

عنوان مقاله: کمی سازی پاسخ جوانه‌زنی بذر کلزا (*Brassica napus*) نسبت به دما با استفاده مدل دو تکه‌ای

چکیده:

این پژوهش به منظور بررسی و مدلسازی پاسخ جوانه‌زنی بذر کلزا به دماهای مختلف دمایی در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. پارامترهای از قبیل درصد نهایی جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و دماهای پایه، مطلوب و سقف محاسبه شد. نتایج نشان داد که دمای مطلوب برای جوانه‌زنی کلزا بین ۲۰ تا ۲۵ درجه سلسیوس بوده و در دماهای بالاتر یا پایین‌تر، درصد و سرعت جوانه‌زنی کاهش یافت. حداکثر درصد نهایی جوانه‌زنیو سرعت جوانه زنی با میانگین ۹۲/۲ درصد و ۶ بذر/ساعت مربوط به دمای ۲۰ درجه سلسیوس بود. نتایج برازش مدل دو تکه ای به داده های سرعت جوانه زنی نشان داد که دمای پایه برای کلزا ۲/۲ درجه سانتیگراد، دمای مطلوب ۲۱ درجه سانتیگراد و دمای سقف ۴۳ درجه سانتیگراد بود. نتایج این پژوهش میتواند در برنامه‌ریزی زمان کشت، انتخاب مناطق مناسب برای کشت کلزا و بهینه‌سازی فرآیندهای زراعی در مناطق مختلف اقلیمی موثر واقع گردد. این تحقیق گامی مهم در درک عمیق‌تر مکانیسمهای جوانه‌زنی کلزا در برابر تغییرات دما و فراهم آوردن ابزارهای پیش‌بینی برای کشاورزان می باشد.

کلیدواژه‌ها: دمای پایه، درصد جوانه‌زنی، مدل رگرسیون غیرخطی، کلزا.

مقدمه

جوانه‌زنی، به عنوان یکی از حساسترین مراحل چرخه زندگی گیاهان زراعی، نقش حیاتی در استقرار گیاهچه و در نهایت عملکرد محصول دارد (Bradford, 1990). موفقیت در جوانه‌زنی به طور مستقیم تحت تأثیر عوامل مختلف محیطی از قبیل دما و رطوبت قرار دارد که در این میان، دما به عنوان یکی از مهمترین و تعیین‌کننده‌ترین عوامل محیطی شناخته میشود. گزارش شده است که دما نه تنها بر سرعت جوانه‌زنی بلکه بر درصد جوانه زنی نیز تأثیرگذار است؛ به طوری که با افزایش دما از دامنه دمایی مطلوب، میتواند سبب کاهش در جوانه‌زنی شود (Ellis and Roberts, 1980; Ansari et al., 2016).

کلزا (*Brassica napus* L.)، یکی از مهمترین گیاهان روغنی در سطح جهان می باشد که جایگاه ویژه‌ای در تأمین روغن خوراکی و خوراک دام ایفا می کند. با توجه به اهمیت اقتصادی این محصول، شناخت دقیق فیزیولوژی جوانه‌زنی آن و پاسخ به عوامل محیطی، به ویژه دما، برای بهینه‌سازی عملیات زراعی و افزایش بهره‌وری ضروری می باشد. از آنجایی که کلزا در مناطق اقلیمی متنوعی کشت میشود، تعیین دامنه دمایی مناسب برای جوانه‌زنی آن، به کشاورزان کمک میکند تا زمان کاشت را به گونهای تنظیم کنند که بذور در شرایط بهینه دمایی قرار گرفته و استقرار مطلوبی به دست آید. (Morales et al., 2015).

مدلسازی پاسخ جوانه‌زنی بذور به دما، ابزاری قدرتمند برای پیش‌بینی رفتار جوانه‌زنی در شرایط مختلف و برنامه‌ریزی های زراعی است. مدل‌های غیرخطی (Non-linear models) میتوانند رابطه بین دما و پارامترهای جوانه‌زنی از قبیل سرعت و درصد نهایی جوانه‌زنی را به صورت کمی بیان کنند (Wang et al., 2011) این مدل‌ها امکان تخمین دماهای پایه، مطلوب و سقف را فراهم می‌آورند. دمای پایه حداقل دمایی است که جوانه‌زنی در پایین‌تر از آن متوقف میشود؛ دمای مطلوب، دمایی است که در آن، سرعت جوانه‌زنی به حداکثر میرسد؛ و دمای سقف، حداکثر دمایی است که جوانه‌زنی در بالاتر از آن امکانپذیر نیست. (Covell et al., 1986; Ansari et al., 2016)

هدف اصلی این پژوهش، مدلسازی و کمیسازی نحوه پاسخ بذر کلزا رقم جدید آرام به دما با استفاده از مدل دو تکه ایجهت تعیین دماهای پایه، بهینه و سقف بود.

مواد و روشها

بذر از موسسه ثبت و گواهی بذر و نهال تهیه شد. قبل از شروع آزمایش، بذور برای اطمینان از سلامت فیزیکی و حذف هر گونه ناخالصی به دقت بررسی و تمیز شدند.

آزمایش به صورت طرح کاملاً تصادفی و با ۳ تکرار ۲۵ بذری اجرا شد. تیمارهای دمایی شامل ۸ سطح دمایی (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد)، بود. بازدید بذرها هر روز در چندین نوبت با توجه به سرعت جوانه زنی در دماهای مختلف انجام شد (حداقل هر چهار ساعت) و معیار جوانه زنی خروج ریشه‌چه به اندازه دو میلی‌متر یا بیشتر بود (ایستا، ۲۰۱۰).

در این آزمایش آب مصرفی آب مقطر بود و کاغذ صافی مورد استفاده در پتری‌دیشها در ابتدا با ۵ میلی‌لیتر آب مقطر یا محلول آزمایش مرطوب شد و در طول آزمایش و در صورت نیاز آب مقطر به ظرف‌های پتری‌دیش اضافه شد و نوع کشت به صورت کشت روی کاغذ بود. پتری‌دیش‌های مورد استفاده پلاستیکی به قطر ۱۰ سانتی‌متری بود. در پایان دوره درصد و سرعت جوانه زنی در تمامی تیمارها اندازه‌گیری شد (انصاری و همکاران، ۲۰۱۲). پارامترهای یاد شده برای هر تکرار و هر تیمار بذری محاسبه شد.

تابع دو تکه‌ای با علامت اختصاری (S^1) که معادله آن به صورت زیر است (Soltani et al., 2006):

$$f(t) = \frac{(T - T_b)}{(T_o - T_b)} \quad T_b < T \leq T_o$$

$$(۳-۶) \quad f(t) = \frac{(T_c - T)}{(T_c - T_o)} \quad T_o < T \leq T_c$$

$$f(t) = 0 \quad T_c \leq T \text{ or } T \leq T_b$$

¹ Segmented

در این توابع T_b دمای پایه، T_0 دمای مطلوب، T_c دمای سقف، f_0 ضریب ثابت و T دمای متوسط روزانه (دمای مورد آزمایش) میباشد. تخمین پارامترهای مدل با استفاده از نرم افزار SigmaPlot11 و با تغییر مقادیر اولیه برای هر پارامتر محاسبه شد. تغییر مقادیر اولیه تا زمانی انجام گرفت که بهترین برآورد از پارمترها به دست آمد.

درصد جوانه زنی = تعداد کل بذور جوانه زده در پایان آزمایش تقسیم بر تعداد کل بذور کشت شده

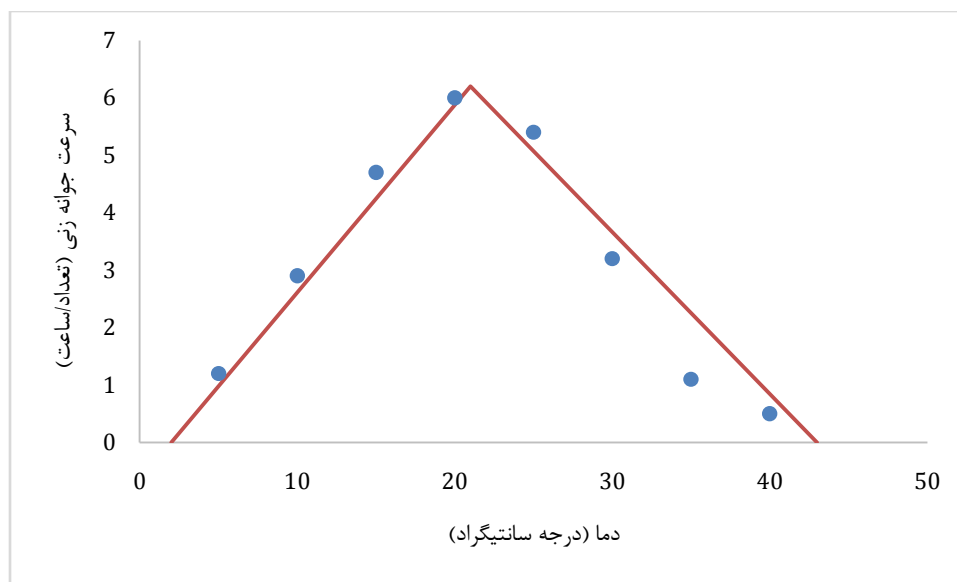
سرعت جوانه زنی = مجموع تعداد بذور جوانه زده در هر روز تقسیم بر شماره روز

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که دما تأثیر معنیداری ($P < 0.001$) بر درصد نهایی جوانه زنی و سرعت جوانه زنی بذر کلزا داشت (داده ها نشان داده نشد). همانطور که در جدول ۱ مشاهده میشود، افزایش دما از ۵ درجه سلسیوس به ۲۰ درجه سلسیوس، سبب افزایش درصد جوانه زنی و سرعت جوانه زنی شد. حداکثر درصد نهایی جوانه زنیو سرعت جوانه زنی با میانگین ۹۲/۲ درصد و ۶ بذر/ساعت مربوط به دمای ۲۰ درجه سلسیوس بود. با این حال، افزایش دما به بیش از ۲۵ درجه سلسیوس منجر به کاهش معنی دار هر دو پارامتر شد. در دمای ۴۰ درجه سلسیوس، درصد نهایی جوانه زنی به ۲۱/۱ درصد و سرعت جوانه زنی به ۰/۵ بذر/ساعت کاهش یافت که نشان دهنده اثرات منفی دماهای بالا بر فرآیند جوانه زنی بذر کلزا بود.

جدول ۱ - تأثیر دما بر درصد نهایی و سرعت متوسط جوانه زنی کلزا

سرعت جوانه زنی (بذر/ساعت)	درصد نهایی جوانه زنی (%)	دما (°C)
۱.۲	۵۲.۱	۵
۲.۹	۶۵.۸	۱۰
۴.۷	۸۳.۴	۱۵
۶	۹۱.۲	۲۰
۵.۴	۸۸.۹	۲۵
۳.۲	۷۰.۵	۳۰
۱.۱	۴۱.۹	۳۵
۰.۵	۲۱.۱	۴۰



شکل ۱- برازش مدل دو تکه ای به داده های سرعت جوانه زنی.

نتایج برازش مدل دو تکه ای به داده های سرعت جوانه زنی نشان داد که دمای پایه برای کلزا ۲/۲ درجه سانتیگراد، دمای مطلوب ۲۱ درجه سانتیگراد و دمای سقف ۴۳ درجه سانتیگراد بود (شکل ۱). این نتایج نشاندهنده وجود یک دامنه دمایی مطلوب برای جوانه زنی کلزا است.

گزارش شده است که دماهای پایین به دلیل کاهش فعالیت آنزیمی و سرعت واکنشهای بیوشیمیایی، فرآیند جوانه زنی را کند و ناکافی میکنند (Bewley and Black, 1994) از سوی دیگر، دماهای بالا میتوانند منجر به دنا توره شدن پروتئینها، تخریب غشاهای سلولی و آسیبهای متابولیکی شوند که در نتیجه کاهش قدرت جوانه زنی بذر را در پی دارند. (Hadas and Mandel, 1998).

این یافتهها با مطالعات قبلی بر روی کلزا و سایر گونههای براسیکا مطابقت دارد که دمای مطلوب جوانه زنی را عمدتاً در محدوده ۲۰ تا ۲۵ درجه سلسیوس گزارش کردهاند (Huang et al., 2017; Gan et al., 2012).

نتایج به دست آمده نشان داد که مدل دو تکه ای برآورد مناسبی از دماهای کاردینال کلزا رقم آرام دارد که این موضوع نشان دهنده ایت امر است که این مدل ابزار ارزشمندی برای برنامه ریزی کشت، ارزیابی ریسک جوانه زنی در شرایط آب و هوایی مختلف و بهینه سازی زمان کاشت کلزا در مناطق گوناگون می باشد. مقادیر دماهای پایه، مطلوب و سقف استخراج شده از این مدل، اطلاعات فیزیولوژیکی مهمی را برای مدیریت بهینه بذر کلزا در اختیار قرار میدهند. به عنوان مثال، در مناطق با شروع فصل سرد، در صورت انتخاب رقم مناسب، میتوان از زمان حرارتی برای تخمین زمان ظهور گیاهچهها و مدیریت آبیاری و سایر عملیات زراعی بهره برد. این نتایج با یافتههای (Huang et al., 2017) و Gan et al. (2012) که دمای بهینه برای جوانه زنی کلزا را در محدوده ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتیگراد گزارش کردهاند، کاملاً سازگار

است. همچنین، مطالعه (Alahdadi et al. (2011 بر روی کلزا در ایران نیز دماهای مشابهی را برای پارامترهای جوانه‌زنی ارائه کرده است، که اعتبار یافته‌های این تحقیق را در شرایط منطقه‌ای تأیید میکند. در رابطه با انتخاب مناسبترین مدل جهت تعیین دماهای کاردینال در گیاهان مختلف نتایج متفاوتی وجود دارد. به عنوان مثال حسینی سنخوری و همکاران (۲۰۱۰ و ۲۰۲۳) از مدل دوتکه ای جهت برآورد دماهای کاردینال *Camelina sativa* L. تحت شرایط تنش خشکی و شوری استفاده نمودند، همچنین استادیان بیدگلی و همکاران (۲۰۱۸) برای بذر *Carthamus tinctorius* L. و کامکار و همکاران (۲۰۱۱) برای بذر *Papaver somniferum* L. (opium poppy) مناسبترین مدل جهت تعیین دماهای کاردینال را مدل دوتکه ای معرفی کردند. در مطالعه ای دیگر بر روی پنیرک انصاری و همکاران (۲۰۱۶) مناسبترین مدل جهت تعیین دماهای کاردینال را مدل دندان مانند معرفی نمودند.

نتیجه گیری نهایی: مطالعه حاضر به وضوح نشان داد که دمای محیط تأثیر قابل توجهی بر میزان و سرعت جوانه‌زنی بذر کلزا دارد. دمای مطلوب برای جوانه‌زنی کلزا بین ۲۱ درجه سلسیوس بود، در حالی که دماهای کمتر از ۵ درجه سلسیوس و بالاتر از ۴۰ درجه سلسیوس به شدت جوانه‌زنی را تحت تأثیر قرار میدهند یا متوقف میکنند. دمای پایه برای کلزا ۲/۲ درجه سانتیگراد، دمای مطلوب ۲۱ درجه سانتیگراد و دمای سقف ۴۳ درجه سانتیگراد بود. این نتایج اطلاعات فیزیولوژیکی و اکولوژیکی ارزشمندی را فراهم میآورند که میتوانند به عنوان ابزاری قدرتمند برای مدیران و کشاورزان در تصمیمگیریهای مربوط به کشت کلزا مورد استفاده قرار گیرند.

منابع

1. Alahdadi, I., et al. (2011). Modeling the response of oilseed rape seed germination to temperature and water potential. *Seed Science and Technology*, 39(2), 303-313.
2. Bewley, J. D., & Black, M. (1994). *Seeds: Physiology of Development and Germination*. Plenum Press.
3. Bradford, K. J. (1990). A water relations model for the germination of seeds in response to temperature and water potential. *Agronomy Journal*, 82(6), 1051-1056.
4. Covell, S., Ellis, R. H., Roberts, E. H., & Summerfield, R. J. (1986). The influence of temperature on the germination of four grain legumes. *Experimental Agriculture*, 22(1), 19-31.
5. Ellis, R. H., & Roberts, E. H. (1980). Improved equations for the prediction of plant seedling emergence rates under varying temperature regimes. *Annals of Botany*, 45(4), 505-508.
6. Gan, Y., et al. (2012). Temperature and genotype effects on seed germination and emergence of canola. *Agronomy Journal*, 104(2), 375-382. <https://doi.org/10.2134/agronj2011.0347>
7. Hadas, A., & Mandel, R. (1998). Soil temperature and moisture thresholds for wheat emergence. *Agronomy Journal*, 90(2), 223-228.

8. He, H., et al. (2020). Dynamic modeling of canola germination and seedling growth under different temperatures. *Agricultural and Forest Meteorology*, 285-286, 107926.
9. Huang, Z., et al. (2017). Germination responses of canola (*Brassica napus* L.) to temperature and water potential: development of a hydrothermal time model. *Crop Science*, 57(2), 533-541. <https://doi.org/10.2135/cropsci2016.07.0620>
10. Morales, C., et al. (2015). A thermal time model for germination of three canola (*Brassica napus* L.) cultivars. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 75(2), 177-183.
11. Rowland, G.G., et al. (2019). Environmental and genetic control of seedling emergence and establishment in *Brassica napus*. *Field Crops Research*, 233, 59-67.
12. Wang, Y. R., et al. (2011). Modeling the germination of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) seeds as affected by temperature and water potential. *Journal of Agricultural Science*, 149(3), 265-274.