: تترازولیوم، زنده‌مانی، سرعت جوانه‌زنی، درصد جوانه‌زنی، دمای کاردینال

جنبه‌های نوآوری:

- ۱- دماهای کاردینال براساس هر دو عامل درصد و سرعت جوانه‌زنی و تأثیر نور بر آن‌ها بررسی شده است.
- ۲- برخی ارقام جدید نظیر تراپر و آگامکس که اطلاعات زیادی راجع به خصوصیات آن‌ها در اختیار نیست، مورد بررسی قرار گرفتند.
- ۳- در این مطالعه، دلیل عدم جوانه‌زنی بذرهای کلزا در دماهای پایین‌تر و بالاتر از مطلوب به‌ویژه در تاریکی اشاره شده است.

^۱ دانشجوی دکتری گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع

طبیعی گرگان

^۲ دانشیار گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

^۳ دانشیار گروه زیست‌شناسی، دانشگاه گلستان



مقدمه

چرخه زندگی در گیاهان زراعی با جوانه‌زنی بذر شروع شده و در نهایت با تولید بذر به پایان می‌رسد. از این‌رو، جوانه‌زنی یک رویداد مهم در فرآیند تولید گیاهان زراعی به شمار می‌رود. در صورتی که بذرها از قابلیت جوانه‌زنی بالایی برخوردار باشند، می‌توانند باعث ایجاد پوشش یکنواخت در مزرعه شوند (فینچ-ساواج و باسل^۱، ۲۰۱۵). این موضوع باعث استفاده بهینه از امکانات محیطی و جلوگیری از هدر رفت منابع تولید خواهد شد.

فراهمی رطوبت، اکسیژن و دمای مناسب از ملزومات جوانه‌زنی در تمامی بذرها به شمار می‌رود و در برخی دیگر نور نیز در آغاز فرآیند جوانه‌زنی ضروری می‌باشد (بیولی^۲ و همکاران، ۲۰۱۳). پس از جذب آب و اکسیژن توسط بذرهاى فاقد خواب، دما نقش بسیار مهمی در تعیین درصد و سرعت جوانه‌زنی خواهد داشت (اکرم‌قادر^۳ و همکاران، ۲۰۰۸). حداکثر درصد و سرعت جوانه‌زنی بذرهاى هر گیاه در دمای خاصی صورت می‌پذیرد که به آن دمای مطلوب گفته می‌شود. افزایش دما به بیش از دمای مطلوب و کاهش دما به کمتر از دمای مطلوب باعث کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی خواهد شد (برادفورد^۴، ۲۰۰۲؛ قادری‌فر^۵ و همکاران، ۲۰۱۰؛ ترابی^۶ و همکاران، ۲۰۱۳). افزایش بیش از حد دما در نهایت منجر به توقف جوانه‌زنی در دمای بیشینه و کاهش بیش از حد دما منجر به توقف جوانه‌زنی در دمای پایه می‌شود (سلطانی^۷ و همکاران، ۲۰۱۶). به مجموع دماهای پایه، مطلوب و بیشینه، دماهای کاردینال جوانه‌زنی گفته می‌شود (بیولی و همکاران، ۲۰۱۳).

مطالعات پیشین نشان دادند که دمای پایه جوانه‌زنی در ارقام کلزای مقاوم به دماهای پایین حدود ۱/۴ درجه سلسیوس و در ارقام حساس حدود ۴/۱ درجه سلسیوس

می‌باشد (لو^۸ و همکاران، ۲۰۱۸). دمای مطلوب بر اساس درصد جوانه‌زنی در ارقام مختلف از ۱۱ تا ۲۴ درجه سلسیوس و بر اساس سرعت جوانه‌زنی از ۲۱ تا ۳۵ درجه سلسیوس متغیر بود؛ دمای سقف جوانه‌زنی نیز در ارقام مختلف کلزا بر اساس درصد جوانه‌زنی از ۳۵ تا ۴۰ درجه سلسیوس و بر اساس سرعت جوانه‌زنی از ۴۱ تا ۴۶ درجه سلسیوس برآورد شده است (فرزانه^۹ و همکاران، ۲۰۱۴).

به‌طور معمول، برای محاسبه دماهای کاردینال، ابتدا آزمون جوانه‌زنی در دماهای مختلف انجام و سپس به داده‌های سرعت جوانه‌زنی حاصل از شمارش‌های روزانه، مدل‌های رگرسیونی مختلف نظیر مدل خطوط متقاطع (سامرفیلد^{۱۰} و همکاران، ۱۹۹۱)، مدل دو تکه‌ای (ریتچی و نی‌اسمیت^{۱۱}، ۱۹۹۱)، مدل بتا (ین^{۱۲} و همکاران، ۱۹۹۵) و مدل درجه دوم (فلاحی^{۱۳} و همکاران، ۲۰۱۵) برای بذرهایی که دمای مطلوب جوانه‌زنی در آن‌ها فاقد دامنه است و یا مدل دندان مانند (پیپر^{۱۴} و همکاران، ۱۹۹۶؛ سلطانی و همکاران، ۲۰۰۸) برای بذرهایی که دمای مطلوب جوانه‌زنی در آن‌ها دارای دامنه است، برازش داده می‌شود. در نهایت مدل مناسب بر اساس شاخص‌های آماری مختلف برای گیاه مورد نظر انتخاب و معرفی می‌گردد (قادری‌فر و همکاران، ۲۰۰۹).

به نظر می‌رسد که تنها استفاده از سرعت جوانه‌زنی برای تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی کافی نباشد، زیرا مشاهده می‌شود که در برخی از گیاهان با افزایش دما تا حد مشخصی، درصد جوانه‌زنی شروع به کاهش می‌گذارد، اما سرعت جوانه‌زنی همچنان افزایش می‌یابد (باقری‌فرد^{۱۵} و همکاران، ۲۰۱۴؛ خلیلی‌اقدم^{۱۶} و همکاران، ۲۰۱۷؛ انصاری^{۱۷} و همکاران، ۲۰۱۶). همچنین، با کاهش دما سرعت جوانه‌زنی سریع‌تر از درصد جوانه‌زنی کاهش

⁸ Luo

⁹ Farzaneh

¹⁰ Summerfield

¹¹ Ritchie and NeSmith

¹² Yin

¹³ Fallahi

¹⁴ Piper

¹⁵ Bagherifard

¹⁶ Khaliliaqdam

¹⁷ Ansari

¹ Finch-Savage and Bassel

² Bewley

³ Akram-Ghaderi

⁴ Bradford

⁵ Ghaderi-Far

⁶ Torabi

⁷ Soltani

بذرهای گواهی شده که در سال ۱۳۹۶ تولید شده بودند استفاده شد. بلافاصله پس از تهیه بذر، آزمون جوانه‌زنی در دماهای ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۳۷ و ۴۰ درجه سلسیوس و در دو شرایط نور (۱۲ ساعت روشنایی/۱۲ ساعت تاریکی) و تاریکی انجام شد. لازم به ذکر است که در برخی ارقام به دلیل عدم کاهش درصد جوانه‌زنی نهایی در دمای ۵ درجه سلسیوس، درصد جوانه‌زنی در دمای ۳ درجه سلسیوس نیز بررسی شد. آزمون جوانه‌زنی در چهار تکرار ۵۰ بذری (مجموعاً ۲۰۰ بذر برای هر تیمار) روی بستر کاغذی (یک لایه کاغذ صافی) و در داخل ظرف‌های پتری به قطر ۹ سانتی‌متر انجام شد. پس از قرار گرفتن بذرهای کاغذ صافی، مقدار ۶ میلی‌لیتر آب مقطر در هر ظرف پتری ریخته شد. در تیمار تاریکی برای جلوگیری از برخورد نور به بذر، اطراف ظرف‌های پتری با فویل آلومینیومی پوشانده شد. سپس ظرف‌های پتری به انکوباتورهایی با نور سفید و دماهای مذکور منتقل شدند. شمارش بذرهای جوانه‌زده چند نوبت در هر روز انجام شد. لازم به ذکر است که شمارش بذرهای جوانه‌زده در تیمار تاریکی در زیر نور سبز انجام شد. خروج ریشه‌چه و رسیدن طول آن به یک میلی‌متر یا بیشتر به عنوان معیار جوانه‌زنی در نظر گرفته شد. پس از پایان آزمون جوانه‌زنی (توقف جوانه‌زنی به مدت سه روز متوالی)، بذرهای جوانه نرزه در دماهای بالاتر و پایین‌تر از حد مطلوب به مدت ۱۴ روز به دمای ۲۰ درجه سلسیوس منتقل شدند و پس از طی این دوره، زنده‌مانی بذرهای باقی‌مانده به وسیله آزمون تترازولیوم بر اساس روش ارائه شده توسط انجمن بین‌المللی آزمون بذر^۷ (۲۰۰۳) بررسی شد.

در این پژوهش، برای نشان دادن تغییرات درصد جوانه‌زنی تجمعی در مقابل زمان از مدل لجیستیک سه پارامتره استفاده شد (رابطه ۱) (قادری‌فر و همکاران، ۲۰۱۲):

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

پیدا می‌کند (تولیت^۱ و همکاران، ۲۰۱۴؛ اعتصامی^۲ و همکاران، ۲۰۱۵). از طرف دیگر، در اکثر مطالعات به تأثیر نور بر روند جوانه‌زنی بذرهای توجهی نمی‌شود و شرایط نوری انجام آزمایش در برخی مقالات یا ذکر نشده است (حیدری^۳ و همکاران، ۲۰۱۴؛ درخشان^۴ و همکاران، ۲۰۱۴؛ دیانت و حسینی^۵، ۲۰۱۶) و یا تنها تحت یک تیمار نوری انجام شدند (خیرخواه^۶ و همکاران، همکاران، ۲۰۱۴). در بیشتر مطالعات انجام شده، بذرهای در انکوباتور نگهداری می‌شوند و شمارش بذرهای در زیر نور انجام می‌شود. این در حالی است که در زمان کاشت، بذرهای در زیر خاک قرار می‌گیرند و از این‌رو، جوانه‌زنی بذرهای در تاریکی صورت می‌گیرد که ممکن است نتایج متفاوتی در مقایسه با شرایط حضور نور به دنبال داشته باشد.

از آنجایی که درصد جوانه‌زنی عامل مهمی در تعیین تراکم نهایی بوته در مزرعه می‌باشد، لازم است که در تعیین دماهای کاردینال، علاوه بر سرعت جوانه‌زنی به درصد جوانه‌زنی نیز توجه شود. همچنین، با توجه به امکان تأثیر نور بر روند جوانه‌زنی و اثر متقابل آن با دما بهتر است که تغییرات جوانه‌زنی در چنین مطالعاتی در حضور و عدم حضور نور بررسی شود. از این‌رو، این مطالعه با هدف بررسی تغییرات جوانه‌زنی ارقام مختلف کلزا در دماهای مختلف و تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی بر اساس درصد و سرعت جوانه‌زنی در دو شرایط حضور و عدم حضور نور انجام شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثرات دما و نور بر رفتار جوانه‌زنی بذر کلزا، بذرهای نه رقم کلزای بهاره شامل تراپر، آگامکس، هایولا-۵۰، هایولا-۴۲۰، آرجی‌اس، مهتاب، هایولا-۶۱، ظفر و زرفام و یک رقم کلزای پاییزه شامل رقم گارو از اداره پنبه و دانه‌های روغنی سازمان جهاد کشاورزی استان گلستان تهیه شد. در این مطالعه از

¹ Tolyat

² Etesami

³ Heidari

⁴ Derakhshan

⁵ Diyanat and Hosseini

⁶ Kheirkhah

⁷ International Seed Testing Association (ISTA)

نتایج و بحث

بررسی روند تغییرات درصد جوانه‌زنی تجمعی در طی زمان (شکل‌های ۱، ۲ و ۳) نشان داد که در تمامی ارقام مورد مطالعه پایین‌ترین سرعت جوانه‌زنی (در هر دو شرایط نور و تاریکی) به ترتیب در دماهای ۵ و ۱۰ درجه سلسیوس مشاهده شد. بر اساس روند سیگموییدی تغییرات جوانه‌زنی، در تمامی ارقام دامنه دمایی که در آن هم درصد و هم سرعت جوانه‌زنی در بالاترین حد خود قرار داشت، دامنه دمایی بین ۲۰ تا ۳۰ درجه سلسیوس بود. در ارقام تراپر، آگامکس، هایولا-۵۰ و هایولا-۴۲۰ با کاهش دما به کمتر از ۱۵ درجه سلسیوس و افزایش دما به بیش از ۳۰ درجه سلسیوس، درصد جوانه‌زنی نهایی در هر دو تیمار نوری به شدت کاهش پیدا کرد. درصد جوانه‌زنی نهایی در سایر ارقام نیز در دماهای بالاتر از ۳۰ درجه سلسیوس به شدت کاهش یافت؛ اما در دماهای پایین، درصد جوانه‌زنی نهایی در رقم هایولا-۶۱ در دمای ۱۰ درجه سلسیوس و در سایر ارقام حتی در دمای ۵ درجه سلسیوس نیز در حداکثر مقدار خود بود (شکل‌های ۱ تا ۳). در این پژوهش، توقف کامل جوانه‌زنی در دماهای بالاتر از ۳۷ درجه سلسیوس مشاهده شد که در ارقام مختلف متفاوت بود. درصد جوانه‌زنی نهایی در دو رقم تراپر و آگامکس در دمای ۳۷ درجه سلسیوس در هر دو تیمار نوری تقریباً به صفر رسید (شکل ۱). توقف کامل جوانه‌زنی در سایر ارقام تنها در دمای ۴۰ درجه سلسیوس مشاهده شد (شکل‌های ۱ تا ۳). بذرهاي دو رقم ظفر و زرقام حتی در دمای ۴۰ درجه سلسیوس نیز جوانه زدند. هر چند که درصد جوانه‌زنی در آن‌ها همواره کمتر از ۲۰ درصد بود (شکل‌های ۳).

این یافته‌ها نشان‌دهنده وجود تنوع بسیار زیاد در بین ارقام کلزا از لحاظ پاسخ جوانه‌زنی به دمای محیط می‌باشد. این تنوع در سازگاری به دما، امکان انتخاب ژنوتیپ‌های مناسب برای کشت در مناطق مختلف از نظر شرایط آب و هوایی و یا تاریخ‌های مختلف کاشت را فراهم می‌کند (لو و همکاران، ۲۰۱۸). پیش‌تر گزارش شده بود که برخی از ارقام کلزا می‌توانند در دامنه دمایی بین ۳۲-۴ درجه سلسیوس بیش از ۹۰ درصد جوانه

در این معادله y درصد جوانه‌زنی تجمعی در زمان t ، G_{max} 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 بذری (T_{20}^{SP})^۱ با استفاده از پارامترهای مدل طبق روش ارائه شده توسط قادری‌فر و گوزین^۲ (۲۰۱۹) محاسبه شد. در مرحله بعد با معکوس کردن T_{20}^{SP} سرعت جوانه‌زنی محاسبه شد (رابطه ۲):

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

در این معادله R_{20}^{SP} سرعت جوانه‌زنی بر اساس زمان تا رسیدن به ۲۰ درصد جوانه‌زنی بر اساس جمعیت بذری می‌باشد. 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.

پس از محاسبه درصد و سرعت جوانه‌زنی و به دلیل دامنه‌دار بودن دمای مطلوب برای تمامی ارقام، از مدل دندان مانند (رابطه ۳) (پیپر و همکاران، ۱۹۹۶) برای برازش به داده‌ها و محاسبه دماهای کاردینال جوانه‌زنی بر اساس درصد و سرعت جوانه‌زنی استفاده شد.

$$y = \frac{\left(\frac{(T - T_b)}{(T_{o1} - T_b)} \right)}{f_o} \rightarrow \text{if } T_b < T < T_{o1}$$

$$y = \frac{\left(\frac{(T_c - T)}{(T_c - T_{o2})} \right)}{f_o} \rightarrow \text{if } T_{o2} < T < T_c \quad \text{رابطه ۳:}$$

$$y = \frac{1}{f_o} \rightarrow \text{if } T_{o1} \leq T \leq T_{o2}$$

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

برای برازش روابط ۱ و ۳ به داده‌های حاصل از این پژوهش از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱/۳) و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel (نسخه ۲۰۱۰) استفاده شد.

¹ Time to 20% of germination based on seed population

² Ghaderi-Far and Gorzin

جوانه‌زنی در ارقام مختلف کلزا در شرایط وقوع دماهای بالاتر و پایین‌تر از حد مطلوب می‌تواند در حضور نور افزایش یابد. این موضوع ممکن است با خواب ناشی از دما^۵ و یا بازدارندگی دمایی^۶ ارتباط داشته باشد. تحریک جوانه‌زنی در دماهای بالاتر از حد مطلوب و جلوگیری از وقوع خواب ثانویه ناشی از دما به‌وسیله نور در برخی از گیاهان قبلاً به اثبات رسیده است (استریک^۷ و همکاران، ۲۰۱۲؛ یوان و ون^۸، ۲۰۱۸).

در این مطالعه، بسیاری از بذرهای باقی‌مانده در دماهای ۵، ۱۰، ۳۵، ۳۷ و ۴۰ درجه سلسیوس (هم در نور و هم در تاریکی) در ارقام تراپر، آگامکس، هایولا-۵۰ و هایولا-۴۲۰، پس از انتقال از دماهای مذکور به دمای ۲۰ درجه سلسیوس (به مدت ۱۴ روز) جوانه نزدند (به دلیل حجم بالای داده‌ها نتایج این بخش ارائه نشده است). از آنجایی که نتایج آزمون تترازولیموم روی این بذرها نشان داد که اکثر آن‌ها زنده بودند (شکل ۴)، وجود خواب ثانویه ناشی از دما در ارقام مذکور محتمل است.

در این پژوهش برای محاسبه دماهای کاردینال، از مدل دندان مانند برای برازش به داده‌های درصد جوانه‌زنی و نیز سرعت جوانه‌زنی براساس زمان تا رسیدن به ۲۰ درصد جمعیت بذر استفاده شد. منحنی‌های حاصل از برازش این مدل به داده‌های مربوط به ارقام مختلف در دو شرایط نور و تاریکی در شکل‌های ۵، ۶ و ۷ نشان داده شده است. همچنین، پارامترهای حاصل از برازش مدل مذکور به داده‌های سرعت جوانه‌زنی و درصد جوانه‌زنی به ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است.

بزنند (روسو^۱ و همکاران، ۲۰۱۰). همچنین، مشخص شده است که در بذرهای کلزا جوانه‌زنی در دماهای بالاتر از ۴۰-۳۵ درجه سلسیوس و نیز پایین‌تر از ۵-۱ درجه سلسیوس متوقف می‌شود (فرزانه و همکاران، ۲۰۱۴) که با نتایج خاص از این پژوهش مطابقت دارد. مقایسه منحنی‌های جوانه‌زنی در دو شرایط نور و تاریکی نشان داد که تغییرات جوانه‌زنی ارقام مختلف کلزا در دامنه دمایی بین ۱۵ تا ۳۰ درجه سلسیوس تحت تأثیر نور قرار نداشت، زیرا درصد جوانه‌زنی نهایی در دامنه دمایی مذکور در تمامی ارقام به حداکثر مقدار خود رسید. در دمای ۱۰ درجه سلسیوس درصد جوانه‌زنی نهایی تنها در دو رقم آگامکس و گارو در نور بالاتر از تاریکی بود. در دمای ۵ درجه سلسیوس درصد جوانه‌زنی نهایی در هشت رقم تراپر، آگامکس، هایولا-۵۰، هایولا-۴۲۰، آرچی‌اس، هایولا-۶۱، و ظفر در حضور نور بالاتر از تاریکی بود. در سایر ارقام اختلاف قابل توجهی بین درصد جوانه‌زنی نهایی در دمای ۵ درجه سلسیوس در دو شرایط نور و تاریکی مشاهده نشد. در دماهای بالاتر از ۳۰ درجه سلسیوس، درصد جوانه‌زنی نهایی در ارقام مختلف در نور همواره بالاتر از تاریکی بود (شکل‌های ۱ تا ۳).

تأثیر نور بر جوانه‌زنی بذرهای کلزا در مطالعات مربوط به بررسی خواب ثانویه در این گیاه مشاهده شده است (گروبر^۲ و همکاران، ۲۰۰۹؛ شایان‌فر^۳ و همکاران، ۲۰۱۷). در این مطالعات مشخص شده است که نور باعث تحریک جوانه‌زنی در بذرهای دارای خواب ثانویه ناشی از تنش خشکی می‌شود (ویر^۴ و همکاران، ۲۰۱۰؛ ۲۰۱۳). زمانی که بذرهای کلزای دارای خواب ثانویه در معرض نور قرار می‌گیرند، قابلیت جوانه‌زنی بذرها در مقایسه با شرایط تاریکی افزایش می‌یابد (رفع خواب ثانویه در حضور نور) که این موضوع به دمای محیط نیز بستگی دارد (شایان‌فر و همکاران، ۲۰۱۸). هر چند که اثر نور بر جوانه‌زنی بذرهای کلزا در تنش‌های دمایی (دماهای بالا و پایین‌تر از حد مطلوب) تاکنون بررسی نشده است، اما نتایج پژوهش حاضر نشان داد که

⁵ Thermodormancy

⁶ Thermo-inhibition

⁷ Stirk

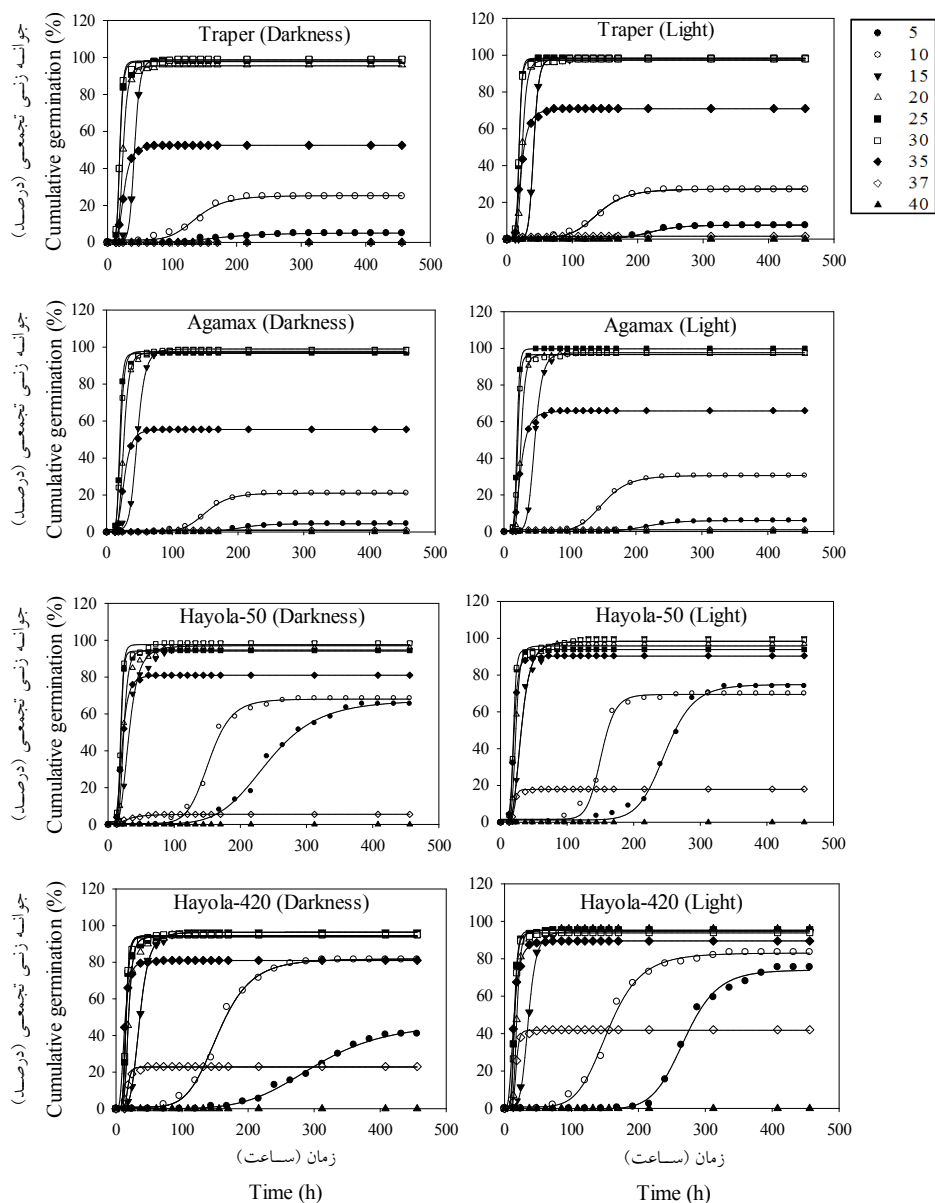
⁸ Yuan and Wen

¹ Russo

² Gruber

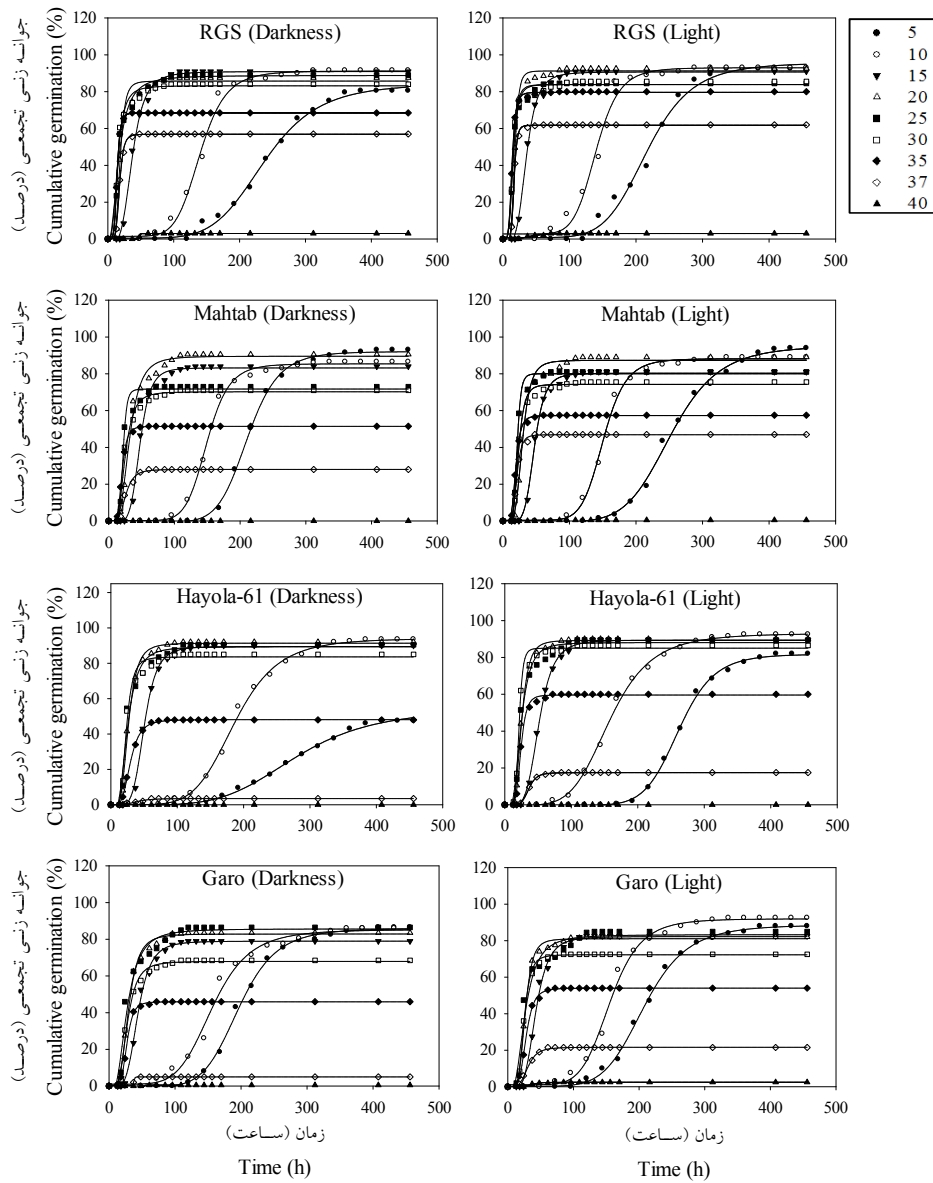
³ Shayanfar

⁴ Weber



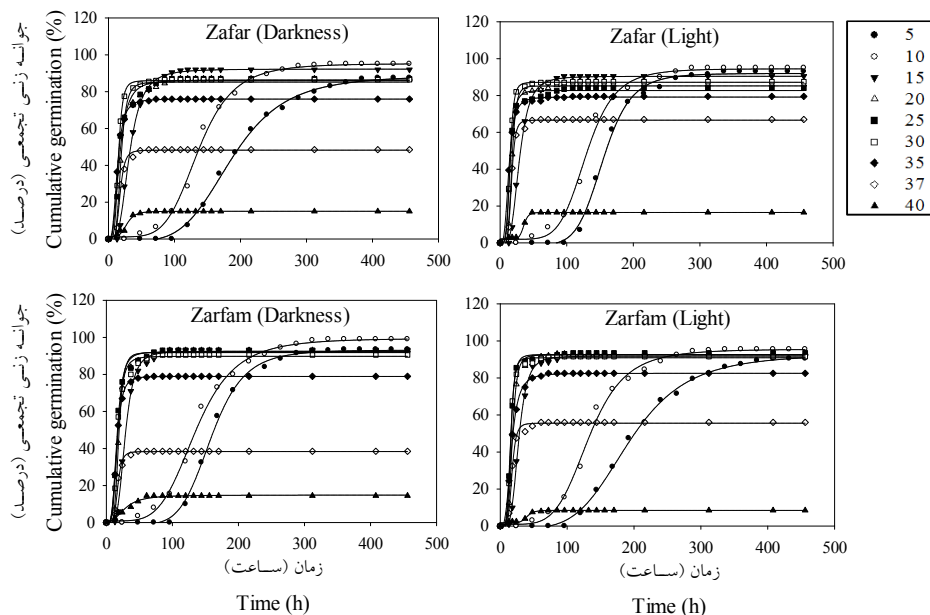
شکل ۱. درصد جوانه‌زنی تجمعی ارقام کلزا شامل تراپر، آگامکس، هایولا-۵۰ و هایولا-۴۲۰ در مقابل زمان در دو شرایط نور (راست) و تاریکی (چپ)

Fig. 1. Cumulative germination percentage of rapeseed cultivars including Traper, Agamax, Hayola-50, and Hyola-420 vs. Time in both light (right) and darkness (left) conditions



شکل ۲. درصد جوانه‌زنی تجمعی ارقام کلزا (آرچی‌اس، مهتاب، هایولا-۴۸۱۵، هایولا-۶۱ و روهان) در مقابل زمان در دو شرایط نور (راست) و تاریکی (چپ)

Fig. 2. Cumulative germination percentage of rapeseed cultivars including RGS, Mahtab, Hayola-61, and Garo vs. Time in both light (right) and darkness (left) conditions



شکل ۳. درصد جوانه‌زنی تجمعی ارقام کلزا (اوکایی، گارو، ظفر و زرفام) در مقابل زمان در دو شرایط نور/تاریکی (راست) و تاریکی مطلق (چپ)
Fig. 3. Cumulative germination percentage of rapeseed cultivars including Zafar and Zarfam vs. Time in both light (right) and darkness (left) conditions



شکل ۴. نحوه رنگ‌گیری بذرهای کلزای باقی‌مانده در دماهای ۵، ۱۰، ۳۵، ۳۷ و ۴۰ درجه سلسیوس پس از آبنوشی در محلول تترازولیوم (بذرهای باقی‌مانده در دماهای مذکور ابتدا به دمای ۲۰ درجه سلسیوس با حفظ شرایط نوری قبلی که در آن قرار داشتند (نور/تاریکی و تاریکی مطلق) منتقل شدند و آزمون تترازولیوم پس از ۱۴ روز روی بذرهای جوانه نزده انجام شده است؛ داده‌ها ارائه نشده است)

Fig. 4. Staining of the remaining rapeseed at 5, 10, 35, 37 and 40 °C after imbibition in tetrazolium solution (The remaining seeds at the mentioned temperatures were first transferred to 20 °C, maintaining the previous light conditions and the tetrazolium test was performed on the non-germinated seeds after 14 days; data not shown)

به طوری که دمای پایه و دمای مطلوب تحتانی برآورد شده برای این گیاه بر مبنای درصد جوانه‌زنی به طور قابل توجهی پایین‌تر از دمای پایه و دمای مطلوب تحتانی بر مبنای سرعت جوانه‌زنی بود و در نتیجه دامنه دمای مطلوب بر مبنای درصد جوانه‌زنی نیز بزرگ‌تر شد (اعتصامی و همکاران، ۲۰۱۵). در برخی ارقام کینوا نیز مشاهده شد که کاهش دما به کمتر از ۲۰ درجه سلسیوس باعث کاهش قابل توجهی در سرعت جوانه‌زنی شد، در حالی که درصد جوانه‌زنی تا دمای ۵ درجه سلسیوس همچنان در حدود ۱۰۰ درصد بود (مامدی^۲ و همکاران، ۲۰۱۷). نتایج مشابهی نیز در گیاه منداب مشاهده شد (نژادحسن^۳ و همکاران، ۲۰۱۷).

در چهار رقم تراپر، آگامکس، آرچی‌اس و ظفر اختلاف قابل توجهی بین دمای مطلوب فوقانی بر اساس درصد و سرعت جوانه‌زنی مشاهده نشد. در سایر ارقام دمای مطلوب فوقانی محاسبه شده بر اساس سرعت جوانه‌زنی بالاتر از دمای مطلوب فوقانی بر اساس درصد جوانه‌زنی بود. این موضوع نشان داد که در برخی ارقام با افزایش دما تا حد مشخصی درصد جوانه‌زنی شروع به کاهش کرد، درحالی که سرعت جوانه‌زنی همچنان در حداکثر مقدار خود قرار داشت و با تأخیر بیشتری دچار کاهش شد (شکل‌های ۵ تا ۷، جدول‌های ۱ و ۲). این موضوع در مطالعات دیگر نیز نشان داده شده است (زینلی^۴ و همکاران، ۲۰۱۰؛ ترابی و همکاران، ۲۰۱۳؛ خلیلی‌اقدم و همکاران، ۲۰۱۷). در اکثر، ارقام اختلاف قابل توجهی بین دمای بیشینه جوانه‌زنی بر اساس سرعت جوانه‌زنی و دمای بیشینه جوانه‌زنی بر اساس درصد جوانه‌زنی مشاهده نشد (شکل‌های ۵ تا ۷، جدول‌های ۱ و ۲).

محاسبه دماهای کاردینال بر اساس سرعت جوانه‌زنی در دو شرایط حضور و عدم حضور نور نشان داد که دمای پایه جوانه‌زنی در ۱۴ رقم مورد بررسی از ۴/۵۴ تا ۸/۸۸ درجه سلسیوس، دمای مطلوب تحتانی از ۲۱/۰۹ تا ۲۵/۷۵ درجه سلسیوس، دمای مطلوب فوقانی از ۳۲/۸۱ تا ۳۶/۶۱ درجه سلسیوس و دمای سقف جوانه‌زنی از ۳۷/۰۴ تا ۴۴/۹۸ درجه سلسیوس متغیر بود (جدول ۱، شکل‌های ۵ تا ۷). مطالعات پیشین نیز دماهای مشابهی را در برخی از ارقام کلزا گزارش کردند. برای مثال، سونادا^۱ (۲۰۱۲) دمای پایه برای جوانه‌زنی برخی از ارقام کلزا را بر اساس زمان تا رسیدن به ۵۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی بین ۱-۷/۹ درجه سلسیوس، دمای مطلوب را بین ۲۴/۸-۳۰/۴ درجه سلسیوس و دمای بیشینه جوانه‌زنی را بین ۳۹/۷-۴۵/۸ درجه سلسیوس برآورد کرد.

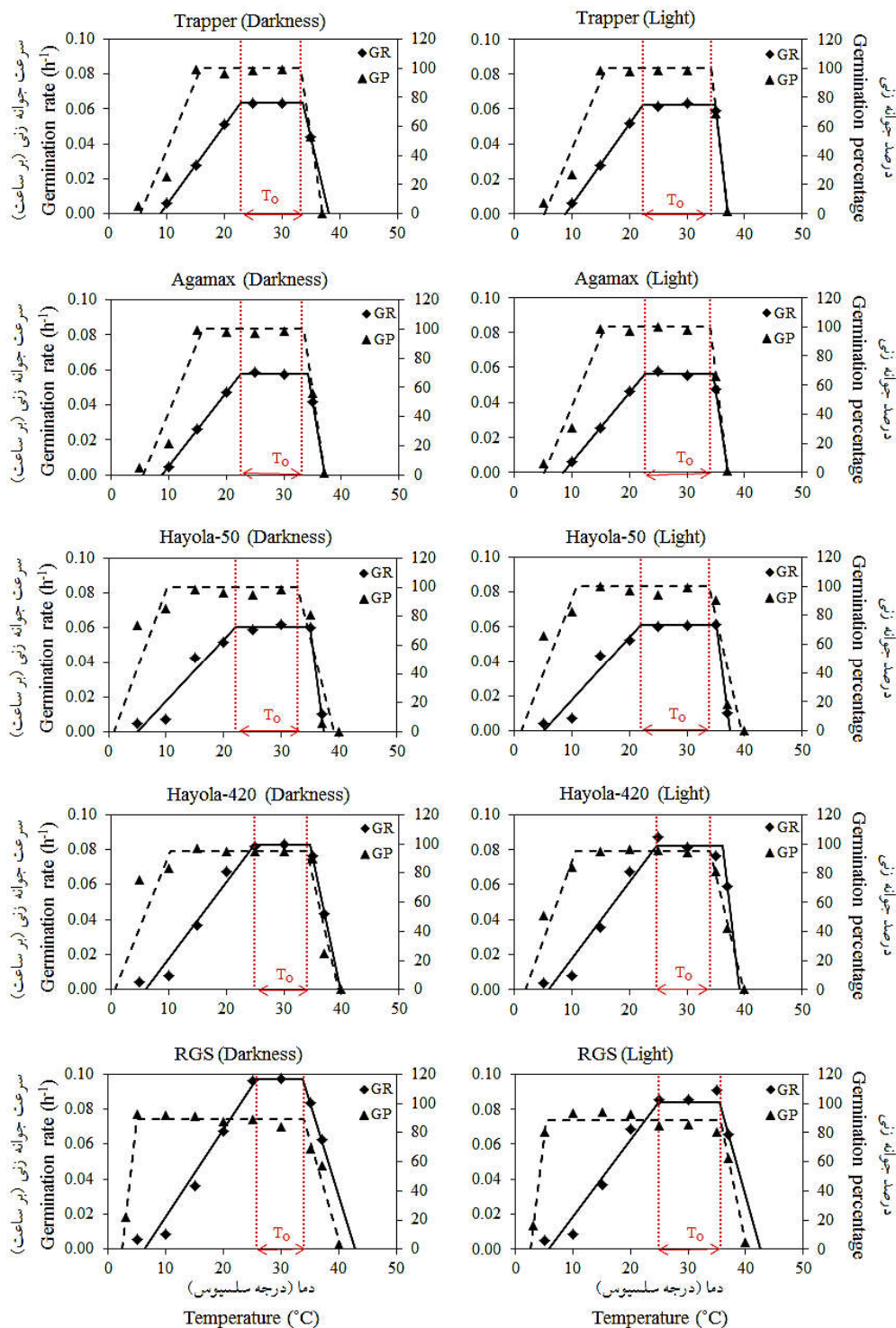
برازش مدل دندان مانند به داده‌های درصد جوانه‌زنی در مقابل دما نیز نشان داد که دمای پایه در ارقام کلزا از ۰/۴۱ تا ۵/۴۲ درجه سلسیوس، دمای مطلوب تحتانی از ۴/۵۸ تا ۱۵/۸۹ درجه سلسیوس، دمای مطلوب فوقانی از ۲۷/۷۹ تا ۳۴/۶۸ درجه سلسیوس و دمای سقف جوانه‌زنی از ۳۷/۰۰ تا ۴۴/۲۵ درجه سلسیوس متغیر بود (جدول ۲، شکل‌های ۵ تا ۷). بنابراین، در تمامی ارقام مورد مطالعه دمای پایه محاسبه شده بر اساس درصد جوانه‌زنی به طور قابل توجهی پایین‌تر از دمای پایه محاسبه شده بر اساس سرعت جوانه‌زنی بود. از طرف دیگر، زمانی که از درصد جوانه‌زنی برای محاسبه دماهای کاردینال استفاده شد، دمای مطلوب تحتانی به طور قابل توجهی پایین‌تر از زمانی بود که محاسبه دماهای کاردینال با استفاده از داده‌های سرعت جوانه‌زنی انجام شد. این موضوع باعث افزایش دامنه دمای مطلوب برای درصد جوانه‌زنی نسبت به سرعت جوانه‌زنی شد. در واقع استفاده از سرعت جوانه‌زنی در تعیین دماهای کاردینال باعث کاهش دامنه دمای مطلوب پیش‌بینی شده برای هر رقم شد (جدول‌های ۱ و ۲، شکل‌های ۵ تا ۷). پیش‌تر در برآورد دماهای کاردینال برای گیاه چای ترش بر دو مبنای درصد و سرعت جوانه‌زنی نیز این موضوع نشان داده شد؛

² Mamedi

³ Nezhad Hassan

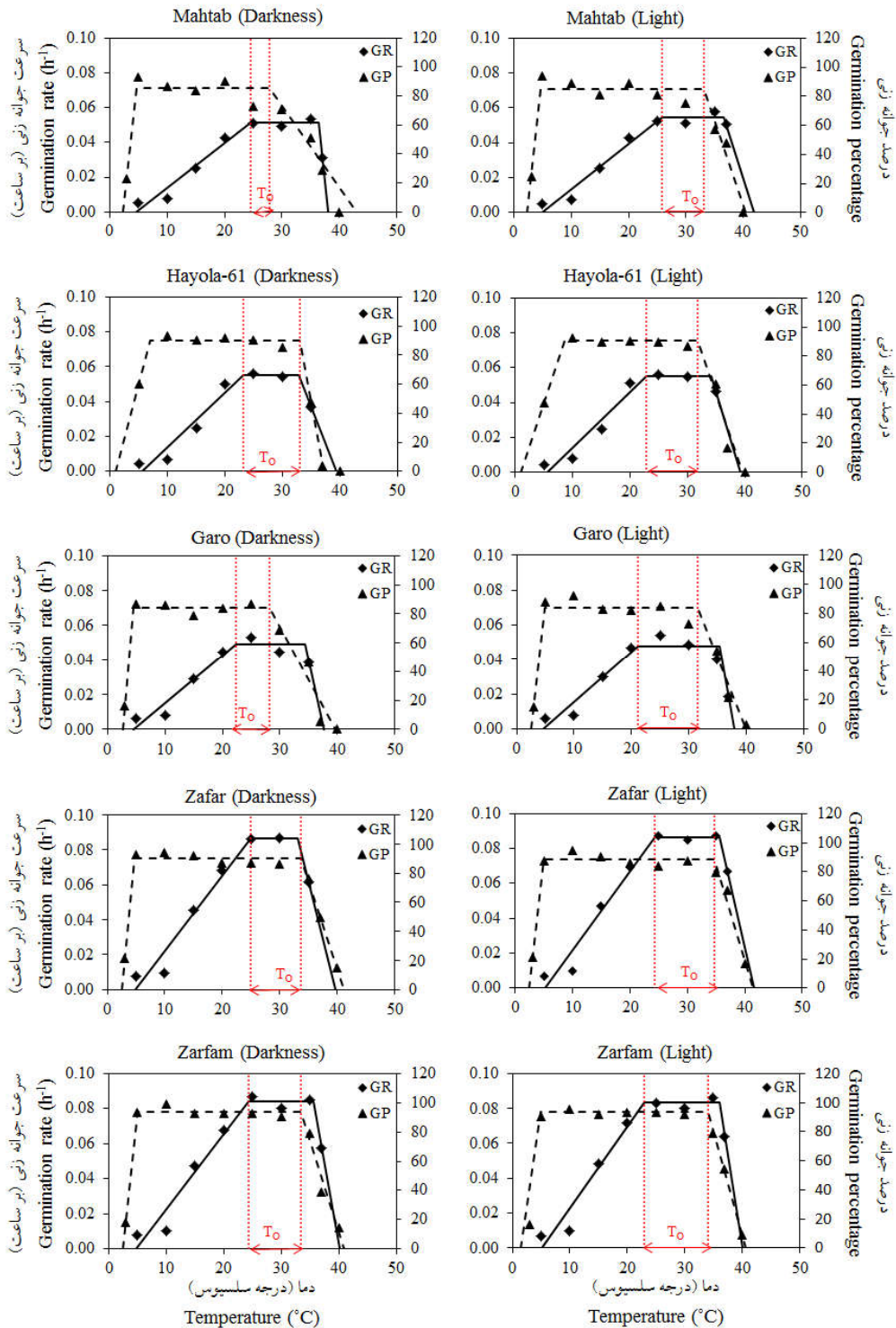
⁴ Zeinali

¹ Suanda



شکل ۵. منحنی‌های حاصل از برازش مدل دندان مانند به داده‌های درصد و سرعت جوانه‌زنی ارقام تراپر، آگامکس، هایولا-۵۰، هایولا-۴۲۰ و آرچاس

Fig. 5. Curves resulted from the fitting of the dent-like model to germination rate and percentage data in cv. Trapper, Agamax, Hayola-50, Hayola-420 and RGS



شکل ۶. منحنی حاصل از برازش مدل دندان مانند به داده‌های درصد و سرعت جوانه‌زنی ارقام مهتاب، هایولا-۶۱، گارو، ظفر و زرفام

Fig. 6. Curve resulted from the fitting of the dent-like model to germination rate and percentage data in cv. Mahtab, Hayola-61, Garo, Zafar, and Zarfam

گرزین و همکاران: اثر رژیم‌های دما و نور بر رفتار جوانه‌زنی بذرهای کلزا...

جدول ۱. دماهای کاردینال جوانه‌زنی (درجه سلسیوس) در ارقام مختلف کلزا بر مبنای سرعت جوانه‌زنی در دو شرایط نور (LD) و تاریکی (D)
Table 1. Cardinal temperature of rapeseed cultivars based on germination rate in two light (LD) and darkness (D) conditions

Cultivar	رقم	نور Light	دمای پایه Tb	دمای مطلوب تحتانی To ₁	دمای مطلوب فوقانی To ₂	دمای سقف Tc	ضریب مدل Fo	ضریب تبیین R ²
Traper	تراپر	LD	8.75 ± 0.21	22.36 ± 0.27	34.88 ± 0.04	37.04 ± 0.07	16.04 ± 0.17	0.97
		D	8.75 ± 0.10	22.77 ± 0.14	33.64 ± 3.13	37.13 ± 0.12	15.81 ± 0.08	0.97
Agamax	آگامکس	LD	8.54 ± 0.29	22.62 ± 0.38	34.60 ± 0.07	37.13 ± 0.05	17.67 ± 0.24	0.96
		D	8.88 ± 0.15	22.59 ± 0.20	34.17 ± 0.05	37.15 ± 0.03	17.24 ± 0.13	0.95
Hayola-50	هایولا-۵۰	LD	5.06 ± 1.95	21.95 ± 1.59	35.03 ± 1.63	37.39 ± 1.66	16.43 ± 1.07	0.97
		D	4.94 ± 1.91	22.09 ± 2.77	35.00 ± 0.39	37.40 ± 0.39	16.54 ± 1.55	0.97
Hayola-420	هایولا-۴۲۰	LD	5.98 ± 1.42	24.67 ± 2.46	36.21 ± 1.57	39.03 ± 0.64	12.21 ± 0.70	0.97
		D	5.86 ± 1.29	24.79 ± 2.32	34.56 ± 1.62	39.87 ± 0.74	12.10 ± 0.75	0.97
RGS	آرجی‌اس	LD	5.68 ± 1.39	24.93 ± 2.38	35.46 ± 1.10	42.51 ± 1.30	11.89 ± 0.63	0.96
		D	6.24 ± 1.36	25.75 ± 2.46	33.75 ± 1.35	42.79 ± 1.45	10.27 ± 1.00	0.96
Mahtab	مهتاب	LD	4.83 ± 1.40	25.74 ± 1.93	36.61 ± 0.64	41.91 ± 1.30	18.30 ± 1.11	0.97
		D	4.69 ± 1.48	24.50 ± 2.27	36.35 ± 0.25	38.00 ± 1.73	19.42 ± 0.98	0.96
Hayola-61	هایولا-۶۱	LD	5.55 ± 1.63	22.89 ± 2.59	34.19 ± 0.84	39.28 ± 0.64	18.13 ± 1.51	0.96
		D	5.60 ± 1.71	23.24 ± 2.79	32.81 ± 1.43	39.36 ± 0.87	18.13 ± 1.57	0.94
Garo	گارو	LD	4.73 ± 2.01	21.09 ± 2.54	35.43 ± 0.97	38.00 ± 1.55	21.02 ± 1.74	0.95
		D	4.51 ± 1.94	22.39 ± 2.75	34.30 ± 0.66	37.69 ± 0.58	20.43 ± 1.79	0.96
Zafar	ظفر	LD	5.10 ± 1.37	24.33 ± 2.16	35.62 ± 1.79	41.70 ± 0.62	11.55 ± 0.57	0.96
		D	4.98 ± 1.64	24.88 ± 2.75	33.07 ± 1.13	39.78 ± 0.80	11.58 ± 0.81	0.96
Zarfam	زرغام	LD	5.16 ± 1.40	23.02 ± 2.05	36.04 ± 0.57	40.15 ± 0.41	12.03 ± 0.66	0.96
		D	4.85 ± 1.51	24.25 ± 2.32	35.53 ± 0.71	40.17 ± 0.45	11.91 ± 0.63	0.96

جدول ۲. دماهای کاردینال جوانه‌زنی (درجه سلسیوس) در ارقام مختلف کلزا بر مبنای درصد جوانه‌زنی در دو شرایط نور (LD) و تاریکی (D)
Table 2. Cardinal temperature of rapeseed cultivars based on germination percentage in two light (LD) and darkness (D) conditions

Cultivar	رقم	نور Light	دمای پایه Tb	دمای مطلوب تحتانی To ₁	دمای مطلوب فوقانی To ₂	دمای سقف Tc	ضریب مدل Fo	ضریب تبیین R ²
Traper	تراپر	LD	5.12 ± 1.21	15.89 ± 1.57	34.14 ± 0.58	37.04 ± 0.37	0.01 ± 0.00	0.96
		D	5.42 ± 1.18	15.83 ± 1.58	33.27 ± 1.03	37.00 ± 0.48	0.01 ± 0.00	0.96
Agamax	آگامکس	LD	5.12 ± 0.99	15.79 ± 1.28	34.01 ± 0.52	37.03 ± 0.31	0.01 ± 0.00	0.97
		D	5.60 ± 1.30	15.94 ± 1.79	33.48 ± 1.05	37.03 ± 0.53	0.01 ± 0.00	0.95
Hayola-50	هایولا-۵۰	LD	1.13 ± 2.21	10.78 ± 2.39	33.75 ± 1.47	39.44 ± 0.96	0.01 ± 0.00	0.87
		D	0.84 ± 2.66	10.24 ± 2.58	32.81 ± 2.31	39.24 ± 1.23	0.01 ± 0.00	0.83
Hayola-420	هایولا-۴۲۰	LD	1.88 ± 0.90	10.60 ± 1.08	33.96 ± 0.75	39.89 ± 0.57	0.01 ± 0.00	0.96
		D	0.64 ± 2.57	10.31 ± 2.44	33.98 ± 1.49	39.55 ± 1.05	0.01 ± 0.00	0.84
RGS	آرجی‌اس	LD	2.50 ± 0.22	5.24 ± 0.21	35.63 ± 1.47	40.23 ± 0.32	0.01 ± 0.00	0.98
		D	2.34 ± 0.22	5.00 ± 0.33	33.89 ± 1.50	40.50 ± 0.44	0.01 ± 0.00	0.97
Mahtab	مهتاب	LD	2.34 ± 0.28	4.58 ± 0.50	33.11 ± 1.89	40.34 ± 0.66	0.01 ± 0.00	0.95
		D	2.36 ± 0.30	4.73 ± 0.32	27.79 ± 1.99	42.90 ± 2.58	0.01 ± 0.00	0.94
Hayola-61	هایولا-۶۱	LD	0.91 ± 0.66	8.62 ± 1.39	31.86 ± 1.09	39.54 ± 1.54	0.01 ± 0.00	0.97
		D	1.02 ± 0.66	7.00 ± 0.88	33.10 ± 0.31	37.15 ± 1.15	0.01 ± 0.00	0.99
Garo	گارو	LD	2.57 ± 0.25	4.96 ± 0.42	31.55 ± 1.79	39.93 ± 0.68	0.01 ± 0.00	0.96
		D	2.62 ± 0.23	4.60 ± 0.54	28.12 ± 1.35	39.57 ± 0.83	0.01 ± 0.00	0.96
Zafar	ظفر	LD	2.36 ± 0.24	5.03 ± 0.20	34.68 ± 0.48	41.53 ± 0.60	0.01 ± 0.00	0.97
		D	2.45 ± 0.11	4.80 ± 0.53	33.77 ± 0.73	41.18 ± 0.33	0.01 ± 0.00	0.99
Zarfam	زرغام	LD	2.57 ± 0.66	5.06 ± 0.06	34.07 ± 0.16	40.67 ± 0.15	0.01 ± 0.00	0.99
		D	2.52 ± 0.19	5.00 ± 0.17	33.38 ± 0.62	40.80 ± 0.53	0.01 ± 0.00	0.97

جوانه‌زنی به‌یژه در دمای پایه و دمای مطلوب تحتانی ایجاد می‌کند. از این‌رو، تنها استفاده از یک روش برای محاسبه دماهای کاردینال جوانه‌زنی کافی نیست؛ زیرا بر

بنابر آنچه گفته شد، این که کدام صفت (درصد و یا سرعت جوانه‌زنی) مبنای محاسبه دماهای کاردینال قرار گیرد، اختلاف زیادی را در برآورد دماهای کاردینال

برای روشن شدن این فرضیات نیاز به مطالعات تکمیلی می‌باشد.

نتیجه‌گیری

به‌طور خلاصه نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که ارقام کلزای مورد بررسی در دامنه دمایی وسیعی از حدود ۱ تا ۴۲ درجه سلسیوس قادر به جوانه‌زنی هستند. تمامی ارقام مورد بررسی به جز تراپر و آگامکس از پتانسیل جوانه‌زنی بالایی در دماهای پایین برخوردار هستند. دو رقم ظفر و زرقام حتی در دمای ۴۰ درجه سلسیوس نیز قادر به جوانه‌زنی هستند و در مقایسه با سایر ارقام از سازگاری بیشتری به دماهای بالا برخوردارند. همچنین، مشخص شد که در تمامی ارقام دامنه دمایی مطلوب برای حصول حداکثر درصد جوانه‌زنی بزرگتر از دامنه دمایی مطلوب برای حصول حداکثر سرعت جوانه‌زنی بود. از آنجایی که کارکرد یک بذر زمانی در حداکثر مقدار خود خواهد بود که هم درصد و هم سرعت جوانه‌زنی بالا باشد، لازم است دامنه دمایی مطلوب مشترک بین درصد و سرعت جوانه‌زنی به عنوان دمایی مطلوب جوانه‌زنی در نظر گرفته شود. از طرف دیگر، بررسی منحنی‌های تغییرات درصد جوانه‌زنی تجمعی در مقابل زمان نشان می‌دهد که با انحراف از دامنه دمایی مطلوب به سمت دماهای بالا و پایین حضور نور باعث افزایش جوانه‌زنی در برخی از ارقام می‌شود. لازم به ذکر است که تأثیر نور بر جوانه‌زنی در دماهای بالاتر از حد مطلوب به مراتب بیشتر از دماهای پایین‌تر از حد مطلوب بود. زنده‌مانی بذرهای جوانه‌زده در دماهای پایین‌تر و بالاتر از مطلوب (بر اساس آزمون تترازولیوم) در برخی از ارقام نظیر تراپر، آگامکس، هایولا-۵۰ و هایولا-۴۲۰ به‌ویژه در دماهای بالاتر از ۳۰ درجه سلسیوس می‌تواند نشانه القای خواب ثانویه ناشی از دما، خواب شرطی و یا بازدارندگی دمایی در این ارقام باشد. از این‌رو، توصیه می‌شود که در مطالعات آینده به بررسی علل مربوط به توقف جوانه‌زنی در دماهای پایین‌تر و بالاتر از حد مطلوب در دو شرایط حضور و عدم حضور نور در ارقامی با پتانسیل القای خواب متفاوت (بالا، متوسط و پایین) پرداخته شود.

اساس نتایج این پژوهش، با کاهش دما سرعت جوانه‌زنی در تمامی ارقام بسیار زودتر از درصد جوانه‌زنی شروع به کاهش گذاشت، درحالی که در برخی ارقام درصد جوانه‌زنی حتی در دمای ۵ درجه سلسیوس نیز در حداکثر مقدار خود قرار داشت. روسو و همکاران (۲۰۱۰) نیز گزارش کرد که قابلیت جوانه‌زنی در برخی از ارقام کلزا در دمای ۴ درجه سلسیوس معادل ۱۰۰ درصد بود و تنها سرعت جوانه‌زنی در این ارقام در دمای مذکور کاهش پیدا کرد. به‌علاوه، با افزایش دما درصد جوانه‌زنی زودتر از سرعت جوانه‌زنی کاهش پیدا کرد. در شکل‌های ۵ تا ۷ دامنه دمایی مطلوب مشترک بین درصد و سرعت جوانه‌زنی با دو خط‌چین عمودی و پیکان دو طرفه برای تمامی ارقام نشان داده شده است. در این دامنه دمایی مشترک، هر رقم به طور هم‌زمان از حداکثر درصد و سرعت جوانه‌زنی برخوردار است و می‌توان این دامنه دمایی را به عنوان دامنه دمایی مطلوب برای هر رقم در نظر گرفت.

با وجود تفاوت در درصد جوانه‌زنی نهایی در دو شرایط نور و تاریکی در دماهای بالاتر و پایین‌تر از دامنه مطلوب برای برخی از ارقام (شکل‌های ۱ تا ۳)، مقایسه دماهای کاردینال برآورد شده توسط مدل دندان مانند در دو شرایط نوری مذکور نشان داد که دماهای پایه، مطلوب تحتانی، مطلوب فوقانی و بیشینه محاسبه شده بر مبنای درصد و یا سرعت جوانه‌زنی در هیچ یک از ارقام اختلاف قابل توجهی با یکدیگر نداشتند (جدول‌های ۱ و ۲)؛ به عبارت دیگر، نور بر مقدار عددی دماهای کاردینال برآورد شده توسط مدل دندان مانند تأثیر نداشت، حال آنکه منحنی‌های سیگموییدی مربوط به تغییرات جوانه‌زنی تجمعی در طی زمان در دماهای مختلف، اختلاف بین دو تیمار نوری را در دماهای بالاتر و پایین‌تر از حد مطلوب به خوبی نشان داد. اختلاف بین درصد جوانه‌زنی در دو شرایط نور و تاریکی در دماهای بالاتر و پایین‌تر از حد مطلوب در برخی ارقام و نتایج آزمون تترازولیوم نشانه وجود پتانسیل القای خواب ثانویه ناشی از دما در برخی از ارقام کلزا می‌باشد. همچنین، این موضوع ممکن است به وجود خواب شرطی نیز مرتبط باشد (سلطانی و همکاران، ۲۰۱۸) که

منابع

- Akram-Ghaderi, F., Soltani, A. and Sadeghipour, H.R. 2008. Cardinal temperature of germination in medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo comvar. pepo var. styriaca*), borago (*Borago officinalis* L.) and black cumin (*Nigella sativa* L.). Asian Journal of Plant Sciences, 7(6): 574-578. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.3923/ajps.2008.574.578>
- Ansari, O., Gherekhloo, J., Kamkar, B. and Ghaderidar, F. 2016. Breaking seed dormancy and determining cardinal temperatures for *Malva sylvestris* using nonlinear regression. Seed Science and Technology, 44(3): 447-460. <https://doi.org/10.15258/sst.2016.44.3.05>
- Bagherifard, A., Bagheri, B., Saborifard, H. and Bagherifard, G. 2014. Evaluation of cardinal temperature for three species of medicinal plants, *Thymus transcaspicus*, *Foeniculum vulgare* and *Calligonum junceum*. International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research, 2(4): 482-488.
- Bewley, J.D., Bradford, K.J., Hilhorst, H.W.M. and Nonogaki, H. 2013. Seeds (Physiology of Development, Germination and Dormancy). Third edition. New York: Springer. 392p. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4693-4>
- Bradford, K.J. 2002. Application of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. Weed Science, 50(2): 248-260. [https://doi.org/10.1614/0043-1745\(2002\)050\[0248:AOHTTQ\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0043-1745(2002)050[0248:AOHTTQ]2.0.CO;2)
- Derakhshan, A., Gherekhloo, J., Vidal, R.A. and De Prado, R. 2014. Quantitative description of the germination of littleseed canarygrass (*Phalaris minor*) in Response to Temperature. Weed Science, 62(2): 250-257. <https://doi.org/10.1614/WS-D-13-00055.1>
- Diyanat, M. and Hosseini, S.M. 2016. Estimating cardinal temperatures and effect of different levels of temperature on germination indices of Redstem Filaree (*Erodium cicutarium* L.). Iranian Journal of Seed Research, 3(1): 159-168. [In Persian with English Summary].
- Etesami, M., Rahemi Karizaki, A. and Torabi, B. 2015. Quantifying germination response of Hibiscus Tea (*Hibiscus sabdariffa*) seeds to temperature. Iranian Journal of Seed Research, 2(1): 73-81. [In Persian with English Summary].
- Fallahi, H.R., Mohammadi, M., Aghhavani-Shajari, M. and Ranjbar, F. 2015. Determination of germination cardinal temperatures in two basil (*Ocimum basilicum* L.) cultivars using non-linear regression models. Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, 2: 140-145. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2015.09.004>
- Farzaneh, S., Soltani, E., Zeinali, E. and Ghaderi-Far, F. 2014. Screening oilseed rape germination for termo tolerance using a laboratory-based method. Seed Technology, 36(1): 15-27.
- Finch-Savage, W.E. and Bassel, G.W. 2015. Seed vigour and crop establishment: extending performance beyond adaptation. Journal of Experimental Botany, 67(3): 567-91. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv490>
- Ghaderi-Far, F. and Gorzin, M. 2019. Applied Research in Seed Technology. Published by Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, 240p.
- 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(2): 185-194.
- Ghaderi-Far, F., Gherekhloo, J. and Alimagham, M. 2010. Influence of environmental factors on seed germination and seedling emergence of yellow sweet clover (*Melilotus officinalis*). Planta Daninha, 28(3): 463-469. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582010000300002>

- Ghaderi-Far, F., Soltani, A. and Sadeghipour, H.R. 2009. Evaluation of nonlinear regression models in quantifying germination rate of medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo* L. subsp. *Pepo*. Convar. *Pepo* var. *styriaca* Greb), borago (*Borago officinalis* L.) and black cumin (*Nigella sativa* L.) to temperature. *Journal of Plant Production*, 16(4): 1-19. [In Persian with English Summary].
- Gruber, S., Emrich, K. and Claupein, W. 2009. Classification of canola (*Brassica napus*) winter cultivars by secondary dormancy. *Canadian Journal of Plant Science*, 89: 613-619. <https://doi.org/10.4141/CJPS08190>
- Heidari, Z., Kamkar, B. and Masoud Sinaki, M. 2014. Determination of cardinal temperatures of milk thistle (*Silybum marianum* L.) germination. *Advances in Plants and Agriculture Research*, 1(5): 20-27. <https://doi.org/10.15406/apar.2014.01.00027>
- ISTA. 2003. ISTA Working Sheets on Tetrazolium Testing. Volume 1. Published by International Seed Testing Association (ISTA). P. O. Box 308, 8303 Bassersdorf, CH-Switzerland.
- Khaliliaqdam, N., Mirmahmoudi R. and Saeedian S. 2017. Determination of cardinal temperature of Flax seed (*Linum usitatissimum* L.) by Nonlinear Regression Method. *Seed Research Journal*, 7(2): 41-49. [In Persian with English Summary].
- Kheirkhah, M., Kouchaki, A., Rezvani Moghadam, P. and Nasiri Mahalati, M. 2014. The determination of germination cardinal temperature of a medicinal plant perennial Ziziphora (*Ziziphora clinopodiodes* lam). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 11(4): 543-550. [In Persian with English Summary].
- Luo, T., Xian, M., Khan, M.N., Hu, L. and Xu, Z. 2018. Estimation of base temperature for germination of rapeseed (*Brassica napus*) using different models. *International Journal of Agriculture and Biology*, 20(3): 524-530. <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.0512>
- Mamedi, A., Tavakkol Afshari, R. and Oveisi, M. 2017. Cardinal temperatures for seed germination of three Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 2: 89-100.
- NezhadHassan, B., Siahmarguee, A., Zeinali, E., Ghaderi-Far, F. and Soltani, E. 2017. Evaluation of non linear regression models to description germination rate of Arugula (*Eruca sativa* Mill.) to temperature and water potential. *Iranian Journal of Seed Science and Research*, 4(2): 1-16. [In Persian with English Summary].
- Piper, E.L., Boote, K.J., Jones, J.W. and Grimm, S.S. 1996. Comparison of two phenology models for predicting flowering and maturity date of soybean. *Crop Science*, 36(6): 1606-1614. <https://doi.org/10.2135/cropsci1996.0011183X003600060033x>
- Ritchie, J.T. and NeSmith, D.S. 1991. Temperature and crop development. In: Hanks, R.J., Ritchie, J.T. (eds.), *Modeling Plant and Soil Systems*. Agronomy Monograph, 31: 5-29. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr31.c2>
- Russo, V.M., Bruton, B.D. and Sams, C.E. 2010. Classification of temperature response in germination of Brassicas. *Industrial Crops Products*, 31(1): 48-51. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2009.08.007>
- Shayanfar A., Ghaderi-Far F., Behmaram R., Soltani A. and Sadeghipour, H.R. 2017. Assessment of germination and secondary dormancy behaviours of lines and cultivars of canola. *Crops Improvement*, 19(4): 881-892. [In Persian with English Summary].
- Shayanfar, A., Ghaderi-Far, F., Behmaram, R., Soltani, A. and Sadeghipour, H.R. 2018. The effect of temperature and light on germination and secondary dormancy of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Journal of Plant Protection*, 32(2): 269-278. [In Persian with English Summary].

- Soltani, E., Baskin, C.C., Baskin, J.M., Soltani, A., Galeshi, S., Ghaderi-far, F. and Zeinali, E. 2016. A quantitative analysis of seed dormancy and germination in the winter annual weed *Sinapis arvensis* (Brassicaceae). *Botany*, 94(4): 289-300. <https://doi.org/10.1139/cjb-2015-0166>
- Soltani, E., Baskin, J.M. and Baskin, C.C. 2018. A review of the relationship between primary and secondary dormancy, with reference to the volunteer crop weed oilseed rape (*Brassica napus*). *Weed Research*, 59(1): 5-14. <https://doi.org/10.1111/wre.12342>
- Soltani, E., Galeshi, S., Kamkar, B. and Akramghaderi, F. 2008. Modeling seed aging effects on the response of germination to temperature in wheat. *Seed Science and Biotechnology*, 2(1): 32-36.
- Stirk, W.A., Novak, O., Žižková, E., Motyčák, V., Strnad, M. and van Staden, J. 2012. Comparison of endogenous cytokinins and cytokinin oxidase/dehydrogenase activity in germinating and thermoinhibited *Tagetes minuta* achenes. *Journal of Plant Physiology*, 169(7): 696-703. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2012.01.013>
- Suanda, D.K. 2012. Cardinal temperatures of *Brassica* sp. and how to determine it. *Agrotrop*, 2(1): 33-39. <https://doi.org/10.5010/JPB.2012.39.1.033>
- Summerfield, R.J., Roberts, E.H., Ellis, R.H. and Lawn, R.J. 1991. Towards the reliable prediction of time to flowering in six annual crops. I. The development of simple model for fluctuating field environments. *Experimental Agriculture*, 27(1): 11-31. <https://doi.org/10.1017/S0014479700019165>
- Tolyat, M.A., Tavakol Afshari, R., Jahansoz, M.R., Nadjafi, F. and Naghdibadi, H.A. 2014. Determination of cardinal germination temperatures of two ecotypes of *Thymus daenensis* subsp. *Daenensis*. *Seed Science and Technology*, 42(1): 28-35. <https://doi.org/10.15258/sst.2014.42.1.03>
- Torabi, B., Attarzadeh, M. and Soltani, A. 2013. Germination response to temperature in different Safflower (*Carthamus tinctorius*) cultivars. *Seed Technology*, 35(1): 47-59.
- Weber, E.A., Frick, K., Gruber, S. and Claupein, W. 2010. Research and development towards a laboratory method for testing the genotypic predisposition of oilseed rape (*Brassica napus* L.) to secondary dormancy. *Seed Science and Technology*, 38(2): 298-310. <https://doi.org/10.15258/sst.2010.38.2.03>
- Weber, E.A., Gruber, S., Stockmann, F. and Claupein, W. 2013. Can low-dormancy oilseed rape (*Brassica napus*) genotypes be used to minimize volunteer problems?. *Field Crops Research*, 147: 32-39. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.03.017>
- Yin, X., Kropff, M.J., McLaren, G. and Visperas, R.M. 1995. A nonlinear model for crop development as a function of temperature. *Agricultural and Forest Meteorology*, 77(1-2): 1-16. [https://doi.org/10.1016/0168-1923\(95\)02236-Q](https://doi.org/10.1016/0168-1923(95)02236-Q)
- Yuan, X. and Wen, B. 2018. Seed germination response to high temperature and water stress in three invasive Asteraceae weeds from Xishuangbanna, SW China. *Plos One*, 13(1): e0191710. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191710>
- Zeinali, E., Soltani, A., Galeshi, S. and Sadati, S.J. 2010. Cardinal temperatures, response to temperature and range of thermal tolerance for seed germination in wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Electronic Journal of Crop Production*, 3(3): 23-42. [In Persian with English Summary].

Research Article

Effect of Temperature and Light Regimes on Germination Behavior of Rapeseed (*Brassica napus*) CultivarsMorteza Gorzin¹, Farshid Ghaderi-Far^{2,*}, Hamid Reza Sadeghipour³, Ebrahim Zeinali²**Extended abstract**

Introduction: Since the maximum percentage and rate of germination of rapeseed occur at a certain temperature, finding these temperatures can play an important role in determining the appropriate time and place for the cultivation of different cultivars. Also, light can affect the germination percentage of rapeseed at different temperatures, but the response of rapeseed to light, especially at lower and higher temperatures, has not been studied. Therefore, this study aimed to investigate the changes in the germination of rapeseed cultivars at different temperatures and determine cardinal germination temperatures based on germination percentage and rate under both the presence and absence of light conditions.

Materials and methods: In this study, germination tests were carried out at 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 37, and 40°C temperatures in two light conditions (12 h light / 12 h dark) and darkness on nine spring cultivars (Traper, Agamax, Hayola-50, Hayola-420, RGS, Mahtab, Hayola-61, Zafar, and Zarfam) and one winter cultivar (Garo). The four-parameter Hill model was used to describe germination changes over time and the dent model was used to calculate cardinal temperatures. Seed viability at lower and higher temperatures was evaluated by the tetrazolium test.

Results: The evaluation of the trend of cumulative germination percentage over time in different cultivars showed that maximum germination percentage of all cultivars happened in the temperature range between 15-30 °C, some in the temperature range of 10-30 °C (Hyola-61) and others even in the temperature range of 5-30 °C (RGS, Mahtab, Garo, Zafar, and Zarfam) had the highest germination percentage. The highest germination rate in all cultivars was observed at the temperature range of 22-35 °C. Light only had an effect on the germination percentage of the seeds at sub and super optimal temperatures. At these temperatures, light increased the germination percentage. The remaining seed of 5, 10, 35, 37, and 40 °C temperature after transfer to 20 °C did not germinate, whereas most of them were viable based on the tetrazolium test.

Conclusion: The difference in the optimum temperature range for germination percentage and rate showed that to optimize seed performance, the optimum temperature range between the germination percentage and germination rate should be considered as the optimum temperature for germination. At sub and supra optimal temperatures, light leads to improved germination in some cultivars. The effect of light on germination at supra optimal temperatures was far higher than that of sub-optimal ones. Survival of the remaining seeds at the sub and supra optimal temperatures in some cultivars provided evidence of thermo-dormancy in these cultivars, this issue needs further investigation in the future.

Keywords: Cardinal temperatures, Germination rate, Germination percentage, Survival, Tetrazolium

Highlights:

- 1- The cardinal temperatures were studied based on both the percentage and rate of germination and the effect of light on them.
- 2- Some new varieties such as Traper and Agamax that little information about their characteristics is available were examined.
- 3- In this study, the reason for the lack of germination of rapeseed at the sub and supra optimal temperatures especially in the darkness has been mentioned.

¹ Ph.D. Student of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

² Associate Professor, Department of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

³ Associate Professor, Department of Biology, Golestan University, Golestan, Iran

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

