



بررسی اثر تنش خشکی بعد از دوره گلدهی بر خصوصیات مورفو-فیزیولوژیکی و عملکرد برخی از ژنوتیپ‌های زمستانه کلزا (*Brassica napus* L.) در شرایط مزرعه

مراد چشمه‌نور^۱، محمدرضا بی‌همتا^۲، علی‌اکبر شاه‌نجات بوشهری^۲، علیرضا عباسی^۳ و بهرام علیزاده^۴

۱- دانشجوی دکتری اصلاح نباتات گرایش ژنتیک مولکولی و مهندسی ژنتیک پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران،

(نویسنده مسوول: cheshmehmorad@ut.ac.ir)

۲ و ۳- استاد و دانشیار، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران

۴- دانشیار بخش دانه‌های روغنی، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۲/۱۹ تاریخ پذیرش: ۹۷/۵/۲۷

صفحه: ۸۸ تا ۹۷

چکیده

تنش خشکی یکی از عوامل مهمی است که باعث محدودیت رشد و کاهش عملکرد در کلزا می‌شود. این پژوهش به منظور مطالعه ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی ژنوتیپ‌های زمستانه کلزا در شرایط بدون تنش و تنش خشکی انجام شد. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۵-۹۶ در مزرعه تحقیقاتی پردیس تحقیقات کشاورزی بروجرد اجرا شد. نتایج تجزیه واریانس مرکب صفات نشان داد که برهمکنش ژنوتیپ و محیط برای صفاتی مانند عملکرد دانه، دوره گلدهی، تعداد روز تا شروع گلدهی، دوره رسیدگی دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. از طرفی برهمکنش ژنوتیپ و محیط برای صفت میزان سبزی‌نگی برگ در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در شرایط تنش خشکی ژنوتیپ L72 بیشترین عملکرد دانه را داشت. ژنوتیپ 1142 در هر دو شرایط تنش و بدون تنش خشکی کمترین عملکرد دانه را داشت. دو صفت دوره رشد تا گلدهی و دوره رسیدگی دانه به ترتیب با ۹۴٪ و ۹۷٪، بیشترین وراثت‌پذیری عمومی را در شرایط بدون تنش و تنش خشکی داشتند. در تجزیه به عامل‌ها در شرایط بدون تنش عامل‌های اول تا چهارم و در شرایط تنش عامل‌های اول تا سوم به ترتیب ۸۲٪ و ۷۲٪ از واریانس کل را به خود اختصاص دادند. در شرایط بدون تنش و تنش خشکی به ترتیب بیشترین فاصله ژنتیکی بین ژنوتیپ‌های ۱۱۳۹ با احمدی و ۱۱۳۹ با ۱۱۴۴ مشاهده شد. در نتیجه، ژنوتیپ‌های که دارای فاصله ژنتیکی بیشتری از همدیگر هستند، می‌توانند به‌عنوان کاندید برای برنامه‌های اصلاحی آینده مورد استفاده قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، تنوع ژنتیکی، کلزا، مورفو-فیزیولوژی، وراثت پذیری

مقدمه

کلزا (*Brassica napus* L.) یکی از مهم‌ترین محصولات کشاورزی در جهان است که بر اساس گزارش فائو در سال ۲۰۱۲ تولید دانه روغنی کلزا در جهان نزدیک به ۶۴ میلیون تن بود (۱۹). کلزا یکی از مهم‌ترین دانه‌های روغنی و سومین گیاه روغنی در جهان به حساب می‌آید. از طرفی این محصول زراعی مهم‌ترین گیاه روغنی خانواده چلیپاییان می‌باشد (۱۷). همچنین کلزا یک منبع مهم پروتئین گیاهی در جهان محسوب می‌شود (۲۱). تنش خشکی یکی از عوامل مهمی است که باعث محدودیت رشد و کاهش عملکرد در کلزا می‌شود. غربال کردن مواد گیاهی متحمل به تنش خشکی عملکرد محصول کلزا را در شرایط تنش خشکی بهبود خواهد داد (۲۱). کلزا مانند بسیاری از گیاهان زراعی تحت‌تأثیر تنش‌های خشکی، شوری و دما می‌باشد (۱۷). در کشور چین تنش خشکی سالانه باعث کاهش حداقل ۳۰ درصد عملکرد کلزا می‌شود (۲۱). با توجه به وضعیت آب در مراحل ویژه‌ای از فنولوژی کلزا خصوصاً در دوره رشد زایشی، کمیت و کیفیت دانه آن تحت‌تأثیر تنش قرار می‌گیرد (۸). کمبود آب در مراحل مهم رشد کلزا مانند گلدهی و پر شدن دانه می‌تواند روی عملکرد آن اثر سوء بگذارد. تنش خشکی در مراحل مختلف رشد بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزا تأثیر منفی دارد. در یک مطالعه گزارش شده که کمبود آب در مراحل مختلف رشد کلزا

بویژه مرحله گلدهی تا پایان پرشدن دانه، عملکرد و اجزای آن مانند وزن هزار دانه و تعداد دانه را تحت‌تأثیر منفی قرار می‌دهد (۵). گزارش شده که مراحل گلدهی و تشکیل خورجین‌ها از حساس‌ترین مراحل کلزا به تنش رطوبتی هستند. در مناطقی از ایران که نوسانات مقدار و توزیع بارندگی آنها زیاد است، تنش خشکی رخ می‌دهد. بنابراین در این مناطق باید ارقامی از کلزا را انتخاب نمود که بتوانند در سال‌های کم باران با تحمل شرایط خشکی دارای عملکرد پایدار و مقرون به صرفه باشند (۱۵). کلزا یکی از محصولات مهم اقتصادی است که در خیلی از کشورها از جمله پاکستان کشت می‌شود. در پاکستان به علت کم آبی و بارش اندک عملکرد و کیفیت کلزا بطور قابل ملاحظه‌ای طی فصل رشد کاهش می‌یابد. علاوه بر عملکرد و کیفیت کلزا، کم آبی با تغییر در عملکرد فرایندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی بسیاری در این گیاه مرتبط می‌شود. برای مثال، کمبود آب باعث افزایش میزان پرولین و کاهش محتوای کلروفیل در گیاه کلزا می‌شود و این دو نشانه‌ها یا علائمی هستند که بطور بالقوه به‌عنوان شاخص‌های تحمل خشکی در این محصول گزارش شده‌اند (۴). تنش‌های غیرزنده مانند دمای خیلی زیاد، شوری بالا، اشعه فرابنفش، سرما، خشکی و در معرض فلزات سنگین بودن، تأثیر منفی تا حدود ۵۰ درصد روی محصولات کشاورزی جهان دارد. بر اساس گزارش سازمان خواروبار

مرحله گلدهی در تیمارها را به عنوان طول دوره گلدهی در نظر گرفته شد. صفت طول دوره رشد تا رسیدگی کامل دانه هم از تاریخ جوانه زنی تا رسیدگی کامل بذر تعیین شد. تاریخ پایان گلدهی ژنوتیپ‌ها تا رسیدگی کامل بذر هم به عنوان طول دوره رسیدگی دانه محسوب شد. برای اندازه‌گیری عملکرد دانه در هر ژنوتیپ کلیه بوته‌های هر کرت بطور کامل برداشت شدند. برای شمارش هزار دانه از دستگاه بذر شمار استفاده شد به اینصورت که در هر ژنوتیپ هزار دانه بوسیله دستگاه بذر شمار شمارش شد و با ترازو دو صفر وزن هزار هر ژنوتیپ اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری میزان سبزیگی برگ (کلروفیل برگ) از دستگاه SPAD-502 Plus ساخت شرکت Konica Minolta ژاپن استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها برای کلیه صفات به روش توکی (HSD) در سطح احتمال یک درصد انجام گرفت. در این پژوهش اجزای واریانس ژنتیکی و فنوتیپی با استفاده از امید ریاضی میانگین مربعات طرح آماری برآورد شد. سپس قابلیت توارث عمومی (H^2)، ضرایب تنوع ژنتیکی و فنوتیپی به روش هالار و همکاران (۱۰) از روابط زیر محاسبه شدند.

$$\text{رابطه (۱)} \quad H^2 = \sigma_g^2 / \sigma_p^2 \quad \text{وراثت‌پذیری عمومی}$$

$$\text{رابطه (۲)} \quad GCV\% = \sqrt{\sigma_g^2} / \bar{x} \quad \text{ضریب تنوع ژنتیکی}$$

$$\text{رابطه (۳)} \quad PCV\% = \sqrt{\sigma_p^2} / \bar{x} \quad \text{ضریب تنوع فنوتیپی}$$

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزارهای آماری SAS 9.1، Minitab 16 و SPSS 19 استفاده شد.

نتایج تجزیه واریانس مرکب

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها (جداول ۱ و ۲) بعد از آزمون همگنی واریانس‌ها نشان داد که در هر دو شرایط محیطی بدون تنش و تنش‌خشکی برای همه صفات بجز برای دو صفت عملکرد دانه و تعداد روز تا شروع گلدهی در سطح احتمال یک درصد اثر تنش خشکی و ژنوتیپ معنی‌دار بود. برهمکنش ژنوتیپ و محیط (ژنوتیپ $\times$ محیط) برای صفات عملکرد دانه، دوره گلدهی، تعداد روز تا شروع گلدهی و دوره رسیدگی دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. برای سبزیگی برگ برهمکنش ژنوتیپ و محیط در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد. در پژوهشی تحت عنوان بررسی تاثیر تنش خشکی آخر فصل بر عملکرد و خصوصیات فیزیولوژیکی در برخی ارقام کلزا مشخص شد برهمکنش ژنوتیپ و محیط برای صفاتی مانند عملکرد دانه در واحد سطح در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد (۷، ۱۳). گزارش شده که اعمال تنش خشکی در چند رقم زراعی کلزا در مراحل گلدهی و پر شدن دانه تاثیر معنی‌داری روی صفاتی مانند عملکرد دانه، ارتفاع بوته و طول دوره رشد ندارد (۱۴).

مقایسه میانگین‌ها

مقایسه میانگین‌ها (جداول ۸ و ۹) نشان داد که در هر دو شرایط عدم تنش و تنش خشکی برای صفت طول دوره رشد ژنوتیپ Sw102 با میانگین ۲۸۴ و ۲۷۶ روز دوره رشد تا

جهانی غذا در جهان حدود ۲۶ درصد از زمین‌های قابل کشت در معرض خشکی قرار دارند و بیش از ۲۰ درصد از زمین‌های قابل آبیاری تحت تاثیر نمک می‌باشند (۵). مطالعات نشان می‌دهد که در بین تنش‌های محیطی، خشکی مهم‌ترین تنش غیرزنده است که بیشتر از سایر عوامل تولید محصولات زراعی را محدود می‌کند (۲۰). ایران با متوسط بارندگی سالیانه نزدیک به ۲۴۰ میلی‌متر جزو کشورهای خشک جهان است. تنش خشکی به‌ویژه در مراحل پایانی رشد از مهم‌ترین و شایع‌ترین عوامل محدود کننده رشد گیاهان در مناطق خشک و نیمه خشک به حساب می‌آید (۱۸). کلزا هم مانند بسیاری از گیاهان زراعی در بسیاری از مناطق کشور در مراحل پایانی رشد بخصوص در زمان پر شدن دانه با تنش خشکی و کمبود رطوبت مواجه می‌شود (۴). هدف از اجرای این پژوهش بررسی تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه کلزای زمستانه براساس عملکرد و اجزای آن و صفات مورفو-فیزیولوژیکی و دست‌یابی به ژنوتیپ(های) مناسب و متحمل به تنش خشکی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۵-۹۶ در مزرعه تحقیقاتی پردیس تحقیقات و آموزش کشاورزی بروجرد انجام شد. مواد ژنتیکی مورد آزمایش شامل ۳۰ ژنوتیپ کلزای زمستانه بودند که از بخش تحقیقات دانه‌های روغنی موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه شدند. ژنوتیپ‌های مورد آزمایش در اواخر شهریور ۱۳۹۵ در دو شرایط رطوبتی عدم تنش (نرمال) و تنش خشکی پایان دوره گلدهی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار کشت شدند. هر بلوک به دو ردیف ۱۵ کرتی تقسیم شد (جمعاً ۳۰ کرت). هر کرت به ۵ ردیف کاشت مساوی به طول ۲ متر و عرض ۳۰ سانتی‌متر تقسیم شد. فاصله هر کرت با کرت مجاور خود ۶۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. بذور در هر کرت به روش دستی و با تراکم ۸۰ بوته در مترمربع در عمق ۱ تا ۱/۵ سانتی‌متری خاک کشت شدند. از کودهای شیمیایی سوپرفسفات تریپل، سولفات پتاسیم و اوره به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار استفاده شد. همچنین میزان مصرف کود گوگرد گرانوله مصرفی ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار در نظر گرفته شد. از سموم علفکش مانند سوپر گالانت (یک لیتر در هکتار) و لونترل (۸۰۰ سی‌سی در هکتار) به ترتیب برای کنترل علف‌های هرز باریک برگ و پهن برگ استفاده شد. برای مبارزه با شته از حشره‌کش کنفیدور به میزان ۲۵۰ سی‌سی در هکتار استفاده گردید. عملیات آبیاری برای بلوک‌ها در هر دو شرایط عدم تنش و تنش خشکی تا پایان مرحله گلدهی با سیفون به صورت نشتی انجام شد. بعد از پایان دوره گلدهی در کرت‌های تحت شرایط تنش خشکی آبیاری قطع شد. برای اندازه‌گیری صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی در طول دوره تنش خشکی از هر کرت تعداد ده بوته به تصادف انتخاب شد. صفاتی مانند ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی در بوته، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و میزان سبزیگی برگ (کلروفیل برگ) اندازه‌گیری شدند. طول مدت زمان بین شروع گلدهی تا پایان

اختصاص دادند. مقایسه میانگین‌ها برای صفت عملکرد نشان داد که ژنوتیپ R15 با میانگین $0/621$ کیلوگرم در مترمربع بیشترین عملکرد و ژنوتیپ Talaye با میانگین $0/308$ کیلوگرم در مترمربع کمترین عملکرد دانه در شرایط بدون تنش رطوبتی را داشتند (جدول ۸). در شرایط تنش رطوبتی ژنوتیپ 1142 با میانگین $0/331$ کیلوگرم و ژنوتیپ L72 با میانگین $0/708$ کیلوگرم در مترمربع به ترتیب کمترین و بیشترین عملکرد دانه را دارا بودند (جدول ۹). با توجه به اینکه ژنوتیپ L72 در شرایط تنش خشکی دارای بیشترین میانگین عملکرد دانه در مترمربع بود، احتمال دارد این افزایش عملکرد به دلیل تحمل بیشتر این ژنوتیپ در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها نسبت به شرایط تنش رطوبتی باشد. گزارش شده ژنوتیپ‌های کلزا که به شرایط تنش خشکی تحمل بیشتری دارند ممکن است نسبت به ژنوتیپ‌های که تحمل کمتری دارند عملکرد بیشتری داشته باشند. همچنین گزارش شده که تنش خشکی در کلزا باعث کاهش عملکرد، وزن هزار دانه، تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین می‌شود که با برخی از نتایج پژوهش حاضر مغایرت دارد (۱۳،۷).

وراثت‌پذیری عمومی

نتایج نشان داد که در شرایط عدم تنش (جدول ۲) صفات دوره رشد تا گلدهی، دوره گلدهی و دوره رسیدگی دانه به ترتیب با مقادیر $94/09$ ، $92/21$ و $90/29$ درصد بیشترین وراثت‌پذیری عمومی را داشتند. در شرایط تنش خشکی (جدول ۳) نیز صفات دوره رسیدگی دانه ($97/5$ درصد)، دوره رشد تا گلدهی ($93/7$ درصد) و دوره گلدهی ($89/5$ درصد) از بیشترین مقدار وراثت‌پذیری عمومی برخوردار بودند. بر اساس نتایج بدست آمده در این پژوهش نتیجه‌گیری می‌شود که این صفات بیشتر تحت‌تأثیر ژنوتیپ هستند تا شرایط محیطی. این نتایج در یافته‌های پیشین برای صفت تعداد روز تا گلدهی در ارقام دیگری از کلزا گزارش شده است (۱۳). در شرایط عدم تنش و تنش رطوبتی به ترتیب صفات تعداد خورجین با $1/03$ درصد و تعداد شاخه فرعی در بوته با $1/2$ درصد دارای کمترین وراثت‌پذیری عمومی بودند. بنابراین نتیجه می‌گیریم که صفات فوق احتمالاً بیشتر تحت‌تأثیر شرایط محیطی و زراعی قرار دارند. این یافته با نتایج سایر محققین در ژنوتیپ‌های دیگر کلزا برای وراثت‌پذیری صفات مختلف مطابقت دارد (۲۲). میزان بازدهی انتخاب برای بهبود یک صفت به تأثیر نسبی عوامل ژنتیکی و محیطی در بروز اختلافات فنوتیپی بستگی دارد که از طریق پارامتر وراثت‌پذیری بیان می‌شود (۱۳). در هر دو شرایط عدم تنش و تنش خشکی دوره گلدهی دارای بیشترین مقدار تنوع ژنتیکی بود (جدول ۲، ۳، ۴ و ۵). دوره رشد تا رسیدگی دانه در شرایط عدم تنش و صفت تعداد شاخه فرعی در بوته برای شرایط تنش خشکی کمترین میزان تنوع ژنتیکی را نشان دادند. نتایج بدست آمده با پژوهش‌های پیشین (۱۳) مطابقت داشت. برای به‌نژادی و تولید ارقام پرمحصول دسترسی به منابع ژنتیکی، اطلاع از ساختار ژنتیکی و چگونگی توارث صفات در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه لازم و ضروری می‌باشد (۱۳). نتایج نشان داد که صفات دوره گلدهی و عملکرد دانه در هر دو

رسیدگی کامل به‌عنوان دیرس‌ترین ژنوتیپ در بین سایر ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در این تحقیق شناخته شد. در همین تحقیق ژنوتیپ 1142 با میانگین $273/3$ روز طول دوره رشد در هر دو شرایط تنش و عدم تنش از کمترین طول دوره رشد تا رسیدگی کامل برخوردار بود و نسبت به بقیه ژنوتیپ‌ها زودرس‌تر بود. گزارش شده که مقارن بودن زمان رسیدگی کلزا با هوای گرم آخر فصل باعث می‌شود که تنش خشکی بر روی زمان رسیدگی این گیاه تأثیر بگذارد، به‌عبارتی زودرسی باعث کاهش نیاز آبی کلزا شده و احتمال دارد نسبت دانه به اندام‌های هوای را افزایش دهد (۱۲). در شرایط عدم تنش (جدول ۵) برای تعداد خورجین در بوته ژنوتیپ 1130 با میانگین $219/5$ بیشترین تعداد خورجین در بوته را داشت. برای همین شرایط، کمترین تعداد خورجین در بوته به ژنوتیپ 1140 با میانگین $117/2$ مشاهده شد. نتایج نشان داد که در شرایط تنش خشکی (جدول ۵) دو ژنوتیپ L72 و 1144 به ترتیب با میانگین $209/6$ و 201 بیشترین تعداد خورجین در بوته را داشتند. در همین شرایط (تنش) ژنوتیپ Ahmadi با میانگین 105 و ژنوتیپ 1137 با میانگین $109/9$ کمترین تعداد خورجین در بوته را به خود اختصاص دادند. نتایج این پژوهش با یافته‌های تحقیقاتی دادپور و همکاران (۷) و مجیدی و همکاران (۱۳) روی ارقام دیگر کلزا مطابقت داشت. برای صفت تعداد دانه در خورجین در شرایط عدم تنش (جدول ۸) ژنوتیپ 1142 با میانگین $14/8$ و ژنوتیپ 1140 با میانگین $15/5$ کمترین میانگین تعداد دانه در خورجین را داشتند. بیشترین تعداد دانه در خورجین در شرایط بدون تنش هم به ژنوتیپ Okapi با میانگین $25/9$ و ژنوتیپ Sw102 با میانگین $24/5$ تعلق داشت. در شرایط تنش رطوبتی (جدول ۹) ژنوتیپ L72 با میانگین $23/2$ بیشترین دانه در خورجین را داشت. در همین شرایط کمترین دانه در خورجین مربوط به ژنوتیپ‌های zarfam و 1143 با میانگین $14/2$ بود. در این تحقیق مشخص شد که در اکثر ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط عدم تنش تعداد دانه کمتری در خورجین وجود داشت، مشابه همین پژوهش بوسیله Terribo، Renard و Major گزارش شده است (۱۳). در رابطه با میزان سبزیگی برگ (کلروفیل برگ) در شرایط بدون تنش (جدول ۸) ژنوتیپ L72 با میانگین $53/3$ بیشترین میزان سبزیگی برگ را به خود اختصاص داد. از طرفی ژنوتیپ express با میانگین $41/7$ دارای کمترین میزان سبزیگی برگ بود. مقایسه میانگین‌ها در شرایط تنش خشکی برای میزان شاخص سبزیگی برگ نشان داد که ژنوتیپ‌های 1215 و okapi به ترتیب با میانگین $56/5$ و $55/2$ بیشترین سبزیگی برگ را داشتند در مقابل ژنوتیپ‌های 1141، 1136 و zarfam از کمترین میزان سبزیگی برگ برخوردار بودند. براساس نتایج حاصله (جدول ۸ و ۹) بیشتر ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط بدون تنش میزان سبزیگی بیشتری داشتند. در هر دو شرایط بدون تنش و تنش رطوبتی (جدول ۸ و ۹) ژنوتیپ 1215 با میانگین $4/9$ و $5/2$ ژنوتیپ‌های Talaye، Express و 1146 با میانگین‌های $3/3$ ، $3/9$ و $3/9$ گرم به ترتیب بیشترین و کمترین وزن هزار دانه را به خود

(۰/۸۵) و عملکرد دانه (۰/۷۹) بیشترین مقادیر بار عاملی را داشتند. حداقل بار عاملی به صفت تعداد خورجین در بوته (۰/۰۳) مربوط بود. در عامل دوم تعداد خورجین در بوته (۰/۷۹) و تعداد شاخه فرعی در بوته (۰/۶۸) دو صفتی بودند که بیشترین بار عاملی را داشتند. در عامل دوم صفات تعداد دانه در خورجین (۰/۰۲-)، دوره رشد تا گلدهی (۰/۰۲) و ارتفاع بوته (۰/۰۶) دارای کمترین بار عاملی بودند. در عامل سوم دوره رسیدگی دانه (۰/۷۰-)، تعداد خورجین در بوته (۰/۴۶) و تعداد دانه در خورجین (۰/۳۹) حداکثر بار عاملی را داشتند. در عامل سوم صفت دوره گلدهی (۰/۰۱-) حداقل بار عاملی را داشت.

تجزیه خوشه‌ای

در شرایط بدون تنش خشکی خط برش در مکانی که بیشترین فاصله وجود داشت (شکل ۱) دندروگرام را به دو گروه تقسیم کرد. بطوری که بیست و شش ژنوتیپ در دسته اول و چهار ژنوتیپ دیگر در دسته دوم قرار می‌گیرد. بیشترین فاصله (فاصله ژنتیکی) بین ژنوتیپ ۱۱۳۹ از دسته اول با ژنوتیپ Ahmadi از دسته دوم مشاهده شد. کمترین فاصله هم بین ژنوتیپ ۱۱۳۲ از دسته دوم با ژنوتیپ ۱۱۳۰ از دسته اول مشاهده شد. در شرایط تنش خشکی (شکل ۲) دندروگرام بوسیله خط برش در محلی که بیشترین فاصله وجود داشت به دو گروه تقسیم شد. در گروه اول بیست و هفت ژنوتیپ و در گروه دوم سه ژنوتیپ وجود دارد. در شرایط تنش خشکی بیشترین فاصله بین ژنوتیپ ۱۱۳۹ از کلاستر اول با ژنوتیپ ۱۱۴۴ از کلاستر دوم مشاهده شد. بنابراین این دو ژنوتیپ بر اساس فاصله‌ای که از همدیگر دارند، حداکثر تنوع ژنتیکی در بین سایر ژنوتیپ‌ها دارند. حداقل فاصله یا تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ ۱۱۳۶ از کلاستر اول با ژنوتیپ L72 از کلاستر دوم مشاهده شد. در مجموع نتایج این پژوهش نشان داد که تنش خشکی تا حدود زیادی فرآیندهای مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی ژنوتیپ‌های کلزا را تحت تاثیر قرار می‌دهد. از طرفی می‌توان از تنوع ژنتیکی موجود در بین ژنوتیپ‌ها این تحقیق برای برنامه‌های اصلاحی از جمله تنش خشکی در آینده استفاده نمود. بر اساس نتایج حاصله در هر دو شرایط تنش خشکی و بدون تنش ژنوتیپ L72 از بیشترین مقدار عملکرد در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌های برخوردار بود. بنابراین ژنوتیپ L72 به‌عنوان ژنوتیپ متحمل به تنش خشکی انتخاب می‌شود، در نتیجه برای شرایط کم آبی و تنش رطوبتی مناسب می‌باشد. از طرفی ژنوتیپ ۱۱۴۲ در هر دو شرایط تنش خشکی و عدم تنش کمترین میزان عملکرد را داشت که به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ به تنش خشکی می‌باشد که مناسب برای شرایط کم آبی و تنش خشکی نمی‌باشد.

شرایط تنش خشکی و بدون تنش رطوبتی دارای حداکثر ضریب تنوع ژنوتیپی بودند (جدول ۴، ۵، ۶ و ۷). در هر دو شرایط تنش و عدم تنش طول دوره رشد (تعداد روز تا رسیدگی) به‌ترتیب با ضریب تنوع ژنتیکی (۰/۱۸۰ و ۰/۱۶۱) کمترین مقدار ضریب تنوع ژنتیکی را داشت. بطور کلی در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط عدم تنش خشکی تنوع ژنتیکی در برخی صفات مانند عملکرد دانه و تعداد خورجین در بوته افزایش و در بعضی صفات دیگر مانند تعداد دانه در خورجین، دوره گلدهی و تعداد شاخه فرعی کاهش نشان دادند که نشان‌دهنده، تنش خشکی می‌تواند هم به‌عنوان یک محدودیت و هم یک فرصت برای بروز مقدار بالقوه تنوع ژنتیکی مدنظر قرار گیرد. در پژوهش‌های قبلی فقط کاهش تنوع ژنتیکی صفات در شرایط تنش خشکی گزارش شده و از صفاتی که در شرایط تنش تنوع ژنتیکی آنها افزایش یافت گزارشی نشده است (۱۳).

تجزیه به عامل‌ها

نتایج تجزیه به عامل‌ها در شرایط نرمال (جدول ۷) نشان داد که عامل‌های اول، دوم، سوم و چهارم به‌ترتیب با ۴/۷۸، ۱/۹۳، ۱/۲۱ و ۱/۱۲ دارای بیشترین مقادیر ویژه بودند. در نتیجه هر چهار عامل مقادیر ویژه بیشتر از یک داشتند. از طرفی مقدار درصد واریانس نسبی برای هر کدام از عامل‌های اول، دوم، سوم و چهارم به‌ترتیب ۴۳/۴۱، ۱۷/۵۵، ۱۷/۰۳ و ۱۰/۱۹ شد که در مجموع حدود ۸۲ درصد واریانس کل (واریانس نسبی) را توجیه کردند. در عامل اول صفاتی مانند ارتفاع بوته، دوره گلدهی و دوره رشد تا گلدهی به‌ترتیب با ۰/۹۲، ۰/۹۲- و ۰/۸۹ بیشترین بار عاملی را داشتند. همچنین در بین کلیه صفات دوره رسیدگی دانه (۰/۰۹-) کمترین بار عاملی را داشت. در عامل دوم صفاتی مانند دوره رسیدگی دانه و دوره رشد تا رسیدگی کامل (۰/۹۰ و ۰/۷۹) دارای بیشترین بار عاملی بودند. در عامل دوم کمترین بار عاملی متعلق به ارتفاع بوته (۰/۰۲-) و تعداد خورجین در بوته (۰/۰۲) بود. در عامل سوم صفاتی مانند وزن هزاردانه (۰/۷۶) و تعداد خورجین در بوته (۰/۴۴-) و دو صفتی بودند که حداکثر بار عاملی را داشتند. کمترین مقدار بارعاملی در عامل سوم هم به صفت دوره رشد تا گلدهی (۰/۰۴-) تعلق داشت. در شرایط تنش عامل چهارم دو صفت تعداد خورجین در بوته (۰/۸۴) و تعداد شاخه فرعی در بوته (۰/۴۱) دارای بیشترین بار عاملی بودند. در شرایط تنش خشکی (جدول ۸) مقادیر ویژه برای هر کدام از عامل‌های اول، دوم و سوم بیشتر از یک شدند (۴/۸۴، ۱/۶۷ و ۱/۲۶). به‌همین دلیل عامل‌های اول، دوم و سوم به‌عنوان اصلی‌ترین عامل‌ها انتخاب شدند. در مجموع ۷۱ درصد از واریانس کل به این سه عامل تعلق داشت. در شرایط تنش خشکی برای عامل اول به‌ترتیب صفاتی از جمله دوره رشد تا گلدهی (۰/۹۲)، دوره گلدهی (۰/۸۸-)، ارتفاع بوته

جدول ۱- تجزیه مرکب صفات مختلف در ۳۰ ژنوتیپ کلزا در شرایط بدون تنش و تنش خشکی
Table 1. Combined analysis of traits in 30 rapeseed genotypes under control and drought stress conditions

میانگین مربعات (MS)						
منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه (kg/m ²)	وزن هزار دانه (g)	تعداد خورجین در بوته	تعداد دانه در خورجین	دوره گلدهی
محیط	۱	۰/۰۱۱	۲/۶۶۵*	۲۰۲۶۲/۹۷۸*	۱۰۶/۴۱۴*	۸۱/۳۳۹*
تکرار در محیط (خطای a)	۴	۰/۰۶۷	۳/۲۱۵	۲۹۱/۸۶۵	۱۱/۸۲۰	۱۵/۴۳۹
ژنوتیپ	۲۹	۰/۰۲۶**	۰/۵۶۱**	۲۱۴۵/۸۷۸	۴۰/۵۴۷**	۳۳۱/۵۷۱**
ژنوتیپ × محیط	۲۹	۰/۰۰۷**	۰/۱۳۵	۱۸۴۸/۸۳۲	۶/۷۰۲	۱۳/۹۰۲**
خطای b	۱۱۶	۰/۱۶۹	۰/۱۶۹	۱۵۵۲/۰۴۴	۸/۷۶۴	۵/۳۶۷
ضریب تغییرات (%)	-	۱۳/۶۸۹	۹/۳۰۵	۳۴/۲۴۴	۱۵/۱۰۳	۵/۹۷۸

* و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول ۲- تجزیه مرکب صفات مختلف در ۳۰ ژنوتیپ کلزا در شرایط بدون تنش و تنش خشکی
Table 2. Combined analysis of traits in 30 rapeseed genotypes under control and drought stress conditions

میانگین مربعات (MS)						
منابع تغییرات	درجه آزادی	تعداد شاخه فرعی در بوته	مقدار سبزیبگی برگ	ارتفاع بوته (cm)	دوره رسیدگی دانه	دوره رسیدگی کامل
محیط	۱	۱۴/۵۰۷*	۱۳۸/۱۶۳*	۱۸۱۵/۷۸۳*	۳۶۴۵**	۲۵۵۳/۸**
تکرار در محیط (خطای a)	۴	۱/۹۱۱	۱۲۲/۱۳۱	۱۴۴/۹۵۱	۲۳/۸۳۳	۳۲/۱۷۸
ژنوتیپ	۲۹	۱/۵۴۲*	۵۷/۰۳**	۹۱۲/۲۷۹**	۳۲/۹۳۶**	۲/۱۲۳**
ژنوتیپ × محیط	۲۹	۱/۰۳۴	۱۶/۷۲۷*	۹۶/۹۴۸	۸۹/۲۹۹**	۰/۹۷۲
خطای b	۱۱۶	۰/۹۷۳	۱۰/۵۸۲	۱۰۷/۸۵۱	۱/۶۴۴	۰/۸۶۷
ضریب تغییرات (%)	-	۱۴/۲۷۸	۸/۴۰۹	۸/۴۰۹	۲/۳۷۳	۰/۳۳۶

* و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول ۳- مقایسه میانگین‌ها در شرایط عدم تنش و تنش خشکی برای برخی صفات مهم در ژنوتیپ‌های کلزا به روش توکی (HSD)
Table 3. The mean of comparison under non and drought stress conditions for some important traits in rapeseed genotype by Tukey method

ردیف	ژنوتیپ	طول دوره رشد (تعداد روز)		تعداد خورجین در بوته		تعداد دانه در خورجین	
		تنش	عدم تنش	تنش	عدم تنش	تنش	عدم تنش
۱	1139	۲۷۳/۷ ^D	۲۸۱ ^a	۱۷۲/۹ ^a	۲/۶	۲۳/۷۷	۲۲/۵ ^a
۲	1141	۲۷۳/۷ ^D	۲۷۴ ^D	۱۷۲/۱ ^a	۲/۰۴	۲۰/۷ ^{a-c}	۲۰/۷ ^{a-c}
۳	1129	۲۷۳/۷ ^D	۲۷۴ ^D	۱۷۲/۳ ^a	۲/۶	۱۸/۸ ^{a-c}	۱۶/۱ ^c
۴	1142	۲۷۳/۷ ^D	۲۷۳/۷ ^D	۱۶۴/۷ ^a	۲/۲۹	۱۵۳/۳ ^a	۱۴/۳ ^a
۵	1132	۲۷۳/۷ ^D	۲۸۱/۳ ^a	۱۱۷/۳ ^a	۲/۸۴	۱۳۱/۳ ^a	۱۸/۵ ^a
۶	zarfam	۲۷۳/۷ ^D	۲۸۱ ^a	۱۵۴/۹ ^a	۲/۷۴	۱۵۹/۳ ^a	۱۶/۲ ^a
۷	1133	۲۷۳ ^D	۲۸۱/۷ ^a	۱۸۵/۸ ^a	۲/۷۳	۱۷۵/۹ ^a	۱۸/۱ ^{a-c}
۸	sw102	۲۷۳ ^a	۲۸۴ ^a	۱۶۹/۹ ^a	۲/۸۲	۱۶۴/۳ ^a	۲۴/۵ ^{aD}
۹	1146	۲۷۳/۷ ^D	۲۸۲/۳ ^a	۱۶۷ ^a	۳/۰۵	۱۴۶/۵ ^a	۱۶/۲ ^a
۱۰	express	۲۷۳/۷ ^D	۲۸۱/۳ ^a	۲۰۱/۳ ^a	۲/۸۴	۱۳۴/۹ ^a	۱۹ ^{a-c}
۱۱	L72	۲۷۳/۷ ^D	۲۸۳ ^a	۲۰۱/۸ ^a	۲/۹۴	۲۰۹/۶ ^a	۲۳/۳ ^a
۱۲	957	۲۷۳/۷ ^D	۲۸۱/۷ ^a	۱۶۸/۳ ^a	۲/۹۸	۱۸۹/۷	۲۰/۱ ^a
۱۳	1131	۲۷۳/۷ ^D	۲۸۰/۷ ^a	۱۷۹/۶ ^a	۲/۴۹	۱۶۷/۴ ^a	۲۰/۶ ^{a-c}
۱۴	1137	۲۷۳/۷ ^D	۲۸۱ ^a	۱۶۶/۹ ^a	۲/۷۴	۱۰۹/۹ ^a	۲۲/۱ ^{a-c}
۱۵	Ahmadi	۲۷۳/۷ ^D	۲۸۱/۳ ^a	۱۲۲/۳ ^a	۲/۸۴	۱۰۵/۸ ^a	۲۰/۹ ^{a-c}
۱۶	R15	۲۷۳/۷ ^D	۲۸۱/۷ ^a	۲۱۸/۱ ^a	۲/۹۸	۱۳۷/۱ ^a	۲۱/۲ ^{a-c}
۱۷	KS7	۲۷۳/۷ ^D	۲۸۱/۳ ^a	۱۸۶/۹ ^a	۲/۷	۱۱۷/۷ ^a	۲۲/۴ ^{a-c}
۱۸	1215	۲۷۳ ^D	۲۸۰ ^a	۱۴۷/۳ ^a	۲/۱۴	۱۹۳ ^a	۲۲/۳ ^{a-c}
۱۹	1130	۲۷۳/۷ ^D	۲۸۳ ^a	۲۱۹/۵ ^a	۲/۹۴	۱۶۰/۳ ^a	۱۵/۴ ^a
۲۰	HW113	۲۷۳/۷ ^D	۲۸۰ ^a	۲۱۱/۴ ^a	۲/۲۵	۱۵۰ ^a	۲۳ ^{a-c}
۲۱	1144	۲۷۳ ^D	۲۸۰/۳ ^a	۱۳۰ ^a	۲/۲۵	۲۰۱ ^a	۱۸/۱ ^a
۲۲	Talaye	۲۷۳ ^D	۲۸۱/۳ ^a	۱۸۲/۸ ^a	۲/۶	۱۵۲/۸ ^a	۲۲/۴ ^a
۲۳	okapi	۲۷۳ ^D	۲۸۱/۳ ^a	۱۸۰/۳ ^a	۲/۶	۱۴۵/۳ ^a	۲۱/۱ ^a
۲۴	1145	۲۷۳/۷ ^D	۲۸۱/۷ ^a	۱۶۷/۱ ^a	۲/۸۴	۱۵۱/۹ ^a	۱۹/۹ ^{a-c}
۲۵	963	۲۷۳/۷ ^D	۲۸۳ ^a	۱۵۹/۹ ^a	۳/۰۹	۱۲۲/۱۴	۲۲/۱ ^{a-c}
۲۶	1140	۲۷۳/۷ ^D	۲۸۱/۳ ^a	۱۱۶/۶ ^a	۲/۷	۱۵۹/۹ ^a	۱۵/۷ ^a
۲۷	HW118	۲۷۳/۷ ^D	۲۸۱/۷ ^a	۱۸۷/۶ ^a	۲/۸۴	۱۶۴/۳ ^a	۲۲/۹ ^{a-c}
۲۸	1143	۲۷۳/۷ ^D	۲۸۱ ^a	۱۸۱/۵ ^a	۲/۷۴	۱۴۱/۵ ^a	۱۵/۹ ^{a-c}
۲۹	1138	۲۷۳/۷ ^D	۲۸۰ ^a	۱۸۷/۳ ^a	۲/۲۵	۱۴۳/۱ ^a	۲۳/۶ ^{a-c}
۳۰	1136	۲۷۳/۷ ^D	۲۸۱/۷ ^a	۱۹۰/۸ ^a	۲/۸۴	۱۴۰/۱ ^a	۱۹/۸ ^{a-c}

جدول ۴- مقایسه میانگین‌ها در شرایط عدم تنش و تنش خشکی برای برخی صفات مهم در ژنوتیپ‌های کلزا به روش توکی (HSD)
Table 4. The mean of comparison under control and drought stress conditions for some important traits in rapeseed genotype by Tukey method

ردیف	میزان سبزیگی برگ		وزن هزار دانه به گرم (g)		عملکرد دانه کیلو گرم در مترمربع (kg/m ²)	
	ژنوتیپ	عدم تنش	تنش	درصد تغییر	عدم تنش	تنش
۱	۱۱۳۹	۴۵/۳ ^a	۴۸/۳ ^d	-۶/۶۴	۴/۳ ^a	۴/۳ ^{c-e}
۲	۱۱۴۱	۴۸/۳ ^a	۴۰/۷ ^d	۱۵/۷۳	۴/۵ ^a	۴/۳ ^{b-e}
۳	۱۱۲۹	۴۴/۴ ^a	۴۹/۷ ^{a-d}	-۱۱/۹۴	۴/۱ ^a	۴/۱ ^{d-e}
۴	۱۱۴۲	۴۳ ^a	۴۵/۵ ^{a-d}	-۸/۳۳	۴/۶ ^a	۴/۶ ^{a-e}
۵	۱۱۳۲	۴۲/۸ ^a	۴۵/۳ ^{b-d}	-۵/۶۱	۴/۴ ^a	۴/۶ ^{a-e}
۶	zarfam	۴۲/۹ ^a	۴۳/۷ ^{c-d}	-۱/۸۶	۴/۶ ^a	۴/۶ ^{a-e}
۷	۱۱۳۳	۴۷/۳ ^a	۴۴/۷ ^{b-d}	۶/۵۵	۴/۳ ^a	۴/۳ ^{c-e}
۸	sw102	۴۳/۹ ^a	۴۶/۷ ^{a-d}	-۶/۳۸	۴/۵ ^a	۴/۹ ^{a-d}
۹	۱۱۴۶	۴۶/۳ ^a	۴۹/۵ ^{a-d}	-۷/۱۴	۳/۹ ^a	۴/۴ ^{b-e}
۱۰	Express	۴۱/۷ ^a	۴۴/۶ ^{b-d}	-۶/۹۵	۳/۳ ^a	۳/۳ ^a
۱۱	L72	۵۳/۳ ^a	۵۲/۵ ^{a-c}	۱/۵	۴/۴ ^a	۴/۹ ^{a-e}
۱۲	957	۵۲/۱ ^a	۵۱/۲ ^{a-d}	۱/۷۳	۴/۷ ^a	۴/۵ ^{a-e}
۱۳	۱۱۳۱	۴۶/۵ ^a	۵۰/۷ ^{a-d}	-۹/۰۳	۴ ^a	۴/۳ ^{c-e}
۱۴	۱۱۳۷	۴۷/۹ ^a	۵۳ ^{a-c}	-۱۰/۶۵	۴/۳ ^a	۴/۳ ^{a-e}
۱۵	Ahmadi	۵۲/۳ ^a	۵۰/۶ ^{a-d}	۳/۲۵	۴/۵ ^a	۴/۵ ^a
۱۶	R15	۴۷/۸ ^a	۴۹ ^{a-d}	-۲/۵۱	۴/۸ ^a	۵ ^{a-c}
۱۷	KS7	۴۷/۳ ^a	۴۹/۷ ^{a-d}	-۴/۰۲	۴/۷ ^a	۵/۲ ^{ab}
۱۸	۱۲۱۵	۵۱/۳ ^a	۵۶/۵ ^a	-۱۰/۱۴	۴/۹ ^a	۵/۳ ^a
۱۹	۱۱۳۰	۴۶/۹ ^a	۴۴/۵ ^{b-d}	۵/۱۲	۴/۳ ^a	۴/۵ ^{a-e}
۲۰	HW113	۴۸/۳ ^a	۴۷/۴ ^{a-d}	۱/۸۶	۴/۵ ^a	۴/۷ ^{a-e}
۲۱	۱۱۴۴	۴۲/۴ ^a	۴۹/۱ ^{a-d}	-۱۵/۸	۴ ^a	۴/۱ ^{d-e}
۲۲	Talaye	۴۶ ^a	۴۹/۶ ^{a-d}	-۷/۸۳	۳ ^a	۴/۴ ^{b-e}
۲۳	okapi	۵۰/۱ ^a	۵۵/۳ ^{ab}	.	۴/۴ ^a	۴/۶ ^{a-e}
۲۴	۱۱۴۵	۴۶/۵ ^a	۴۵/۳ ^{a-d}	.	۴/۳ ^a	۴/۴ ^{b-e}
۲۵	963	۵۰/۱ ^a	۵۱/۲ ^{a-d}	.	۴/۳ ^a	۴/۶ ^{a-e}
۲۶	۱۱۴۰	۴۶/۶ ^a	۵۲/۶ ^{a-c}	-۲۱/۴۶	۴/۳ ^a	۴/۵ ^{a-e}
۲۷	HW118	۴۶/۴ ^a	۴۷/۹ ^{a-d}	-۳/۲۳	۴/۷ ^a	۴/۷ ^{a-e}
۲۸	۱۱۴۳	۴۱/۴ ^a	۴۶/۹ ^{a-d}	-۱۳/۲۹	۴/۴ ^a	۴/۶ ^{a-e}
۲۹	۱۱۳۸	۴۳ ^a	۴۴/۸ ^{b-d}	-۶/۶۷	۴ ^a	۴/۴ ^{a-e}
۳۰	۱۱۳۶	۴۷/۱ ^a	۴۳/۵ ^{c-d}	-۷/۶۴	۴/۱ ^a	۴/۴ ^{a-e}

جدول ۵- وراثت‌پذیری عمومی صفات در ژنوتیپ‌های کلزا تحت شرایط بدون تنش
Table 5. Heritability of traits in non-stress conditions

ردیف	عملکرد دانه (kg/m ²)	وزن هزار دانه (g)	تعداد خورجین در بوته	تعداد دانه در خورجین	دوره گلدهی
وارپانس ژنتیکی	۰/۰۰۳	۰/۰۵۵	۲۱/۹۱	۵/۸۹۱	۵۹/۷۶۴
وارپانس فنوتیپی	۰/۰۰۸	۰/۳۳۸	۲۱۲۱/۶۶	۱۳/۶۲۶	۶۴/۸۱۵
وراثت‌پذیری عمومی (%)	۳۷/۵	۱۶/۲۶	۱/۰۳	۴۳/۲۳	۹۲/۲۱
ضریب تنوع ژنتیکی (%)	۱۲/۳۹	۵/۴۶	۲/۷	۱۱/۹۱	۲۰/۳
ضریب تنوع فنوتیپی (%)	۲۰/۰۴۵	۱۳/۵۰۸	۲۶/۶۰۸	۱۶/۱۲	۲۱/۱۴

جدول ۶- وراثت‌پذیری عمومی صفات در ژنوتیپ‌های کلزا تحت شرایط بدون تنش
Table 6. Heritability of traits in non-stress condition

ردیف	دوره رشد تا گلدهی	تعداد شاخه فرعی در بوته	سبزیگی برگ	ارتفاع بوته (cm)	دوره رسیدگی دانه
وارپانس ژنتیکی	۷۷/۳۶	۰/۲۲۳	۶/۸۷۸	۱۳۵/۹۱	۲۸/۰۹
وارپانس فنوتیپی	۸۲/۲۱۶	۱/۱۰۶	۱۸/۶۸	۲۳۲/۴۶۶	۳۱/۰۷۵
وراثت‌پذیری عمومی (%)	۹۴/۰۹	۲۰/۱۷	۳۶/۸۲	۵۸/۴۶	۹۰/۳۹
ضریب تنوع ژنتیکی (%)	۴/۷۶	۷/۱۳	۵/۶۴	۹/۲	۹/۰۵
ضریب تنوع فنوتیپی (%)	۴/۹۱	۱۵/۸۸	۹/۲۸۶	۱۲/۰۳۶	۹/۵۲

جدول ۷- وراثت پذیری عمومی صفات در ژنوتیپ‌های کلزا تحت شرایط تنش خشکی

Table 7. Heritability of traits in stress condition

ردیف	عملکرد دانه (kg/m^2)	وزن هزار دانه (g)	تعداد خورجین در بوته	تعداد دانه در خورجین	دوره گلدهی
وارپانس ژنتیکی	۰/۰۰۵	۰/۰۶۳	۳۷۸/۲۶۹	۴/۰۱۶	۴۸/۴۸
وارپانس فنوتیپی	۰/۰۰۸	۰/۱۱۹	۱۳۷۲/۶۹	۱۳/۸۰۹	۵۴/۱۶۹
وراثت‌پذیری عمومی (%)	۶۲/۵	۵۲/۹	۲۱/۸۶	۲۹/۰۸	۸۹/۵
ضریب تنوع ژنتیکی (%)	۱۵/۴۶۸	۵/۵۲۳	۱۰/۹۸۳	۱۰/۶۴۱	۱۷/۶۵۸
ضریب تنوع فنوتیپی (%)	۱۹/۳۹	۷/۵۹۲	۳۳/۴۸۸	۱۹/۷۳۲	۱۸/۶۶۵

جدول ۸- وراثت پذیری عمومی صفات در ژنوتیپ‌های کلزا تحت شرایط تنش خشکی

Table 8. Heritability of traits in stress condition

ردیف	دوره رشد تا گلدهی	تعداد شاخه فرعی در بوته	سبزیگی برگ	ارتفاع بوته (cm)	دوره رسیدگی دانه	دوره رشد تا رسیدگی دانه
وارپانس ژنتیکی	۸۱/۷۱۴	۰/۰۱۳	۱۰/۶۵۳	۱۲۸/۷۲۶	۱۱/۵۵۹	۰/۱۹۵
وارپانس فنوتیپی	۸۷/۱۸۴	۱/۰۵	۲۰/۰۱۵	۲۴۷/۷۳	۱۱/۸۶۱	۰/۳۶۲
وراثت‌پذیری عمومی (%)	۹۳/۷۳	۱/۲۴	۵۳/۲۳	۵۱/۹۶	۹۷/۴۵	۵۳/۸۷
ضریب تنوع ژنتیکی (%)	۴/۸۹۳	۱/۵۸۵	۶/۷۵۸	۹/۴۲۹	۶/۸۶۴	۰/۱۶۱
ضریب تنوع فنوتیپی (%)	۵/۰۵۴	۱۴/۴۲۱	۹/۲۶۴	۱۳/۰۸	۶/۹۵۳	۰/۲۲

جدول ۹- تجزیه به عامل‌ها (FA) با استفاده از ماتریس همبستگی در ژنوتیپ‌های کلزا (بدون تنش)

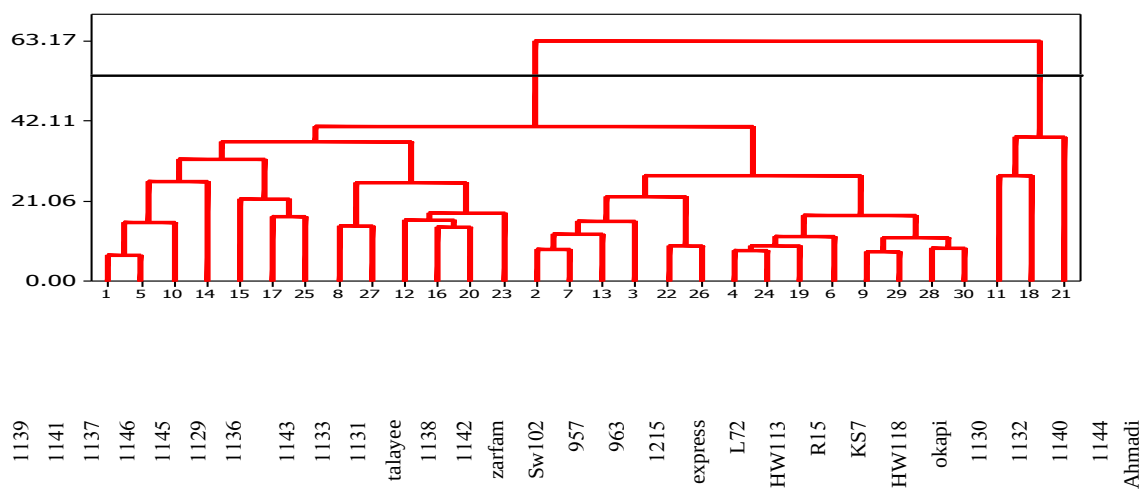
Table 9. Factor analysis (FA) by using correlation matrix in rapeseed (control) genotypes

صفات	عامل اول	عامل دوم	عامل سوم	عامل چهارم
عملکرد دانه در مترمربع (کیلو گرم)	۰/۷۴	-۰/۱۵	۰/۱۸	۰/۳۰
وزن هزار دانه (گرم)	۰/۴۶	-۰/۲۲	۰/۷۶	۰/۰۵
تعداد خورجین در بوته	۰/۱۵	۰/۰۲	-۰/۴۴	۰/۸۴
تعداد دانه در خورجین	۰/۷۰	۰/۳۳	-۰/۳۳	-۰/۲۵
دوره گلدهی	-۰/۹۲	-۰/۱۳	-۰/۱۵	-۰/۰۱
دوره رشد تا گلدهی	۰/۸۹	-۰/۳۵	-۰/۰۴	۰/۰۲
تعداد شاخه فرعی در بوته	-۰/۶۶	-۰/۳۶	۰/۳۲	۰/۴۱
میزان سبزیگی برگ	۰/۷۴	-۰/۱۶	۰/۱۳	۰/۰۱
ارتفاع بوته	۰/۹۲	-۰/۰۲	-۰/۱۹	-۰/۰۱
دوره رسیدگی دانه	-۰/۰۹	۰/۹۰	۰/۳۱	۰/۰۴
دوره رشد تا رسیدگی کامل	۰/۱۸	۰/۷۹	۰/۱۶	۰/۳۱
مقادیر ویژه	۴/۷۸	۱/۹۳	۱/۲۱	۱/۱۲
وارپانس (%)	۴۳/۴۱	۱۷/۵۵	۱۱/۰۳	۱۰/۱۹

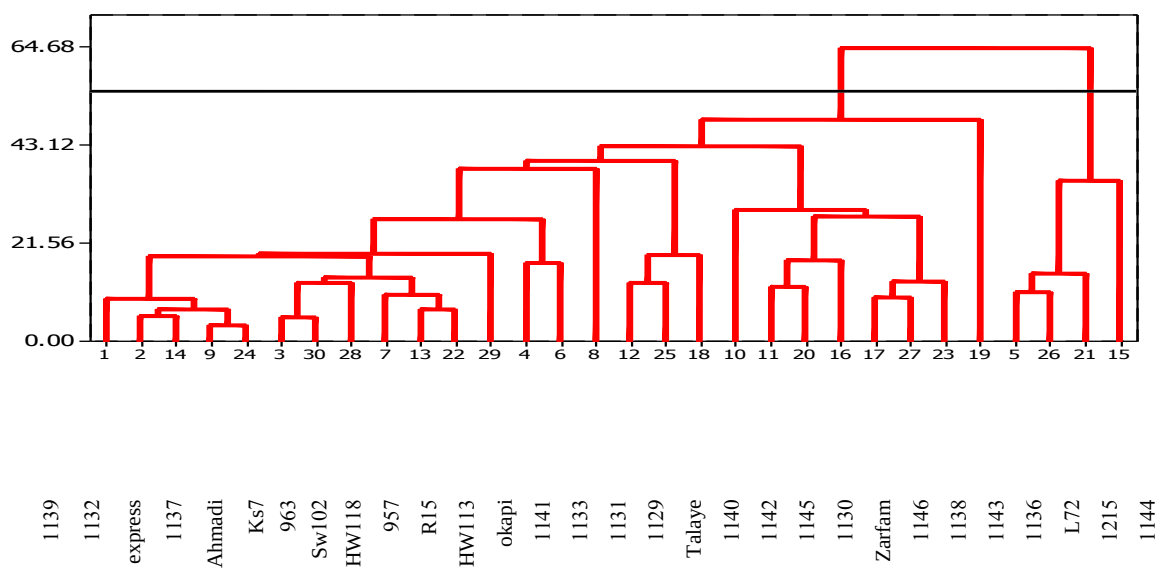
جدول ۱۰- تجزیه به عامل‌ها (FA) با استفاده از ماتریس همبستگی در ژنوتیپ‌های کلزا (تنش خشکی)

Table 10. Factor analysis (FA) by using correlation matrix in rapeseed (drought stress) genotypes

صفات	عامل اول	عامل دوم	عامل سوم
عملکرد دانه در مترمربع (کیلو گرم)	۰/۷۹	۰/۱۵	۰/۳۴
وزن هزار دانه (گرم)	۰/۷۱	-۰/۱۶	-۰/۲۱
تعداد خورجین در بوته	۰/۰۳	۰/۷۹	۰/۴۶
تعداد دانه در خورجین	۰/۷۳	-۰/۰۲	۰/۳۹
دوره گلدهی	-۰/۸۸	۰/۱۰	-۰/۰۱
دوره رشد تا گلدهی	۰/۹۲	۰/۰۲	-۰/۲۷
تعداد شاخه فرعی در بوته	-۰/۳۴	۰/۶۷	-۰/۱۸
میزان سبزیگی برگ	۰/۵۹	-۰/۲۰	۰/۲۶
ارتفاع بوته	۰/۸۵	۰/۰۶	۰/۱۴
دوره رسیدگی دانه	-۰/۵۹	-۰/۱۷	۰/۷۰
دوره رشد تا رسیدگی کامل	۰/۲۹	۰/۶۷	-۰/۲۳
مقادیر ویژه	۴/۸۴	۱/۶۷	۱/۲۶
وارپانس (%)	۴۳/۹۸	۱۵/۱۴	۱۱/۴۴



شکل ۱- تجزیه کلاستر ژنوتیپ‌های کلزا در شرایط بدون استرس
Figure 1. Cluster analysis of rapeseed genotypes under non-stress conditions.



شکل ۲- تجزیه کلاستر ژنوتیپ‌های کلزا در شرایط تنش خشکی
Figure 2. Cluster analysis of rapeseed genotypes under drought stress conditions.

منابع

1. Abedi, T. and H. Pakniyat. 2010. Antioxidant enzyme changes in response to drought stress in ten cultivars of oilseed rape (*Brassica napus* L.). Czech Journal of Genetics and Plant Breeding, 46: 27-34.
2. Aisha Akram, N., M. Iqbal, A. Mohammad, M. Ashraf, F. Al-Qurainy and S. Shafiq. 2018. Aminolevulinic acid and nitric oxide regulate oxidative defense and secondary metabolisms in canola (*Brassica napus* L.) under drought stress. Protoplasma, 255: 163-174.
3. Badrooj, H.R., A. Hamidi and A.H. Shirany Rad. 2015. Effect of drought stress and normal irrigation during flowering to maturity of spring oilseed rape (*Brassica napus* L.) genotypes seed germination. Iranian Journal Seed Research, 2(2): 1-14 (In Persian).
4. Blum, A. 2012. Plant breeding for water limited environments. Springer. New York.
5. Chikkaputtaiah, C., J. Debbarma, I. Baruah, L. Havlickova, H.P. Deka Boruah and V. Curn. 2017. Molecular genetics and functional genomics of abiotic stress responsive genes in oilseed rape (*Brassica napus* L.): A review of recent advances and future. Journal of plant Biotechnology Rep, 3(11): 365-384.
6. Choghakabudi, Z., A. Zebajadi and D. Kahrizi. 2013. Evaluation of drought tolerance of rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes in laboratory and field conditions. Journal of Seed and Plant Improvement, 28(1): 17-38 (In Persian).
7. Dadivar, M. and M.A. Khodshenas. 2007. Evaluation of Water Stress Effect on Canola (*Brassica napus* L.). Journal of Agricultural Sciences, 12(4): 754-853 (In Persian).
8. Dauphin, A., H. El-Marrouf, N. Vienney, J.P. Rona and F. Bouteau. 2001. Effect desiccation on potassium and anion currents from young root hairs: Implication on tip growth. Physiologia Plantarum, 113: 79-84.
9. Garavandi, M., E. Farshadfar and D. Kahrizi. 2010. Evaluation of drought tolerance in bread wheat advanced genotypes in field and laboratory conditions. Journal of Seed and Plant Improvement, 26(1): 233-252 (In Persian).
10. Hallauer, A.R., M.J. Carena and J.B. Miranda. 2010. Quantitative genetics in maize breeding. Iowa state university press.
11. Jamshidi Moghadam, M., H. Pakniyat and E. Farshadfar. 2007. Evaluation of drought tolerance of chickpea (*Cicer arietinum* L.) lines using agro-physiologic characteristics. Journal of Seed and Plant Improvement, 23(3): 325-342 (In Persian).
12. Mackey, J. 1970. An ecological model for yield in small grains. In seminar series. Iowa state university Department of Agronomy, 128-49.
13. Majidi, M.M., M. Jafarzadeh, F. Rashidi and A. Mirlohi. 2014. Effect of end of drought stress and physiological characteristics in some oilseed rape cultivars (*Brassica napus* L.). Journal of plant Physiology, 3(9) (In Persian).
14. Monajem, S., V. Mohammadi and A. Ahmadi. 2012. Evaluation of drought tolerance in some rapeseed cultivars based on stress evaluation indices, Electronic Journal of Crop Production, 4(1): 151-169 (In Persian).
15. Mostajeran, A. and V. Rahimi-Eichi. 2009. Effect of drought stress on growth and yield of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars and accumulation of proline and soluble sugars in sheat and blades of their different ages leaves. American-Eurasian journal of agricultural and environmental sciences, 5: 264-272.
16. Rahmani, F. and A.H. Padervand. 2016. Differential response to physiological drought stress in tolerant and susceptible cultivars of canola. Journal of Ind J Plant Physiology, 21(3): 333-340.
17. Tan, M., F. Liao, L. Hou, J. Wang, L. Wei, H. Jian, X. Xu and J. Li. 2017. Genome-wide association analysis of seed germination percentage and germination index in *Brassica napus* L. under salt and drought stresses. Euphytica (International Journal of Plant Breeding), 213: 40.
18. Turhan, H and I. Baser. 2004. In vitro and in vivo water stress in sunflower (*Helianthus annuus* L.). Helia, 27(40): 227-236.
19. Wang, Z., Y. Chen, H. Fang, H. Shi, K. Chen, Z. Zhang and X. Tan. 2014. Selection of reference genes for quantitative reverse-transcription polymerase chain reaction normalization in *Brassica napus* under various stress conditions. Journal of Molecular Genetics and Genomics, 5(289): 1023-1035.
20. Wang, D., C. Yang, L. Dong, J. Zhu, J. Wang and S. Zhang. 2015. Comparative transcriptome analyses of drought-resistant and susceptible (*Brassica napus* L.) and development of EST-SSR markers by RNA-Seq. Journal of Plant Biologist, 58: 259-269.
21. Xia, L., L. Yang, N. Sun, J. Li, Y. Fang and Y. Wang. 2016. Physiological and antioxidant enzyme gene expression analysis reveals the improved tolerance to drought stress of the somatic hybrid offspring of *Brassica napus* and *Sinapis Alba* at vegetative stage. Journal of Acta Physiologiae Plantarum, 38(4): 88.
22. Yucel, D.O., A.E. Anlarsal and C. Yucel. 2005. Genetic variability, correlation and path analysis of yield and yield component in chickpea (*Cicer arietinum* L.). Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 30: 183-188.

Effect of Drought Stress After Flowering Period on Morpho-Physiological Characteristics and Yield of Some Winter Genotypes of Rapeseed (*Brassica napus* L.) in Field Condition

Morad Cheshmehnoor¹, Mohammad Reza Bihamta², Aliakbar Shah Nejat Boshehri²,
Ali Reza Abassi³ and Bahram Alizadeh⁴

1- Ph.D. Student, Lorestan agricultural center, boroujerd agricultural campus,
(Corresponding author: cheshmehmorad@ut.ac.ir)

2 and 3- Professor and Associate Professor, University of Tehran, Faculty of Agriculture Karaj

4- Associate Professor, Seed and Plant Institute Improvement, Karaj. Iran

Received: March 10, 2018

Accepted: August 18, 2018

Abstract

Drought stress is one of the important factors that inhibit growth and yield reduction in rapeseed. This research was conducted to study the morphological and physiology characteristics of winter rapeseed genotypes under control and drought stress conditions. The experiment was performed-based on randomized complete block design with three replications in 2016 at Borujerd agricultural research campus. The results of combined analysis showed that genotype and environment interaction was significant for some traits such as grain yield, flowering period, number of days to flowering and seedling period at 1% probability level. On the other hand, genotype and environment interaction for Chlorophyll was significant at 5% probability level. The results of mean comparisons showed that 1142 genotype had the least grain yield in both control and drought stress conditions. L72 genotype had the highest grain yield under drought stress condition. Growth to flowering and seedling period traits with 94% and 97% in control and drought stress, respectively, had the highest general heritability. In factor analysis, under control and drought stress conditions, the first to fourth and the first to third factors had 82% and 72% of total variance, respectively. Under control and drought stress conditions, the highest genetic distance was observed between genotypes 1139 with Ahmadi and 1139 with 1144, respectively. As a result, genotypes with more genetic distance than each other can be used as candidates for breeding programs in the future.

Keywords: Drought Stress, Genetic Diversity, Morpho-Physiological, Rapeseed