

واکنش جوانه‌زنی و صفات مرتبط با گیاهچه ژنوتیپ‌های کلزا به شرایط مختلف رطوبتی با استفاده از روش GGE biplot

حمید جباری^{۱*}، حسین زینل زاده تبریزی^۲ و مه‌رآن عنایتی شریعت پناهی^۳

۱. استادیار موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۲. استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل (مغان)، ایران
۳. دانشیار پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۱۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۵/۱۹)

چکیده

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار با ۲۴ ژنوتیپ کلزا (۱۳ رقم و ۱۱ لاین دابل هاپلوئید) در چهار شیب رطوبت وزنی خاک شامل ۸۰، ۵۰، ۳۰ و ۲۰ درصد ظرفیت زراعی به صورت گلدانی در گلخانه موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج در سال ۱۳۹۶ انجام شد. در این آزمایش در شرایط تنش شدید کم‌آبی (۲۰ درصد ظرفیت زراعی)، رقم GKH 2005 با دارا بودن بیشترین سرعت جوانه‌زنی و ضریب سرعت جوانه‌زنی از بیشترین درصد سبز شدن نهایی برخوردار بود و به عنوان یک رقم متحمل به تنش کم‌آبی در مرحله جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه شناخته شد. همچنین رشد طولی ساقه‌چه در مقایسه با رشد طولی ریشه‌چه بیشتر تحت تأثیر سطوح مختلف تنش کم‌آبی قرار گرفت که نشان‌دهنده حساسیت بیشتر طول ساقه‌چه در مقایسه با طول ریشه‌چه در واکنش به تنش کم‌آبی بوده است و از این رو نسبت ریشه‌چه به ساقه‌چه می‌تواند شاخص مناسبی برای ارزیابی تحمل به تنش کم‌آبی باشد. تجزیه GGE biplot به منظور رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها و شناسایی میزان پایداری ۲۴ ژنوتیپ کلزا در شرایط تنش کم‌آبی، گزینش ژنوتیپ ایده‌آل و متحمل به تنش کم‌آبی و شناسایی سطح رطوبتی مناسب برای گزینش ژنوتیپ‌های برتر در مرحله گیاهچه‌ای براساس درصد سبز شدن نهایی انجام گرفت. نتایج نشان داد که ارقامی مانند Oase و Triangle و حتی Tassilo و Savanah از پایداری بسیار بالایی در شرایط تنش برخوردار بودند اما به دلیل داشتن مقادیر اندکی از مؤلفه اول و دوم جزء ارقام حساس به تنش کم‌آبی طبقه‌بندی شدند. همچنین ارقام SLM046 و Billy کمترین پایداری صفات را در شرایط تنش کم‌آبی در مرحله جوانه‌زنی داشتند. به دلیل تفکیک نشدن و عدم تمایز سه سطح رطوبتی ۸۰، ۵۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی، برای گزینش مناسب نبودند و تنها سطح ۲۰ درصد ظرفیت زراعی به عنوان بخش مناسب برای گزینش ژنوتیپ ایده‌آل شناخته شد. از این رو، در بین ژنوتیپ‌هایی که در بخش ۲۰ درصد ظرفیت زراعی واقع شدند، بر اساس الگوی کدام-برتر-کجا ژنوتیپ GKH 2005 به عنوان ژنوتیپ برتر شناخته شد.

کلمات کلیدی: درصد جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه، ظرفیت زراعی، نسبت ریشه‌چه به ساقه‌چه

Response of germination and seedling traits in different canola genotypes to soil moisture conditions using GGE Biplot method

H. Jabbari^{1*}, H. Zeinalzadeh Tabrizi² and M. Enayati Shariatpanahi³

1. Assistant Professor of Seed and Plant Improvement Institute, AREEO, Karaj, Iran
2. Assistant Professor of Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ardabil (Moghan), Iran
3. Associated Professor of Agricultural Biotechnology Research Institute, AREEO, Karaj, Iran
(Received: Dec. 02, 2018 – Accepted: Aug. 10, 2019)

Abstract

This experiment was conducted in a factorial arrangement in a completely randomized design with three replications. 24 canola genotypes (13 varieties and 11 double haploid lines) at four levels of soil moisture including 80, 50, 30 and 20% field capacity (FC) were evaluated in pots in the greenhouse of seed and plant improvement Institute in Karaj during 2017. In this experiment, under severe stress condition (20% FC), GKH2005 had the highest velocity of germination, coefficient of germination velocity and percentage of germination. Accordingly, GKH2005 was identified as a water stress tolerant cultivar in the germination stage and seedling establishment. Also, the growth of the shoot was more affected by different levels of soil moisture in comparison to the root growth that indicating a greater sensitivity of the stem length compared to the root length in response to the low water stress. Therefore, the root-shoot ratio can be an appropriate index for assessing the water stress tolerance. GGE biplot analysis was done based on final emergence in order to rank the genotypes, identify the stability of 24 canola genotypes under water stress conditions, select an ideal and water stress tolerant genotype and identify the appropriate moisture level for selection of superior genotypes in seedling stage. The results showed that cultivars such as Oase, Triangle, Tassilo and Savanah, had very high stability under stress conditions, but due to small amounts of the first and second components, they were classified as susceptible to water deficit stress. Also, SLM046 and Billy had the least stability in traits under water deficit stress at germination stage. Due to the non-separation of the three levels of soil moisture (80%, 50% and 30% FC), were not suitable for selection and only 20% FC was identified as the appropriate condition for selecting the ideal genotype. Therefore, between genotypes that were located in a 20% FC, based on the 'which-won-where' pattern, GKH 2005 was identified as the superior genotype.

Key words: Field Capacity, Germination percentage, Root to shoot ratio, Stem length

* Email: h.jabbari@areeo.ac.ir

کاهش یافت (Mazaheri Tirani and Manochehri, 2006). نتایج آزمایش امید و همکاران (Omid *et al.*, 2009) نیز نشان داد که تنش کم آبی سبب کاهش نسبت ساقه‌چه به ریشه‌چه در ارقام کلزا گردید. همچنین در ارزیابی واکنش ۱۶ ژنوتیپ کلزا به تنش کم آبی در مرحله جوانه‌زنی گزارش شد که طول ساقه‌چه حساس‌ترین صفت به تنش کم آبی می‌باشد (Chaghakaboodi and Zebarjadi, 2012).

مجیدی (Majidi, 2012) در شناسایی ارقام کلزا برای تحمل به کم آبی از طریق شاخص‌های مرحله جوانه‌زنی و رشد گیاهچه براساس روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی گزارش کرد که درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی از مهم‌ترین صفات برای گزینش ارقام متحمل به کم آبی می‌باشند و ازین حیث اهمیت بیشتری از طول ساقه‌چه و ریشه‌چه دارند. اگرچه از روش تجزیه به مؤلفه‌ها در مطالعات مربوط به بررسی تنوع ژنتیکی و تحمل به تنش‌ها در مراحل مختلف نموی به خوبی استفاده شده است (Escobar *et al.*, 2011; Majidi, 2012)، اما کاربرد آن برای شناسایی ارقام در مرحله جوانه‌زنی و به ویژه در کلزا محدود بوده است.

تکنیک بای‌پلات برای اولین بار توسط گابریل (Gabriel, 1971) به منظور نشان دادن همزمان اثرات ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ با محیط استفاده شد (Yan and Hunt, 2001). تجزیه GGE biplot یک ابزار مصور سازی داده‌هاست که به صورت گرافیکی اثرات متقابل ژنوتیپ × محیط را در یک شکل دو طرفه نشان می‌دهد (Yan *et al.*, 2000). تجزیه GGE biplot به منظور ارزیابی ژنوتیپ (میانگین پایداری) و محیط (قدرت تفکیک ارقام در محیط‌های هدف) کاربرد زیادی دارد (Yan and Kang, 2003; Yan and Ma, 2006). اخیراً نیز کاربرد تجزیه GGE biplot در تجزیه داده‌های اثرات متقابل ژنوتیپ × محیط در رشته کشاورزی گسترش یافته است (Yan and Ma, 2006; Kaya *et al.*, 2006;)

مقدمه

در حقیقت تغییرات فنولوژی مهم‌ترین موارد سازگاری گیاهان نسبت به انواع محیط‌های زیستی به شمار می‌آیند. فاکتورهای محیطی نظیر شرایط آبی (Donatelli *et al.*, 1992)، دما (Mayers *et al.*, 1991) و طول روز از عوامل مهم تعیین‌کننده فنولوژی گیاه به شمار می‌روند. در بین مراحل فنولوژی، مرحله جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه مرحله مهمی در نواحی خشک و نیمه خشک محسوب شده زیرا این مراحل حساسیت زیادی به تنش کم آبی دارد و از نظر تعداد گیاه سبز شده در واحد سطح برای تولید عملکرد تعیین‌کننده می‌باشد (Pessaraki, 1994; Moradshahi *et al.*, 2004; Omid *et al.*, 2009; Sangtarash *et al.*, 2009). یکی از مشکلات مهم برای تولید و عملکرد بالای کلزا نیز استقرار نامناسب گیاهچه‌های کلزا و سطح سبز نامناسب است که به سبب شرایط بد رطوبتی خاک حاصل می‌گردد (Mwale *et al.*, 2003). بنابراین با توجه به این که تنش کم آبی و کمبود رطوبت خاک مهم‌ترین عامل محدود کننده رشد و تولید گیاه کلزا در ایران محسوب می‌شود (Moradshahi *et al.*, 2004)، شناسایی ارقامی از کلزا که در مرحله جوانه‌زنی متحمل به کم آبی می‌باشند از نظر تولیدات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک اهمیت زیادی دارد. همچنین بدلیل اینکه بذور کلزا ریز بوده و 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). گزارشات متعدد حاکی از آن است که ژنوتیپ‌هایی که بتوانند در مرحله جوانه‌زنی واکنش مناسبی به تنش کم آبی نشان دهند، در مرحله گیاهچه‌ای رشد بهتری داشته و سیستم ریشه‌ای قوی‌تری تولید می‌کنند (Seefeldt *et al.*, 2002). بررسی اثر تنش کم آبی بر جوانه‌زنی بذور کلزا نشان داده است که با افزایش سطوح تنش خشکی درصد جوانه‌زنی

(Farshadfar *et al.*, 2012).

فاکتورهای مورد بررسی در این آزمایش شامل چهار سطح رطوبت خاک براساس رطوبت وزنی (۸۰٪، ۵۰٪، ۳۰٪) و ۲۰٪ ظرفیت زراعی^۱ خاک) و ۲۴ ژنوتیپ کلزا شامل ۱۱ لاین دابل هاپلوئید ایرانی و ۱۳ رقم تجاری خارجی بودند. اسامی و مشخصات ژنوتیپ‌های کلزای مورد بررسی در جدول ۱ ارائه شده است. بذر ارقام فوق از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر تهیه شدند.

گلدان‌های مورد استفاده در این آزمایش به قطر ۹ و ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر و حاوی ۳۰۰ گرم خاک خشک با مخلوط خاک رس، ماسه و کود دامی کاملاً نرم به ترتیب به نسبت (۱:۲:۱) بود. تعداد ۱۵ عدد بذر سالم در هر گلدان کشت شد و گلدان‌ها در شرایط گلخانه با ۱۲ ساعت روشنایی به میزان $180 \mu \text{mol m}^{-2} \text{S}^{-1}$ در دمای 22 ± 3 درجه سانتی‌گراد و ۱۲ ساعت تاریکی در دمای 22 ± 2 درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. به منظور محاسبه تیمارهای رطوبتی خاک و اعمال آن‌ها به ترتیب چند گلدان خالی وزن شد و میانگین وزن آن‌ها یادداشت گردید (A). سپس در چند گلدان به مقدار ۳۰۰ گرم خاک ریخته شد (تا اندازه‌ای که با آبیاری‌های آینده خاک از روی آن سرریز نشود). سپس میانگین وزن گلدان‌ها همراه با خاک یادداشت شد (C). وزن گلدان خالی (A) از وزن گلدان همراه با خاک (C) تفریق شد تا وزن خاک مرطوب (B) بدست آمد. سپس چند گلدان به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرار داده شدند تا آب خاک کاملاً تبخیر شود. سپس گلدان‌ها توزین شدند که میانگین وزن آن‌ها شامل وزن خاک خشک به همراه وزن گلدان بود (E). میزان وزن کاهش یافته، مقدار آب موجود در خاک بود (F) و وزن خاک خشک (G) نیز از تفریق مقدار آب خاک (F) از وزن خاک مرطوب (B) حاصل شد. پس از آن در چند گلدان به حد اشباع آب ریخته شد.

در سال‌های اخیر این روش به‌طور گسترده‌ای برای تجزیه و تحلیل اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در گیاهان مختلفی مانند جو (Dehghani *et al.*, 2006)، گندم گندم (Mohammadi *et al.*, 2010)، آفتابگردان (Pourdad and Jamshid Moghaddam, 2013)، عدس (Karimizadeh *et al.*, 2013)، ذرت (Shiri, 2013) و جغندر قند (Hassani *et al.*, 2018) استفاده شده است. زالی و همکاران (Zali *et al.*, 2016) برای بررسی پایداری و تحمل به خشکی در ۶ ژنوتیپ کلزا در محیط‌های آبیاری مطلوب و تنش خشکی، صباغ‌نیا و همکاران (Sabaghnia *et al.*, 2011) در آنالیز ژنتیکی ۹ ژنوتیپ کلزا به همراه ۳۶ نتاج F_1 حاصل از تلاقی دی‌الل آن‌ها در شرایط تنش خشکی، مصطفوی و همکاران (Mostafavi *et al.*, 2013) در واکنش ۱۰ رقم تجاری کلزا در ۵ منطقه مختلف ایران از نظر پایداری عملکرد دانه، پورداد و جمشید مقدم (Pourdad and Jamshid Moghaddam, 2013) در بررسی اثر متقابل ژنوتیپ در محیط برای عملکرد دانه بهاره کلزا در شرایط دیم و روستا باغی و همکاران (Roostabaghi *et al.*, 2013) برای بررسی ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی چند لاین کلزا از روش GGE biplot استفاده نمودند.

از این رو این مطالعه به منظور غربالگری ژنوتیپ‌های کلزا از نظر تحمل به شرایط مختلف رطوبتی خاک در مراحل جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه با استفاده از روش GGE biplot بوده است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۶ در گلخانه موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج انجام شد.

^۱ Field Capacity (FC)

جدول ۱- اسامی و مبدأ ژنوتیپ‌های مورد بررسی در آزمایش

Table 1- Names and origin of genotypes examined in the experiment

شماره Number	نام Names	مبدأ Origin	زمستانه Winter types	بهاره Spring types
1	Cooper	فرانسه France	×	
2	SLM046	آلمان Germany	×	
3	Karun	فرانسه France	×	
4	Lilian	فرانسه France	×	
5	Billy	فرانسه France	×	
6	Tassilo	آلمان Germany	×	
7	Adriana	فرانسه France	×	
8	Savanah	فرانسه France	×	
9	Oase	فرانسه France	×	
10	Triangle	آلمان Germany	×	
11	Okapi	فرانسه France	×	
12	Opera	سوئد Sweden	×	
13	GKH 2005	مجارستان Hungary	×	
14	DH 1			×
15	DH 2			×
16	DH 3			×
17	DH 4			×
18	DH 5			×
19	DH 6	ایران Iran		×
20	DH 7			×
21	DH 8			×
22	DH 9			×
23	DH 10			×
24	DH 11			×

ارقام تجاری
Commercial cultivarsلاین‌ها
(دابل هاپلوئید)
Lines
(double haploid)

صورت یک روز در میان ثبت گردید. درصد سبز نهایی از شمارش تعداد بذر سبز شده در روز دوازدهم پس از کاشت (پایان آزمایش) حاصل شد و به صورت درصد بیان گردید. متوسط زمان لازم برای جوانه زنی از معادله ۳ محاسبه گردید (and Roberts, 1980 Ellis).

$$MTG = \frac{\sum(n_i d_i)}{\sum n_i} \quad \text{معادله (۳)}$$

که 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 بذر جوانه زده در طی ۱۲ روز می‌باشد. متوسط جوانه زنی روزانه نیز از معادله ۴ محاسبه شد (Jajarmi, 2008).

معادله (۴)

$$MDG = \frac{\text{درصد سبز شدن نهایی}}{\text{طول دوره آزمایش}}$$

سرعت جوانه‌زنی روزانه که بیان کننده مدت زمان لازم برای جوانه‌زنی تک بذر است و عکس متوسط جوانه زنی روزانه می‌باشد که از معادله ۵ محاسبه گردید (Maguire, 1962):

$$DGS = \frac{1}{MDG} \quad \text{معادله (۵)}$$

ضریب سرعت جوانه‌زنی از معادله ۶ محاسبه شد (Scott et al., 1984):

$$CVG = \frac{1}{MTG} \quad \text{معادله (۶)}$$

شاخص قدرت گیاهچه با استفاده از معادله ۷ حاصل شد (Abdul-Baki and Anderson, 1973).

$$SVI = \quad \text{معادله (۷)}$$

درصد سبز شدن نهایی \times (میانگین طول ریشه + میانگین طول ساقچه)

روی گلدان‌ها با فویل پوشانده شد تا از تبخیر آب جلوگیری شود، و به مدت ۲۴ ساعت در دمای معمولی قرار داده شد. مقدار آب باقیمانده در گلدان‌ها، ظرفیت زراعی خاک یا ظرفیت نگهداری آب خاک^۲ را نشان می‌داد. سپس گلدان وزن شد (H) و وزن گلدان خالی (A) از آن کسر گردید. بر این اساس معلوم شد که چند برابر وزن خاک خشک (G) باید آب به خاک خشک اضافه شود تا براساس معادله ۱ به ظرفیت زراعی خاک رسید (I).

$$I = \frac{(H-A)-G}{G} \quad \text{معادله (۱)}$$

در پایان از طریق معادله ۲ وزن هر گلدان برای تیمارهای ۸۰٪، ۵۰٪، ۳۰٪ و ۲۰٪ ظرفیت زراعی خاک محاسبه شد (Tommasini et al., 2008).

$$N = G \frac{n.I.G}{100} + G + A \quad \text{معادله (۲)}$$

n : تیمارهای رطوبتی مورد نظر (۸۰٪، ۵۰٪، ۳۰٪ و ۲۰٪ ظرفیت زراعی)

I : میزان آبی که باید به خاک خشک اضافه کرد تا به ظرفیت زراعی رسید.

G : وزن خاک خشک

A : وزن گلدان خالی

پس از اعمال تیمارهای رطوبتی به منظور جلوگیری از تبخیر خاک بلافاصله گلدان‌ها تا زمان ظهور گیاهچه و طویل شدن ساقه با پلاستیک پوشانده شدند تا شرایط مشابه روش آزمایش با پتری دیش اعمال گردد و پس از طویل شدن ساقه چه پلاستیک‌ها برداشته شد و به منظور حفظ تیمارهای رطوبتی در تیمارهای آزمایش، گلدان‌ها روزی دو مرتبه توزین شدند (Gazanchian et al., 2006; Jabbari et al., 2013).

در این آزمایش تعداد بذر سبز شده از زمان کاشت تا روز هفتم در هر روز و تا روز دوازدهم (پایان آزمایش) به

^۱ Water Holding Capacity (WHC)

نیز با استفاده از معادله‌های ۵ و ۷ حساب شدند. قبل از انجام محاسبات آماری، آزمون نرمال بودن داده‌ها با استفاده از گزاره UNIVARIATE انجام شد و پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، تجزیه واریانس و مقایسه میانگین به روش حداقل اختلاف معنی دار محافظت شده (FLSD) در سطح پنج درصد با استفاده از نرم افزار SAS (ver. 9.1) صورت گرفت. به منظور شناسایی میزان پایداری ۲۴ ژنوتیپ و تیمار رطوبتی مناسب برای گزینش ژنوتیپ‌های برتر از نظر صفت درصد سبز شدن نهایی، تجزیه GGE biplot با استفاده از نرم افزار GGE biplot انجام شد.

جهت انجام آنالیز GGE biplot، از مدل شماره ۱ (ژنوتیپ-مرکز) بر اساس معادله (۹) استفاده شد:

$$Y_{ij} - \mu - \beta_j = g_{1i} e_{1j} + g_{2i} e_{2j} + \varepsilon_{ij} \quad \text{معادله (۹)}$$

در این معادله Y_{ij} : عملکرد مورد انتظار ژنوتیپ i در محیط j ، μ : میانگین کل مشاهدات، β_j : اثر اصلی محیط j ، g_{1i} و e_{1j} : ارزش‌های اولیه برای ژنوتیپ i در محیط j ، g_{2i} و e_{2j} : ارزش‌های ثانویه برای ژنوتیپ i در محیط j ، ε_{ij} : اثر باقیمانده که توسط اثرات اولیه و ثانویه تبیین نشده است (Yan and Kang, 2002). در واقع روش GGE biplot از رسم g_{1i} در مقابل g_{2i} و e_{1j} در مقابل e_{2j} در یک نمودار پراکنش بدست می‌آید.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین صفات (آزمایش جوانه‌زنی استاندارد)

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های آزمون جوانه زنی استاندارد نشان داد که ژنوتیپ‌ها از لحاظ درصد جوانه‌زنی، طول گیاهچه، شاخص بینه بذر و سرعت جوانه‌زنی دارای اختلاف معنی داری با هم بودند (جدول ۲).

سرعت جوانه‌زنی نیز از معادله ۸ بدست آمد (Andalibi et al., 2005).

$$VG = (12 \times n_1) + \dots + (1 \times n_{12}) \quad \text{معادله (۸)}$$

در این معادله d_i : روز پس از کاشت و n_i : تعداد بذر جوانه زده در روز d_i می‌باشد.

در این آزمایش در روز دوازدهم پس از کاشت برخی خصوصیات گیاهچه نظیر طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه، و نسبت طولی ریشه‌چه به ساقه‌چه با استفاده از خط کش و طول و عرض برگ کوتیلدون با کولیس ورنیه اندازه‌گیری شدند.

قبل از انجام این آزمایش، برای ارزیابی مؤلفه‌های جوانه‌زنی بذر ۲۴ ژنوتیپ مورد مطالعه (جدول ۱) در آزمایش جوانه‌زنی استاندارد در شرایط آزمایشگاه، یک آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در آزمایشگاه فیزیولوژی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر انجام شد.

بدین منظور، برای جلوگیری از آلودگی قارچ‌ها ابتدا بذر با استفاده از هیپوکلریت سدیم ۵ درصد به مدت ۵ دقیقه ضد عفونی شدند و سپس چندین بار با استفاده از آب مقطر شستشو داده شدند (Barsa et al., 2002). سپس جهت ارزیابی جوانه‌زنی در شرایط استاندارد، تعداد ۱۵۰ عدد بذر در سه تکرار در داخل ظرف‌های پتری و روی کاغذ صافی کشت و در دمای ۲۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷ روز درون ژرمیناتور گذاشته شدند و پس از این مدت تعداد گیاهچه‌های عادی شمارش شد (Elias and Copleland, 2001). قابل ذکر است که تنها بذرهایی با طول ریشه‌چه دو میلی‌متر، به عنوان بذر جوانه‌زده و عادی در نظر گرفته شدند (Afzal et al., 2004). علاوه بر درصد جوانه‌زنی، طول گیاهچه، شاخص بینه بذر و سرعت جوانه‌زنی نیز مورد ارزیابی قرار گرفتند. شاخص بینه بذر و سرعت جوانه‌زنی

جدول ۲- خلاصه تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مرتبط با جوانه‌زنی ۲۴ ژنوتیپ کلزا در آزمون جوانه‌زنی استاندارد

Table 2- Analysis of variance (Mean squares) of traits related to germination in 24 oilseed rape genotypes in standard germination test

منابع تغییر S.O.V	df	میانگین مربعات Mean Squares			
		درصد جوانه‌زنی Germination percentage	طول گیاهچه Seedling length	شاخص بنیه بذر seed vigor	سرعت جوانه‌زنی Velocity of Germination
ژنوتیپ (Genotypes)	23	597.2**	8.91**	8.75**	19.6**
خطای آزمایشی (Error)	48	89.6	0.92	0.89	3.5
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	11.9	10.3	9.6	9.1

*, ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪، ۱٪ و بدون اختلاف معنی‌دار

*, ** and ns denote significant differences at 5, 1 % levels, and not significant respectively.

سرعت جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی روزانه، و متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی در سطح یک درصد معنی‌دار بودند. بنابراین با توجه به معنی‌دار بودن کلیه اثرات متقابل در این آزمایش، به اثرات اصلی کمتر پرداخته شد و بیشتر اثرات متقابل تشریح شد.

در بین سطوح رطوبتی خاک بیشترین درصد سبز شدن نهایی در تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد و تیمار ۸۰ درصد ظرفیت زراعی در مرتبه بعدی قرار گرفت (جدول ۵). بنابراین، در این آزمایش سطح رطوبتی مناسب خاک برای دستیابی به درصد سبز مطلوب بذور کلزا ۵۰ تا ۸۰ درصد ظرفیت زراعی بود. ۲۴ ژنوتیپ کلزای مورد مطالعه واکنش‌های متفاوتی به سطوح مختلف رطوبتی از نظر صفات مرتبط با جوانه‌زنی نشان دادند، به طوری که در تیمار رطوبتی ۸۰ درصد ظرفیت زراعی ژنوتیپ‌های مورد بررسی تفاوت محسوسی از نظر درصد سبز شدن نهایی و متوسط جوانه‌زنی روزانه نداشتند ولی با کاهش میزان رطوبت خاک در تیمارهای ۳۰ و ۲۰ درصد ظرفیت زراعی، صفات مذکور کاهش یافت و تفاوت در بین ژنوتیپ‌ها از نظر میزان کاهش کاملاً بروز کرد (جدول ۴).

با انجام مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها در آزمون جوانه‌زنی استاندارد مشخص شد که بیشتر ارقام تجاری از درصد جوانه‌زنی بالای ۹۳ درصد برخوردار بودند و ارقام Okapi، Opera، Oase و Savanah با ۱۰۰ درصد دارای بیشترین و لاین دابل هاپلوئید DH6 با ۷۷ درصد دارای کمترین درصد جوانه‌زنی بودند (جدول ۳). در مقابل بیشترین میزان طول گیاهچه، شاخص بنیه بذر و سرعت جوانه‌زنی در رقم تجاری GKH2005 و کمترین مقادیر صفات مذکور در لاین دابل هاپلوئید DH6 مشاهده شد (جدول ۳). باید توجه نمود که کلیه بذورهای مورد استفاده در این آزمایش در شرایط محیطی، زراعی، فیزیولوژیک و اکولوژیک یکسانی برداشت شده و طول عمر بذرها و روش برداشت آنها نیز کاملاً مشابه بود.

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین صفات (آزمایش تنش کم‌آبی)

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در جدول ۴ نشان می‌دهد که اثر تنش کم‌آبی، اثر ژنوتیپ و اثر متقابل تنش کم‌آبی × ژنوتیپ بر درصد سبز شدن نهایی، متوسط جوانه‌زنی روزانه، شاخص قدرت گیاهچه، سرعت جوانه‌زنی، ضریب

که لاین DH6 و رقم SLM046 کمترین درصد سبز شدن نهایی و متوسط جوانه‌زنی روزانه (به ترتیب ۵۴/۴ درصد، ۰/۰۴۵۶۶۷ و ۴۲/۲ درصد و ۰/۰۳۵۰۰۰) را در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها داشتند. از نظر شاخص قدرت گیاهچه در تیمارهای ۸۰، ۵۰، ۳۰ و ۲۰ درصد ظرفیت زراعی به ترتیب لاین DH8 و ژنوتیپ Okapi، لاین DH9 و ژنوتیپ GKH 2005 برتر بودند (جدول ۵).

به عنوان مثال، در تیمار ۸۰ درصد ظرفیت زراعی، درصد سبز شدن نهایی در اکثر ژنوتیپ‌های مورد بررسی نزدیک به هم و بین ۸۷ تا ۱۰۰ درصد متغیر بود (بجز Lilian، Savanah و DH13 با درصد سبز شدن نهایی بین ۶۵ تا ۷۰ درصد)، در حالی که در تیمارهای ۳۰ و ۲۰ درصد ظرفیت زراعی، رقم GKH2005 از بیشترین درصد سبز شدن نهایی (۱۰۰ درصد) و متوسط جوانه‌زنی روزانه (۰/۰۸۳۰۰۰) برخوردار بود (جدول ۵). این درحالی است

جدول ۳- مقایسه میانگین ژنوتیپ‌های کلزا در آزمون جوانه‌زنی استاندارد

Table 3- Mean comparison of rapeseed genotypes based on a standard germination test

ژنوتیپ Genotypes	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	طول گیاهچه (سانتی‌متر) Seedling length (cm)	شاخص بنیه بذر seed vigor	سرعت جوانه‌زنی (بذر در روز) Velocity of Germination (seed per day)
Cooper	99.6 ab	6.20 l	6.18 j	25.67 i
SLM046	99.7 ab	4.96 p	4.95 p	24.23 n
Karun	98.7 bc	5.70 n	5.82 m	25.00 k
Lilian	95.7 ef	6.28 jk	6.01 l	25.23 j
Billy	98.4 c	6.88 g	6.77 g	26.11 f
Tassilo	96.5 d	8.03 b	7.75 d	26.92 d
Adriana	93.7 hi	6.70 h	6.28 i	25.81 h
Savanah	100.0 a	6.98 f	6.98 f	26.61 e
Oase	100.0 a	7.80 d	7.80 cd	26.96 cd
Triangle	95.0 g	6.53 i	6.20 j	25.69 i
Okapi	100.0 a	7.85 c	7.85 c	27.05 c
Opera	100.0 a	7.97 bc	7.97 ab	27.25 b
GKH2005	99.0 b	8.90 a	8.81 a	27.81 a
DH 9	100.0 a	7.15 e	7.15 e	27.00 cd
DH 5	99.0 b	6.15 lm	6.09 k	25.24 j
DH 4	99.0 b	6.32 j	6.26 i	25.80 h
DH 3	99.0 b	5.16 o	5.11 n	24.45 l
DH 7	99.0 b	6.87 g	6.80 f	26.13 f
DH 8	100.0 a	5.07 p	5.07 no	24.42 lm
DH 10	100.0 a	6.52 i	6.52 h	26.00 g
DH 13	99.0 b	4.97 p	4.92 q	24.22 n
DH 1	96.0 e	4.87 q	4.68 r	24.13 o
DH 6	77.0 j	3.20 s	2.46 t	20.95 q
DH 11	94.0 h	4.45 r	4.18 s	23.81 p

میانگین‌های با حروف مشابه براساس آزمون FLSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

Columns with same letters indicate no significant difference based on FLSD test at $\alpha=0.05$.

جدول ۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مرتبط با جوانه‌زنی ۲۴ ژنوتیپ کلزا در سطوح مختلف رطوبتی خاک.

Table 4- Analysis of variance (Mean squares) of traits related to germination in 24 oilseed rape genotypes at different levels of soil moisture

منابع تغییر S.O.V	df	میانگین مربعات Mean Squares						
		درصد سبز شدن نهایی Final Emergence	متوسط جوانه زنی روزانه Mean Daily Germination	شاخص قدرت گیاهچه Seedling Vigour Index	سرعت جوانه زنی Velocity of Germination	ضریب سرعت جوانه زنی Coefficient of Velocity of Germination	سرعت جوانه زنی روزانه Daily Germination Speed	متوسط زمان لازم برای جوانه زنی Mean Time to Germination
سطوح رطوبت خاک (Soil moisture Levels)	3	1812.1**	0.00124106**	530.39**	516183.7**	0.00116999**	88.62**	5.0279**
ژنوتیپ (Genotypes)	23	841.9**	0.00057252**	218.39**	168664.3**	0.00022629**	41.02**	0.8965**
رطوبت خاک × ژنوتیپ (Soil moisture × Genotypes)	69	306.6**	0.00021123**	19.49**	43802.4**	0.00002242**	18.20**	0.0942**
خطای آزمایشی (Error)	192	41.7	0.00002800	0.38	9058.0	0.00000770	1.06	0.0373
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		7.1	7.0	7.0	10.0	2.2	7.4	2.4

*، ** و ns به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵٪، ۱٪ و بدون اختلاف معنی دار

*، ** and ns denote significant differences at 5, 1 % levels, and not significant respectively.

عددی سرعت جوانه‌زنی روزانه و متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی ژنوتیپ‌های مورد بررسی افزوده شد (جدول ۵ و ۶). سرعت جوانه‌زنی روزانه عکس متوسط جوانه‌زنی روزانه می‌باشد و بیان کننده مدت زمان لازم برای جوانه‌زنی تک بذر است و هرچه کمتر باشد سرعت جوانه‌زنی بالاتر می‌باشد. بررسی مقایسه میانگین‌های صفات در جداول ۵ و ۶ نشان می‌دهد که در سطوح ۵۰، ۳۰ و ۲۰ درصد ظرفیت زراعی ارقام 2005 GKH و Opera از کمترین مقادیر سرعت جوانه‌زنی روزانه و متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی برخوردار بودند که نشان‌دهنده بالاتر بودن متوسط جوانه‌زنی روزانه و سرعت جوانه‌زنی در ژنوتیپ‌های مذکور می‌باشد. این نتایج با نتایج صفات متوسط جوانه‌زنی روزانه و سرعت جوانه‌زنی همخوانی داشت (جدول ۵ و ۶). به عنوان مثال در تیمارهای ۸۰، ۵۰، ۳۰ و ۲۰ درصد ظرفیت زراعی ارقام Billy، Triangle، Adriana و SLM046 به ترتیب بیشترین و

همچنین از نظر سرعت جوانه‌زنی، در تیمار ۸۰ درصد ظرفیت زراعی بیشتر لاین‌های دبل هاپلوئید نظیر DH8، DH1 و DH3، در تیمار ۵۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی لاین DH8، و در تیمار ۲۰ درصد ظرفیت زراعی ارقام 2005 Opera و Okapi برتری محسوسی نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها داشتند این در حالی است که در تیمارهای مذکور لاین DH6 و رقم SLM046 کمترین صفات مذکور و بیشترین حساسیت به کمبود رطوبت خاک را نشان دادند (جدول ۵). در همین حال ضریب سرعت جوانه‌زنی که مقادیر عددی بالاتر آن نشان‌دهنده سرعت بیشتر در جوانه‌زنی و خروج گیاهچه است لاین DH8 و ژنوتیپ 2005 GKH در تیمارهای مختلف رطوبتی بیشترین میزان را دارا بودند (جدول ۵). سایر نتایج نشان می‌دهد که با افزایش کمبود رطوبت خاک در تیمارهای ۳۰ و ۲۰ درصد ظرفیت زراعی در مقایسه با تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، بر مقادیر

کرده‌اند. ارقام کلزای متحمل به خشکی از بیشترین درصد جوانه‌زنی در تیمارهای تنش خشکی برخوردار هستند (Jamaati-e-Somarin *et al.*, 2010). غنذلیبی و همکاران (Andalibi *et al.*, 2005) تفاوت در بین ارقام کلزا را از نظر درصد جوانه‌زنی در واکنش به سطوح تنش کم آبی گزارش کرده‌اند که با نتایج این آزمایش مطابقت داشت.

لاین DH8 و رقم 2005 GKH به ترتیب کمترین متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی را داشتند (جدول ۶). مرادشاهی و همکاران (Moradshahi *et al.*, 2004) و سنگ‌تراش و همکاران (Sangtarash *et al.*, 2009) مراحل جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه کلزا را یکی از حساس‌ترین مراحل نمو گیاه نسبت به تنش کم آبی ذکر

جدول ۵- تأثیر درصد رطوبت خاک بر صفات مرتبط با جوانه‌زنی در ۲۴ ژنوتیپ کلزا در مرحله گیاهچه‌ای (مقایسه میانگین اثر متقابل به روش برش دهی فیزیکی).

Table 5- Effect of soil moisture content on germination-related traits in 24 oilseed rape genotypes at seedling stage (Mean comparison of interaction effect by physical slicing method).

ژنوتیپ Genotypes	درصد سبز شدن نهایی Final Emergence				متوسط جوانه‌زنی روزانه Mean Daily Germination			
	% 80 FC	% 50 FC	% 30 FC	% 20 FC	% 80 FC	% 50 FC	% 30 FC	% 20 FC
Cooper	88.9 bc	97.7 a	91.1 abc	60.0 i	0.074000 ab	0.081333 a	0.076000 abc	0.050000 i
SLM046	88.9 bc	95.5 ab	80.0 de	42.2 j	0.074000 ab	0.079333 ab	0.067000 de	0.035000 j
Karun	93.2 abc	97.7 a	75.0 e	77.7 efg	0.077667 ab	0.081333 a	0.062667 e	0.064667 efg
Lilian	65.5 d	95.5 ab	91.1 abc	73.3 fgh	0.054667 c	0.079667 ab	0.076000 abc	0.061000 fgh
Billy	93.3 abc	97.7 a	84.4 cde	59.9 i	0.077667 ab	0.081333 a	0.070333 cde	0.049667 i
Tassilo	91.1 abc	93.3 abc	97.7 ab	62.2 hi	0.076000 ab	0.077667 abc	0.081333 ab	0.052000hi
Adriana	96.4 abc	82.2 d	95.5 ab	84.4 b-f	0.080333 ab	0.068667 d	0.079667 ab	0.070667 b-f
Savanah	70.0 d	100.0 a	88.8 bcd	78.9 d-g	0.058333 c	0.083000 a	0.074333 bcd	0.065667 d-g
Oase	88.9 bc	97.7 a	91.1 abc	80.5 c-g	0.074000 ab	0.081333 a	0.076000 abc	0.067333 c-f
Triangle	91.1 abc	86.6 cd	100.0 a	60.0 i	0.076000 ab	0.072333 cd	0.083000 a	0.050000 i
Okapi	91.1 abc	100.0 a	95.5 ab	97.7 a	0.076000 ab	0.083000 a	0.079667 ab	0.081333 ab
Opera	99.7 ab	100.0 a	97.7 ab	97.7 a	0.083000 a	0.083000 a	0.081333 ab	0.081333 ab
GKH2005	99.6 a	97.7 a	100.0 a	100.0 a	0.083000 a	0.081333 a	0.083000 a	0.083000 a
DH 9	86.6 c	100.0 a	100.0 a	97.7 a	0.072000 b	0.083000 a	0.083000 a	0.081333 ab
DH 5	95.5 abc	100.0 a	97.7 ab	100.0 a	0.079667 ab	0.083000 a	0.081333 ab	0.083000 a
DH 4	100.0 a	100.0 a	95.5 ab	93.3 abc	0.083000 a	0.083000 a	0.079667 ab	0.077667 abc
DH 3	100.0 a	100.0 a	100.0 a	97.7 a	0.083000 a	0.083000 a	0.083000 a	0.081333 ab
DH 7	86.6 c	95.5 ab	95.5 ab	91.1 a-d	0.072000 b	0.079333 ab	0.079667 ab	0.076000 a-d
DH 8	100.0 a	100.0 a	100.0 a	93.3 abc	0.083000 a	0.083000 a	0.083000 a	0.077667 abc
DH 10	97.7 ab	100.0 a	100.0 a	88.9 a-e	0.081333 a	0.083000 a	0.083000 a	0.074000 a-e
DH 13	70.0 d	100.0 a	95.5 ab	91.1 a-d	0.058333 c	0.083000 a	0.079667 ab	0.076000 a-d
DH 1	100.0 a	88.9 bcd	88.9 bcd	95.5 ab	0.083000 a	0.074000 bcd	0.074000 bcd	0.079667 ab
DH 6	88.9 bc	50.0 e	54.4 f	67.7 ghi	0.074000 ab	0.041667 e	0.045667 f	0.056333 ghi
DH 11	97.7 ab	88.9 bcd	88.9 bcd	95.5 ab	0.081333 a	0.074000 bcd	0.074000 bcd	0.079333 ab
LSD	11.097	7.026	10.056	13.167	0.009	0.0058	0.0082	0.0108

Continued Table 5

ادامه جدول ۵

ژنوتیپ Genotypes	شاخص قدرت گیاهچه Seedling Vigour Index				سرعت جوانه‌زنی Velocity of Germination			
	%80 FC	%50 FC	%30 FC	%20 FC	%80 FC	%50 FC	%30 FC	%20 FC
Cooper	6.8 hij	6.0 jk	3.5 k	1.7 jkl	786 gh	1021 cd	929 fgh	490 jk
SLM046	6.4 ijk	9.0 i	2.6 lm	1.2 kl	896 c-h	1038 a-d	667 i	418 k
Karun	7.0 ghi	6.7 j	3.7 k	2.3 ijk	861 e-h	1056 a-d	822 h	768 d-h
Lilian	4.1 mno	6.7 j	3.6 k	2.3 ijk	739 h	1025 cd	943 d-h	712 e-i
Billy	7.8 fgh	8.4 i	3.3 kl	1.0 l	954 a-f	1061 a-d	862 gh	537 ijk
Tassilo	2.9 o	4.6 lm	9.1 f	1.6 jkl	1037 a-d	985 de	1016 a-f	627 g-j
Adriana	5.6 jkl	3.7 mn	6.4 hi	3.1 ghi	843 e-h	863 f	1012 a-f	825 c-g
Savanah	3.7 no	5.0 kl	5.5 j	2.2 i-l	803 fgh	1028 bcd	940 e-h	650 g-j
Oase	5.1 klm	5.0 kl	5.3 j	2.4 ijk	836 e-h	1039 a-d	961 c-g	619 h-k
Triangle	4.4 lmn	3.2 n	6.7 hi	1.8 jkl	910 b-g	881 ef	1041 a-f	645 g-j
Okapi	13.0 de	19.2 a	11.3 e	9.7 cd	958 a-f	1104 abc	1039 a-f	1069 ab
Opera	14.6 bc	18.1bcd	11.9 de	11.2 b	984 a-e	1118 abc	1079 abc	1072 ab
GKH2005	14.5 bc	18.4abc	13.7 c	15.3 a	875 d-h	1106 abc	1098 ab	1114 a
DH 9	11.7 e	16.8 e	16.5 a	4.0 fgh	870 d-h	1127 abc	1120 a	995 abc
DH 5	15.6 b	16.5 e	11.6 e	4.1 fg	1058 abc	1119 abc	1073 a-d	1018 abc
DH 4	15.8 b	18.9 ab	15.2 b	7.2 e	1104 a	1135 ab	1065 a-e	912 a-e
DH 3	13.5 cd	14.3 f	11.9 de	4.5 f	1112 a	1113 abc	1108 a	1011 abc
DH 7	11.7 e	15.2 f	7.1 h	2.6 ij	877 d-h	1074 a-d	1022 a-f	891 b-f
DH 8	17.3 a	17.6 cde	16.2 a	10.9 bc	1121 a	1138 a	1130 a	1004 abc
DH 10	15.3 b	17.2 de	12.5 d	3.2 ghi	1065 ab	1126 abc	1096 ab	935 a-d
DH 13	9.1 f	15.1 f	8.3 g	6.8 e	863 e-h	1126 abc	1045 a-f	903 b-e
DH 1	15.1 b	10.8 h	6.3 i	8.5 d	1117 a	992 d	970 b-g	1001 abc
DH 6	8.4 fg	2.9 n	2.3 m	2.8 hij	988 a-e	418 g	503 j	691 f-j
DH 11	15.6 b	12.3 g	7.9 g	11.0 b	1094 a	991 d	954 c-g	998 abc
LSD	1.388	1.115	0.7854	1.2883	167	108	131	203

Continued Table 5

ادامه جدول ۵

ژنوتیپ Genotypes	ضریب سرعت جوانه‌زنی Coefficient of Velocity of Germination				سرعت جوانه‌زنی روزانه Daily Germination Speed			
	%80 FC	%50 FC	%30 FC	%20 FC	%80 FC	%50 FC	%30 FC	%20 FC
Cooper	0.121333 fg	0.122333 kl	0.120333 l	0.115667 hij	13.6 b	12.3 e	13.3 def	22.8 ab
SLM046	0.122667 efg	0.127000 g	0.121000 kl	0.109333 j	13.5 bc	12.6 de	15.1 bc	24.7 a
Karun	0.123667 d-g	0.125667 ghi	0.123000 jkl	0.116000 g-j	12.9 bc	12.3 e	16.1 b	15.5 def
Lilian	0.123667 d-g	0.125000 g-j	0.120667 kl	0.117667 f-i	18.3 a	12.6 de	13.2 def	16.4 de
Billy	0.120000 fg	0.126667 gh	0.120333 l	0.117667 f-i	12.5 bc	12.3 e	14.2 cd	22.0 b
Tassilo	0.121333 fg	0.124000 ijk	0.125667 g-j	0.118333 e-i	13.3 bc	12.9 cde	12.3 ef	19.5 c
Adriana	0.119667 g	0.125000 g-j	0.124667 hij	0.116000 g-j	12.4 bc	14.7 b	12.6 ef	14.3 e-i
Savanah	0.121667 fg	0.123000 jkl	0.123333 i-l	0.115333 hij	17.1 a	12.0 e	13.6 de	15.3 efg
Oase	0.121333 fg	0.124667 hij	0.123667 ijk	0.133333 ij	13.6 b	12.3 e	13.2 def	14.9 e-h
Triangle	0.120667 fg	0.121333 l	0.123667 ijk	0.118000 e-i	13.2 bc	13.9 bc	12.0 f	23.2 ab
Okapi	0.12667 cde	0.132667 c-f	0.128000 d-g	0.128667 ab	13.3 bc	12.0 e	12.6 ef	12.3 i
Opera	0.127000 cde	0.134000 bcd	0.130000 cde	0.128667 ab	12.0 bc	12.0 e	12.3 ef	12.3 i
GKH2005	0.124667 def	0.135667 ab	0.130000 cde	0.131667 a	13.2 bc	12.3 e	12.0 f	12.0 i
DH 9	0.130667 abc	0.134333 bc	0.133333 b	0.121000 c-h	12.9 bc	12.0 e	12.0 f	12.3 i
DH 5	0.131000 abc	0.132333 c-f	0.129000 def	0.119333 d-i	12.6 bc	12.0 e	12.3 ef	12.0 i
DH 4	0.132333 ab	0.137333 a	0.132667 bc	0.120000 c-i	12.0 c	12.0 e	12.6 ef	12.9 hi
DH 3	0.131000 abc	0.131667 ef	0.131000 bcd	0.121667 c-h	12.0 c	12.0 e	12.0 f	12.3 i
DH 7	0.130667 abc	0.133667 b-e	0.127333 e-h	0.116667 ghi	13.6 b	12.6 de	12.6 ef	13.3 f-i
DH 8	0.134000 a	0.137667 a	0.137000 a	0.126667 abc	12.0 c	12.0 e	12.0 f	13.0 ghi
DH 10	0.130000 abc	0.134333 bc	0.129000 def	0.122667 b-g	12.3 bc	12.0 e	12.0 f	13.5 f-i
DH 13	0.127667 bcd	0.135000 b	0.127667 e-h	0.118667 e-i	17.1 a	12.0 e	12.6 ef	13.3 f-i
DH 1	0.132667 a	0.132000 def	0.127333 e-h	0.124667 b-e	12.0 c	13.5 cd	13.6 de	12.6 hi
DH 6	0.131000 abc	0.131000 f	0.126333 f-i	0.124000 b-f	13.5 bc	24.0 a	24.4 a	17.8 cd
DH 11	0.133000 a	0.132333 c-f	0.125333 g-j	0.125667 a-d	12.3 bc	13.5 cd	13.6 de	12.6 hi
LSD	0.0048	0.0022	0.0032	0.0068	1.571	1.156	1.385	2.381

میانگین‌های با حروف مشابه براساس آزمون FLSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

Columns with same letters indicate no significant difference based on FLSD test at $\alpha=0.05$.

جدول ۶- تأثیر درصد رطوبت خاک بر میانگین متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی ۲۴ ژنوتیپ کلزا در مرحله گیاهچه‌ای (مقایسه میانگین اثر متقابل به روش برش دهی فیزیکی).

Table 6- Effect of soil moisture content on means of Mean Time to Germination in 24 oilseed rape genotypes at seedling stage (mean comparison of interactions effect by physical slicing method).

ژنوتیپ Genotypes	متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی (روز) Mean Time to Germination (days)			
	%80 FC	%50 FC	%30 FC	%20 FC
Cooper	8.26 ab	8.13 ab	8.33 a	8.63 bc
SLM046	8.13 abc	7.86 e	8.26 ab	9.20 a
Karun	8.10 abc	8.00 cd	8.13 abc	8.63 bc
Lilian	8.13 abc	8.00 cd	8.26 ab	8.50 b-e
Billy	8.33 ab	7.90 de	8.30 a	8.50 b-e
Tassilo	8.30 ab	8.06 bc	7.96 c-f	8.46 b-f
Adriana	8.36 a	8.03 bc	8.00 cde	8.56 bcd
Savanah	8.23 ab	8.13 ab	8.06 bcd	8.66 bc
Oase	8.23 ab	8.03 bc	8.06 bcd	8.86 ab
Triangle	8.30 ab	8.20 a	8.06 bcd	8.46 b-f
Okapi	7.90 cd	7.53 fg	7.80 e-i	7.80 hij
Opera	7.86 cd	7.46 gh	7.70 g-j	7.76 ij
GKH2005	8.03 bc	7.40 hi	7.66 h-k	7.63 j
DH 9	7.66 de	7.46 gh	7.50 kl	8.30 c-h
DH 5	7.63 de	7.56 fg	7.76 f-j	8.40 b-g
DH 4	7.53 e	7.30 ij	7.56 jk	8.33 c-g
DH 3	7.63 de	7.60 f	7.63 ijk	8.20 c-i
DH 7	7.66 de	7.50 fgh	7.86 d-h	8.56 bcd
DH 8	7.46 e	7.26 j	7.30 l	7.90 g-j
DH 10	7.70 de	7.46 gh	7.73 g-j	8.16 c-i
DH 13	7.86 cd	7.40 hi	7.83 e-i	8.43 b-f
DH 1	7.53 e	7.56 fg	7.86 d-h	8.03 e-j
DH 6	7.63 de	7.60 f	7.90 d-g	8.10 d-j
DH 11	7.53 e	7.56 fg	8.00 cde	7.96 f-j
LSD	0.309	0.1283	0.2075	0.5015

میانگین‌های با حروف مشابه براساس آزمون FLSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

Columns with same letters indicate no significant difference based on FLSD test at $\alpha=0.05$.

جوانه‌زنی را در کلزا در شرایط تنش کم‌آبی گزارش کرده‌اند. نتایج دیگر مطالعات نیز بر کاهش متوسط

زنگ و همکاران (Zheng *et al.*, 1998) نیز کاهش درصد سبز شدن و افزایش متوسط زمان لازم برای ۵۰ درصد

و شاخص‌های مهم در جوانه‌زنی کلزا در شرایط تنش کم‌آبی گزارش کردند که صفات درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی از مهم‌ترین شاخص‌ها برای گزینش ارقام متحمل به کم‌آبی می‌باشند. براین اساس، در این آزمایش نیز در شرایط تنش شدید کم‌آبی (۲۰ درصد ظرفیت زراعی)، رقم GKH 2005 با دارا بودن بیشترین سرعت جوانه‌زنی و ضریب سرعت جوانه‌زنی از بیشترین درصد سبز شدن نهایی برخوردار بود و به عنوان یک رقم متحمل به تنش کم‌آبی در مرحله جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه شناخته شد (جدول ۵).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در جدول ۷ نشان می‌دهد که اثر تنش کم‌آبی، اثر ژنوتیپ و اثر متقابل تنش کم‌آبی × ژنوتیپ بر طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه، طول کوتیلدون، عرض کوتیلدون، و نسبت ریشه‌چه به ساقه‌چه در سطح یک درصد معنی‌دار بود. ژنوتیپ‌های کلزای مورد بررسی واکنش‌های متفاوتی به سطوح مختلف رطوبتی از نظر طول ساقه‌چه نشان دادند، به طوری که در سطوح ۸۰، ۵۰، ۳۰ و ۲۰ درصد ظرفیت زراعی به ترتیب ژنوتیپ‌های Opera، GKH2005، Okapi و Opera به همراه GKH2005 در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها برتر بودند (جدول ۸). این در حالی است که اکثر لاین‌های دابل هاپلوئید، ساقه‌چه کوتاه‌تری در مقایسه با سایر ارقام مورد بررسی داشتند، به عنوان مثال در سطوح ۸۰، ۵۰، ۳۰ و ۲۰ درصد ظرفیت زراعی به ترتیب لاین‌های DH6، DH13، DH6 و DH6 به همراه رقم SLM046 از کمترین طول ساقه‌چه برخوردار بودند (جدول ۸). همچنین در این آزمایش، در سطوح مختلف رطوبتی خاک میانگین طول ساقه‌چه لاین‌های دابل هاپلوئید کمتر از ارقام تجاری پائیزه بود که می‌تواند به دلیل تیپ رشدی بهاره لاین‌های دابل هاپلوئید باشد، زیرا ارقام پائیزه در مقابل ارقام بهاره کلزا از توان و پتانسیل بیشتری برخوردارند.

جوانه‌زنی روزانه، درصد جوانه‌زنی (Omidi *et al.*, 2009) و سرعت جوانه‌زنی (Jamaati-e-Somarini *et al.*, 2010) ارقام کلزا در شرایط تنش کم‌آبی تأیید کرده است. در این بررسی کاهش چشمگیر درصد جوانه‌زنی و متوسط جوانه‌زنی روزانه در تیمارهای کمبود رطوبت خاک (۳۰ و ۲۰ درصد ظرفیت زراعی) می‌تواند به دلیل اثر مستقیم تنش بر کاهش تجزیه مواد ذخیره‌ای نشاسته‌ای در آندوسپرم و یا کندی در انتقال مواد تجزیه شده به گیاهچه باشد (Gul and Allen, 1979). همچنین کاهش سرعت رشد گیاهچه در شرایط تنش کم‌آبی به ممانعت از توسعه سلولی، کاهش آسمیلایسیون کربن و کاهش تخصیص ماده خشک به اندام‌های گیاهی مرتبط است (Hsiao and Xu, 2000).

برخی مطالعات افزایش متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی در گیاه کلزا (Omidi *et al.*, 2009) را در شرایط تنش کم‌آبی نشان داده است که نتایج این آزمایش را در این زمینه تأیید می‌نماید. شاهرودی کندی و همکاران (Shahverdikandi *et al.*, 2011) 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 خاکری به بذر و گیاهچه را افزایش می‌دهد و سبب کاهش استقرار کامل گیاهچه می‌گردد (El-Sharkawi and Springuel, 1977)، بنابراین بایستی علاوه بر درصد جوانه‌زنی به سرعت و رشد گیاهچه نیز توجه داشت.

عندلیبی و همکاران (Andalibi *et al.*, 2005) به منظور گزینش ارقام متحمل به تنش کم‌آبی، حساس‌ترین صفت به تنش اسمزی را در بین شاخص‌های مختلف جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی ذکر کرده‌اند. زی‌آیو و زی‌آیو (Xia and Xiaoyu, 2012) نیز در بررسی شناسایی صفات

جدول ۷- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مرتبط با گیاهچه ۲۴ ژنوتیپ کلزا در سطوح مختلف رطوبتی خاک.

Table 7- Analysis of variance (Mean squares) of traits related to seedling in 24 oilseed rape genotypes at different levels of soil moisture

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares				
		طول ساقچه Shoot length	طول ریشه‌چه Root length	طول کوتیلدون Cotyledon length	عرض کوتیلدون Cotyledon width	نسبت ریشه‌چه به ساقچه Root to shoot ratio
سطوح رطوبت خاک (Soil moisture Levels)	3	270.10**	6.545**	0.8251**	2.007**	0.3880**
ژنوتیپ (Genotypes)	23	17.36**	2.175**	0.0917**	0.229**	0.0465**
رطوبت خاک × ژنوتیپ (Soil moisture × Genotypes)	69	2.12**	1.659**	0.0262**	0.051**	0.0215**
خطای آزمایشی (Error)	192	0.58	0.030	0.0021	0.015	0.0026
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		7.8	10.2	14.4	9.7	10.9

*, ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪، ۱٪ و بدون اختلاف معنی‌دار

*, ** and ns denote significant differences at 5, 1 % levels, and not significant respectively.

GKH2005 ریشه‌چه بلندتری در مقایسه با سایر

ژنوتیپ‌های مورد بررسی داشتند.

اختلاف در بین ژنوتیپ‌ها از نظر طول و عرض

کوتیلدون نسبتاً قابل توجه بود (جدول ۹). به طوری که

بیشترین طول کوتیلدون در تیمارهای ۸۰، ۵۰، ۳۰ و ۲۰

درصد ظرفیت زراعی به ترتیب در ژنوتیپ‌های Opera،

SLM046، DH13 و DH6 مشاهده شد (جدول ۹). در

مقابل، بیشترین عرض کوتیلدون در سطوح ۸۰، ۵۰، ۳۰ و

۲۰ درصد ظرفیت زراعی به ترتیب در ژنوتیپ‌های

SLM046 و DH13 به همراه Opera مشاهده شد (جدول

۹). در سطوح ۸۰، ۵۰، ۳۰ و ۲۰ درصد رطوبت ظرفیت

زراعی مقادیر عددی نسبت ریشه‌چه به ساقچه در ۲۴

ژنوتیپ مورد مطالعه به ترتیب بین ۰/۵۲-۰/۲۳، ۰/۶۱-۰/۱۹

و ۰/۶۴-۰/۳۰ و ۰/۷۰-۰/۳۳ متغیر بود. همچنین در

این بررسی، نتایج مقایسه میانگین نسبت ریشه‌چه به ساقچه

برخلاف نتایج طول ساقچه‌ها، واکنش ژنوتیپ‌های

مورد بررسی به سطوح مختلف رطوبت خاک از نظر طول

ریشه‌چه بسیار مختلف بود، به طوری که برخی ژنوتیپ‌ها با

کاهش رطوبت خاک در تیمارهای ۳۰ و ۲۰ درصد

ظرفیت زراعی ریشه‌چه کوتاه‌تری تولید کردند اما در

برخی ژنوتیپ‌ها، طول ریشه‌چه با کاهش رطوبت خاک

در تیمارهای رطوبتی ذکر شده افزایش یافت (جدول ۹).

در این زمینه بررسی جدول مقایسه میانگین‌ها نشان داد که

در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه رقم Cooper در دو سطح

۸۰ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی از طویل‌ترین ریشه‌چه

برخوردار بود اما در دو سطح ۳۰ و ۲۰ درصد ظرفیت

زراعی، کاهش شدیدی در طول ریشه‌چه رقم Cooper

مشاهده شد (جدول ۹). این در حالی است که در سطح ۳۰

درصد ظرفیت زراعی لاین DH13 و سطح ۲۰ درصد

ظرفیت زراعی لاین‌های DH11، DH13 به همراه رقم

با نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌های ژنوتیپ‌ها از نظر طول ریشه مشابهت زیادی داشت و در سطوح ۵۰ و ۸۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی، ارقام Cooper و Opera با توجه به طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، به ترتیب از بیشترین و کمترین نسبت ریشه‌چه به ساقه‌چه برخوردار بودند (جداول

۸ و ۹). بیشترین نسبت ریشه‌چه به ساقه‌چه در سطوح ۳۰ و ۲۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی نیز به ترتیب در لاین‌های DH13 و DH6 مشاهده شد که با نتایج صفت طول ریشه‌چه همخوانی داشت (جدول ۹).

جدول ۸- تأثیر درصد رطوبت خاک بر میانگین طول ساقه‌چه روزانه ۲۴ ژنوتیپ کلزا در مرحله گیاهچه‌ای (مقایسه میانگین اثر متقابل به روش برش‌دهی فیزیکی)

Table 8- Effect of soil moisture content on means of shoot length in 24 oilseed rape genotypes at seedling stage (mean comparison of interactions effect by physical slicing method).

ژنوتیپ Genotypes	طول ساقه‌چه (سانتی‌متر) Shoot length (cm)			
	%80 FC	%50 FC	% 30 FC	%20 FC
Cooper	9.73 g-j	10.20 fg	7.84 ghi	4.53 fg
SLM046	9.93 e-i	8.96 hi	8.82 e-h	4.28 g
Karun	9.75 g-j	9.70 gh	9.09 d-g	6.40 cd
Lilian	10.03 d-i	10.28 efg	9.22 def	5.92 cde
Billy	10.56 d-g	10.88 def	8.37 fgh	4.39 fg
Tassilo	12.13 ab	12.03 ab	8.18 fgh	4.50 fg
Adriana	11.10 bcd	10.70 ef	9.26 def	6.20 cde
Savanah	10.33 d-h	10.98 c-f	9.20 def	6.60 cd
Oase	10.30 d-h	11.80 a-d	10.16 bcd	5.81 cde
Triangle	10.60 d-g	10.53 efg	9.80 de	6.05 cde
Okapi	11.86 abc	11.85 abc	11.57 a	9.52 ab
Opera	12.27 a	11.97 ab	11.15 ab	9.70 a
GKH2005	11.82 abc	12.20 a	11.07 abc	9.67 a
DH 9	11.02 cde	11.15 b-e	9.82 cde	6.72 cd
DH 5	10.90 c-f	10.15 fg	9.87 cde	8.32 b
DH 4	10.97 cde	10.32 efg	8.20 fgh	7.05 c
DH 3	10.12 d-i	9.16 hi	7.65 hi	4.97 efg
DH 7	9.95 e-i	10.80 ef	7.86 ghi	5.10 efg
DH 8	9.31 hij	9.07 hi	8.02 fgh	5.90 cde
DH 10	10.05 d-i	10.52 efg	8.72 e-h	5.47 d-g
DH 13	8.80 j	8.97 hi	6.72 i	6.01 cde
DH 1	9.85 f-i	8.87 hi	6.70 i	5.65 def
DH 6	9.12 ij	6.20 j	5.05 j	4.35 g
DH 11	9.95 e-i	8.45 i	6.62 i	6.70 cd
LSD	1.1019	0.9367	1.2721	1.265

میانگین‌های با حروف مشابه براساس آزمون FLSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

Columns with same letters indicate no significant difference based on FLSD test at $\alpha=0.05$.

ریشه‌چه بیشتر تحت تأثیر سطوح مختلف تنش کم‌آبی قرار گرفت که نشان‌دهنده حساسیت بیشتر طول ساقه‌چه در مقایسه با طول ریشه‌چه در واکنش به تنش کم‌آبی بوده است و از این رو می‌تواند شاخص مناسبی برای ارزیابی تحمل به تنش کم‌آبی باشد (جدول ۸).

چغاکبودی و همکاران (Chaghakaboodi *et al.*, 2012) 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

جدول ۹- تأثیر درصد رطوبت خاک بر میانگین‌های صفات مرتبط با گیاهچه ۲۴ ژنوتیپ کلزا در مرحله گیاهچه‌ای (مقایسه میانگین اثر متقابل به روش برش‌دهی فیزیکی).

Table 9- Effect of soil moisture content on means of seedling-related traits in 24 oilseed rape genotypes at seedling stage (mean comparison of interactions effect by physical slicing method).

ژنوتیپ Genotypes	طول ریشه‌چه (سانتی‌متر) Root lenght (cm)				طول کوتیلدون (سانتی‌متر) Cotyledon lenght (cm)			
	%80 FC	%50 FC	% 30 FC	%20 FC	%80 FC	%50 FC	% 30 FC	%20 FC
Cooper	5.43 a	6.20 a	3.25 c-i	2.97 efg	0.70 a	0.66 bc	0.56 a	0.23 cde
SLM046	4.64 bc	4.44 cde	3.06 e-i	2.42 hij	0.60 b	0.70 b	0.60 a	0.20 de
Karun	4.36 cde	4.93 bc	4.02 a-d	2.79 fgh	0.60 b	0.60 cd	0.53 a	0.10 f
Lilian	3.56 hi	4.26 def	3.68 a-f	3.24 b-e	0.56 bc	0.63 bc	0.56 a	0.16 ef
Billy	4.43 b-e	5.22 b	3.26 c-i	2.06 j	0.56 bc	0.70 b	0.56 a	0.10 f
Tassilo	2.86 l	2.65 lm	3.56 a-h	2.68 ghi	0.40 efg	0.30 gh	0.36 b	0.16 ef
Adriana	3.87 fg	3.37 g-j	4.18 ab	4.00 a	0.30 hi	0.53 de	0.36 b	0.20 de
Savanah	4.66 b	4.03 ef	3.60 a-g	2.22 j	0.30 hi	0.40 f	0.36 b	0.23 cde
Oase	4.53 bcd	3.32 g-k	4.23ab	3.01 d-g	0.40 efg	0.40 f	0.36 b	0.23 cde
Triangle	4.16 ef	2.82 klm	3.73 a-f	2.34 ij	0.40 efg	0.36 fg	0.30 bcd	0.26 cd
Okapi	3.57 ghi	5.10 b	3.47 a-h	3.55 b	0.46 de	0.50 e	0.40 b	0.30 bc
Opera	3.01 kl	3.72 fgh	3.90 a-e	3.45 bc	0.50 cd	0.80 a	0.40 b	0.36 ab
GKH2005	4.25 de	2.85 j-m	4.15 abc	4.27 a	0.43 def	0.60 cd	0.40 b	0.30 bc
DH 9	3.50 hi	2.06 n	3.87 a-e	2.34 ij	0.40 efg	0.30 gh	0.30 bcd	0.16 ef
DH 5	3.17 jk	4.20 ef	3.17 d-i	2.82 fg	0.33 ghi	0.40 f	0.33 bc	0.23 cde
DH 4	2.85 l	4.25 def	2.82 f-i	2.72 ghi	0.26 i	0.40 f	0.20 d	0.26 cd
DH 3	2.45 m	3.85 fg	3.35 b-h	2.62 ghi	0.46 de	0.50 e	0.30 bcd	0.23 cde
DH 7	3.45 ij	4.78 bcd	2.66 hi	2.85 efg	0.36 fgh	0.53 de	0.23 cd	0.20 de
DH 8	2.98 kl	3.00 i-l	3.65 a-f	3.43 bc	0.33 ghi	0.36 fg	0.36 b	0.26 cd
DH 10	3.27 ijk	3.20 h-k	3.50 a-h	3.37 bcd	0.40 efg	0.50 e	0.40 b	0.30 bc
DH 13	4.50 bcd	2.90 i-m	4.30 a	4.35 a	0.40 efg	0.50 e	0.36 b	0.40 a
DH 1	3.79 gh	2.42 mn	2.37 i	3.13 c-f	0.26 i	0.23 hi	0.20 d	0.16 ef
DH 6	2.35 m	2.62 lm	2.72 ghi	3.15 c-f	0.46 de	0.20 i	0.20 d	0.23 cde
DH 11	3.57 ghi	3.42 ghi	3.15 d-i	4.30 a	0.43 def	0.40 f	0.23 cd	0.26 cd
LSD	0.3001	0.538	0.9221	0.3903	0.0749	0.0843	0.1024	0.0948

Continued Table 9

ادامه جدول ۹

ژنوتیپ Genotypes	عرض کوتیلدون (سانتی متر) Cotyledon width (cm)				نسبت طولی ریشه چه به ساقه چه Root to shoot ratio			
	%80 FC	%50 FC	% 30 FC	%20 FC	%80 FC	%50 FC	% 30 FC	% 20 FC
Cooper	1.16 a	1.16 bc	1.06 ab	0.40 ghi	0.52 a	0.61 a	0.41 c-g	0.67 abc
SLM046	1.16 a	1.36 a	1.13 a	0.46 e-h	0.46 b	0.49 bc	0.35 efg	0.56 d-h
Karun	1.10 ab	1.23 b	1.03 ab	0.36 hi	0.44 b	0.53 b	0.44 b-e	0.43 j-m
Lilian	1.10 ab	1.20 bc	1.03 ab	0.53 def	0.39 cd	0.45 de	0.40 c-g	0.54 e-i
Billy	1.00 bc	1.23 b	1.00 b	0.43 f-i	0.38 cd	0.48 cd	0.39 d-g	0.48 hij
Tassilo	0.70 g	0.70 ij	0.46 g	0.40 ghi	0.23 i	0.22 lm	0.51 bc	0.63 a-e
Adriana	0.70 g	0.90 efg	0.63 def	0.50 d-g	0.34 ef	0.31 hi	0.45 b-e	0.60 c-g
Savanah	0.70 g	0.90 efg	0.63 def	0.53 def	0.45 b	0.36 g	0.36 d-g	0.33 n
Oase	0.86 de	0.80 ghi	0.63 def	0.50 d-g	0.44 b	0.26 k	0.41 c-f	0.53 ghi
Triangle	0.70 g	0.66 jk	0.53 fg	0.43 f-i	0.39 c	0.26 k	0.35 d-g	0.46 ijk
Okapi	0.83 def	0.80 ghi	0.80 c	0.60 bcd	0.28 gh	0.43 ef	0.30 g	0.37 lmn
Opera	0.83 def	1.10 cd	0.66 de	0.70 ab	0.24 i	0.31 hi	0.34 efg	0.35 lmn
GKH2005	0.80 efg	0.96 ef	0.73 cd	0.60 bcd	0.36 de	0.25 kl	0.35 d-g	0.44 jkl
DH 9	0.83 def	0.70 ij	0.73 cd	0.50 d-g	0.31 fg	0.19 m	0.39 d-g	0.41 j-n
DH 5	0.70 g	0.76 hij	0.73 cd	0.53 def	0.29 gh	0.41 f	0.32 fg	0.35 mn
DH 4	0.56 h	0.80 ghi	0.50 g	0.56 cde	0.26 hi	0.41 f	0.34 efg	0.38 k-n
DH 3	0.76 efg	0.80 ghi	0.70 cd	0.50 d-g	0.24 i	0.42 ef	0.43 b-e	0.53 ghi
DH 7	0.73 fg	1.00 de	0.63 def	0.46 e-h	0.33 ef	0.44 def	0.34 efg	0.53 ghi
DH 8	0.80 efg	0.80 ghi	0.70 cd	0.66 abc	0.31 fg	0.35 gh	0.45 b-e	0.62 a-e
DH 10	0.73 fg	0.93 ef	0.73 cd	0.60 bcd	0.32 f	0.30 ij	0.40 c-g	0.61 b-f
DH 13	0.80 efg	0.93 ef	0.70 cd	0.73 a	0.51 a	0.32 hi	0.64 a	0.69 ab
DH 1	0.56 h	0.50 l	0.46 g	0.33 i	0.38 cd	0.27 jk	0.35 efg	0.55 e-h
DH 6	0.93 cd	0.56 kl	0.46 g	0.53 def	0.26 hi	0.42 ef	0.54 ab	0.70 a
DH 11	0.76 efg	0.86 fgh	0.56 efg	0.56 cde	0.36 de	0.41 f	0.47 bcd	0.64 a-d
LSD	0.1077	0.1283	0.1208	0.1239	0.0331	0.0376	0.1139	0.0837

میانگین‌های با حروف مشابه براساس آزمون FLSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی داری با هم ندارند.

Columns with same letters indicate no significant difference based on FLSD test at $\alpha=0.05$.

(Xia and Xiaoyu, 2012) اظهار کردند نسبت ریشه چه به ساقه چه شاخص مناسبی برای گزینش ارقام متحمل به خشکی در مرحله گیاهچه ای کلزا نمی باشد و با نتایج آزمایش حاضر مطابقت دارد. در این آزمایش نسبت طولی ریشه چه به ساقه چه در اکثر ارقام مورد بررسی در شرایط

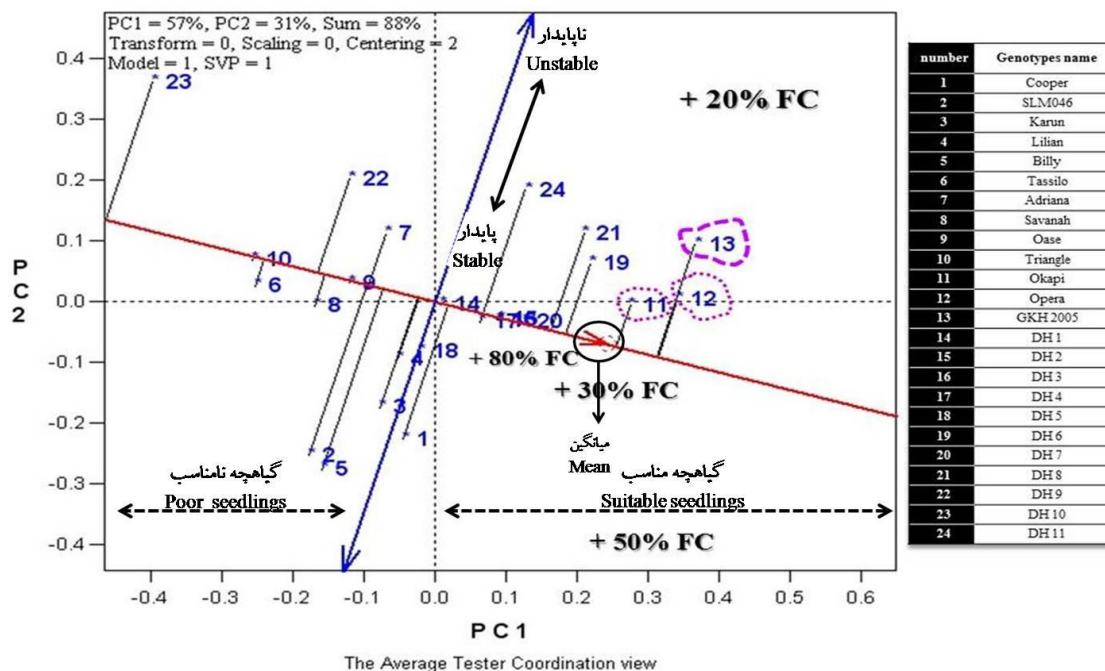
بیشتر محققین طول ریشه چه و نسبت ریشه چه به ساقه چه را شاخص های مناسبی برای شناسایی ارقام متحمل به شرایط کمبود رطوبت خاک ذکر کرده اند (Hoogenboom *et al.*, 1987; Gazanchian *et al.*, 2006). در حالی که در این زمینه زی آیو و زیبا

استخراج دو مؤلفه گردید که مؤلفه‌های اول و دوم به ترتیب ۵۷ و ۳۱ درصد از تغییرات را توجیه کردند (شکل ۱). بنابراین تمامی بای پلات‌های موجود در شکل‌های ۱، ۲ و ۳ براساس دو مؤلفه اول و دوم ترسیم شده‌اند. تجزیه GGE biplot به منظور رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها و شناسایی میزان پایداری ۲۴ ژنوتیپ کلزا در شرایط تنش کم‌آبی (شکل ۱)، گزینش ژنوتیپ ایده‌آل و متحمل به تنش کم‌آبی (شکل ۲) و شناسایی سطح رطوبتی مناسب برای گزینش ژنوتیپ‌های برتر در مرحله گیاهچه‌ای براساس ۱۲ صفت مورد بررسی انجام گرفت (شکل ۳).

تنش کم‌آبی افزایش یافت که دلیل این امر را می‌توان به تأثیر بیشتر کمبود رطوبت خاک بر رشد طولی ساقه‌چه نسبت به ریشه‌چه نسبت داد (جدول ۹). نتایج آزمایش امید و همکاران (Omid et al., 2009) نیز نشان داد که تنش خشکی علاوه بر کاهش رشد طولی ساقه‌چه و ریشه‌چه سبب کاهش نسبت ساقه‌چه به ریشه‌چه در ارقام کلزا گردید که با نتایج این آزمایش همخوانی داشت.

تجزیه GGE biplot

در این آزمایش هر سطح رطوبتی خاک به عنوان یک محیط در نظر گرفته شد و تجزیه GGE biplot سبب



شکل ۱- رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها به منظور شناسایی میزان پایداری ۲۴ ژنوتیپ کلزا در شرایط تنش کم‌آبی در مرحله گیاهچه‌ای براساس صفت درصد سبز شدن نهایی

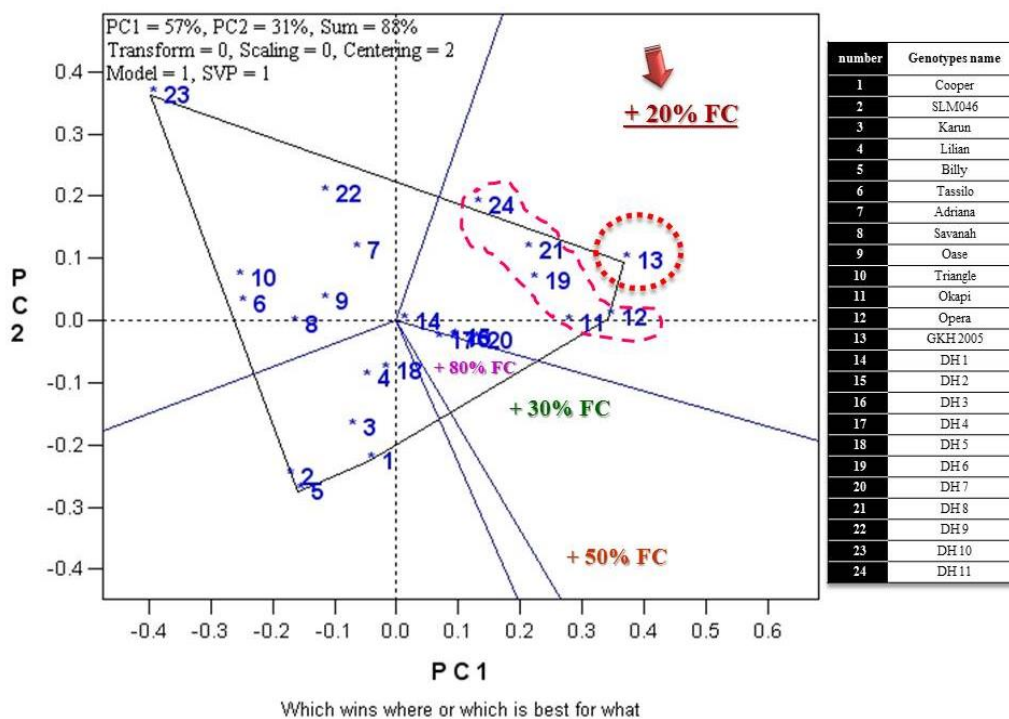
Figure 1- Genotype ranking in order to determine the stability of 24 oilseed rape genotypes under water stress conditions in seedling stage based on final emergence trait

که با علامت پیکان قرمز رنگ مشخص شده است را داشتند و نزدیک به فلش این محور (میانگین صفات) نیز بودند به عنوان بهترین ژنوتیپ‌ها انتخاب شدند (شکل ۱). اما با این وجود، سه رقم مذکور با وجود بیشترین میزان

در شکل ۱ بهترین ژنوتیپ باید اولاً دارای مقادیر بالایی از میانگین صفات مورد بررسی باشد و ثانیاً پایدار باشد. بر این اساس ژنوتیپ‌های Opera، GKH2005 و Okapi که فاصله کمی با محور افقی مختصات آزمون‌گر

(ژنوتیپ ایده آل) در هر بخش (چهار سطح رطوبتی خاک) استفاده شد. در شکل ۲، از چهار سطح رطوبتی خاک (۸۰، ۵۰، ۳۰ و ۲۰ درصد ظرفیت زراعی)، تنها سطح ۲۰ درصد ظرفیت زراعی به طور جداگانه در یک بخش مجزا تفکیک شده بود و سه سطح رطوبتی ۸۰، ۵۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی به طور مشترک در یک بخش دیگر قرار گرفتند. به دلیل تفکیک نشدن سه سطح رطوبتی ۸۰، ۵۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی و قرار نگرفتن هر یک در بخش جداگانه، قابل تمایز نبودند و برای گزینش نیز مناسب شناخته نشدند (شکل ۲). بنابراین در این بررسی، در بین ژنوتیپ‌هایی که در بخش ۲۰ درصد ظرفیت زراعی واقع شدند، بهترین ژنوتیپ ژنوتیپی بود که در رأس چندوجهی بخش قرار گرفته بود که بر این اساس رقم GKH 2005 به عنوان ژنوتیپ برتر شناخته شد (شکل ۱).

مؤلفه اول از پایداری متوسطی در مورد میانگین صفات مورد بررسی برخوردار بودند و پایداری ارقام Okapi و Opera در شرایط تنش کم آبی بیشتر از GKH2005 بود. نتایج نشان داده است که هر چه فاصله هر رقم از خط میانگین بیشتر باشد پایداری در شرایط تنش کمتر است (Niazian *et al.*, 2009; Farshadfar *et al.*, 2012). بررسی بیشتر در شکل ۱ نشان می‌دهد که ارقامی مانند Oase و Triangle و حتی Savanah نیز از پایداری بسیار بالایی در شرایط تنش برخوردار بودند اما به دلیل داشتن مقادیر اندکی از مؤلفه اول و دوم جزء ارقام حساس به تنش کم آبی طبقه بندی شدند. همچنین ارقام Billy و SLM046 کمترین پایداری صفات را در شرایط تنش کم آبی در مرحله جوانه زنی داشتند (شکل ۱). از نمودار چندوجهی ۲ برای تشخیص بهترین ژنوتیپ

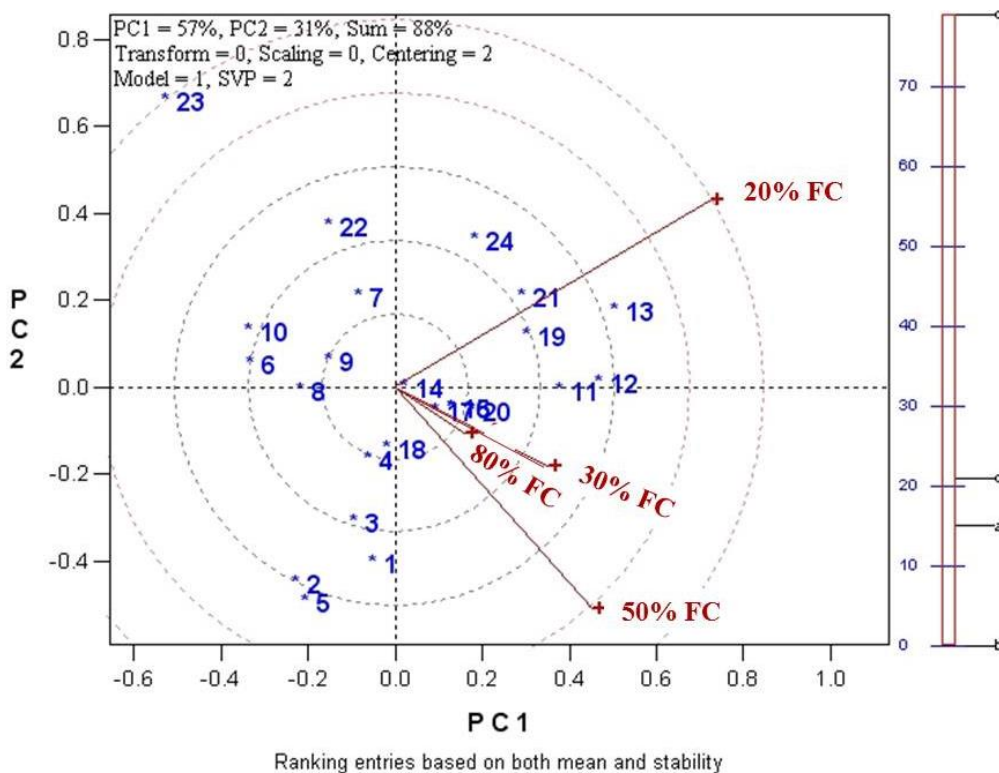


شکل ۲- نمودار شناسایی ژنوتیپ ایده آل و متحمل به تنش کم آبی (بهترین ژنوتیپ) بر اساس الگوی کدام-برتر-کجا در مرحله گیاهچه‌ای بر اساس صفت درصد سبز شدن نهایی

Figure 2- Identification chart of ideal and tolerant genotypes (Best genotype) based on the 'which-won-where' pattern in seedling stage based on final emergence trait

بسیار زیادی باهم داشتند و سطح ۵۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی نیز با فاصله‌ای کم از آن‌ها قرار گرفته بود (شکل ۳). این در حالی است که سطح ۲۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی با عدم تشابه نسبت به سطوح رطوبتی دیگر با فاصله‌ای زیاد از سطوح ۵۰، ۸۰ و ۳۰ کاملاً متمایز بود (شکل ۳). بنابراین به دلیل تفکیک نشدن سه سطح رطوبتی ۵۰، ۸۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم تمایز آن‌ها، برای گزینش مناسب نبودند و تنها سطح ۲۰ درصد ظرفیت زراعی به عنوان بخش مناسب برای گزینش ژنوتیپ ایده آل شناخته شد (شکل ۳).

به منظور شناسایی بخش (سطح رطوبتی) مناسب برای گزینش ژنوتیپ‌ها از شکل ۳ نیز استفاده شد. توزیع و پراکنش ژنوتیپ‌ها در این شکل همانند شکل ۲ بود و هر یک از چهار سطح رطوبتی خاک (۲۰، ۳۰، ۵۰، ۸۰) درصد ظرفیت زراعی) به صورت یک خط از مرکز مختصات خارج شده و در انتهای هر خط، مکان قرار گیری دقیق هر سطح رطوبتی به صورت علامت مثبت (+) مشخص شده است. همچنین خط کش موجود در سمت راست شکل، میزان نزدیکی و مشابه بودن هر بخش (سطح رطوبتی) را با هم مقایسه می‌کند (شکل ۳). بر این اساس سطوح ۳۰ و ۸۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی شباهت



شکل ۳- نمودار شناسایی بخش (سطح رطوبتی) مناسب برای گزینش ژنوتیپ‌های برتر در مرحله گیاهچه‌ای براساس صفت درصد سبز شدن نهایی (در خط کش سمت راست شکل، a: ۸۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی، b: ۵۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی، c: ۳۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی و d: ۲۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی می‌باشد). همچنین اسامی ارقام براساس شماره، در شکل ۱ نشان داده شده است.

Figure 3- Identification suitable section (moisture level) for selection of superior genotypes in seedling stages superior based on final emergence trait (In the right-hand ruler of the figure, a: 80% moisture FC, b: 50% moisture FC, c: 30% moisture FC, and d: 20% moisture FC).

Also, the names of the genotypes are shown in Fig. 1.

روش تجزیه گرافیکی GGE biplot نه تنها در تجزیه پایداری ارقام بلکه در تمام داده‌هایی که از جدول دو طرفه ژنوتیپ × محیط استفاده می‌کنند از جمله ژنوتیپ × صفت، ژنوتیپ میزبان × سویه پاتوژن، ژنوتیپ × تیمار (تاریخ کاشت، تراکم کاشت، کاربرد کود و غیره)، اثر متقابل علف کش × حشره کش، اثر متقابل ژن یا QTL × محیط و غیره می‌تواند مفید و سودمند باشد.

نتیجه‌گیری نهایی

با توجه به نتایج حاصل از تجزیه GGE biplot و بر اساس الگوی کدام-برتر-کجا در این آزمایش، رقم 2005 GKH به عنوان متحمل‌ترین رقم به تنش کم‌آبی با پایداری نسبتاً مطلوب شناخته شد و سطح ۲۰ درصد ظرفیت زراعی نیز به عنوان محیط هدف برای گزینش ژنوتیپ متحمل شناخته شد. نتایج شرح داده شده در این آزمایش با گزارش فرشادفر و همکاران (Farshadfar et al., 2012) مطابقت داشت. کایا و همکاران (Kaya et al., 2006) نیز به منظور شناسایی ژنوتیپ برتر از میان ۲۵ رقم گندم نان در شرایط تنش خشکی از نمودارهای بای پلات شرح داده شده در این آزمایش استفاده کردند.

تجزیه GGE biplot یک ابزار مصور سازی داده‌هاست که به صورت گرافیکی اثرات متقابل ژنوتیپ × محیط را در یک شکل دو طرفه نشان می‌دهد (Yan et al., 2000). تجزیه GGE biplot به منظور ارزیابی ژنوتیپ (میانگین پایداری) و محیط (قدرت تفکیک ارقام در محیط‌های هدف) کاربرد زیادی دارد (Yan and Kang, 2003; Yan and Ma, 2006). به دلیل اینکه روش تجزیه GGE biplot از میانگین ژنوتیپ و پایداری همزمان برای گزینش ژنوتیپ‌های پایدار استفاده می‌کند نسبت به روش تجزیه AMMI موفق‌تر عمل می‌کند (Yan and Kang, 2003). از آنجائیکه اثر محیط در اکثر موارد بسیار بزرگ بوده اما قابل بهره‌برداری نیست لذا حذف اثر محیط از داده‌ها و تمرکز بر اثر ژنوتیپ (G) و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط (GE) حائز اهمیت می‌باشد. تنها اثر ژنوتیپ و ژنوتیپ در محیط است که در گزینش ژنوتیپ‌های پایدار اهمیت دارند و نکته اساسی این است که دو اثر می‌بایست به صورت توأم مورد بررسی و استفاده قرار گیرند هر چند که در بعضی از روش‌ها مانند روش AMMI این دو اثر به صورت مجزا مورد بررسی قرار می‌گیرند. روش GGE biplot این امکان را می‌دهد که این دو اثر همزمان و به صورت گرافیکی مورد بررسی قرار گیرد (Yan and Kang, 2003; Pourdad and Jamshid, 2013; Moghaddam, 2013). به عقیده (Yan et al., 2002)

Reference

منابع

- Afzal, I., A. Nazir, M. Ferhat, H. Amjad, I. Saadia, and A. Gulzar. 2004. Enhancement of germination and emergence of canola seeds by different priming techniques. Santa Cruz Do Sul. 16 (1): 19-34.
- Andalibi, B., A. Zangani, and A. Hagh Nazari. 2005. Effects of water stress on germination indices in six rapeseed cultivars (*Brassica napus* L.). Iranian J. Agric. Sci. 36 (2): 457-463.
- Abdul-Baki, A.A., and J.D. Anderson. 1973. Relationship between decarboxylation of glutamic acid and vigor in soybean seed. Crop Sci. 13: 227-232.
- Basra, S.M.A., M.N. Zia, T. Mahmood, L. Afzal, and A. Khaliq. 2002. Comparison of different invigoration techniques in wheat (*Triticum aestivum* L.). Pak. J. Agric. Sci. 5: 325-329.

- Chaghakaboodi, Z., and A.R. Zebarjadi. 2012.** Evaluation of drought tolerance of rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes in laboratory and field conditions. Seed. Plant. Improve. J. 28 (1): 17-38. (In Persian, with English Abstract)
- Dehghani, H., A. Ebadi, and A. Yousefi. 2006.** Biplot analysis of genotype by environment interaction for barley yield in Iran. Agron. J. 98 (2): 388-393.
- Donatelli, M., G.L. Hammer, and R.L. Vanderlip. 1992.** Genotype and water limitation effects on phenology, growth and transpiration efficiency in grain sorghum. Crop Sci. 32: 781-786.
- Elias, S.G., and L.O. Copleland. 1994.** The effect of storage condition on canola (*Brassica napus* L.) seed quality. Seed Sci. Technol. 18 (1): 21-29.
- Ellis, R.H., and E.H. Roberts. 1980.** Towards a rational basis for testing seed quality. Pp. 605-635. In: P.D. Hebblethwaite (ed.) Seed Production. Butterworths, London.
- El-Sharkawi, H.M., and I. Springuel. 1977.** Germination of some crop plant seed under reduced water potential. Seed Sci. Technol. 5: 677-688.
- Escobar, M., M. Berti, I. Matus, M. Tapia, and B. Johnson. 2011.** Genotype × environment interaction in canola (*Brassica napus* L.) Seed yield in Chile. Chil. J. Agric. Res. 71 (2): 175-186.
- Farshadfar, E., R. Mohammadi, M. Aghaee, and Z. Vaisi. 2012.** GGE biplot analysis of genotype × environment interaction in wheat-barley disomic addition lines. Aust. J. Crop Sci. 6(6): 1074-1079.
- Gabriel, K. R. 1971.** The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis. Biometrika. 58: 453-467.
- Gazanchian, A., N.A. Khosh Kholgh Sima, M.A. Malboobi, and E. Majidi Heravan. 2006.** Relationships between emergence and soil water content for perennial cool-season grasses native to Iran. Crop Sci. 46: 544-553.
- Gul, A., and F.L. Allen. 1979.** Stand and establishment of wheat lines under different levels of water potential. Crop Sci. 16: 611-615.
- Hasani, M., B. Heidari, A. Dadkhodaie, and P. Stevanato. 2018.** Genotype by environment interaction components underlying variations in root, sugar and white sugar yield in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). Euphytica. 214 (4): 79.
- Hoogenboom, G., M.G. Huck, and C.M. Peterson. 1987.** Root growth rate of soybean as affected by drought stress. Agron. J. 79: 607-614.
- Hsiao, T.C., and L.K. Xu. 2000.** Sensitivity of growth of roots versus leaves to water stress: biophysical analysis and relation to water transport. J. Exp. Bot. 51: 1595-1616.
- Jabbari, H., G.A. Akbari, N.A. Khosh Kholgh Sima, A.H. Shirani Rad, I. Allahdadi, A. Hamed, and M. Enayati Shariatpanahi. 2013.** Relationships between seedling establishment and soil moisture content for winter and spring rapeseed genotypes. Ind. Crop. Prod. 49: 177-187.
- Jajarmi, V. 2008.** Effect of water stress on germination indices in seven safflower cultivars (*Carthamus tinctorius* L.). p. 1-3. In Proc. Conf. Safflower. Section of general, 7th, WAGGA, New South Wales, Australia. 3-6 Nov. 2008. Australian oilseeds federation, Australia.
- Jamaati-e-Somarin, S., R. Zabihi-e-Mahmoodabad, and A. Yari. 2010.** Reaction of canola cultivars (*Brassica napus* L.) to water deficit on seed germination and seedling growth stage. Word Appl. Sci. J. 10: 699-702.
- Karimizadeh, R., M. Mohammadi, N. Sabaghni, A.A. Mahmoodi, B. Roustami, F. Seyyedi, and F. Akbari. 2013.** GGE biplot analysis of yield stability in multi-environment trials of lentil genotypes under rainfed condition. Not. Sci. Biol. 5 (2): 256.
- Kaya, Y., M. Akçura, and S. Taner. 2006.** GGE-Biplot analysis of multi-environment yield trials in bread wheat. Turk. J. Agric. For. 30: 325-337.
- Maguire, J.D. 1962.** Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. Crop Sci. 2: 176-177.

- Majidi, M.M. 2012.** Identification of canola cultivars for drought tolerance in germination and seedling growth stages using principal component analysis. *J. Crop Prod. Process.* 2 (4): 41-52. (In Persian, with English Abstract)
- Mayers, J.D., R.J. Lowh, and D.E. Byth. 1991.** Adaptation of soybean to dry season of tropics. I. Genotype and environmental effects on phenology. *Aust. J. Agric. Res.* 42: 479-515.
- Mazaheri Tirani, M., and Monochehri Kalantari, K. 2006.** Effects of the role of salicylic acid, drought stress, ethylene and interaction of three factors on seed germination of *Brassica napus*. *Iranian J. Biol.* 4: 408-418.
- Mohammadi, R., R. Haghparast, A. Amri, and S. Ceccarelli. 2010.** Yield stability of rainfed durum wheat and GGE biplot analysis of multi-environment trials. *Crop Pasture Sci.* 61 (1):92-101.
- Moradshahi, A., B. Salehi Eskandari, and B. Kholdebarin. 2004.** Some physiological responses of canola (*Brassica napus* L.). *Iranian J. Sci. Technol.* 28: 43-50.
- Mostafavi, Kh., A. Mohammadi, M. Khodarahmi, M. Zabet, and M. Zare. 2013.** Yield response of commercial canola cultivars to different locations using graphical GGE biplot method. *Iranian J. Agron. Plant Breed.* 8 (4): 133-143.
- Mwale, S.S., C. Hamusimbi, and K. Mwansa. 2003.** Germination, emergence and growth of canola (*Helianthus annuus* L.) in response to osmotic seed priming. *Seed Sci. Technol.* 31: 199-206.
- Niazian, M., R. Amiri, S.M. Mahdi Mortazavian, A. Rajabi, and Orazizadeh, M.R. 2009.** Genetical analysis for yield traits in tropical beet using of GGE-biplot analysis of diallel cross data. *J. Crop Breed.* 1 (4): 77-94. (In Persian, with English Abstract)
- Omidi, H., F. Khazaei, S. Hamzi Alvanagh, and H. Heidari-Sharifabad. 2009.** Improvement of seed germination traits in canola (*Brassica napus* L.) as affected by saline and drought stresses. *Plant Ecophysiol.* 3: 151-158.
- Pessaraki, M. 1994.** *Plant and Crop Stress Handbook.* Marcel Dekker, New York, USA.
- Pourdad, S.S., and M. Jamshid Moghaddam. 2013.** Study on genotype×environment interaction through GGE biplot for seed yield in spring rapeseed (*Brassica Napus* L.) in rain-fed condition. *Iranian J. Crop Breed.* 5 (12):1-14.
- Roostabaghi, B., H. Dehghani, B. Alizadeh, and N. Sabaghnia. 2013.** Analysis of general and specific combining ability in canola using biplot method. *Iranian J. Field Crops Res.* 11 (2): 251-258.
- Sabaghnia, N., H. Dehghani, B. Alizadeh, and M. Moghaddam. 2011.** Yield analysis of rapeseed (*Brassica napus* L.) under water-stress conditions using GGE biplot methodology. *J. Crop Improve.* 25 (1): 26-45.
- Scott, S.J., R.A. Jones, and W.A. Willams. 1984.** Review of data analysis methods for seed germination. *Crop Sci.* 24: 1192-1199.
- Sangtarash, M.H., M.M. Qaderi, C.C. Chinnappa, and D.M. Reid. 2009.** Differential sensitivity of canola (*Brassica napus* L.) seedlings to ultraviolet-B radiation, water stress and abscisic acid. *Environ. Exp. Bot.* 66: 212-219.
- Seefeldt, S.S., K.K. Kidwell, and J.E. Waller. 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 Res.* 75: 45-52.
- Shahverdikandi, M., A. Tobeh, S. Jahanbakhsh Godehkahriz, and Z. Rastegar. 2011.** The study of germination index of canola cultivars for drought resistance. *Int. J. Agron. Plant Prod.* 2 (3): 89-95.
- Shekari, F., R. Khoie, A. Javanshir, H. Alyari, and M.R. Shkiba. 2000.** Effect of sodium chloride salinity on germination of rapeseed cultivars. *Turk. J. Field Crops.* 5(1): 21-28.
- Shiri, M.R. 2013.** Grain yield stability analysis of maize (*Zea mays* L.) hybrids under different drought stress conditions using GGE biplot analysis. *Crop Breed. J.* 3 (2): 107-112.
- Tommasini, L., J.T. Svensson, E.M. Rodriguez, A. Wahid, M. Malatrasi, K. Kato, S. Wanamaker, J. Resnik, and T.J. Close. 2008.** Dehydrin gene expression provides an indicator of low temperature and drought stress: Transcriptome-based analysis of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Funct. Integr. Genomics.* 8: 387-405.

Xia, Z., and X. Xiaoyu. 2012. Studies on identification indexes of drought resistance by PEG during seed germination of rapeseed (*Brassica napus* L.). Acta Agric Bor. Sin. 2: 1-17.

Yan, W., L.A. Hunt, Q. Sheng, and Z. Szlavnic. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. Crop Sci. 40: 597-605.

Yan, W., and L.A. Hunt. 2001. Genetic and environmental causes of genotype by environment interaction for winter wheat yield in Ontario. Crop Sci. 41:19-25.

Yan, W., and M.S. Kang. 2002. GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists. CRC press, Boca Raton.

Yan, W., and M.S. Kang. 2003. GGE biplot analysis: a graphical tool for breeders, In: M.S. Kang (ed.). Geneticists, and agronomist. CRC Press, Boca Raton, FL.

Yan, W., and B.L. Ma. 2006. Model diagnosis and GGE biplot analysis, p. 39. Eastern cereal and oilseed research centre, Agriculture and agri-food Canada.

Zali, H., O. Sofalian, T. Hasanloo, and A. Asghari. 2016. AMMI and GGE biplot analysis of yield stability and drought tolerance in *Brassica napus* L. Agric. Commun. 4 (1): 1-8.

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

