

اثر القای خفتگی ثانویه بر سبز شدن گیاهچه ژنوتیپ‌های کلزا

کیوان ملکی^۱، نادر صالحی^۱، الیاس سلطانی^{۲*}، مصطفی اویسی^۳

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد زراعت پردیس ابوریحان دانشگاه تهران
۲. دانشیار گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران، پاکدشت، تهران
۳. دانشیار گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۱۳)

چکیده

هدف از این پژوهش کمی‌سازی تأثیر خفتگی ثانویه بر سبز شدن کلزا با استفاده از مدل چاپمن-ریچاردز تحت شرایط مزرعه‌ای بود. این آزمایش با استفاده از ۲۰ ژنوتیپ کلزای تحت شرایط مزرعه‌ای انجام شد. جهت القای خفتگی ثانویه، روش استاندارد هاهنهایم مورد استفاده قرار گرفت. آزمایش سبز شدن نیز و با استفاده از یک طرح فاکتوریل در قالب بلوک‌های کاملاً تصادفی در مزرعه تحقیقاتی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران با ۴ تکرار و به مدت ۱۲۲ روز انجام شد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد هر دو عامل ژنوتیپ و تنش خشکی بر درصد و سرعت سبز شدن گیاهچه‌های کلزا تحت شرایط مزرعه مؤثر بودند. با این حال پتانسیل القای خفتگی ثانویه در بین ژنوتیپ‌ها متفاوت بود و در ژنوتیپ‌های کرج ۲، اچ ۵۰ و اس ال ام ۰۴۶ سرعت سبز شدن پیش از القاء خفتگی ثانویه ۴۰۷، ۱۴۳ و ۳۵۵ (بر روز) بود که پس از القای خفتگی به ترتیب به ۲۸۹، ۳۶۴ و ۴۱۱ (بر روز) افزایش پیدا کرد. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین درصد سبز شدن در شرایط عدم وجود خفتگی ثانویه مربوط به ژنوتیپ احمدی بود، ولی این ژنوتیپ با سایر ژنوتیپ‌ها (هایولا، مغان، اس ال ام ۰۴۶، آرجی اس، اپرا و کرج ۱) تفاوت معنی‌داری نداشت و هنگامی که خفتگی ثانویه به بذور القاء شد نیز ژنوتیپ احمدی بیشترین درصد سبز شدن را داشت و کمترین درصد سبز شدن پس از القاء خفتگی نیز مربوط به ژنوتیپ طلایه بود.

کلمات کلیدی: سبز شدن، خفتگی ثانویه، مدل‌سازی، مدل چاپمن-ریچاردز

Effect of secondary dormancy induction on seedling emergence of canola genotypes

Keyvan Maleki, Nader Salehi, Elias Soltani^{2*}, Mostafa Oveisi³

1. Former Ms.c student Department of Agronomy and Plant Breeding, Aburairhan campus, University of Tehran, Pakdasht, Tehran
2. Associate Professor Department of Agronomy and Plant Breeding, Aburairhan campus, University of Tehran, Pakdasht, Tehran
3. Associate Professor Agronomy and Plant Breeding Department, College of Agricultural and Natural Resources, University of Tehran, Karaj

(Received: Nov. 09, 2019 – Accepted: May. 02, 2020)

Abstract

The purpose of this study was to quantify the effect of secondary dormancy induction on seedling emergence of oil rapeseed using the Chapman-Richards model under field conditions. This experiment was carried out using 20 rapeseed genotypes cultivated in Iran under field conditions. Seeds were tested for secondary dormancy according to the Hohenheim standard dormancy test. Seedling emergence trial was carried out using a randomized complete block as a factorial arrangement with four replications in a research farm of Abourahian Campus, University of Tehran for 122 days. Emerged seedlings were removed after counting. The results of this study showed that both genotype and drought stress factors are effective in seedling emergence percentage and rate of rapeseed under field conditions. However, potential secondary dormancy induction was different among the cultivars, and in Karaj2, H50, and SLM046 genotypes emergence rate before inducing secondary dormancy was 0.407, 0.143, and 0.355 which increased to 0.411, 0.228, and 0.364 after inducing secondary dormancy, respectively. the results of the mean comparison showed that the maximum percentage of emergence in non-dormant seed was related to Ahmadi cultivar, but this cultivar was not significantly different from other varieties of Hayola, Moghan, SLM046, RGS003, Opera, and Karaj. When secondary dormancy induced to seeds, Ahmadi cultivar had the highest percentage of emergence, and the lowest percentage of emergence after dormancy inducing was related to Talayeh cultivar.

Keywords: Chapman-Richards method, emergence, modeling, secondary dormancy

* Email: elias.soltani@ut.ac.ir

مقدمه

تغییر کرده و بسته به وارپته به طور میانگین حدود ۳۰ تا ۵۰ درصد در بذور بالغ وجود دارد. بذور فاقد خفتگی کلزا می‌توانند به واسطه شرایط محیطی از قبیل تاریکی به همراه تنش اسمزی و تنش هایپوکسیا (تنش کوتاه مدت کمبود اکسیژن) وارد خفتگی ثانویه شوند (Pekrun *et al.*, 1998; Gulden *et al.*, 2003, 2004a,b). پتانسیل ایجاد خفتگی در بذور کلزا به نوع وارپته وابسته بوده و در تعدادی از ذخایز ژنی کلزا از قبیل چین، اروپای غربی و کانادا یافت شده است (Momoh *et al.*, 2002; Gulden *et al.*, 2004b, 2009). Gruber *et al.* (2009) و Weber *et al.* (2010) پتانسیل خفتگی ثانویه در ۴۴ وارپته از کلزا را بررسی کردند و سه سطح خفتگی ثانویه بالا (بیشتر از ۴۰ درصد)، حدواسط (۲۰ تا ۴۰ درصد) و پایین (کمتر از ۲۰ درصد) را طبقه‌بندی کردند، کار این پژوهشگران مشابه با پژوهش Gruber and Claupein (2008) بود. القای خفتگی ثانویه در بذور کلزا نشان می‌دهد که این بذور دارای چرخه خفتگی. عدم خفتگی بوده (Schlink 1994) و بالاترین سطح قابلیت جوانه‌زنی این بذور در مناطق نیمه خشک مربوط به اواسط تابستان و بهار است (Soltani *et al.*, 2013; Shayanfar *et al.*, 2018).

سبز شدن گیاهچه یکی از مهمترین مراحل رشد گیاه بوده و بر بقا و موفقیت آن موثر است (Forcella *et al.*, 2000). طی ۱۰ سال اخیر پیشرفت‌های زیادی در توسعه مدل‌های پیش‌بینی سبز شدن در مزرعه انجام شده است (Gonzalez-Andujar *et al.*, 2016). این مدل‌ها می‌توانند زمان‌بندی سبز شدن گیاهچه‌ها را تخمین بزنند و این موضوع موجب بهبود تصمیمات مدیریتی در کنترل علف‌های هرز می‌شود (Forcella 1998). بذور کلزا دارای خفتگی شرطی بوده در نتیجه امکان چرخه بین شرایط خفتگی و عدم وجود خفتگی و القای خفتگی ثانویه وجود داشته، نتایج نشان داده است که پیش‌بینی سبز شدن گیاهچه‌های هرز به شناخت پویایی تغییرات خفتگی بستگی دارد (Batlla and Benech-Arnold, 2004).

هجوم کلزای هرز (*Brassica napus* L.) در سایر محصولات که ناشی از ریزش بذر قبل و در حین برداشت محصول در مزارع کلزا می‌باشد منجر به خسارت قابل توجه‌ای می‌شود. ریزش بذر می‌تواند موجب پر شدن بانک بذر شود. Gulden *et al.* (2003) خسارت برداشت را حدود ۳۶۰۰ بذر در هر مترمربع گزارش کردند. علاوه بر این، بذور کلزای هرز می‌تواند برای سال‌ها درون خاک پایدار باقی بماند (Legere *et al.*, 2001). گزارشات حاکی از این است که بذور کلزای هرز بیش از ۱۰ سال در خاک پایدار باقی می‌ماند (Sauer mann 1993; Simard *et al.*, 2002). کلزای هرز موجب آسیب به تولید محصول بعدی کلزا (Gulden *et al.*, 2003) و سایر گیاهان زراعی از جمله گندم زمستانه (Lawson *et al.*, 2006; Gruber *et al.*, 2010) می‌شود. کلزای هرز می‌تواند همراه با انواع مختلفی از گیاهان زراعی در دوره‌های طولانی از ماه‌های آخر بهار تا تابستان در نواحی نیمه‌خشک (Soltani *et al.*, 2013) و معتدل (Gruber and Claupein, 2008) سبز شود. در این رابطه مشکل اصلی زمانی ایجاد می‌شود که کلزای هرز همزمان با کلزای زراعی سبز شود. کلزای هرز می‌تواند موجب افزایش تراکم و ایجاد مشکلات زراعی شود. همچنین، کلزای هرز موجب پراکنده شدن منبع ژنی بواسطه دانه گرده شده و کیفیت کلزای زراعی کشت شده را کاهش می‌دهد و موجب اختلاط ناخواسته بذور می‌شود.

بذور بالغ تازه برداشت شده کلزا (*Brassica napus* L.) خفتگی اولیه کمی دارند (Momoh *et al.*, 2002; Gruber *et al.*, 2004; Gulden *et al.*, 2004). به عقیده Huang *et al.* (2016) خفتگی اولیه در بذور کلزای در حال نمو از سطح اولیه ۷۰ تا ۹۹ درصد در ۳۰ تا ۴۰ روز پس از گلدهی در عرض ۱۴ روز به صفر تا ۱۵ درصد می‌رسد. بدین ترتیب سطح خفتگی اولیه در طول زمان

می‌شود می‌بایست نقش دما در بذور دارای خفتگی در نظر گرفته شود (Finch-Savage and Phelps, 1993; Grundy et al., 2000). علاوه بر این، ممکن است رژیم‌های دمایی متناوب در مقایسه با دماهای ثابت موجب تغییر در زمان حرارتی مورد نیاز بذور جهت جوانه‌زنی و سبز شدن به دلیل تأثیر بر رفع خفتگی شود. دانش در مورد پتانسیل ارقام جهت القا و رفع خفتگی در شرایط مزرعه اهمیت زیادی دارد و تاکنون اغلب این مطالعات در شرایط آزمایشگاه بررسی شده است. بنابراین، نیاز است اثر القای خفتگی بر سبز شدن کلزا در شرایط مزرعه نیز ارزیابی شود. بدین ترتیب هدف از این تحقیق کمی‌سازی اثر خفتگی ثانویه بر سبز شدن کلزا تحت شرایط مزرعه با استفاده از مدل چاپمن و ریچاردز و بررسی تفاوت‌های بین واریته‌ها در القای خفتگی ثانویه بود.

مواد و روش‌ها

به منظور انجام این آزمایش بذور ۲۰ ژنوتیپ زمستانه و بهاره کلزا از موسسه اصلاح و نهال بذر کرج تهیه شد (35°50' N, 51°00' E)، ارتفاع از سطح دریا: ۱۳۱۲، میانگین دمای سالانه ۲،۱۴ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش سالانه ۲۵۱ میلی‌متر (جدول ۱). بذور استفاده شده در این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۳-۱۳۹۴ در کرج تولید شده بودند. جوانه‌زنی بذور مورد مطالعه بلافاصله پس از برداشت تست شده و دارای قابلیت جوانه‌زنی حدود ۱۰۰ درصد بوده‌اند (Soltani et al., 2017). چهار تکرار ۵۰ بذری از بذور بالغ (بدون القای خفتگی) در تاریکی و دمای ذکر شده قرار گرفت و درصد جوانه‌زنی نهایی پس از ۲ هفته تعیین شد (جدول ۱). پس از انجام این آزمون، بذور در آزمایشگاه (دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی 10 ± 40) نگه‌داری شد.

القای خفتگی ثانویه

بذور جهت خفتگی ثانویه براساس آزمون استاندارد

(Maleki et al., 2020). دما و پتانسیل آب دو عامل محیطی مهم در تنظیم جوانه‌زنی و خفتگی بذر هستند (Bradford, 2002). دمای خاک یکی از مهمترین عوامل تأثیرگذار بر رفع خفتگی و سبز شدن گیاهچه است. اکثر بارندگی‌ها در مناطق نیمه‌خشک در پاییز و زمستان رخ می‌دهد و از این رو رطوبت خاک در طول سبز شدن کلزای هرز محدود کننده نخواهد بود. مدل‌های زیادی جهت شرح این موضوع توسعه پیدا کرده است. مدل‌های هیدروتایم تأثیر پتانسیل آب بر جوانه‌زنی و خفتگی بذر را توصیف می‌کنند (Gummerson, 1986; Bradford, 1990, 2002; Alvarado and Bradford, 2005). علاوه بر این مدل‌های ترمال‌تایم و هیدروتایم به طور موقتی باهم ترکیب شده و مدل هیدروترمال‌تایم را بوجود آورده‌اند (Gummerson, 1986; Bradford, 1990, 2002; Alvarado and Bradford, 2005). بسیاری دیگر از محققین جهت توصیف و پیش‌بینی سبز شدن از مدل‌های رگرسیونی استفاده کرده‌اند (Qiu et al., 2006; Soltani et al., 2006; 2008). خفتگی و جوانه‌زنی بذور می‌تواند بواسطه تناوب رژیم‌های دمایی از قبیل میانگین دمایی و دمای حداقل و حداکثر دچار تغییر شود (Roberts and Totterdell, 1981; Murdoch et al., 1989). زمان حرارتی بطور گسترده‌ای در مدل‌های تغییرات خفتگی و جوانه‌زنی بذر مورد استفاده قرار گرفته است (Pritchard et al., 1996; del Monte and Tarquis, 1997; Wang et al., 2004). در بذور دارای خفتگی معمولاً مدل‌ها پس از رفع خفتگی ساخته شده‌اند (Pritchard et al., 1999). در نتیجه تغییرات خفتگی در بذور بطور مشابه‌ای می‌تواند تحت شرایط مزرعه رخ دهد که این موضوع می‌تواند جدا از جوانه‌زنی بذور فاقد خفتگی باشد. مدل‌های ترمال‌تایم که بر مبنای جوانه‌زنی بذور پس از رفع خفتگی قرار دارند، نمی‌توانند به خوبی تأثیر دماهای متناوب بر سبز شدن گیاهچه در مزرعه برآورد کنند (Qiu et al., 2006). بنابراین، اگر از مدل‌های ترمال‌تایم جهت پیش‌بینی دقیق سبز شدن گیاهچه در مزرعه استفاده

خفتگی در این بذور طبق روش شرح داده شده انجام شد. بذور با خفتگی ثانویه و بذور فاقد خفتگی ثانویه هر ۲۰ ژنوتیپ در ۲۶ آبان ماه سال ۱۳۹۴ کشت شدند. آزمایش شامل چهار بلوک و هر بلوک شامل ۴۰ میکروپلات بود. طول هر میکروپلات ۵۰ و عرض آن ۳۰ سانتی متر بود. فواصل کاشت بذور بر روی خط کاشت یک سانتی متر و عمق کاشت بذر یک تا دو سانتی متر در نظر گرفته شد. روی هر پشته ۱۰۰ بذر کشت گردید و روی بذرها با خاک پوشانده شد و بلافاصله پس از کاشت آبیاری اول انجام گرفت. شمارش سبز شدن گیاهچه بطور روزانه و به مدت ۱۲۲ روز انجام شد و گیاهچه‌های سبز شده نیز پس از شمارش حذف شدند. دمای حداکثر و حداقل خاک بصورت روزانه توسط دماسنج دفن شده در عمق ۵ سانتی متری خاک ثبت شد (شکل ۱ الف). میزان رطوبت خاک ($g\ g^{-1}$) نیز با استفاده از نمونه برداری روزانه و تبدیل به پتانسیل آب خاک براساس نمودار آب خاک (Saxton et al., 1986) انجام شد (شکل ۱ ب). درصد نهایی و سرعت سبز شدن (عکس زمان تا ۵۰ درصد سبز شدن) با استفاده از برنامه جرمین برای هر یک از تیمارها تعیین شد (Soltani et al., 2015; 2017):

$$R_{20}=1.T_{20} \quad (\text{رابطه ۱})$$

در این رابطه R سرعت سبز شدن و T_{20} معادل زمان تا ۲۰ درصد سبز شدن است.

مدل سازی سبز شدن گیاهچه

جهت مدل سازی سبز شدن گیاهچه از مدل چاپمن - ریچارد استفاده شد (معادله ۱). در این مدل گیاهچه‌های مشاهده شده در مقابل زمان برازش شدند.

مدل چاپمن ریچارد (Qiu et al., 2006; Soltani et al., 2013):

$$E(\%)=a(1-\exp(-by))^c \quad (\text{رابطه ۲})$$

در این رابطه E درصد سبز شدن گیاهچه، y زمان پس

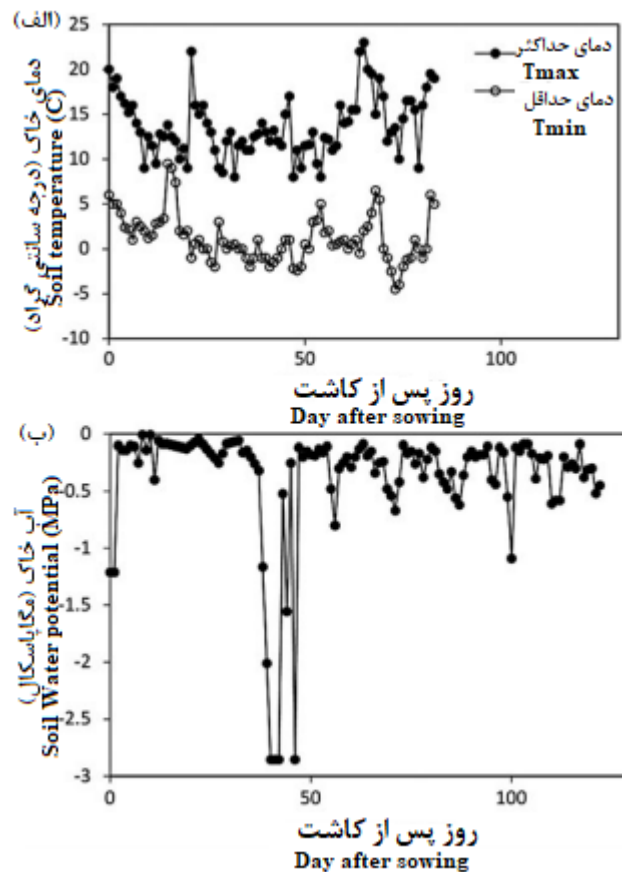
خفتگی هاهنهایم مورد آزمون قرار گرفتند (Weber et al., 2010; Huang et al., 2016). این روش شامل سه فرآیند متوالی به شرح زیر است: (۱) القای خفتگی ثانویه: به منظور القای خفتگی ثانویه ۴ تکرار ۱۰۰ بذری از هر ژنوتیپ در ۶ میلی لیتر محلول پلی اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ (PEG6000) با پتانسیل ۱۵- بار به مدت ۱۴ روز تحت شرایط تاریکی درون پتری دیش ۹ سانتی متری همراه با دولایه کاغذ صافی آب جذب کردند. (۲) سپس بذور در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد و تحت شرایط تاریکی به مدت ۲ هفته نگه داشته شدند. پتری دیش‌ها درون جعبه‌های فلزی قرار گرفتند تا هیچ نوری دریافت نکنند و شرایط تاریکی بطور کامل فراهم شود. (۳) سپس پس از طی این دوره بذرها در شرایط تاریکی و نور سبز (۵۰۰-۶۰۰ نانومتر) با آب مقطر شستشو داده و سپس خشک گردید تا برای تست جوانه زنی و محاسبه درصد کمون در ۴ تکرار ۱۰۰ بذری در شرایط آب مقطر و تاریکی به مدت ۱۴ روز در انکوباتور ۲۰ درجه قرار داده شد و شمارش جوانه زنی هر روز صبح انجام شد و معیار اندازه گیری جوانه زنی خروج ریشه چه به اندازه ۲ میلیمتر بود. سپس جهت بررسی قابلیت حیات بذوری که جوانه زنی نکرده بودند از آزمون کراش تست استفاده شد. پیشتر پتانسیل القای خفتگی ثانویه این ژنوتیپ‌ها توسط Soltani et al. (2017) بررسی شده و نتایج در جدول (۱) نشان داده شده است.

آزمایش مزرعه‌ای سبز شدن گیاهچه

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران واقع در پاکدشت انجام شد (35°28 N, 51°40 E). این مزرعه دارای خاک لومی رسی (۱,۳۷ درصد شن، ۲,۲۶ درصد، سیلت و ۷,۳۶ درصد رس و ۷۵,۰ ماده آلی با اسیدیته ۷,۷) است. تحقیق بصورت یک آزمایش فاکتوریل در قالب بلوک‌های کاملاً تصادفی در ۴ تکرار اجرا شد. فاکتور اول شامل ۲۰ ژنوتیپ کلزا بود و فاکتور دوم شامل القا و عدم القای خفتگی بذر بود. القای

تحلیل‌های آماری با استفاده از رویه PROC NLIN در نرم‌افزار SAS (V.9.2) انجام شد و کلیه نمودارها با استفاده از نرم‌افزار اکسل رسم شدند.

از کاشت برای سبز شدن و a ، b و c ضرایب معادله هستند. a ضریب حداکثر درصد سبز شدن، b سرعت سبز شدن (روز) و c پارامتر شکل است. کلیه تجزیه و



شکل ۱- دمای حداقل (Tmin) و حداکثر (Tmax) خاک و تغییرات آب خاک پس از کاشت در مزرعه (دمای حداکثر و حداقل تا ۸۳ روز پس از کاشت قابل دسترس بود).

Figure 1- Changes of minimum (Tmin) and maximum (Tmax) soil temperatures and soil water after planting in the field (Minimum and maximum temperatures were available until 83 days after planting).

تأثیر معنی‌داری نداشت (شکل ۱). اثر متقابل القای خفتگی و ژنوتیپ بر درصد (در سطح ۵ درصد) و سرعت سبز شدن (در سطح ۱ درصد) معنی‌دار بود. سبز شدن بذوری که خفتگی به آن‌ها القاء شده بود دیرتر از بذور فاقد خفتگی آغاز شده و دیرتر نیز به پایان رسید. مقادیر سرعت جوانه‌زنی (t_{50}) تفاوت معنی‌داری بین بذوری که خفتگی به آن‌ها القاء شده بود با بذور فاقد خفتگی داشت.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس نشان داد (جدول ۲) تاثیر القای خفتگی ثانویه هم بر درصد سبز شدن و هم بر سرعت سبز شدن در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. تاثیر القای خفتگی ثانویه و ژنوتیپ بر زمان تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی (t_{50}) معنی‌دار بود؛ با این حال بر درصد نهایی جوانه‌زنی

نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیشترین درصد سبز شدن در شرایط عدم وجود خفتگی ثانویه مربوط به ژنوتیپ احمدی بود، ولی این ژنوتیپ با ژنوتیپ‌های هایولا، مغان، اس‌ال‌ام ۰۴۶، آرجی‌اس، اپرا و کرج ۱ تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۴). هنگامی که خفتگی ثانویه به بذور القاء شد نیز ژنوتیپ احمدی بیشترین درصد سبز شدن را داشت و کمترین درصد سبز شدن پس از القاء خفتگی نیز مربوط به ژنوتیپ مودنا بود (جدول ۴؛ شکل ۲).

جدول ۱- مشخصات ژنوتیپ‌های مورد استفاده در این پژوهش. مجموع درصد جوانه‌زنی و درصد القای خفتگی معادل قوه نامیه بذرها است.

Table 1- Characteristics of the genotypes were used in this research. Summation of germination percentage and dormancy induction percentage is equal to seed viability.

ژنوتیپ Genotype	منشا Origin	نوع گرده‌افشانی Type of pollination	تیپ رشد Growth form	درصد القای خفتگی Dormancy induction percentage	درصد جوانه‌زنی Germination percentage
احمدی Ahmadi	ایران (Iran)	دگرگشن (cross pollination)	پاییزه (Autumn)	5	94
مغان Moghan	ایران (Iran)	دگرگشن (cross pollination)	بهاره (Spring)	36.5	60
هایولا ۳۰۸ Hayola 308	کانادا (Canada)	هیبرید (Hybrid)	بهاره (Spring)	31.5	67.5
اس‌ال‌ام ۰۴۶ SLM 046	آلمان (Germany)	دگرگشن (cross pollination)	پاییزه (Autumn)	20	70
اچ ۵۰ H50	کانادا (Canada)	هیبرید (Hybrid)	بهاره (Spring)	31.5	65
هایولا ۴۰۱ Hayola 401	کانادا (Canada)	هیبرید (Hybrid)	بهاره (Spring)	24.5	69.5
هایولا ۴۲۰ Hayola 420	کانادا (Canada)	هیبرید (Hybrid)	بهاره (Spring)	8	85.5
مودنا Modena	دانمارک (Denmark)	دگرگشن (cross pollination)	بهاره-پاییزه (Autumn- Spring)	3	94.5
آرجی‌اس ۰۰۳ RGS003	آلمان (Germany)	دگرگشن (cross pollination)	بهاره (Spring)	8	88.5
اس‌ال‌ام ۰۴۶ SLM 046	آلمان (Germany)	دگرگشن (cross pollination)	پاییزه (Autumn)	11.5	84
ساری گل Sarigol	ایران (Iran)	دگرگشن (cross pollination)	بهاره-پاییزه (Autumn- Spring)	12.5	85.5
طلایه Talayeh	آلمان (Germany)	دگرگشن (cross pollination)	بهاره-پاییزه (Autumn- Spring)	46.5	47
کرج ۱ Karaj1	ایران (Iran)	دگرگشن (cross pollination)	پاییزه (Autumn)	7	88.5
کرج ۲ Karaj2	ایران (Iran)	دگرگشن (cross pollination)	پاییزه (Autumn)	10.5	85
کرج ۳ Karaj3	ایران (Iran)	دگرگشن (cross pollination)	پاییزه (Autumn)	49.5	45.5
لیکورد Likord	آلمان (Germany)	دگرگشن (cross pollination)	بهاره-پاییزه (Autumn- Spring)	25	71
اکاپی Okapi	فرانسه (France)	دگرگشن (cross pollination)	بهاره-پاییزه (Autumn- Spring)	17.5	80.5
اپرا Opera	سوئد (Sweden)	دگرگشن (cross pollination)	بهاره-پاییزه (Autumn- Spring)	18	81
آرجی‌اس ۰۰۳ RGS003	آلمان (Germany)	دگرگشن (cross pollination)	بهاره (Spring)	32	66
زرفام Zarfam	ایران (Iran)	دگرگشن (cross pollination)	بهاره-پاییزه (Autumn- Spring)	3.5	83

جدول ۲- میانگین مربعات و درجه آزادی بر درصد و سرعت سبز شدن ژنوتیپ‌های مختلف کلزا تحت تأثیر القای خفتگی ثانویه

Table 2- Means square and degree of freedom on emergence percentage and rate of oil rapeseed genotypes affected by secondary dormancy induction.

منابع تغییر Source of Variation	سرعت سبز شدن Emergence Rate	درصد سبز شدن Emergence Percentage	درجه آزادی Degree of Freedom
بلوک Block	0.00051383**	203.91 ^{ns}	3
ژنوتیپ Genotype	0.00147946**	331151**	19
القای خفتگی Dormancy induction	0.00149573**	1081.60**	1
القای خفتگی*ژنوتیپ Genotype* dormancy induction	0.00031784**	244.165*	19
خطا Error	0.00010676	135.63	117

**و* به ترتیب معنی‌داری در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشد و NS به معنای عدم اختلاف معنی‌دار است.

پتانسیل القای خفتگی متفاوت بود (شکل ۲). تأخیر در سبز شدن در ژنوتیپ‌های ساری گل، اپرا و زرفام مشهودتر از سایر ژنوتیپ‌ها بود با این حال برخی دیگر از ژنوتیپ‌ها به این دامنه بسیار نزدیک هستند. با این حال زمان شروع سبز شدن در بین ژنوتیپ‌ها پیش و پس از القای خفتگی نزدیک به هم بود (شکل ۲). برآورد پارامترهای مدل چاپمن-ریچاردز و ضریب تبیین بیانگر برازش خوب مقادیر پیش‌بینی شده در مقابل مقادیر مشاهده شده داده و مدل چاپمن به خوبی تغییرات سبز شدن را توجیه کرد (شکل ۲؛ جدول ۳). نتایج حاصل از پارامترهای مدل نشان داد ژنوتیپ‌های لیکورد، طلایه، کرج ۳ و اپرا بیشترین پتانسیل القای خفتگی را دارا هستند (شکل ۲). ژنوتیپ‌های احمدی، هایولا ۳۰۸، اچ ۵۰ و هایولا ۴۲۰ نتایج پیش و پس از القای خفتگی بسیار به هم نزدیک بود (شکل ۲).

بیشترین سرعت تا ۲۰ درصد سبز شدن (R20) پیش از القای خفتگی مربوط به ژنوتیپ اس‌ال‌ام ۰۴۶ بود کمترین سرعت هم مربوط به ژنوتیپ ساری گل بود (جدول ۴). اما پس از القای خفتگی ژنوتیپ کرج ۱ و مودنا به ترتیب بیشترین و کمترین سرعت تا ۲۰ درصد سبز شدن را داشتند. بدین ترتیب، ژنوتیپ احمدی دارای کمترین پتانسیل القای خفتگی ثانویه بود، در حالی برخی از ژنوتیپ‌ها از قبیل؛ ساری گل، طلایه، اکاپی، کرج ۳ و زرفام پس از اعمال خشکی و القای خفتگی تغییرات اندکی را نشان دادند که این موضوع حاکی از پتانسیل اندک این ژنوتیپ‌ها در القای خفتگی ناشی از خشکی است. با این حال در برخی دیگر از ژنوتیپ‌ها پتانسیل خفتگی بالا بود و درصد سبز شدن کاهش یافت (جدول ۴؛ شکل ۲). همچنین، نتایج نشان داد در اکثر ژنوتیپ‌ها زمان شروع سبز شدن در دامنه‌ای بین ۱۵ تا ۲۰ روز از کشت بسته به ژنوتیپ و

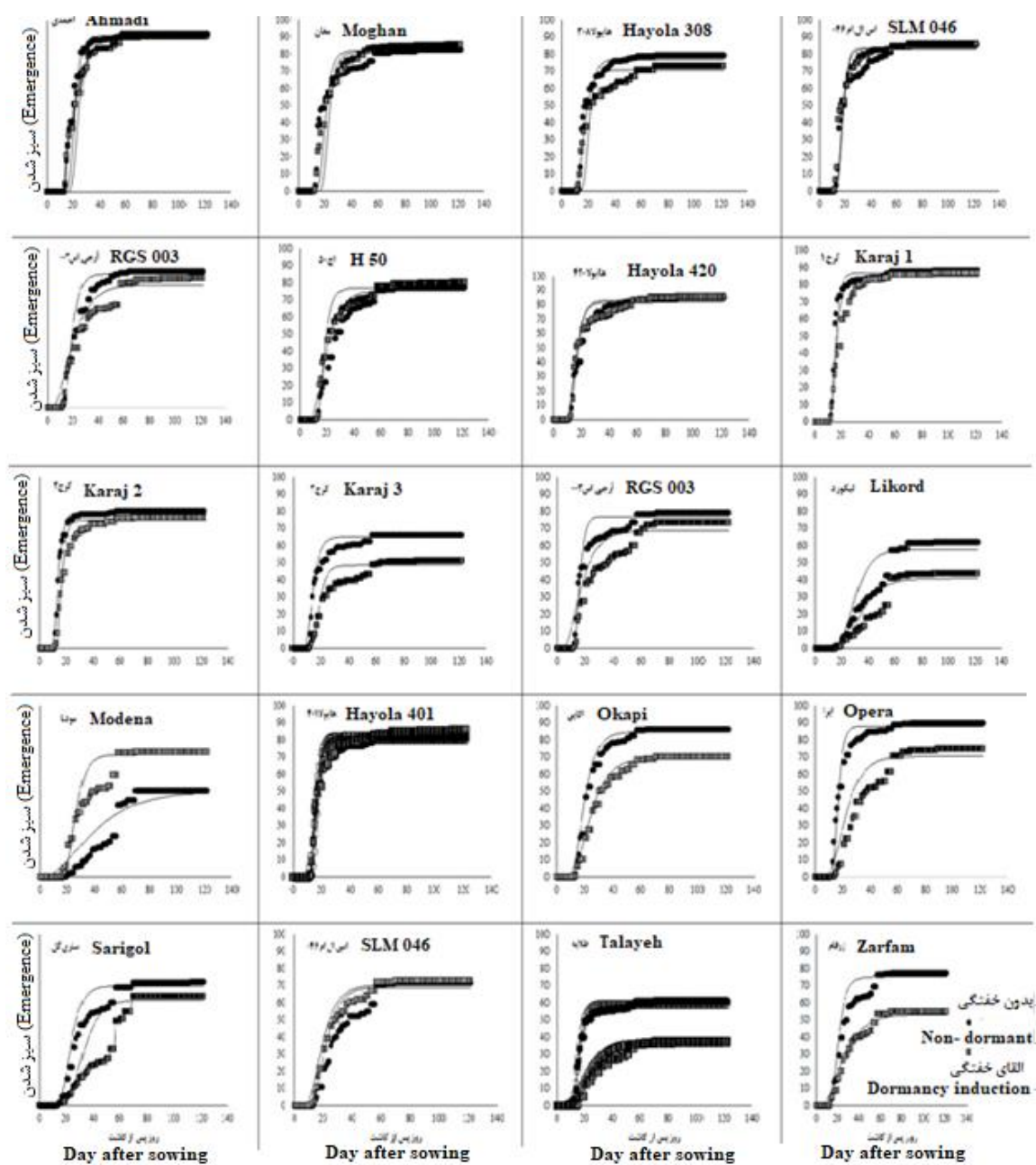
جدول ۳- مقادیر پارامترهای معادله چاپمن ریچاردز (معادله ۲) و ضریب تبیین آنها برای ۲۰ ژنوتیپ کلزا در شرایط القا و عدم القای خفتگی ثانویه.

Table 3- Values of the Chapman-Richards equation (equation 2) and coefficient of determination for 20 rapeseed genotypes under secondary dormancy induction and non-dormant condition.

ژنوتیپ Genotype	القای خفتگی ثانویه Secondary dormancy induction				عدم خفتگی Non-dormant			
	A	B	C	R ²	A	B	C	R ²
احمدی Ahmadi	89 ± 0.925	0.30±0.041	920±893.3	0.99	91.60±0	0.33±0.030	760±478.1	0.99
مغان Moghan	82.22±0.460	0.3444±0.028	170±77.32	0.96	80±0.475	0.4000±0.037	680±437.1	0.96
هایولا ۳۰۸ Hayola 308	70.77±0.571	0.2727±0.0291	79.43±39.93	0.97	77±0.990	0.34±0.062	940±1229.0	0.97
اس ال ام ۰۴۶ SLM 046	84.03±0.574	0.3646±0.037	490.7±328.4	0.90	82.97±0.693	0.3552±0.044	80.9±386.0	0.90
اچ ۵۰ H50	76.97±0.641	0.2899±0.032	143.3±84.88	0.91	75.30±0.679	0.1430±0.012	11.32±2.938	0.91
هایولا ۴۰۱ Hayola 401	77.22±0.813	0.0972±0.009	4.3684±0.850	0.97	83.97±0.634	0.2468±0.023	82.66±36.64	0.97
هایولا ۴۲۰ Hayola 420	82.35±0.575	0.2579±0.023	43.26±16.36	0.97	83.77±0.519	0.2762±0.022	75.55±29.09	0.97
مودنا Modena	71.61±0.946	0.2022±0.028	145.3±107.1	0.82	50.22±1.928	0.0409±0.007	2.89±0.732	0.82
آر جی اس ۰۰۳ RGS003	82.17±0.624	0.288±0.029	266.5±157.2	0.96	81±1.203	0.31±0.062	940±1353.5	0.96
اس ال ام ۰۴۶ SLM 046	70.59±0.595	0.1403±0.011	11.05±2.63	0.73	69.15±0.923	0.1569±0.020	22.28±10.28	0.72
ساری گل Sarigol	61.69±1.50	0.1273±0.024	45.20±36.21	0.90	69.92±0.782	0.1883±0.022	62.87±32.88	0.90
طلایه Talayah	36.64±0.422	0.1114±0.11	8.77±2.30	0.96	59.17±0.261	0.3473±0.022	193.6±71.04	0.96
کرج ۱ Karaj1	84.90±0.562	0.3098±0.029	103.9±48.45	0.98	86.98±0.425	0.4200±0.033	558.2±296.6	0.98
کرج ۲ Karaj2	74.97±0.425	0.4113±0.037	680.8±425.1	0.98	79.28±0.180	0.4070±0.015	232.5±49.94	0.98
کرج ۳ Karaj3	48.72±0.545	0.2801±0.041	143.6±111.6	0.92	65.19±0.403	0.2801±0.024	38.29±13.22	0.92
لیکورد Likord	40.83±0.804	0.0979±0.013	19.64±8.865	0.82	57.78±1.039	0.1287±0.019	32.40±18.35	0.82
اکاپی Okapi	68.96±0.352	0.1222±0.005	13.12±1.75	0.98	84.79±0.427	0.1725±0.009	21.78±4.04	0.98
اپرا Opera	70.67±1.034	0.1195±0.015	9.94±3.58	0.95	87.99±0.486	0.3987±0.034	605.4±355.4	0.95
آر جی اس ۰۰۳ RGS003	68.90±0.990	0.1186±0.017	4.88±1.543	0.89	76.90±0.632	0.4093±0.054	538.1±470.3	0.89
زرغام Zarfam	53.19±0.433	0.0779±0.004	4.55±0.566	0.87	75.29±0.723	0.2057±0.022	53.66±24.96	0.87

جدول ۴- مقایسه میانگین درصد و سرعت سبزی شدن ۲۰ ژنوتیپ کلزا در شرایط القای خفتگی و عدم القای خفتگی ثانویه
 Table 3- Means comparisons of emergence percentage and rate of 20 rapeseed genotypes under secondary dormancy induction and non-dormant condition.

ژنوتیپ Genotype	القای خفتگی ثانویه Secondary dormancy induction		عدم خفتگی Non-dormant	
	Gmax	R20	Gmax	R20
احمدی Ahmadi	92.00 ^a	0.0596 ^{b-f}	91 ^a	0.0608 ^{a-f}
مغان Moghan	82.75 ^{a-d}	0.0632 ^{a-f}	85.50 ^{a-c}	0.0636 ^{a-e}
هایولا ۳۰۸ Hayola 308	79.50 ^{a-d}	0.0676 ^{a-d}	73.25 ^{b-d}	0.0629 ^{a-e}
اس ال ام ۰۴۶ SLM 046	85.75 ^{a-c}	0.0693 ^{a-d}	86.50 ^{a-c}	0.0714 ^a
اچ ۵۰ H50	77.50 ^{a-e}	0.0523 ^{e-h}	88.50 ^{a-c}	0.0618 ^{a-e}
هایولا ۴۰۱ Hayola 401	85.25 ^{a-c}	0.0672 ^{a-d}	88.75 ^{ab}	0.0695 ^{ab}
هایولا ۴۲۰ Hayola 420	88.50 ^{ab}	0.0744 ^a	88.75 ^{a-c}	0.0667 ^{a-d}
مودنا Modena	79.25 ^{a-d}	0.0716 ^{ab}	73.75 ^{b-d}	0.0524 ^{d-i}
آر جی اس ۰۰۳ RGS003	62.00 ^{e-g}	0.0298 ^{ij}	43.75 ^{fg}	0.0186 ^l
اس ال ام ۰۴۶ SLM 046	50.50 ^g	0.0219 ^j	73.25 ^{b-d}	0.0423 ^{g-k}
ساری گل Sarigol	86.50 ^{a-c}	0.0567 ^{c-g}	70.50 ^{cd}	0.0467 ^{f-j}
طلایه Talayeh	90.00 ^a	0.0678 ^{a-d}	74.75 ^{a-d}	0.0405 ^{h-k}
کرج ۱ Karaj1	72.00 ^{c-f}	0.0446 ^{gh}	73.25 ^{b-d}	0.0525 ^{c-i}
کرج ۲ Karaj2	72.50 ^{b-f}	0.0411 ^{hi}	63.75 ^{de}	0.0279 ^{kl}
کرج ۳ Karaj3	61.00 ^{fg}	0.0659 ^{a-e}	38.00 ^g	0.0353 ^{jk}
لیکورد Likord	85.75 ^{a-c}	0.0566 ^{d-g}	81.75 ^{a-c}	0.0566 ^{b-g}
اکاپی Okapi	80.50 ^{a-d}	0.0747 ^a	76.50 ^{a-d}	0.0672 ^{ab}
اپرا Opera	66.50 ^{d-g}	0.0733 ^{ab}	51.25 ^{e-g}	0.0519 ^{e-i}
آر جی اس ۰۰۳ RGS003	81.75 ^{a-d}	0.0707 ^{a-d}	86.00 ^{a-c}	0.0699 ^b
زرغام Zarfam	77.75 ^{a-e}	0.0506 ^{f-h}	54.75 ^{e-f}	0.0390 ^{ijk}



شکل ۲- درصد سبز شدن مشاهده شده و پیش‌بینی شده در مقابل زمان پس از کاشت برای ۲۰ ژنوتیپ کلزا در شرایط القا و عدم القای خفتگی ثانویه.

Figure 2- Percentage of emergence observed and predicted versus time after sowing for 20 rapeseed genotypes under inducing and not-inducing secondary dormancy condition

در ایران دارای تنوع زیادی از صفر تا ۶۰ درصد بوده است. با این حال، Shayanfar *et al.*, (2018) القای خفتگی ثانویه در اقام کلزای کشت شده در ایران را به پنج گروه بسیار کم، کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد دسته‌بندی کردند

بحث

نتایج تحقیق Soltani *et al.* (2017) نشان داد که خفتگی ثانویه در بین این ۲۰ ژنوتیپ کلزای کشت شده

وجود دارد سبز شدن در مزرعه به تاخیر افتاده و این موضوع سبب ایجاد مشکل کلزای هرز در کشت‌های آتی شود.

بذوری که در طول کاشت به مدت چند دقیقه در معرض نور قرار بگیرند نیاز نوری آن‌ها کاهش می‌یابد. گزارش شده است واریته‌های کلزای دارای خفتگی بالا در مقایسه با واریته‌هایی با خفتگی اندک منجر به سبز شدن طولانی مدت گیاهچه‌های هرز می‌شوند اما سبز شدن گیاهچه‌های یکساله در واریته‌های دارای خفتگی بالا کمتر است (Huang *et al.*, 2016). این موضوع به خوبی شناخته شده است که خفتگی بذر می‌تواند زمان جوانه‌زنی را بواسطه افزایش زمان مورد نیاز برای شکست خفتگی پیش از جوانه‌زنی افزایش دهد (Benech-Arnold *et al.*, 1990; Chen *et al.*, 2013; Vleeshouwers, 1998). مطالعه حاضر نشان داد زمان تا ۵۰ درصد سبز شدن گیاهچه در بین ژنوتیپ‌ها متفاوت بوده و دامنه‌ای از ۱۵ تا ۲۰ روز داشته است. با این حال بذور قرار گرفته در لایه‌های بالایی خاک در حدود چند روز رفع خفتگی می‌شوند و تناوب دمایی تحت شرایط مزرعه نیز موجب رفع خفتگی ثانویه خواهد شد.

رابطه بین درصد سبز شدن با زمان پس از کاشت به خوبی توسط تابع چاپمن-ریچاردز توجیه شد. این تابع پیشتر جهت مدل‌سازی الگوی سبز شدن گیاهچه‌های گندم تحت شرایط تنش (Soltani *et al.*, 2013) و پیش‌بینی الگوهای سبز شدن (*Dactylis glomerata* L.) تحت رژیم‌های دمایی متناوب (Qiu *et al.*, 2006) به خوبی به کار گرفته شده است. با این حال، مدل‌های زیادی جهت توصیف روابط دمایی و رطوبتی با جوانه‌زنی و سبز شدن گیاهچه وجود دارد که این توابع توسط بسیاری از محققین مورد استفاده قرار گرفته است (Alvarado and Bradford, 2005; Soltani *et al.*, 2006).

با این حال پیش از القای خفتگی سرعت سبز شدن در تمامی ژنوتیپ‌ها بیش از زمانی بود که خفتگی به ژنوتیپ‌ها القا شد. از این رو پیش از القای خفتگی ژنوتیپ‌های آر جی اس ۰۰۳، کرج ۱ و مغان بیشترین سرعت سبز شدن و

که در این تقسیم‌بندی پنج لاین در گروه بسیار کم و دو لاین در گروه بسیار زیاد و بقیه لاین‌ها در گروه متوسط و کم قرار گرفتند. همچنین این محققین اظهار داشتند پنج رقم RGS003، زرفام، هایولا ۴۰۱، هایولا ۳۰۸ و هایولا ۵۰ از سطح خفتگی ثانویه متوسط (۴۰-۶۰ درصد) برخوردار بوده‌اند. این تنوع پیش از این در ژنوتیپ‌های اروپایی، کانادایی و چینی نیز مشاهده شده بود (Momoh *et al.*, 2002; Gruber *et al.*, 2004, 2009; Gulden *et al.*, 2004a; Weber *et al.*, 2010). و این موضوع فرضیه ما در این باره که القای خفتگی ثانویه در بین ژنوتیپ‌های کلزا متفاوت است را تایید می‌کند. علاوه بر این القای خفتگی ثانویه تاثیر زیادی بر سبز شدن گیاهچه تحت شرایط مزرعه داشت. از این رو Soltani *et al.* (2017) گزارش کردند درصد جوانه‌زنی بذور کلزا هنگامی که تحت شرایط خشکی (۰،۸- بار) حدود ۵۰ درصد بود این درحالی بود که همین بذور در پتانسیل صفر بیش از ۹۰ درصد جوانه‌زنی کردند. با این حال، این موضوع که تنش خشکی موجب القای خفتگی ثانویه در بذور برخی از گونه‌ها می‌شود پیشتر در کلزا (Momoh *et al.*, 2002)، آراییدوبسیس (Auge *et al.*, 2015)، خردل وحشی (Soltani *et al.*, 2016) و علف بام (Hawkins *et al.*, 2017) گزارش شده است. خفتگی ثانویه تحت شرایط خشکی و در ترکیب با تاریکی به بذور فاقد خفتگی القاء می‌شود که مطالعه حاضر، القای خفتگی به بذور بسته به شرایط دمایی و پتانسیل آب متفاوت بود.

خفتگی ثانویه موجب به تأخیر افتادن سبز شدن گیاهچه‌ها در مزرعه شد، ولی القای خفتگی ثانویه تأثیر اندکی بر درصد سبز شدن داشت و درصد سبز شدن نهایی در اغلب ژنوتیپ‌ها نزدیک به هم بود (شکل ۱). بدین ترتیب خفتگی ثانویه تأثیر زیادی بر سرعت سبز شدن در شرایط مزرعه داشته است. در نتیجه اگر هدف کاشت گیاه زراعی کلزا باشد و پس از کاشت گیاه تحت تاثیر تنش خشکی قرار گیرند، به دنبال القای خفتگی ثانویه در بذور این امکان

ژنوتیپ‌ها بوده و طبق نتایج این سه ژنوتیپ جزء ژنوتیپ‌ها پرخطر در رابطه با پتانسیل ایجاد کلزای هرز دسته‌بندی می‌شوند. از این رو، در بین ژنوتیپ‌ها سه ژنوتیپ احمدی، هایولا ۴۰۱ و کرج ۱ کمترین پتانسیل القای خفتگی برخوردار بودند و از این رو از این ژنوتیپ‌ها جهت کاهش حضور کلزای هرز در مزارع می‌توان بهره برد.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد القای خفتگی ثانویه علاوه بر متفاوت بودن در بین ژنوتیپ‌ها تأثیر زیادی بر روی درصد و سرعت سبز شدن نداشت. با این حال سه ژنوتیپ طلایه، کرج ۳ و لیکورد کمترین درصد جوانه‌زنی و در نتیجه بیشترین القای خفتگی ثانویه را نشان دادند. اگرچه ارقام دارای تیپ رشدی و نیز میزان عملکرد متفاوتی تحت شرایط مختلف ایران دارا هستند. با این حال، ژنوتیپ‌های ذکر شده نسبت به سایر ژنوتیپ‌های بررسی شده در این پژوهش پتانسیل بیشتری جهت ایجاد کلزای هرز در مزرعه دارند در نتیجه کشت این ژنوتیپ‌ها در زمین‌های بطور سالانه زیر کشت کلزا قرار گرفته و به طور معمول نیز از ارقام یاد شده استفاده می‌کنند به این دلیل که دارای پتانسیل بیشتری جهت ایجاد کلزای هرز در مزرعه هستند توصیه نمی‌شود. در مقابل، ژنوتیپ‌ها هایولا ۴۰۱ و کرج ۱ کمترین پتانسیل خفتگی را نشان دادند. بنابراین کشت این دو ژنوتیپ در زمین‌های مستعد ایجاد کلزای هرز البته با توجه به تیپ رشدی و نیز میزان عملکرد می‌تواند مانع از تشکیل بانک بذر و به دنبال آن کلزای هرز در مزارع شود.

ژنوتیپ‌ها طلایه و لیکورد کمترین سرعت سبز شدن را دارا بودند. با این حال، بنابر گزارش (Soltani *et al.*, 2017) کاهش درصد جوانه‌زنی ژنوتیپ مودنا به دلیل از دست رفتن قابلیت حیات بذرها بوده است. پس از القای خفتگی کمترین سرعت سبز شدن مربوط به ژنوتیپ‌های هایولا ۴۰۱، لیکورد، طلایه و زرفام بود در حالی که دو ژنوتیپ زرفام و هایولا ۴۰۱ نسبت به برخی دیگر از ژنوتیپ‌های (طلایه و لیکورد) درصد سبز شدن بیشتری را نشان دادند. این موضوع حاکی از آن است که تأثیر القای خفتگی ثانویه بین ژنوتیپ‌ها دارای اختلاف بوده و هر ژنوتیپ واکنش متفاوتی به القای خفتگی نشان می‌دهد. با توجه به نتایج بدست آمده دو ژنوتیپ لیکورد و طلایه دارای پتانسیل القای خفتگی بالاتری بوده و با توجه نقش خفتگی ثانویه در پایداری بذر در بانک بذر (Lutman *et al.*, 2003) قابلیت بیشتری در تشکیل بانک بذر و ایجاد کلزای هرز در مزارع دارند. این ژنوتیپ‌ها با توجه به پتانسیل القای خفتگی که دارا می‌باشند پس از قرارگیری در شرایطی از قبیل خشکی، تاریکی و کمبود اکسیژن (Pekrun *et al.*, 1998; Gulden *et al.*, 2003) که موجب القای خفتگی می‌شوند بیشتر از سایر ژنوتیپ‌ها وارد خفتگی می‌شوند.

با این حال، در اکثر ژنوتیپ‌ها القای خفتگی ثانویه تأثیر زیادی بر روند سبز شدن بذر داشته است. نتایج نشان داد سه ژنوتیپ طلایه، کرج ۳ و لیکورد کمترین درصد سبز شدن را دارا بودند در حالی که ژنوتیپ احمدی و پس از آن ژنوتیپ‌های هایولا ۴۰۱ و کرج ۱ بیشترین درصد سبز شدن را نشان دادند. در نتیجه ژنوتیپ‌های طلایه، کرج ۳ و لیکورد دارای پتانسیل القای خفتگی بیشتری نسبت به سایر

Reference

- Alvarado, V, and K.J. Bradford. 2005. Hydrothermal time analysis of seed dormancy in true (botanical) potato seeds. *Seed Sci. Res.* 15(2): 77-88.
- Auge, G.A., L.K. Blair, L.T. Burghardt, J. Coughlan, B. Edwards, L.D. Leverett, and K. Donohue. 2015. Secondary dormancy dynamics depends on primary dormancy status in *Arabidopsis thaliana*. *Seed Sci. Res.* 25(2): 230-246.

منابع

- Batlla, D., and R.L. Benech-Arnold. 2007.** Predicting changes in dormancy level in weed seed soil banks: implications for weed management. *Crop Prot.* 26(3): 189-197.
- Bradford, K.J. 2002.** Applications of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. *Weed Sci.* 50(2): 248-260.
- Bradford, K.J. 1990.** A water relations analysis of seed germination rates. *Plant Physiol.* 94(2):840-849.
- Benech, R.A., C.M. Ghersa, R.A. Sanchez, and P. Insausti. 1990.** A mathematical model to predict *Sorghum halepense* (L.) Pers. seedling emergence in relation to soil temperature. *Weed Res.* 30(2): 91-99.
- Chen, S.Y., C.C. Baskin, J.M. Baskin, and C.T. Chien. 2013.** Underdeveloped embryos and kinds of dormancy in seeds of two gymnosperms: *Podocarpus costalis* and *Nageia nagi* (*Podocarpaceae*). *Seed Sci. Res.* 23(1): 75-81.
- Del Monte, J. P, and A. M. Tarquis. 1997.** The role of temperature in the seed germination of two species of the *Solanum nigrum* complex. *J. Exp. Bot.* 48(12): 2087-2093.
- Forcella, F., R.L.B. Arnold, R. Sanchez, and C.M. Ghersa, 2000.** Modeling seedling emergence. *Field Crop Res.* 67(2):123-139.
- Forcella, F. 1998.** Real-time assessment of seed dormancy and seedling growth for weed management. *Seed Sci Res.* 8(2): 201-210.
- Finch-Savage, W. E, and K. Phelps. 1993.** Onion (*Allium cepa* L.) seedling emergence patterns can be explained by the influence of soil temperature and water potential on seed germination. *J. Exp. Bot.* 44(2): 407-414.
- Gulden, R.H., S.J. Shirliffe, and A.G. Thomas. 2003.** Harvest losses of canola (*Brassica napus*) cause large seedbank inputs. *Weed Sci.* 51(1): 83-86.
- Gruber, S., A. Bühler, J. Möhring, and W. Claupein. 2010.** Sleepers in the soil—vertical distribution by tillage and long-term survival of oilseed rape seeds compared with plastic pellets. *Eur. J. Agron.* 33(2): 81-88.
- Gruber, S, and W. Claupein. 2008.** Emergence and establishment of volunteer oilseed rape in spring and winter crops. *J. Plant Dis. Prot.* 21(1) 193-198.
- Gruber, S., C. Pekrun, and W. Claupein. 2004.** Seed persistence of oilseed rape (*Brassica napus*): variation in transgenic and conventionally bred cultivars. *J. Agric. Sci.* 142(1): 29-40.
- Gulden, R.H., A.G. Thomas, and S.J. Shirliffe. 2004a.** Relative contribution of genotype, seed size and environment to secondary seed dormancy potential in Canadian spring oilseed rape (*Brassica napus*). *Weed Res.* 44: 97-106.
- Gulden, R.H., A.G. Thomas, and S.J. Shirliffe. 2004b.** Secondary dormancy, temperature, and burial depth regulate seedbank dynamics in canola. *Weed Sci.* 52(3): 382-388.
- Gruber, S., K. Emrich, and W. Claupein. 2009.** Classification of canola (*Brassica napus*) winter cultivars by secondary dormancy. *Can. J. Plant Sci.* 89(4): 613-619.
- Gonzalez-Andujar, J.L., G.R. Chantre, C., Morvillo, A.M. Blanco, and F. Forcella. 2016.** Predicting field weed emergence with empirical models and soft computing techniques. *Weed Res.* 56(6): 415-423.
- Gummerson, R.J. 1986.** The effect of constant temperatures and osmotic potentials on the germination of sugar beet. *J. Exp. Bot.* 37(6): 729-741.
- Grundy, A. C., K. Phelps, R. J., Reader, and S. Burston. 2000.** Modelling the germination of *Stellaria media* using the concept of hydrothermal time. *New Phytol.* 148(3): 433-444.
- Huang, S., S. Gruber, F. Stockmann, and W. Claupein. 2016.** Dynamics of dormancy during seed development of oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Seed Sci. Res.* 26(3): 245-253.
- Hardegree, S.P. 2006.** Predicting germination response to temperature. I. Cardinal-temperature models and subpopulation-specific regression. *Ann. Bot.* 97(6): 1115-1125.
- Hawkins, K.K., P.S. Allen, and S.E. Meyer. 2017.** Secondary dormancy induction and release in *Bromus tectorum* seeds: the role of temperature, water potential and hydrothermal time. *Seed Sci. Res.* 27(1): 12-25.
- Légère, A., M.J. Simard, A.G. Thomas, and D. Pageau. 2001.** Presence and persistence of volunteer canola in Canadian cropping systems. In Brighton Crop Protection Conference Weeds. 1: 143-148.
- Lawson, A.N., R.C. Van Acker, and L.F. Friesen. 2006.** Emergence timing of volunteer canola in spring wheat fields in Manitoba. *Weed Sci.* 54(5): 873-882.

- Lutman, P.J.W., S.E. Freeman, and C. Pekrun. 2003.** The long-term persistence of seeds of oilseed rape (*Brassica napus*) in arable fields. *J. Agric. Sci.* 141(2): 231-240.
- Momoh, E.J.J., W.J. Zhou, and B. Kristiansson. 2002.** Variation in the development of secondary dormancy in oilseed rape genotypes under conditions of stress. *Weed Res.* 42(6): 446-455.
- Murdoch, A. J., E. H. Roberts, and C. O. Goedert. 1989.** A model for germination responses to alternating temperatures. *Ann. Bot.* 63(1): 97-111.
- Maleki, K., Soltani, E., Alahdadi, I., & Ghorbani Javid, M. 2020.** Evaluation of Primary Conditional Dormancy in Seeds of Oilseed Rape (*Brassica napus*) Produced in Golestan and Mazandaran Provinces. *Iran. J. Seed Res* 6(2): 31-43.
- Pekrun, C., J.D.J. Hewitt, and P.J.W. Lutman. 1998.** Cultural control of volunteer oilseed rape (*Brassica napus*). *J. Agric. Sci.* 130: 155-163.
- Pritchard, H. W., P. B. Tompsett, and K. R. Manger. 1996.** Development of a thermal time model for the quantification of dormancy loss in *Aesculus hippocastanum* seeds. *Seed Sci. Res.* 6(3): 127-135.
- Pritchard, H. W., K. J. Steadman, J. V. Nash, and C. Jones. 1999.** Kinetics of dormancy release and the high temperature germination response in *Aesculus hippocastanum* seeds. *J. Exp. Bot.* 50(338): 1507-1514.
- Qiu, J., Y. Bai, B. Coulman, and J.T. Romo. 2006.** Using thermal time models to predict seedling emergence of orchardgrass (*Dactylis glomerata* L.) under alternating temperature regimes. *Seed Sci. Res.* 16(4): 261-271.
- Roberts, E. H., and S. Totterdell. 1981.** Seed dormancy in *Rumex* species in response to environmental factors. *Plant Cell Environ.* 4(2): 97-106.
- Sauermann, W. 1993.** Einflüsse auf den Glucosinolatgehalt—Ergebnisse 2-jähriger Untersuchungen aus den Land essortenversuchen. *Raps.* 11: 82-86.
- Simard, M. J., A. Légère, D. Pageau, J. Lajeunesse, and S. Warwick. 2002.** The frequency and persistence of volunteer Canola (*Brassica napus*) in Québec cropping systems. *Weed Technol.* 16: 433-439.
- Soltani, E., A. Soltani, S. Galeshi, F. Ghaderi-Far, and E. Zeinali. 2013.** Seed bank modelling of volunteer oil seed rape: from seeds fate in the soil to seedling emergence. *Planta Daninha.* 31(2): 267-279.
- Schlink, S., 1994.** Ecology of germination and dormancy in oilseed rape (*Brassica napus* L.) and their importance for the survival of the seeds in soil. PhD dissertation, University of Gottingen, Germany.
- Soltani, A., M.J. Robertson, B. Torabi, M. Yousefi-Daz, and R. Sarparast. 2006.** Modelling seedling emergence in chickpea as influenced by temperature and sowing depth. *Agric. Forest Meteorol.* 138(1-4): 156-167.
- Soltani, E., S. Galeshi, B. Kamkar, and F. Akramghaderi. 2008.** Modeling seed aging effects on response of germination to temperature in wheat. *Seed Sci. Biotechnol.* 2(1): 32-36.
- Soltani, E., S. Gruber, M. Oveisi, N. Salehi, I. Alahdadi, and M.G. Javid. 2017.** Water stress, temperature regimes and light control induction, and loss of secondary dormancy in *Brassica napus* L. seeds. *Seed Sci. Res.* 27(3): 217-230.
- Soltani, E., C.C. Baskin, J.M. Baskin, A. Soltani, S. Galeshi, F. Ghaderi-far, and E. Zeinali. 2016.** A quantitative analysis of seed dormancy and germination in the winter annual weed *Sinapis arvensis* (Brassicaceae). *Botany.* 94(4): 289-300.
- Soltani, E., A. Soltani, and M. Oveisi. 2013.** Modeling seed aging effect on wheat seedling emergence in drought stress: Optimizing germin program to predict emergence pattern. *J. Crop Improv.* 15(2): 147-160. (In Persian, with English Abstract)
- Shayanfar, A., F. Ghaderifar, R. Behmaram, A. Soltani, and H.R. Sadeghipour. 2018.** Assessment of germination and secondary dormancy behaviours of lines and cultivars of canola. *J. Crop. Improv.* 19(4): 881-892. (In Persian, with English Abstract)
- Weber, E.A., K. Frick, S. Gruber, and W. Claupein. 2010.** Research and development towards a laboratory method for testing the genotypic predisposition of oilseed rape (*Brassica napus* L.) to secondary dormancy. *Seed Sci. Technol.* 38(2): 298-310.
- Wang, R., Y. Bai, and K. Tanino. 2004.** Effect of seed size and sub-zero imbibition-temperature on the thermal time model of winterfat (*Eurotia lanata* (Pursh) Moq.). *J. Exp. Bot.* 51(3): 183-197.