

ارزیابی صفات و شاخص‌های جوانه‌زنی مؤثر بر تحمل به خشکی لاین‌های جدید کلزا

مریم حاجی‌بابائی^۱، مرتضی گلدانی^{۲*}، امیرحسین شیرانی‌راد^۳ و احمد نظامی^۴

- (۱) دانشجوی دکتری گروه زراعت، دانشگاه فردوسی مشهد، پردیس بین‌الملل، مشهد، ایران.
- (۲) دانشیار گروه زراعت، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
- (۳) استاد مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج، کرج، ایران.
- (۴) استاد گروه زراعت، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

این مقاله برگرفته از رساله دکتری می‌باشد.

* نویسنده مسئول: Goldani@um.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۹/۰۳

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۶/۱۵

چکیده

کلزا از دانه‌های روغنی با ارزش بوده و انتخاب ارقام متحمل به تنش‌های محیطی جهت توسعه کشت در شرایط خشک و نیمه‌خشک مهم است. لاین‌های جدید کلزا، واکنش متفاوتی به شدت‌های مختلف سطوح مختلف پتانسیل اسمزی نشان می‌دهند بدین منظور این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در سال ۱۳۹۲ اجرا گردید. عامل رقم در نه سطح شامل Karaj3، KS12، Karaj1، KR18، KS7، KR4، Karaj2، HW113 و HW101 و عامل تنش اسمزی در سه سطح صفر، ۳- و ۶- بار بود. نتایج نشان داد که سطوح پتانسیل اسمزی ۳- و ۶- بار به ترتیب سبب کاهش معنی‌دار ۵ و ۵۱ درصدی در جوانه‌زنی، ۵۹ و ۹۳ درصدی طول ریشه‌چه، ۶۶ و ۹۷ درصدی طول ساقه‌چه، ۶۰ و ۸۰ درصدی وزن خشک ریشه‌چه، ۵۰ و ۱۹ درصدی وزن خشک ساقه‌چه، ۵۵ و ۸۹ درصدی وزن خشک گیاهچه، ۵۴ و ۸۵ درصدی بنیه بذر، ۵ و ۱۱ درصدی ضریب سرعت جوانه‌زنی، ۵ و ۵۱ درصدی درصد جوانه‌زنی نهایی، ۵ و ۵۱ درصدی متوسط جوانه‌زنی روزانه، ۶۳ و ۹۶ درصدی شاخص بنیه گیاهچه، در مقایسه با شاهد گردید. با توجه به مقایسه میانگین برهمکنش سطوح مختلف خشکی و لاین بیش‌ترین شاخص بنیه گیاهچه در شرایط تنش اسمزی ۳- و ۶- بار به ترتیب در لاین‌های Kr18 و HW101 مشاهده شد. مقایسه میانگین برهمکنش سطوح مختلف خشکی و لاین نشان داد سطح خشکی ۶- بار و لاین HW101 بیش‌ترین طول ریشه‌چه، وزن خشک ریشه‌چه و بنیه بذر و شاخص بنیه گیاهچه را دارا بود. بنابراین لاین HW101 به‌عنوان لاین متحمل به خشکی شناسایی شد. در این آزمایش رشد طولی ساقه‌چه در مقایسه با رشد طولی ریشه‌چه بیش‌تر تحت اثر سطوح مختلف تنش خشکی قرار گرفت لذا می‌تواند ویژگی مناسبی برای ارزیابی تحمل به تنش خشکی باشد. مناسب‌ترین شاخص در شرایط سطوح مختلف تنش اسمزی و لاین، شاخص بنیه گیاهچه بود.

واژه‌های کلیدی: پتانسیل اسمزی، آزمون جوانه‌زنی و پلی‌اتیلن‌گلیکول.

مقدمه

تغییرات فنولوژی مهم‌ترین موارد سازگاری گیاهان نسبت به انواع محیط‌های زیستی به شمار می‌آیند. فاکتورهای محیطی نظیر شرایط آبی، دما و طول روز از عوامل مؤثر بر فنولوژی گیاه به شمار می‌روند (Donatelli *et al.*, 1992; Mayers *et al.*, 1991; Cregan and Hartwig, 1984). جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه حساسیت زیادی به تنش خشکی دارد لذا از نظر تعداد گیاه سبز شده در واحد سطح در نواحی خشک و نیمه‌خشک اهمیت زیادی دارد (Sangtarash *et al.*, 2009; Omidi *et al.*, 2009; Moradshahi *et al.*, 2004; Pessaraki, 1994). یکی از مشکلات مهم برای تولید و عملکرد بالای کلزا نیز استقرار نامناسب گیاهچه‌های کلزا و سطح سبز نامناسب است که به سبب شرایط نامطلوب رطوبتی خاک حاصل می‌گردد (Mwale *et al.*, 2003). تنش خشکی و کمبود رطوبت خاک یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد و تولید گیاه کلزا در ایران محسوب می‌شود، لذا شناسایی ارقامی از کلزا که در مرحله‌ی جوانه‌زنی متحمل به خشکی می‌باشند از نظر تولیدات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک اهمیت زیادی دارد (Moradshahi *et al.*, 2004). همچنین به دلیل بذور ریز و وزن هزار دانه کم کلزا و اینکه نیاز به بستر بذر مناسب جهت جذب آب و جوانه‌زنی دارد گزینش ارقام متحمل از این حیث می‌تواند بسیار حائز اهمیت باشد (Shekari *et al.*, 2000). میزان و درصد جوانه‌زنی با کاهش پتانسیل آب خارجی کاهش می‌یابد و برای هر گونه‌ای، میزانی از پتانسیل آب وجود دارد که پایین‌تر از آن جوانه‌زنی صورت نمی‌گیرد. گزارش‌های متعدد حاکی از آن است که ژنوتیپ‌هایی که بتوانند در مرحله جوانه‌زنی واکنش مناسبی به تنش خشکی نشان دهند، در مرحله گیاهچه‌ای رشد بهتری داشته و سیستم ریشه‌ای قویتری تولید می‌کنند (Seefeldt *et al.*, 2002). بررسی اثر تنش خشکی بر جوانه‌زنی بذرهای کلزا نشان داده است که با افزایش سطوح تنش خشکی درصد جوانه‌زنی کاهش یافت (مظاهری‌تیرانی و منوچهری‌کلانتری، ۱۳۸۵). در آزمایشی مشخص شد که اعمال تنش کم‌آبی بر اساس پتانسیل اسمزی (با استفاده از پلی‌اتیلن‌گلیکول) سبب کاهش معنی‌دار درصد جوانه‌زنی، میزان رشد گیاهچه، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه ارقام کلزا گردید و ارقام متحمل به کم‌آبی از بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی در تیمارهای تنش خشکی برخوردار بودند (Jamaati-e-Somarin *et al.*, 2010). نتایج بررسی‌های عنصلیبی و همکاران (۱۳۸۴) بر کاهش درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و ضریب سرعت جوانه‌زنی و افزایش تعداد روز تا جوانه‌زنی گیاهچه‌های ارقام مختلف کلزا در شرایط تنش خشکی تأکید داشته است. همچنین در ارزیابی واکنش ۱۶ ژنوتیپ کلزا به تنش خشکی در مرحله جوانه‌زنی گزارش شد که طول ساقه‌چه حساس‌ترین صفت به تنش کم‌آبی می‌باشد (چغاکبودی و همکاران، ۱۳۹۱). در سال‌های اخیر در اکثر نقاط کشور عدم بارندگی تا نیمه آبان‌ماه یکی از مشکلات عمده در جوانه‌زنی و استقرار مطلوب گیاهچه کلزا به حساب آمده و تنش خشکی اوایل فصل (برای گیاهان پاییزه) نیز شایع شده است. با توجه

به اینکه تاریخ کشت مناسب کلزا برای مناطق معتدل سرد کشور (مانند استان البرز) اواسط مهرماه می‌باشد و در منطقه ذکر شده به همراه اکثر نیمه‌شمالی کشور در مهرماه و اوایل آبان‌ماه بارندگی مؤثری رخ نمی‌دهد گزینش و یافتن ارقام کلزایی که بتوانند با کم‌ترین میزان رطوبت ممکن از جوانه‌زنی و استقرار مناسبی برخوردار باشند حائز اهمیت می‌باشد. بدین منظور تحقیق حاضر با هدف ارزیابی صفات و شاخص‌های جوانه‌زنی مؤثر بر تحمل به خشکی لاین‌های جدید کلزا انجام گردید.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی ویژگی‌های جوانه‌زنی لاین‌های کلزا تحت شرایط تنش خشکی، این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی با چهار تکرار در سال ۱۳۹۲ اجرا گردید. این پژوهش شامل عامل لاین در نه سطح شامل لاین‌های HW101, HW113, Karaj2, KR4, KS7, KR18, Karaj1, KS12, Karaj3 و عامل تنش اسمزی در ۳ سطح (صفر، ۳- و ۶- بار) با استفاده از محلول پلی‌اتیلن‌گلیکول ۶۰۰۰ بر اساس دما مورد بررسی قرار گرفتند. در این آزمایش، برای هر واحد آزمایشی (پتری‌دیش)، ۲۵ عدد بذر یکنواخت انتخاب گردیده و ضد عفونی شد. ابتدا بذرها جهت ضد عفونی در الکل ۹۹ درصد به مدت ۱۰ ثانیه و بعد از آن در محلول هیپوکلریت سدیم ۱۰ درصد به مدت یک دقیقه و بالاخره در محلول بنومیل دو در هزار به مدت یک دقیقه قرار داده شد و در نهایت با آب مقطر شستشو گردید بعد از انجام عمل ضد عفونی بذرها در داخل پتری‌دیش‌هایی به قطر ۹ سانتی‌متر حاوی دو عدد کاغذ و اتمن شماره یک گذاشته شد و هر پتری به عنوان یک تکرار از تیمارهای مورد آزمایش در نظر گرفته شد. در هر یک از پتری‌ها به میزان ۵ سی‌سی از محلول دارای پتانسیل اسمزی مورد آزمایش اضافه شد، به طوری که بذرها در محلول غوطه‌ور نبوده و سپس پتری‌دیش‌ها در ژرمیناتور به مدت هفت روز با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۷۰ درصد قرار داده شد (مظاهری‌تیرانی و منوچهری کلانتری، ۱۳۸۵). جهت ارزیابی اثر تیمارهای آزمایشی، روزانه (هر ۲۴ ساعت) تعداد بذره‌های جوانه زده به صورت جمعی شمارش شد. خروج ریشه‌چه دو میلی‌متری از پوست بذر به عنوان زمان جوانه‌زنی در نظر گرفته شد (Shakirova and Sahabutdinova, 2003). در پایان آزمایش طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه‌ها با خط‌کش اندازه‌گیری گردید. جهت اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌ها را در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد. بنیه بذر از مجموع طول ریشه‌چه و طول ساقه‌چه ضرب در درصد جوانه‌زنی محاسبه شد. با توجه به رابطه‌های ذیل سایر صفات اندازه‌گیری و محاسبه شدند.

$$GP = \frac{N'}{N} \times 100$$

رابطه ۱:

GP: درصد جوانه‌زنی، N' : تعداد بذرهای جوانه‌زده در طی هفت روز و N : تعداد کل بذرها بود (Shakirova and Sahabutdinova, 2003).

$$\text{CVG} = \frac{1}{\text{MTG}} \quad \text{رابطه ۲:}$$

CVG: ضریب سرعت جوانه‌زنی شاخص مشخصه سرعت و شتاب جوانه‌زنی بذرها می‌باشد (Scott et al., 1984).

$$\text{MDG} = \frac{\text{درصد جوانه‌زنی}}{\text{طول دوره آزمایش}} \quad \text{رابطه ۳:}$$

MDG: متوسط جوانه‌زنی روزانه شاخصی از سرعت جوانه‌زنی روزانه می‌باشد (Hunter et al., 1984).

$$\text{DGS} = \frac{1}{\text{MDG}} \quad \text{رابطه ۴:}$$

DGS: سرعت جوانه‌زنی روزانه: شاخص بیان‌کننده مدت زمان لازم برای جوانه‌زنی تک بذر است و هرچه کم‌تر باشد سرعت جوانه‌زنی بالاتر می‌باشد. این شاخص عکس متوسط جوانه‌زنی روزانه می‌باشد (Maguire, 1962).

$$\text{MTG} = \frac{\sum (n_i d_i)}{\sum n_i} \quad \text{رابطه ۵:}$$

MTG: متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی شاخصی از سرعت و شتاب جوانه‌زنی محسوب می‌شود (Ellis and Roberts, 1980). در این رابطه، d_i : روز پس از کاشت، n_i : تعداد بذر جوانه زده در روز d_i و $\sum n_i$: کل تعداد بذور جوانه زده می‌باشد.

$$\text{SVI} = \text{درصد سبز شدن نهایی} \times (\text{میانگین طول ریشه} + \text{میانگین طول ساقچه‌چه}) \quad \text{رابطه ۶:}$$

SVI: شاخص بنیه گیاهچه می‌باشد که بیان‌کننده میزان جوانه‌زنی بذور و کیفیت گیاهچه‌های تولیدی به صورت هم‌زمان است (Abdul-Baki and Anderson, 1973).

داده‌های به‌دست آمده توسط نرم‌افزار آماری SAS ارزیابی و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد محاسبه شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که در بین سطوح مختلف پتانسیل اسمزی اعمال شده اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد برای تمام صفات درصد جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول ساقچه‌چه، وزن خشک ریشه‌چه، وزن خشک ساقچه‌چه، وزن خشک گیاهچه و بنیه بذر وجود داشت. برهمکنش تنش اسمزی و رقم اختلاف معنی‌داری برای تمام صفات به‌جز درصد جوانه‌زنی و وزن خشک گیاهچه وجود داشت (جدول ۱).

جدول ۱: تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		درصد جوانه‌زنی	طول ریشه‌چه	طول ساقه‌چه	وزن خشک ریشه‌چه	وزن خشک گیاهچه	وزن خشک ساقه‌چه
تنش خشکی	۲	۲۷۶۵۱/۸۰۰**	۴۶۹/۳۰۷**	۳۰/۷۳۹**	۱/۴۵۴**	۰/۰۰۰۰۵**	۵/۱۸۳**
لاین	۸	۷۶۸/۴۰۰*	۹/۴۹۲**	۰/۹۳۶ ^{NS}	۶/۹۱۱**	۰/۰۰۰۰۲*	۳/۸۳۵*
تنش خشکی × لاین	۱۶	۴۰۱/۲۰ ^{NS}	۹/۲۳۳**	۱/۱۹۵*	۶/۵۱۳**	۰/۰۰۰۰۱ ^{NS}	۵/۰۳۶**
خطا	۷۹	۳۶۴/۳۵۴	۳/۰۳۰	۰/۵۲۵	۱/۷۲۵	۰/۰۰۰۰۱	۱/۵۳۰
ضریب تغییرات	-	۱۰/۳۲۲	۹/۱۳۷	۸/۵۸۱	۹/۵۲۸	۸/۳۴۷	۱۰/۶۴۲

NS، * و **: به ترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.

ادامه جدول ۱: تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		ضریب سرعت جوانه‌زنی	درصد جوانه‌زنی نهایی	متوسط جوانه‌زنی روزانه	سرعت جوانه‌زنی روزانه	متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی
تنش خشکی	۲	۰/۰۰۶**	۱۸۰/۱۳۶۱**	۵۸۷/۰۶۸**	۰/۵۰۸**	۲۳۲۷۳۲۹۶/۴ ^{NS}
لاین	۸	۰/۰۰۰۳*	۴۷/۱۰۴*	۱۵/۶۹۰*	۰/۰۶۴*	۲۳۲۵۹۴۴۰ ^{NS}
تنش خشکی × لاین	۱۶	۰/۰۰۰۱ ^{NS}	۲۴/۴۰۳ ^{NS}	۷/۹۹۳ ^{NS}	۰/۰۴۶ ^{NS}	۲۳۲۶۰۰۲۵ ^{NS}
خطا	۷۹	۰/۰۰۰۱	۲۲/۰۷۴	۷/۳۱۹	۰/۰۳۱	۳۳۲۵۹۷۲۲
ضریب تغییرات	-	۵/۳۴۴	۱۰/۱۷۸	۱۲/۵۳۰	۹/۷۳۴	۸/۵۸۳

NS، * و **: به ترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.

نتایج مقایسه میانگین اثر تنش اسمزی نشان داد که با افزایش فشار اسمزی کاهش معنی‌داری در تمامی صفات به جز سرعت جوانه‌زنی روزانه و متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی مشاهده شد (جدول ۲). زیرا با منفی‌تر شدن پتانسیل اسمزی آب کم‌تری در اختیار بذر قرار گرفته در نتیجه فعالیت‌های آنزیمی و هضمی طی فرآیند جوانه‌زنی کاهش یافته و مواد جدید کم‌تری در اختیار جنین در حال رشد قرار گرفته در نتیجه طول ساقه‌چه کاهش می‌یابد (Keshta et al., 1999).

نتایج نشان داد که سطوح پتانسیل اسمزی ۳- و ۶- بار به ترتیب سبب کاهش معنی‌دار ۵ و ۵۱ درصدی در درصد جوانه‌زنی، ۵۹ و ۹۳ درصدی طول ریشه‌چه، ۶۶ و ۹۷ درصدی طول ساقه‌چه، ۶۰ و ۸۰ درصدی وزن خشک ریشه‌چه، ۵۰ و ۱۹ درصدی وزن خشک ساقه‌چه، ۵۵ و ۸۹ درصدی وزن خشک گیاهچه، ۵۴ و ۸۵ درصدی بنیه بذر، ۵ و ۱۱ درصدی ضریب سرعت جوانه‌زنی، ۵ و ۵۱ درصدی درصد جوانه‌زنی نهایی، ۵ و ۵۱ درصدی متوسط جوانه‌زنی روزانه، ۶۳ و ۹۶ درصدی شاخص بنیه گیاهچه ۱، ۵۲ و ۹۱ درصدی شاخص بنیه گیاهچه ۲ در مقایسه با شاهد گردید.

مقایسه میانگین اثر لاین نشان داد که لاین‌های Karaj3، Karaj1 و Karaj2 بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی و رقم Karaj2 کم‌ترین درصد جوانه‌زنی (۶۶ درصد) را به خود اختصاص دادند (جدول ۳). مظاهری تیرانی و منوچهری کلانتری (۱۳۸۵) در بررسی اثر تنش خشکی بر جوانه‌زنی بذرهای کلزا نشان داده‌اند که با افزایش سطوح تنش خشکی درصد جوانه‌زنی کاهش یافت. کاهش در سرعت جوانه‌زنی احتمالاً به دلیل وقفه‌هایی است که در شروع فرآیند جوانه‌زنی ایجاد می‌شود. علت وقفه

ایجاد شده این است که بذرها برای جبران خسارت‌های وارد شده به غشاء و دیگر قسمت‌های سلول و همچنین آغاز مجدد فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدانی و جلوگیری از بروز تنش اکسیداتیو نیاز به زمان دارد و جبران این خسارت‌ها ممکن است پس از جذب آب توسط بذر امکان‌پذیر شود (Bailly *et al.*, 2000). با توجه به اینکه یکی از عوامل محدودکننده استقرار گیاهان کمبود رطوبت در زمان جوانه‌زنی بذر می‌باشد ارقام متحمل به تنش خشکی ارقامی هستند که با وجود درصد جوانه‌زنی با افزایش سطح خشکی، کاهش معنی‌داری نیز برای این صفات نداشته باشند (جاجرمی، ۱۳۹۱).

طول ریشه‌چه در اکثر لاین‌ها در یک گروه آماری قرار گرفت و اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد و لاین Ks12 با میانگین (۱/۶۹۱ سانتی‌متر) کم‌ترین طول ریشه‌چه را به خود اختصاص داد (جدول ۳). بیش‌ترین طول ساقه‌چه در لاین Ks7 با میانگین (۱/۴۸۰ سانتی‌متر) و کم‌ترین طول ساقه‌چه در لاین Karaj2 با میانگین (۰/۴۸ سانتی‌متر) به دست آمد (جدول ۳). در این زمینه Jamaati-e-Somarin و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که اعمال تنش خشکی بر اساس پتانسیل اسمزی (با استفاده از پلی‌اتیلن‌گلیکول) سبب کاهش معنی‌دار میزان رشد گیاهچه و طول ساقه‌چه و ریشه‌چه ارقام کلزا گردید که با نتایج این آزمایش مطابقت داشت. همچنین چغاگودی و همکاران (۱۳۹۱) در ارزیابی واکنش ۱۶ ژنوتیپ کلزا به تنش خشکی در مرحله جوانه‌زنی گزارش دادند که طول ساقه‌چه حساس‌ترین صفت به تنش خشکی می‌باشد. در آزمایش حاضر نیز رشد طولی ساقه‌چه در مقایسه با رشد طولی ریشه‌چه بیش‌تر تحت اثر سطوح مختلف تنش خشکی قرار گرفت که نشان‌دهنده حساسیت بیش‌تر طول ساقه‌چه در مقایسه با طول ریشه‌چه در واکنش به تنش خشکی بوده است و از این رو می‌تواند شاخص مناسبی برای ارزیابی تحمل به تنش خشکی باشد. بیش‌تر محققان طول ریشه‌چه و نسبت ریشه‌چه به ساقه‌چه را شاخص‌های مناسبی برای شناسایی ارقام متحمل به شرایط کمبود رطوبت خاک ذکر کرده‌اند (Hoogenboom *et al.*, 1987؛ Gazanchian *et al.*, 2006؛ Rmndpyshe *et al.*, 2009). نتایج آزمایش Omidi و همکاران (۲۰۰۹) نیز نشان داد که تنش خشکی علاوه بر کاهش رشد طولی ساقه‌چه و ریشه‌چه سبب کاهش نسبت ساقه‌چه به ریشه‌چه در ارقام کلزا گردید.

لاین‌های Karaj3، Karaj2، Kr4 و Kr18 دارای بیش‌ترین وزن خشک ریشه‌چه و لاین Ks12 با میانگین (۰/۰۰۰۱ گرم) کم‌ترین وزن خشک را دارا بودند (جدول ۳). در بررسی صفت وزن خشک ساقه‌چه لاین Hw101 بیش‌ترین میزان (۰/۰۰۰۲ گرم) و لاین‌های Kr4 و Hw113 و Karaj1 کم‌ترین میزان (۰/۰۰۰۱ گرم) وزن خشک ساقه‌چه رو به خود اختصاص دادند (جدول ۳). در وزن خشک گیاهچه لاین‌های Hw101 و K14 بیش‌ترین و لاین‌های Hw113 و Ks12 کم‌ترین وزن خشک را دارا بودند (جدول ۳). لاین‌های Karaj2، Kr4، Kr18 و Karaj1 دارای بیش‌ترین میزان بنیه بذر و لاین Ks12 کم‌ترین بنیه بذر را به خود اختصاص دادند (جدول ۳).

مقایسه میانگین برهمکنش تنش اسمزی و لاین نشان داد که در تنش اسمزی ۳- بار، تفاوت بین لاین‌ها از نظر درصد جوانه‌زنی معنی‌دار نبود. در تنش اسمزی ۶- بار، تفاوت بین لاین‌ها از نظر این صفت معنی‌دار بود و در تنش اسمزی ۶- بار و لاین Karaj2 کم‌ترین درصد جوانه‌زنی (۲۱ درصد) را به خود اختصاص داد (جدول ۴). مقایسه میانگین برهمکنش تنش اسمزی و لاین در طول ریشه‌چه در تنش اسمزی صفر و لاین Karaj2 بیش‌ترین طول ریشه‌چه (۱۰/۸۵۵ سانتی‌متر) و کم‌ترین میزان در تنش اسمزی ۶- بار و لاین KS12 (۰/۲۲۵ گرم) را دارا بودند. در طول ساقه‌چه تنش اسمزی صفر و لاین KS12 با (۴/۳۰۰ سانتی‌متر) بالاترین طول ساقه‌چه را دارا بود. وزن خشک ریشه‌چه تنش اسمزی صفر و لاین Karaj2 بیش‌ترین میزان (۰/۰۰۰۸ گرم) را دارا بود و در وزن خشک ساقه‌چه در تنش اسمزی ۳- بار و لاین Hw101 بیش‌ترین میزان (۰/۰۰۰۷ گرم) رو به خود اختصاص داد. در وزن خشک گیاهچه در تنش اسمزی صفر و لاین Kr4 بالاترین وزن خشک (۰/۰۰۱ گرم) را دارا بود و در بنیه بذر در تنش اسمزی صفر و لاین Karaj2 دارای بیش‌ترین میزان بنیه بذر (۰/۰۸۵) را دارا بود (جدول ۴). Moradshahi و همکاران (۲۰۰۴) و Sangtarash و همکاران (۲۰۰۹) مراحل جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه کلزا را یکی از حساس‌ترین مراحل نمو گیاه نسبت به تنش کم‌آبی ذکر کرده‌اند.

شاخص‌های جوانه‌زنی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که در بین سطوح مختلف پتانسیل اسمزی اعمال شده اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد برای همه شاخص‌ها به‌جز متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی وجود داشت. نتایج تجزیه واریانس هم‌چنین نشان داد که اثر ساده لاین برای تمام شاخص‌ها به‌جز متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی و شاخص بنیه گیاهچه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. برهمکنش تنش اسمزی و لاین فقط در شاخص بنیه گیاهچه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱).

نتایج مقایسه میانگین اثر ساده تنش اسمزی نشان داد که با افزایش فشار اسمزی، تمام شاخص‌ها به‌جز سرعت جوانه‌زنی روزانه کاهش یافتند زیرا با منفی‌تر شدن پتانسیل اسمزی آب کم‌تری در اختیار بذر قرار می‌گیرد و در نتیجه فعالیت‌های آنزیمی و هضمی طی فرآیند جوانه‌زنی کاهش می‌یابد و مواد جدید کم‌تری در اختیار جنین در حال رشد قرار گرفته در نتیجه جوانه‌زنی کاهش می‌یابد (Keshta et al., 1999).

مقایسه میانگین اثر لاین نشان داد که لاین Karaj1 در شاخص‌های ضریب سرعت جوانه‌زنی به میزان (۰/۲۳۸ درصد) و درصد جوانه‌زنی نهایی (۲۳ درصد) و متوسط جوانه‌زنی روزانه (۱۳/۰۹۵ عدد) و متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی (۴ روز) دارای بیش‌ترین میزان شاخص‌های تحمل به تنش بود (جدول ۳).

مقایسه میانگین برهمکنش تنش اسمزی و لاین‌ها نشان داد که در تنش اسمزی صفر و لاین‌ها و تنش اسمزی ۳- بار و لاین‌ها هم شاخص‌های درصد جوانه‌زنی نهایی و متوسط جوانه‌زنی روزانه دارای بیش‌ترین میزان بود. حمیدی و همکاران (۱۳۸۴) مشخص نمودند که با بررسی ضرایب همبستگی ساده بین شاخص‌های آزمایشگاهی بنیه بذر و قابلیت جوانه‌زنی با تعداد گیاهچه‌های عادی، متوسط جوانه‌زنی روزانه، سرعت جوانه‌زنی روزانه، وزن خشک گیاهچه و شاخص بنیه گیاهچه ۱ همبستگی مثبت معنی‌دار و با متوسط زمان جوانه‌زنی و تعداد گیاهچه‌های غیر عادی همبستگی منفی معنی‌داری داشت. بیش‌ترین شاخص ضریب سرعت جوانه‌زنی مربوط به تنش اسمزی صفر و لاین Karaj3 بود. بیش‌ترین میزان شاخص درصد جوانه‌زنی نهایی و شاخص متوسط جوانه‌زنی روزانه مربوط به تنش اسمزی صفر و لاین‌ها و تنش اسمزی ۳- بار و لاین‌ها به‌جز لاین Karaj2 را دارا بود (جدول ۴). حمیدی و همکاران (۱۳۸۴) با بررسی ضرایب همبستگی ساده بین قابلیت جوانه‌زنی و شاخص‌های بنیه بذر و گیاهچه آن و میزان ظهور گیاهچه در مزرعه و سایر شاخص‌های بنیه گیاهچه در مزرعه مشخص ساخت که تعداد گیاهچه‌های ظاهر شده در مزرعه هفت روز پس از کاشت با تعداد گیاهچه‌های عادی در آزمایشگاه همبستگی مثبت بالایی داشته و قابلیت جوانه‌زنی با شاخص بنیه گیاهچه ۱ و وزن تر و خشک گیاهچه همبستگی مثبت معنی‌دار و متوسط جوانه‌زنی روزانه با طول ساقه اولیه از همبستگی مثبت معنی‌داری برخوردار بودند. Moradshahi و همکاران (۲۰۰۴) و Sangtarash و همکاران (۲۰۰۹) مراحل جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه کلزا را یکی از حساس‌ترین مراحل نمو گیاه نسبت به تنش کم‌آبی ذکر کرده‌اند. Zheng و همکاران (۱۹۹۸) نیز کاهش درصد سبز شدن و افزایش متوسط زمان لازم برای ۵۰ درصد جوانه‌زنی را در کلزا در شرایط تنش کم‌آبی گزارش کرده‌اند. نتایج بررسی‌ها بر کاهش درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و ضریب سرعت جوانه‌زنی و افزایش تعداد روز تا جوانه‌زنی در ارقام مختلف کلزا در شرایط تنش اسمزی تأکید کرده است (عندلیبی و همکاران، ۱۳۸۴). نتایج دیگر مطالعات نیز بر کاهش متوسط جوانه‌زنی روزانه، درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی ارقام کلزا در شرایط تنش کم‌آبی تأیید کرده است (Omidi *et al.*, 2010; Jamaati-e-Somarin *et al.*, 2009; Khodarahmpour *et al.*, 2012) کاهش معنی‌دار ۷۱ درصدی جوانه‌زنی، ۲۴ درصدی سرعت جوانه‌زنی و ۹۲ درصدی شاخص قدرت گیاهچه را در مقایسه با شرایط شاهد در دو لاین ذرت گزارش کرده است.

برخی مطالعات افزایش متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی در گیاه کلزا و سایر گیاهان زراعی را در شرایط تنش کم‌آبی نشان داده است (Omidi *et al.*, 2009; Willanbor *et al.*, 2004, Alebrahim *et al.*, 2008). نتایج آزمایش‌های دیگر نیز درباره واکنش ارقام کلزا، ارقام یولاف و ارقام گندم به تنش کم‌آبی از نظر شاخص‌های مختلف جوانه‌زنی با نتایج این آزمایش مطابقت داشت (Mohammadi and Amiri, 2010; Mut and Akay, 2010; Zaefizadeh *et al.*, 2011).

جدول ۲: مقایسه میانگین‌های اثر تنش خشکی بر صفات مورد مطالعه

شاخص	متوسط زمان	سرعت	متوسط	درصد	ضریب سرعت	بنیه	وزن خشک	وزن خشک	وزن خشک	طول	طول	درصد جوانه‌زنی	تنش اسمزی
بنیه	لازم برای	جوانه‌زنی	جوانه‌زنی	جوانه‌زنی	جوانه‌زنی	بذر	گیاهچه	ساقه‌چه	ریشه‌چه	ساقه‌چه	ریشه‌چه		
گیاهچه	جوانه‌زنی	روزانه	روزانه	نهایی	(درصد)		(گرم)	(گرم)	(گرم)	(سانتی‌متر)	(سانتی‌متر)		
۱۰۲۸/۱۷a	۴a	۰/۰۷۰b	۱۴/۲۸۵ a	۲۵a	۰/۲۴۴a	۰/۰۵۴a	۰/۰۰۰۹a	۰/۰۰۰۲a	۰/۰۰۰۵a	۱/۸۹۸a	۷/۷۴۱ a	۱۰۰a	۰
۳۷۷/۱۷b	۴a	۰/۰۸۰b	۱۳/۵۸۷ a	۲۳/۸۰۶a	۰/۲۳۲b	۰/۰۲۵b	۰/۰۰۰۴b	۰/۰۰۰۱b	۰/۰۰۰۲b	۰/۶۴۳b	۳/۱۹۳b	۹۵/۱۱۱a	-۳
۳۸/۶۵c	۴a	۰/۲۸۴a	۶/۹۶۸ b	۱۲/۱۹۴b	۰/۲۱۶c	۰/۰۰۸c	۰/۰۰۰۱c	۰/۰۰۰۰۱c	۰/۰۰۰۱c	۰/۰۵۴c	۰/۵۴۸c	۴۸/۴۷۱	-۶

میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند، اختلاف آماری معنی‌داری در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

جدول ۳: مقایسه میانگین‌های صفات در لاین‌های مورد مطالعه

شاخص	متوسط زمان	سرعت	متوسط	درصد	ضریب سرعت	بنیه	وزن خشک	وزن خشک	وزن خشک	طول	طول	درصد جوانه‌زنی	لاین
بنیه	لازم برای	جوانه‌زنی	جوانه‌زنی	جوانه‌زنی	جوانه‌زنی	بذر	گیاهچه	ساقه‌چه	ریشه‌چه	ساقه‌چه	ریشه‌چه		
گیاهچه	جوانه‌زنی	روزانه	روزانه	نهایی	(درصد)		(گرم)	(گرم)	(گرم)	(سانتی‌متر)	(سانتی‌متر)		
۴۳۰/۹۷a	۴a	۰/۱۶۱b	۱۱/۲۸۶ab	۱۹/۷۵۰ab	۰/۲۲۸abc	۰/۰۲۰bc	۰/۰۰۰۳b	۰/۰۰۰۱b	۰/۰۰۰۲c	۰/۹۱۶ab	۳/۴۵۸a	۷۹ab	HW113
۴۳۲/۶۳a	۴a	۰/۱۱۹b	۱۰/۵۲۴b	۱۸/۴۱۷b	۰/۲۳۲ab	۰/۰۱۰c	۰/۰۰۰۳b	۰/۰۰۰۱ab	۰/۰۰۰۱c	۱/۰۱۰ab	۱/۶۹۱b	۷۳/۶۶۷ab	KS12
۵۴۷/۴۰a	۴a	۰/۰۸۱b	۱۳/۰۹۵a	۲۲/۹۱۷a	۰/۲۳۸a	۰/۰۳۷a	۰/۰۰۰۵ab	۰/۰۰۰۱b	۰/۰۰۰۳a	۰/۸۹۱ab	۴/۶۲۵a	۹۱/۶۶۷a	Karaj1
۴۳۴/۲۷a	۴a	۰/۱۴۵b	۱۱/۹۰۵ab	۲۰/۸۳۲ab	۰/۲۳۵ab	۰/۰۳۵a	۰/۰۰۰۴ab	۰/۰۰۰۰۸b	۰/۰۰۰۳a	۰/۶۴۸b	۳/۷۴۱a	۸۳/۳۳۳ab	Kr18
۴۸۳/۵۹a	۴a	۰/۱۳۵b	۱۱/۷۱۴ab	۲۰/۵۰۰ab	۰/۲۳۴ab	۰/۰۲۵ab	۰/۰۰۰۷a	۰/۰۰۰۲a	۰/۰۰۰۲ab	۰/۹۶۳ab	۴/۵۶۱a	۸۲ab	Hw101
۴۵۹/۰۹a	۴a	۰/۱۲۶b	۱۱/۷۶۲ab	۲۰/۵۸۳ab	۰/۲۲۵bc	۰/۰۳۴a	۰/۰۰۰۷a	۰/۰۰۰۱b	۰/۰۰۰۳a	۰/۸۲۸ab	۳/۹۰۰a	۸۲/۳۳۳ab	Kr4
۵۳۰/۳۵a	۵a	۰/۳۲۵a	۹/۴۲۹b	۱۶/۵۸۳b	۰/۲۲۱c	۰/۰۳۵a	۰/۰۰۰۵ab	۰/۰۰۰۱ab	۰/۰۰۰۳a	۰/۴۱۸b	۴/۳۷۰a	۶۶b	Karaj2
۴۸۷/۶۲a	۴a	۰/۰۸۰b	۱۳/۰۴۸a	۲۲/۸۳۳a	۰/۲۳۳a	۰/۰۲۹ab	۰/۰۰۰۵ab	۰/۰۰۰۱ab	۰/۰۰۰۳a	۰/۷۵۶b	۴/۲۰۵a	۹۱/۳۳۳a	Karaj3
۴۸۰/۶۷a	۴a	۰/۱۱۴b	۱۱/۷۶۲ab	۲۰/۵۸۳ab	۰/۲۳۰abc	۰/۰۳۷a	۰/۰۰۰۴ab	۰/۰۰۰۱ab	۰/۰۰۰۳ab	۱/۴۸۰a	۴/۲۰۱a	۸۸a	Ks7

میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند، اختلاف آماری معنی‌داری در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

جدول ۴: مقایسه‌های میانگین برهمکنش تنش خشکی در لاین

شاخص	متوسط زمان	سرعت	متوسط	درصد	ضریب سرعت	وزن خشک	وزن خشک	وزن خشک	طول ریشه	طول ساقه‌چه	درصد	لاین	تنش اسمزی
بنیه	لازم برای	جوانه‌زنی	جوانه‌زنی	جوانه‌زنی	جوانه‌زنی	بنیه	گیاهچه	ساقه‌چه	ریشه‌چه	چه	جوانه‌زنی		
گیاهچه	جوانه‌زنی	روزانه	روزانه	نهایی	(درصد)	بذر	(گرم)	(گرم)	(گرم)	(سانتی‌متر)	(سانتی‌متر)		
۷۸۲/۵cdef	۴b	۰/۰۷۰b	۱۴/۲۸۶a	۲۵a	۰/۲۳۸abcd	۰/۰۳۳def	۰/۰۰۰۵defgh	۰/۰۰۰۱cde	۰/۰۰۰۳efg	۶/۲۷۵cde	۱/۵۵۰bcd	۱۰۰a	۱
۱۰۶۷/۵abc	۴b	۰/۰۷۰b	۱۴/۲۸۶a	۲۵a	۰/۲۴۰abcd	۰/۰۲۱efgh	۰/۰۰۰۴defgh	۰/۰۰۰۲cd	۰/۰۰۰۲fgh	۲/۹۲۵fghi	۴/۳۰۰a	۱۰۰a	۲
۱۱۱۰abc	۴b	۰/۰۷۰b	۱۴/۲۸۶a	۲۵a	۰/۲۴۵ab	۰/۰۷۲ab	۰/۰۰۰۹abcd	۰/۰۰۰۲cd	۰/۰۰۰۷ab	۹/۱۷۵ab	۱/۹۲۵abc	۱۰۰a	۳
۷۱۲/۵defg	۴b	۰/۰۷۰b	۱۴/۲۸۶a	۲۵a	۰/۲۴۴ab	۰/۰۵۶bc	۰/۰۰۰۶defgh	۰/۰۰۰۱cde	۰/۰۰۰۵bcd	۵/۹۰۰de	۱/۲۲۵cdef	۱۰۰a	۴
۱۲۴۰ab	۴b	۰/۰۷۰b	۱۴/۲۸۶a	۲۵a	۰/۲۴۷ab	۰/۰۴۲cde	۰/۰۰۱abc	۰/۰۰۰۲cd	۰/۰۰۰۴def	۹/۹۵۰ab	۲/۶۰۰b	۱۰۰a	۵
۸۷۸cde	۴b	۰/۰۷۰b	۱۴/۲۸۶a	۲۵a	۰/۲۴۲abc	۰/۰۶۸ab	۰/۰۰۱a	۰/۰۰۰۲cde	۰/۰۰۰۶abc	۷/۲۶۵bcd	۱/۵۱۵bcde	۱۰۰a	۶
۱۳۸۴/۷a	۴b	۰/۰۷۰b	۱۴/۲۸۶a	۲۵a	۰/۲۴۵ab	۰/۰۸۵a	۰/۰۰۱ab	۰/۰۰۰۴ab	۰/۰۰۰۸a	۱۰/۸۵۵a	۱/۱۸۹cdef	۱۰۰a	۷
۱۰۲۰/۸abcd	۴b	۰/۰۷۰b	۱۴/۲۸۶a	۲۵a	۰/۲۴۷a	۰/۰۴۵cd	۰/۰۰۰۸bcde	۰/۰۰۰۲cd	۰/۰۰۰۶bcd	۸/۶۸۸abc	۱/۵۲۰bcde	۱۰۰a	۸
۱۱۱۰/۵abc	۴b	۰/۰۷۰b	۱۴/۲۸۶a	۲۵a	۰/۲۴۶ab	۰/۰۶۸ab	۰/۰۰۰۷bcdef	۰/۰۰۰۲cd	۰/۰۰۰۵cde	۸/۶۴۵abc	۲/۴۶۰b	۱۰۰a	۹
۴۷۸/۶fgh	۴b	۰/۰۷۸b	۱۳/۱۴۳a	۲۳a	۰/۲۲۷abcde	۰/۰۲۳defgh	۰/۰۰۰۳efgh	۰/۰۰۰۱cde	۰/۰۰۰۲fgh	۳/۶۵۰efgh	۱/۲۰۰cdef	۹۲a	۱
۲۲۴/۸hi	۴b	۰/۰۷۵b	۱۳/۴۲۹a	۲۳/۵a	۰/۲۳۴abcde	۰/۰۰۸gh	۰/۰۰۰۴defgh	۰/۰۰۰۲cd	۰/۰۰۰۲fgh	۱/۹۲۵ghi	۰/۳۷۵def	۹۴a	۲
۴۸۷/۵fgh	۴b	۰/۰۷۰b	۱۴/۲۸۶a	۲۵a	۰/۲۴۴ab	۰/۰۳۰defg	۰/۰۰۰۴defgh	۰/۰۰۰۱cde	۰/۰۰۰۳efgh	۴/۱۲۵efg	۰/۷۵۰cdef	۱۰۰a	۳
۵۵۴/۵fgh	۴b	۰/۰۷۰b	۱۴/۲۸۶a	۲۵a	۰/۲۴۱abc	۰/۰۴۲cde	۰/۰۰۰۵defgh	۰/۰۰۰۱cde	۰/۰۰۰۴def	۴/۸۲۵def	۰/۷۲۰cdef	۱۰۰a	۴
۳۴۶/۳hi	۴b	۰/۰۷۵b	۱۳/۴۲۹a	۲۳/۵a	۰/۲۴۰abcd	۰/۰۱۷fgh	۰/۰۰۰۷cdefg	۰/۰۰۰۷a	۰/۰۰۰۱gh	۲/۹۷۵ghif	۰/۷۰۰cdef	۹۴a	۵
۴۵۱fgh	۴b	۰/۰۷۰b	۱۴/۲۸۶a	۲۵a	۰/۲۲۶bcdef	۰/۰۳۰defg	۰/۰۰۰۴defgh	۰/۰۰۰۱cde	۰/۰۰۰۳efgh	۳/۹۲۵efg	۰/۵۸۵def	۱۰۰a	۶
۱۹۳/۲hi	۵b	۰/۱۴۲b	۱۱ab	۱۹/۵ab	۰/۲۰۶f	۰/۰۱۸fgh	۰/۰۰۰۳efgh	۰/۰۰۰۰۸de	۰/۰۰۰۲fgh	۱/۸۸۰ghi	۰/۲۶۰f	۷۷ab	۷
۳۶۵/۱gh	۴b	۰/۰۷۰b	۱۴/۱۴۳a	۲۴/۷۵۰a	۰/۲۳۷abcde	۰/۰۳۳def	۰/۰۰۰۶defgh	۰/۰۰۰۳bc	۰/۰۰۰۳efgh	۳fghi	۰/۷۰۰cdef	۹۹a	۸
۲۹۳/۵hi	۴b	۰/۰۷۰b	۱۴/۲۸۶a	۲۵a	۰/۲۳۳abcde	۰/۰۲۱efgh	۰/۰۰۰۳efgh	۰/۰۰۰۰۹cde	۰/۰۰۰۲fgh	۲/۴۳۵fghi	۰/۵۰۰def	۱۰۰a	۹
۳۱/۸i	۵b	۰/۳۳۶b	۶/۴۲۹cde	۱۱/۲۵۰cde	۰/۲۲۰def	۰/۰۰۵h	۰/۰۰۰۱h	۰/۰۰۰۰۱e	۰/۰۰۰۱gh	۰/۴۵۰i	۰/۰۰۰۰۱f	۴۵cd	۱
۵/۶i	۴b	۰/۲۴۴b	۳/۸۵۷de	۶/۷۵۰de	۰/۲۲۲cdef	۰/۰۰۲h	۰/۰۰۰۱h	۰/۰۰۰۰۱e	۰/۰۰۰۱h	۰/۲۳۵i	۰/۰۰۰۰۱f	۲۷d	۲
۴۴/۷i	۴b	۰/۱۰۳b	۱۰/۷۱۴abc	۱۸/۷۵۰abc	۰/۲۲۶bcdef	۰/۰۰۹gh	۰/۰۰۰۱h	۰/۰۰۰۰۱e	۰/۰۰۰۱gh	۰/۵۷۵i	۰/۰۰۰۰۱f	۷۵abc	۳
۳۵/۸i	۵b	۰/۲۹۵b	۷/۱۴۳bcde	۱۲/۵۰۰bcde	۰/۲۲۰def	۰/۰۰۶h	۰/۰۰۰۱h	۰/۰۰۰۰۱e	۰/۰۰۰۱gh	۰/۵۰۰i	۰/۰۰۰۰۱f	۵۰bcd	۴
۵۳/۶i	۵b	۰/۲۶۰b	۷/۴۲۹bc	۱۲bcd	۰/۲۱۶ef	۰/۰۱۸fgh	۰/۰۰۰۲efgh	۰/۰۰۰۰۱e	۰/۰۰۰۲fgh	۰/۷۶۰i	۰/۰۰۰۰۱f	۵۲bcd	۵
۴۸/۳i	۵b	۰/۲۳۸b	۶/۷۱۴bcde	۱۱/۷۵۰cde	۰/۲۰۸f	۰/۰۰۴h	۰/۰۰۰۲fgh	۰/۰۰۰۰۱cde	۰/۰۰۰۱gh	۰/۵۱۰i	۰/۳۸۵def	۴۷bcd	۶
۵۳/۶i	۵b	۰/۷۶۵a	۳e	۵/۲۵۰e	۰/۲۱۰f	۰/۰۰۲h	۰/۰۰۰۱h	۰/۰۰۰۰۱e	۰/۰۰۰۱h	۰/۳۷۵i	۰/۰۰۰۰۱f	۲۱d	۷
۷۷i	۵b	۰/۱۰۱b	۱۰/۷۱۴abc	۱۸/۷۵۰abc	۰/۲۱۴ef	۰/۰۰۱fgh	۰/۰۰۰۱gh	۰/۰۰۰۰۱e	۰/۰۰۰۱gh	۰/۹۳۰i	۰/۰۰۰۰۱f	۷۵abc	۸
۳۸i	۵b	۰/۲۰۲b	۶/۷۱۴bcde	۱۱/۷۵۰cde	۰/۲۱۰f	۰/۰۰۱fgh	۰/۰۰۰۲fgh	۰/۰۰۰۰۱e	۰/۰۰۰۲fgh	۰/۶۳۳i	۰/۰۰۰۰۱f	۴۰d	۹

میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند، اختلاف آماری معنی‌داری در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Shahverdikandi و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کرده‌اند که ارقام کلزای متحمل به تنش کم‌آبی از کم‌ترین میزان سرعت جوانه‌زنی روزانه و بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی همراه با متوسط جوانه‌زنی روزانه بالا برخوردارند. از آن‌جا که جوانه‌زنی غیرهمزمان و در مدت طولانی‌تر احتمال حمله بیماری‌های خاک‌زی به بذر و گیاهچه را افزایش می‌دهد و سبب کاهش استقرار کامل گیاهچه می‌گردد (El. Sharkawi and Sprinuel, 1977)، بنابراین بایستی علاوه بر درصد جوانه‌زنی به سرعت و رشد گیاهچه نیز توجه داشت. عندلیبی و همکاران (۱۳۸۴) به منظور گزینش ارقام متحمل به تنش کم‌آبی، حساس‌ترین صفت به تنش اسمزی را در بین شاخص‌های مختلف جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی ذکر کرده‌اند.

نتیجه‌گیری

مقایسه میانگین برهمکنش سطوح مختلف خشکی و لاین نشان داد سطح خشکی ۶- بار و لاین HW101 بیش‌ترین طول ریشه‌چه، وزن خشک ریشه‌چه و بنیه بذر را دارا بود. بنابراین لاین HW101 به‌عنوان لاین متحمل به خشکی شناسایی شد. در این آزمایش رشد طولی ساقه‌چه در تنش اسمزی ۳- و ۶- بار به ترتیب ۶۶ و ۹۷ درصد کاهش در مقایسه با رشد طولی ریشه‌چه در تنش اسمزی ۳- و ۶- بار به ترتیب ۵۹ و ۹۳ درصد، بیش‌تر تحت اثر سطوح مختلف تنش خشکی قرار گرفت لذا می‌تواند ویژگی مناسبی برای ارزیابی تحمل به تنش خشکی باشد. مناسب‌ترین شاخص در شرایط سطوح مختلف تنش اسمزی و لاین، شاخص بنیه گیاهچه بود. با استفاده از نتایج این پژوهش و توسعه تحقیقات می‌توان درک بهتری در زمینه مکانیسم‌های فیزیولوژیکی تحمل گیاهان به تنش‌های محیطی در لاین‌های جدید به دست آورد.

منابع

- جاجرمی، و. ۱۳۹۱. بررسی اثر تنش خشکی بر مؤلفه‌های جوانه‌زنی هفت رقم گندم. مجله زراعت و اصلاح نباتات. ۸ (۴): ۱۸۳-۱۹۲.
- حمیدی، آ.، رضازاده، ج. و عسگری، و. ۱۳۸۴. بررسی رابطه ظهور گیاهچه ذرت هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ در مزرعه و برخی ویژگی‌های مرتبط اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه نهال و بذر. ۲۳۹: ۲۱-۲۱۳.
- عندلیبی، ب.، زنگانی، ا. و حق‌نظری، ر. ۱۳۸۴. بررسی اثرات تنش خشکی بر شاخص‌های جوانه‌زنی ۶ رقم کلزا (*Brassica napus* L.). علوم کشاورزی ایران. ۳۶ (۲): ۴۵۷-۴۶۳.
- چغاکبودی، ز.، زبردی، ز. و کهریزی، د. ۱۳۹۱. ارزیابی تحمل خشکی ژنوتیپ‌های کلزا (*Brassica napus* L.) در شرایط مزرعه و آزمایشگاه. مجله به‌نژادی نهال و بذر. ۲۸ (۱): ۱۷-۳۸.
- مظاهری‌تیرانی، م. و منوچهری‌کلانتری، خ. ۱۳۸۵. بررسی سه فاکتور سالیسیلیک اسید، تنش خشکی و اتیلن و اثر متقابل آن‌ها بر جوانه‌زنی بذر کلزا (*Brassica napus* L.). مجله زیست‌شناسی ایران. ۱۹ (۴): ۴۱۸-۴۰۸.

Abdul-Baki, A.A. and Anderson. J.D. 1973. Relationship between decarboxylation of glutamic acid and vigor in soybean seed. *Crop Science* 13: 227–232.

Alebrahim, M.T., Janmohammadi, M., Sharifzade, F. and Tokasi. S. 2008. Evaluation of salinity and drought stress effects on germination and early growth of maize inbred lines (*Zea mays* L.). *Electronic Journal of Crop Production* 1 (2): 35-43.

Bailly, C., Benamar, A., Corbineau, F. and Come, D. 2000. Antioxidant systems in sunflower (*Helianthus annuus* L.) seeds as affected by priming. *Seed Science Research* 10:35–42.

Cregan, P.B. and Hartwig, E.E. 1984. Characterization of flowering response to photoperiod in diverse soybean genotypes. *Crop Science* 24: 659-662.

Donatelli, M., Hammer, G.L. and Vanderlip, R.L. 1992. Genotype and water limitation effects on phenology, growth and transpiration efficiency in grain sorghum. *Crop Science* 32: 781-786.

Ellis, R.H and Roberts. E.H. 1980. Towards a rational basis for testing seed quality. *In:* Hebblethwaite, P.D. (Ed.), *Seed Production*. Butterworths, London, pp. 605–635.

El. Sharkawi, H.M. and Sprinuel. I. 1977. Germination of some Crop plant seed under reduced water potential. *Seed Science & Technology* 5: 677-688.

Gazanchian, A., Khosh Kholgh, N.A., SimaMalboobi, M.A. and Majidi Heravan, E. 2006. Relationships between emergence and soil water content for perennial cool-season grasses native to Iran. *Crop Science* 46: 544–553.

Hoogenboom, G., Huck, M.G. and Peterson, C.M. 1987. Root growth rate of soybean as affected by drought stress. *Agronomy Journal* 79: 607-614.

Hunter, E.A., Glasbey, C.A. and Naylor, R.E.L. 1984. The analysis of data from germination tests. *Journal of Agricultural Science. Cambridge* 102: 207-213.

Jamaati-e-Somarin, S., R. Zabih-e-Mahmoodabad. and Yari. A. 2010. Reaction of canola cultivars (*Brassica napus* L.) to water deficit on seed germination and seedling growth stage. *World Applied Science Journal*. 10: 699-702.

Keshta, M.M., Hammad, K.M. and Sorour, A.I. 1999. Evaluation of rapeseed genotypes in saline soil. *Proceedings of the 10 the International Canola Congress, Canberra, Australia* 253-258.

Khodarahmpour, Z. 2012. Evaluation of drought stress effects on germination and early growth of inbred lines of MO17 and B73. *African Journal of Microbiology Research* 6: 3749–3754.

Maguire, J.D. 1962. Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science* 2: 176–177.

Mayers, J.D., R.J. Lowh and Byth. D.E. 1991. Adaptation of soybean to dry season of tropics. I. Genotype and environmental effects on phenology. *Australian Journal of Agricultural Research*. 42: 479-515.

Mohammadi, G.R and Amiri, F. 2010. The effect of priming on seed performance of canola (*Brassica napus* L.) under drought stress. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences. 9 (2): 202-207.

Moradshahi, A., Salehi Eskandari, B. and Kholdebarin, B. 2004. Some physiological responses of canola (*Brassica napus* L.) to water deficit stress under laboratory conditions. Iranian Journal of Science and Technology 28: 43-50. **Mut, Z and Akay, H. 2010.** Effect of seed size and drought stress on germination and seedling growth of naked oat (*Avena sativa* L.). Bulgarian Journal of Agricultural Science. 16: 459-467.

Mwale, S.S., Hamusimbi, C. and Mwansa, K. 2003. Germination, emergence and growth of canola (*Helianthus annuus* L.) in response to osmotic seed priming. Seed Science and Technology 31: 199-206.

Omidi, H., Khazaei, F., Hamzi Alvanagh, S. and Heidari-Sharifabad, H. 2009. Improvement of seed germination traits in canola (*Brassica napus* L.) as affected by saline and drought stresses. Plant Ecophysiology 3: 151-158.

Pessaraki, M. 1994. Plant and Crop Stress Handbook. Marcel Dekker, New York, USA.

Sangtarash, M.H., Qaderi, M.M., Chinnappa, C.C. and Reid, D.M. 2009. Differential sensitivity of canola (*Brassica napus*) seedlings to ultraviolet-B radiation, water stress and abscisic acid. Environmental and Experimental Botany 66: 212-219.

Scott, S.J., Jones, R.A. and Willams, W.A. 1984. Review of data analysis methods for seedgermination. Crop Science 24: 1192-1199.

Seefeldt, S.S., Kidwell, K.K. and Waller, J.E. 2002. Base growth temperature, germination rates and growth response of contemporary spring wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars from the USA Pacific North West. Field Crops Research 75: 45-52.

Shakirova, F.M. and Sahabutdinova, D.R. 2003. Changes in the hormonal status of wheat seedling induced by salicylic acid and salinity. Plant Science 164: 317-322.

Shekari, F., Khoie, R., Javanshir, A., Alyari, H. and Shkiba, M.R. 2000. Effect of Sodium chloride salinity on germination of Rapeseed cultivars. Turkish Journal of Field Crops 5(1): 21-28.

Shahverdikandi, M., Tobeh, A., Jahanbakhsh Godehkahriz, S. and Rastegar, Z. 2011. The study of germination index of canola cultivars for drought resistance. International journal of Agronomy and Plant Production 2 (3): 89-95.

Willanbor, C.J., Gulden, R.H., Jhonson, E.N. and Shirliffe, S.J. 2004. Germination characteristics of polymer-coated canola (*Brassica napus* L.) seeds subjected to moisture stress at different temperatures. Agronomy Journal 96: 786-791.

Zaefizadeh, M., Jamaati-e-Somarin, S., Zabihi-e-Mahmoodabad, R. and Khayatnezhad, M. 2011. Discriminate analysis of the osmotic stress tolerance of different sub-cultivars of durum wheat during germination. *Advances in Environmental Biology* 5(1): 74-80.

Zheng, G.H., Gao, Y.P., Wilenand, R.W. and Gusta, L.V. 1998. Canola seed germination and seedling emergence from pre-hydrated and redried seed subjected to salt and water stresses at low temperatures. *Annals of Applied Biology* 132: 339-348.