

ارزیابی عملکرد، اجزای عملکرد و تحمل به تنش خشکی ژنوتیپ‌های بهاره کلزا

Evaluation of Seed Yield, Yield Components and Tolerance to Drought Stress of Spring Canola Genotypes

حمیدرضا فنائی^۱، محمدرضا ناروئی‌راد^۱ و محمود محمد قاسمی^۲

۱ و ۲- به ترتیب استادیار و مربی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی سیستان، زابل

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۷/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱/۲۱

چکیده

فنائی، ح. ر.، ناروئی‌راد، م. ر. و قاسمی، م. م. ۱۳۹۳. ارزیابی عملکرد، اجزای عملکرد و تحمل به تنش خشکی ژنوتیپ‌های بهاره کلزا. مجله به‌نژادی نهال و بذر ۳۰-۱: ۲۸۷-۲۶۹.

به منظور ارزیابی عملکرد دانه، اجزای عملکرد و تحمل به تنش خشکی هفده ژنوتیپ بهاره کلزا دو آزمایش جداگانه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در دو سال زراعی ۱۳۹۰-۱۳۸۸ اجرا شد. ژنوتیپ‌ها در آزمایش بدون تنش از زمان کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک بر اساس ۵۰ درصد و در آزمایش تنش بر اساس ۸۰ درصد تخلیه رطوبت قابل استفاده گیاه در خاک آبیاری شدند. بر اساس نتایج تجزیه واریانس مرکب صفات در دو شرایط محیطی، بین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه و شاخص‌های تنش خشکی اختلاف معنی دار وجود داشت. در شرایط آبیاری بر اساس ۸۰ درصد تخلیه رطوبتی خاک، اکثر صفات مربوط به عملکرد به طور معنی‌دار کاهش یافتند. در شرایط بدون تنش میانگین عملکرد دانه در لاین‌های 15/1GoL×19H، 13/1RG×19H و SG2-87182، Zabol-6، 39/2 FUS×RC به ترتیب ۳۱۴۷، ۲۸۳۸، ۲۸۳۱، ۲۷۸۹ و ۲۷۷۹ کیلوگرم در هکتار بود. در شرایط تنش لاین‌های 15/1GOL×19H، 13/1 RG×19H و SG1-87182 به ترتیب با ۲۲۱۸، ۲۵۹۶ و ۲۱۱۰ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه بیشتری داشتند. همبستگی عملکرد دانه در شرایط تنش و عدم تنش با شاخص‌های تحمل به خشکی مثبت و معنی‌دار بود. لاین‌های 15/1GOL×19H، 13/1RG×19H و Zabol-6 ضمن داشتن بیشترین عملکرد دانه، بیشترین مقادیر شاخص‌های تحمل به تنش (STI)، میانگین بهره‌وری هندسی (GMP) متوسط بهره‌وری (MP) را داشتند و به عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها با عملکرد بالا تعیین شدند. نمودار بای‌پلات ترسیم شده بر مبنای مولفه‌های اصلی نشان داد که شاخص‌های STI، GMP و MP نسبت به یک دیگر بالاترین ضریب همبستگی را داشتند و ژنوتیپ‌های متحمل در مجاورت شاخص‌های تحمل قرار گرفتند. این شاخص‌ها می‌توانند به عنوان بهترین معیار برای ارزیابی و تعیین ارقام متحمل به خشکی در برنامه‌های به‌نژادی استفاده شوند.

واژه‌های کلیدی: کلزا، لاین‌ها، تنش خشکی، شاخص‌های تنش.

مقدمه

دانه‌های روغنی پس از غلات، دومین ذخایر غذایی جهان را تشکیل می‌دهند. این محصولات علاوه بر ذخایر غنی اسید چرب، حاوی پروتئین نیز می‌باشد. کلزا به عنوان یکی از مهم‌ترین گیاهان روغنی در سطح جهان مطرح است (Koocheki and Khajeh Hossini, 2008)، و گیاهی مناسب برای تناوب با غلات و تولید در مناطق خشک و شور محسوب می‌شود (Scarth and Tang, 2006). کمبود آب یک فاکتور مهم و تاثیرگذار بر رشد و عملکرد گیاه به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک است. مکانیسم‌های مورفو فیزیولوژیکی متفاوت در گیاهان به آن‌ها امکان سازگار شدن با تنش خشکی را می‌دهد. برای رفع نیازهای غذایی جمعیت در حال افزایش، گسترش گیاهان متحمل به تنش خشکی و ارقام مناسب آن‌ها ضروری است (Mahajan and Tuteja, 2005)؛ (Farooq *et al.*, 2008). تنوع ژنتیکی قابل توجهی در ارقام و گونه‌های براسیکا از نظر تحمل به خشکی وجود دارد (Ahmadi and Javidfar, 2000). گزارش شده است که تنش رطوبتی بسته به شدت تنش، مدت تنش و مرحله رشدی بر مکانیسم‌های زایشی تعیین کننده عملکرد کلزا مثل تشکیل گل و خورجین، دانه در خورجین و پر شدن دانه تاثیرگذار هستند (Fanaei *et al.*, 2009)؛ (Sinaki *et al.*, 2007). کاهش در عملکرد و اجزای مرتبط با عملکرد در کلزا تحت تاثیر

تنش خشکی، توسط فنایی و همکاران (Fanaei *et al.*, 2009)، آل بارک (Albarrak, 2006)، سیانکی و همکاران (Sinaki *et al.*, 2007) و جنسن و همکاران (Jensen *et al.*, 1996) گزارش شده است. شاخص‌های متفاوتی برای ارزیابی عکس‌العمل ژنوتیپ‌ها در شرایط محیطی مختلف و تعیین مقاومت و حساسیت ژنوتیپ‌ها ارائه شده است. روزیلی و هامبلین (Rosielle and Hamblin, 1981) شاخص‌های تحمل (Tolerance) TL و میانگین حسابی (Mean of Productivity) MP را معرفی کردند. فیشر و مائورر (Fischer and Maurer, 1978) شاخص حساسیت به تنش (Stress Susceptibility Index) SSI را پیشنهاد کردند. فرناندز (Fernandez, 1992) یک شاخص پیشرفته به نام شاخص تحمل به تنش (Stress Tolerance Index) STI را، را تعریف کرد که می‌تواند برای انتخاب ژنوتیپ‌هایی با تولید بالا در هر دو شرایط تنش و عدم تنش استفاده شود. شناسایی شاخصی مناسب برای مقاومت به خشکی همواره مورد توجه محققین بوده است چرا که بهترین شاخص، کار انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا را تا حد زیادی تسهیل می‌کند. مناسب بودن شاخص‌های ویژه، به زمان و شدت تنش در محیط دارای تنش بستگی دارد (Majidi *et al.*, 2011). بلام (Blum, 1998) معتقد است

شرایط تنش و عدم تنش را افزایش می‌دهد. دانشیان و همکاران (Daneshian *et al.*, 2009) در سویا، مظفری و همکاران (Mozaffari *et al.*, 1996) در آفتابگردان، مجیدی و همکاران (Majidi *et al.*, 2011) در گلرنگ مطلوبیت شاخص‌های GMP، MP و STI را برای انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در شرایط تنش و عدم تنش گزارش کردند. رامیرز و کلی (Ramirez and Kelly, 1998) گزارش کردند که انتخاب بر اساس ترکیبی از شاخص‌های STI و GMP می‌تواند بیشترین معیار مطلوبیت را برای اصلاح مقاومت به خشکی فراهم کند. با عنایت به تاثیر منفی خشکی در محدود کردن تولید محصولات حتی در کشت‌های فاریاب، معرفی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش از طریق انجام چنین بررسی‌هایی ضروری است. یافتن ارقام با میزان تحمل بیشتر به خشکی و خسارت کمتر در عملکرد و اجزای عملکرد و معرفی معیارهای مناسب انتخاب در شرایط تنش و عدم تنش از اهداف اجرای این تحقیق بود.

مواد و روش‌ها

به منظور ارزیابی عملکرد، اجزای عملکرد و تحمل به تنش خشکی هفده ژنوتیپ بهاره کلزا دو آزمایش جداگانه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی زهک واقع در ۲۵ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان زابل

انتخاب برای مقاومت به خشکی باید مبتنی بر پتانسیل عملکرد بالا و اختلاف عملکرد در شرایط تنش و عدم تنش پائین باشد. مجیدی (Majidi, 2012) گزارش کرد که بین ارقام و هیبریدهای جدید کلزا تنوع قابل ملاحظه‌ای از نظر تحمل به تنش خشکی بر اساس صفات وابسته به عملکرد وجود دارد که می‌تواند برای بهبود این ویژگی در کلزا مورد استفاده قرار گیرد و روش مؤلفه‌های اصلی به عنوان یک روش کارآمد برای تفکیک ارقام با درجات تحمل متفاوت به خشکی است. ملک شاهی و همکاران (Malekshahi *et al.*, 2009) در مطالعه شاخص‌های تحمل به خشکی در برخی ارقام پاییزه کلزا گزارش کردند که در تفکیک ارقام متحمل به خشکی شاخص‌های GMP (Geometric Mean Productivity) و MP و STI به طور مشابهی عمل کرده و ژنوتیپ‌های یکسانی را در ارتباط با تنش شناسایی می‌کنند و این شاخص‌ها را به دلیل همبستگی بسیار بالایی که با عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش داشتند به عنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها برای شناسایی ارقام پر محصول با کمترین حساسیت نسبت به تنش خشکی گزارش شدند.

رضایی‌زاد و همکاران (Rezaeizad *et al.*, 2011) همبستگی‌های مثبت و معنی‌دار بین عملکرد دانه و شاخص‌های GMP، MP و STI در شرایط تنش و عدم تنش در کلزا گزارش کردند و اعلام داشتند که انتخاب بر اساس این شاخص‌ها عملکرد در

همزمان با آماده‌سازی زمین به خاک افزوده شد. ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن از منبع اوره به نسبت‌های ۳۰، ۴۰ و ۳۰ درصد به ترتیب قبل از کاشت، خروج بوته‌ها از مرحله روزت و شروع گل‌دهی به خاک داده شد. پس از رسیدن گیاهان، برای اندازه‌گیری صفاتی از قبیل ارتفاع بوته، تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین به طور تصادفی تعداد پنج بوته از هر ژنوتیپ در هر تکرار انتخاب و شمارش انجام شد. برای تعیین عملکرد دانه با حذف اثر حاشیه‌ای، برداشت از خطوط میانی هر کرت از سطح دو مترمربع انجام شد. تعیین درصد روغن به روش غیر تخریبی با دستگاه NMR مدل H20-18-25A ساخت کارخانه Bruker کشور کانادا در بخش تحقیقات دانه‌های روغنی موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر انجام شد. پس از تعیین درصد روغن دانه از حاصل ضرب آن در عملکرد دانه عملکرد روغن محاسبه شد (Fanaei *et al.*, 2008). برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها از نظر تحمل به خشکی از شاخص‌های تحمل به تنش (STI) و میانگین هندسی (GMP) (پیشنهادی فرناندز (Fernandez, 1992)، شاخص حساسیت به تنش (SSI) (پیشنهادی فیشر و مورر (Fischer and Maurer, 1978)، شاخص تحمل (TOL) و شاخص بهره‌وری متوسط (MP) معرفی شده توسط روزیلی و هامبلین (Rosielle and Hamblin, 1981) استفاده شد. برای بررسی عملکرد و اجزای عملکرد

در طول جغرافیایی ۶۱ درجه و ۴۱ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۵۴ دقیقه شمالی و ارتفاع ۴۸۳ متر از سطح دریا در سال‌های زراعی ۱۳۸۹-۱۳۹۰ و ۱۳۸۸-۸۹ اجرا شد. کشت به صورت هیرم کاری و با دستگاه پلات کار وینتراشتاگر انجام شد. آزمایش بدون تنش از زمان کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک بر اساس ۵۰ درصد تخلیه رطوبت قابل استفاده گیاه در خاک و آزمایش تنش از زمان کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک بر اساس ۸۰ درصد تخلیه رطوبت قابل استفاده گیاه در خاک آبیاری شدند. تعداد دفعات آبیاری برای تیمارهای ۵۰ و ۸۰ درصد تخلیه رطوبتی پنج و سه نوبت آبیاری بود، که بر اساس ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی خاک، مراحل روزت، غنچه‌دهی، گلدهی، غلاف‌دهی و پر شدن دانه و بر اساس ۸۰ درصد تخلیه رطوبتی خاک در مراحل غنچه‌دهی، غلاف‌دهی و پر شدن دانه آبیاری شدند. برای تشخیص زمان آبیاری کرت‌ها با توجه به منحنی رطوبتی خاک، نمونه‌برداری از خاک به صورت تصادفی از دو قطعه آزمایشی در فواصل زمانی هر هفت روز برداشت و رطوبت خاک بصورت وزنی مشخص شد. هر کرت شامل شش ردیف به طول ۵ متر با فواصل خطوط ۲۰ سانتی‌متر و مساحت ۶ مترمربع بود. برای جلوگیری از نشت رطوبت فاصله بین دو قطعه آزمایش ۵ متر منظور شد. براساس آزمون خاک، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل و ۲۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم

ژنوتیپ‌ها از تجزیه واریانس مرکب صفات با استفاده از نرم‌افزار Mstat-C استفاده شد.

نتایج و بحث

مشخصات ژنوتیپ‌های کلزا مورد استفاده در این تحقیق در جدول ۱ و برخی اصلاحات هواشناسی منطقه زابل در ماه‌های دوره رشد کلزا در جدول ۲ نشان داده شده‌اند.

همبستگی‌های ساده بین شاخص‌های تحمل و عملکرد دانه در دو محیط تنش و بدون تنش محاسبه و تجزیه به مولفه‌های اصلی برای تعیین ژنوتیپ‌های متحمل انجام و مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها به روش آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد

جدول ۱- نام و منشأ ژنوتیپ‌های کلزا

Table 1. Name and origin of canola genotypes

| شماره ژنوتیپ Genotype no. | ژنوتیپ Genotype | منشأ Origin | تیپ Type |
|------------------------------|--------------------|----------------|------------------------|
| 1 | 15/1 GOL × 19H | Karaj | Spring-open-pollinated |
| 2 | 13/1 RG × 19 H | Karaj | Spring-open-pollinated |
| 3 | 43 FUS × OPT | Karaj | Spring-open-pollinated |
| 4 | 27/2 RG × FUS | Karaj | Spring-open-pollinated |
| 5 | 39/2 FUS × RC | Karaj | Spring-open-pollinated |
| 6 | 45/2 FUS × OP | Karaj | Spring-open-pollinated |
| 7 | SG2 - 87182 | Dezful | Spring-open-pollinated |
| 8 | SG9 - 87182 | Dezful | Spring-open-pollinated |
| 9 | SG1 - 87182 | Dezful | Spring-open-pollinated |
| 10 | SG5 - 87182 | Dezful | Spring-open-pollinated |
| 11 | Zabol-6 | Zabol | Spring-open-pollinated |
| 12 | Zabol-9 | Zabol | Spring-open-pollinated |
| 13 | Zabol-14 | Zabol | Spring-open-pollinated |
| 14 | Zabol-15 | Zabol | Spring-open-pollinated |
| 15 | Hyola 401 | Canada | Spring-Hybrid |
| 16 | RGS003 | Germany | Spring-open-pollinated |
| 17 | Zabol-16 | Zabol | Spring-open-pollinated |

جدول ۲- برخی اطلاعات هواشناسی منطقه زابل طی فصل رشد کلزا (۱۳۸۸-۱۳۸۹)

Table 2. Some meteorological data of Zabol area during growth period of canola (2009-2010)

| ماه Month | حداقل دما Tem. Min. (°C) | | حداکثر دما Tem. Max. (°C) | | متوسط دما Tem. Aver. (°C) | |
|--------------|--------------------------------|------|---------------------------------|------|---------------------------------|------|
| | | | | | | |
| | 2009 | 2010 | 2009 | 2010 | 2009 | 2010 |
| October | 16.2 | 19.3 | 32.7 | 35.6 | 24.5 | 27.4 |
| November | 10.2 | 10.0 | 27.2 | 26.0 | 18.6 | 18.0 |
| December | 6.3 | 2.0 | 18.6 | 20.4 | 12.4 | 11.2 |
| July | 4.1 | 0.7 | 18.7 | 15.7 | 11.4 | 8.0 |
| February | 4.6 | 5.0 | 19.7 | 18.7 | 12.1 | 11.8 |
| March | 11.9 | 7.1 | 29.7 | 21.1 | 20.8 | 13.6 |
| April | 14.8 | 14.1 | 31.4 | 30.1 | 23.11 | 22.1 |

۲۵۹۶، ۲۲۱۸، ۲۱۰۱، ۲۰۷۷ و ۲۰۵۶ کیلوگرم در هکتار از عملکرد دانه بالا برخوردار بودند (جدول ۵). کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش به سبب کاهش اجزاء عملکردی چون تعداد خورجین در بوته، دانه در خورجین و وزن هزار دانه نسبت به شرایط آبیاری مطلوب بود. افزایش سقط جنین و کاهش تعداد بذر و خورجین به واسطه کاهش فراهمی مواد پرورده از دلایل مهم کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش رطوبتی ذکر شده است (Diepenbrock, 2000). نتیجه به دست آمده با نتایج فنایی و همکاران (۲۰۰۹)، آل بارک (۲۰۰۶)، سیناکی و همکاران (۲۰۰۷) و جنسن و همکاران (۱۹۹۶) که کاهش اجزای عملکرد و نهایتاً عملکرد دانه را به واسطه خشکی گزارش کردند، مطابقت دارد. در هر دو شرایط تنش و عدم تنش تعداد خورجین در بوته در سال دوم نسبت به سال اول بیشترین بود (جدول ۴). رضائی‌زاد و همکاران (۲۰۱۱) اعلام داشتند که این صفت به شدت تحت تاثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد. تعداد خورجین در بوته از ۱۳۴ در شرایط آبیاری مطلوب به ۱۱۳ خورجین در شرایط تنش خشکی کاهش یافت (جدول ۴). محدودیت در فراهمی آب در طی دوره گل‌دهی در آزمایش تنش خشکی (۸۰ درصد تخلیه رطوبت قابل استفاده گیاه در خاک) می‌تواند در کاهش تعداد خورجین در بوته موثر بوده باشد. لاین‌های شماره ۲، ۷ و ۱ در هر دو شرایط در مقایسه با لاین‌های دیگر تعداد

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه و صفات وابسته در دو شرایط تنش و عدم تنش حاکی از اختلاف معنی‌دار آن‌ها تحت تاثیر عوامل سال، محیط و ژنوتیپ بود (جدول ۳). عملکرد دانه در سال دوم آزمایش در مقایسه با سال اول ۳۲ درصد افزایش داشت. ثبات حرارتی و هوای خنک‌تر در دوره پر شدن دانه در اواخر فصل رشد از عوامل برتری تولید در این سال بود (جدول ۲). عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در شرایط عدم تنش خشکی در مقایسه با شرایط تنش ۲۴ درصد افزایش نشان داد. لاین‌های 13/1RG×19H و 15/1GoL×19H با میانگین ۲۶۸۷ و ۲۶۸۲ کیلوگرم در هکتار بالاترین عملکرد دانه را در هر دو شرایط در دو سال بررسی داشتند اما از نظر گروه‌بندی آماری با لاین‌های شماره ۱۱، ۵، ۶، ۱۴ و ۱۵ در یک گروه قرار گرفتند. کمترین مقدار عملکرد دانه با میانگین ۱۹۸۴ و ۱۹۷۲ کیلوگرم از لاین‌های شماره ۴ و ۱۲ به دست آمد. رقم آزاد گرده‌افشان RGS003 به عنوان شاهد در جایگاه دوازدهم قرار گرفت (جدول ۴). بر اساس جدول مقایسه میانگین اثر متقابل محیط در ژنوتیپ، لاین‌های شماره ۱، ۵، ۱۱، ۷ و ۲ به ترتیب با میانگین ۳۱۴۷، ۲۸۳۸، ۲۸۳۱، ۲۷۸۸ و ۲۷۷۸ کیلوگرم در هکتار در شرایط عدم تنش بالاترین عملکرد دانه را داشتند و در شرایط تنش که مراحل روزت و گلدهی با کمبود آب روبرو بودند لاین‌های شماره ۲، ۱، ۹، ۱۴ و ۱۱ به ترتیب با میانگین

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب صفات مختلف زراعی در ژنوتیپ‌های کلزا
Table 3. Combined analysis of variance for different agronomic traits of canola genotypes

| S.O.V. | منابع تغییر | df. | عملکرد دانه Seed yield | تعداد خورجین در بوته Silique/plant | تعداد دانه خورجین Seed/ silique | وزن هزاردانه 1000 seed/weight | ارتفاع بوته Plant height | درصد روغن Oil contents | عملکرد روغن Oil yield | روز تا گلدهی Days to flowering | روز تا رسیدگی Days to maturity |
|-----------------|---------------------|-----|---------------------------|--|--|-------------------------------------|--------------------------------|------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|---|
| Year (Y) | سال | 1 | 37838373.35** | 14508.70** | 7.82 ^{ns} | 5.36** | 19578.44** | 1459.37** | 3513168.82** | 11162.16** | 5312.16** |
| Replication × Y | تکرار در سال | 4 | 186900.29 | 76.08 | 6.77 | 0.16 | 139.66 | 9.51 | 46429.46 | 41.28 | 7.17 |
| Environment (E) | محیط | 1 | 18830982.35** | 21281.31** | 154.70** | 3.89** | 3009.17** | 71.54** | 5037506.12** | 60.39** | 354.71** |
| Y × E | سال × محیط | 1 | 4443586.28** | 154.61 ^{ns} | 1.70 ^{ns} | 0.48** | 168.67 ^{ns} | 109.39** | 626707.10** | 570.00** | 37.10** |
| Genotype (G) | ژنوتیپ | 16 | 579028.22** | 394.79** | 7.46** | 0.18** | 160.71** | 6.74** | 144595.96** | 126.79** | 4.72** |
| Y × G | سال × ژنوتیپ | 16 | 315735.72** | 269.03* | 9.35** | 0.12* | 103.21 ^{ns} | 5.85** | 77068.53** | 16.74** | 8.66** |
| E × G | محیط × ژنوتیپ | 16 | 163404.39 ^{ns} | 174.48 ^{ns} | 3.06 ^{ns} | 0.15** | 53.58 ^{ns} | 1.703 ^{ns} | 45793.89* | 7.54 ^{ns} | 3.60* |
| Y × G × E | سال × ژنوتیپ × محیط | 16 | 135954.13 ^{ns} | 187.51 ^{ns} | 4.35 ^{ns} | 0.09 ^{ns} | 89.08 ^{ns} | 0.85 ^{ns} | 33933.20 ^{ns} | 10.33 ^{ns} | 1.35 ^{ns} |
| Error | خطا | 132 | 121997.86 | 127.38 | 2.87 | 0.06 | 73.51 | 1.70 | 27299.64 | 6.41 | 2.21 |
| C.V. (%) | ضریب تغییرات | | 15.51 | 9.13 | 8.63 | 7.60 | 6.81 | 2.9 | 16.65 | 2.41 | 0.88 |

ns, *, ** : به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد.

ns, * and **: Not-significant, significant at 5% and 1% of probability levels, respectively.

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات مختلف زراعی ژنوتیپ‌های کلزا

Table 4. Comparison of means of different agronomic traits of canola genotypes

| Treatment | تیمار | عملکرد دانه Seed yield (kg ha ⁻¹) | تعداد خورجین بوته Silique/plant | تعداد دانه خورجین Seed/silique | وزن هزار دانه 1000 seed weight (g) | درصد روغن Oil content (%) | عملکرد روغن Oil yield (kg ha ⁻¹) | ارتفاع بوته Plant height (cm) | روز تا گلدهی Days to flowering | روز تا رسیدگی Days to maturity | |
|---------------------|-------------------|---|------------------------------------|-----------------------------------|--|------------------------------------|--|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|----------|
| سال Year | First | سال اول | 1821b | 115.0b | 19.4a | 3.29b | 47.20a | 860b | 116b | 97.8b | 160.0b |
| | Second | سال دوم | 2682a | 132.0a | 20.0a | 3.61a | 41.85b | 1124a | 136a | 112.6a | 170.3a |
| محیط Environment | Non-stress | عدم تنش | 2556a | 134.0a | 21.0a | 3.59a | 45.12a | 1150a | 130a | 105.7a | 166.5a |
| | Stress | تنش | 1948b | 113.0b | 19.0b | 3.31b | 43.90ab | 835b | 122b | 104.6ab | 163.5b |
| Genotype | | ژنوتیپ | | | | | | | | | |
| | 1. 15/1 GOL×19H | | 2682a | 130.5ab | 20.3ab | 3.44a-c | 45.64a | 1220a | 135a | 111.8a | 163.8e |
| | 2. 13/1 RG × 19 H | | 2687a | 134.7a | 20.0ab | 3.61ab | 45.41ab | 1175ab | 129ab | 108.2ba | 165.9ab |
| | 3. 43 FUS × OPT | | 2051cb | 120.1b-d | 18.7bc | 3.38a-c | 44.96a-c | 910d-f | 129ab | 109.5ab | 165.1d-b |
| | 4. 27/2 RG × FUS | | 1984c | 114.8d | 19.1a-c | 3.43a-c | 43.97b-d | 856f | 126ab | 102.0e-g | 165.2a-d |
| | 5. 39/2 FUS × RC | | 2334a-c | 122.2a-d | 19.7ab | 3.37a-c | 43.71cd | 1013b-f | 121b | 106.7b-d | 165.0b-e |
| | 6. 45/2 FUS × OP | | 2208bc | 121.4b-d | 19.9ab | 3.48a-c | 44.06b-d | 969o-f | 123b | 104.5de | 165.9ab |
| | 7. SG2 -8 7182 | | 2360a-c | 132.1ab | 20.5ab | 3.33bc | 45.39ab | 1057a-d | 127ab | 104.5de | 165.2a-d |
| | 8. SG9 - 87182 | | 2116bc | 116.6cd | 19.4a-c | 3.66a | 45.13a-c | 933d-f | 122b | 103.8d-f | 164.8b-c |
| | 9. SG1 - 87182 | | 2356a-c | 128.1a-c | 19.6a-c | 3.45a-c | 44.32a-c | 1037d-f | 120b | 102.7e-g | 165.6a-c |
| | 10. SG5- 87182 | | 2225bc | 122.7a-d | 20.1ab | 3.23a | 44.29a-c | 9730-f | 129ab | 103.8d-f | 165.3a-d |
| | 11. Zabol-6 | | 2443ab | 128.9a-c | 20.5ab | 3.40a-c | 44.17a-d | 1128a-c | 126ab | 108.9a-c | 164.4c-e |
| | 12. Zabol-9 | | 1972c | 117.4cd | 19.5a-c | 3.37a-c | 44.63a-c | 875d-f | 127ab | 108.9a-c | 165.6a-c |
| | 13. Zabol-14 | | 2002c | 117.5cd | 19.1a-c | 3.49a-c | 44.26a-c | 864o-f | 123b | 100.9g | 166.3a |
| | 14. Zabol-15 | | 2352a-c | 120.9b-d | 20.5ab | 3.56ab | 44.93a-c | 1049a-e | 125ab | 102.8e-g | 165.5a-c |
| | 15. Hyola 401 | | 2293a-c | 124.9a-d | 20.7a | 3.63ab | 45.25ab | 1023b-f | 125ab | 102.3c-d | 164.3de |
| | 16. RGS003 | | 2148bc | 122.6a-d | 19.0a-c | 3.52a-c | 42.69d | 896d-f | 123b | 106.3c-d | 165.3a-d |
| | 17. Zabol-16 | | 2065bc | 125.0a-d | 17.7c | 3.25c | 44.17a-d | 895d-f | 128ab | 101.2fg | 165.3a-d |

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد ندارند (آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار).

Means in each column followed by the similar letter (s) are not significantly different at 5% probability level (Least Significant Different Test).

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل صفات مختلف زراعی ژنوتیپ های کلزا در شرایط تنش و عدم تنش

Table 5. Comparison of means of interaction effects of different agronomic traits of canola genotypes in stress and non-stress conditions

| شماره ژنوتیپ Genotype No. | عملکرد دانه Seed yield (kg/ha ⁻¹) | | تعدادخوریجین بوته Silique/plant | | تعداد دانه خوریجین Seed/silique | | وزن هزار دانه 1000 seed weight (g) | | عملکرد روغن Oil yield (kg/ha ⁻¹) | | روز تا گلدهی Days to flowering | | روز تا رسیدگی Days to maturity | |
|------------------------------|--|---------|------------------------------------|--------|------------------------------------|---------|---------------------------------------|---------|---|---------|-----------------------------------|----------|-----------------------------------|----------|
| | عدم تنش | تنش | عدم تنش | تنش | عدم تنش | تنش | عدم تنش | تنش | عدم تنش | تنش | عدم تنش | تنش | عدم تنش | تنش |
| | Non-stress | Stress | Non-stress | Stress | Non-stress | Stress | Non-stress | Stress | Non-stress | Stress | Non-stress | Stress | Non-stress | Stress |
| 1 | 3147a | 2218d-i | 144ab | 117g-l | 21.4a-c | 19.2e-h | 3.53c-j | 3.34h-o | 1447a | 922e-j | 112.7a | 110.8a-c | 165.5d-k | 162.2r |
| 2 | 2778ab | 2596b-d | 141a-c | 128c-g | 20.5a-h | 19.5c-j | 3.89a | 3.33i-o | 1213b-d | 1138c-f | 107.8d-g | 108.5b-f | 168.0a | 163.8l-q |
| 3 | 2192e-j | 1911h-l | 127d-h | 113i-m | 19.8b-j | 17.6kl | 3.67a-g | 3.08no | 984e-j | 864i-m | 109.8a-d | 109.2b-e | 167.7a-c | 162.5qr |
| 4 | 2189e-j | 1778hl | 121t-j | 108k-m | 19.5d-k | 18.7hk | 3.73a-d | 3.12m-o | 957f-k | 756lm | 103.8i-m | 100.2o | 166.2c-a | 164.2j-p |
| 5 | 2838ab | 1830i-l | 135b-d | 110j-m | 21.4a-c | 18.0jk | 3.47d-k | 3.28j-o | 1244bc | 781h-m | 106.7e-i | 106.7e-i | 166.8a-e | 163.2q-r |
| 6 | 2546b-e | 1870i-l | 131b-f | 111j-m | 20.1a-i | 19.6c-j | 3.53c-j | 3.43e-l | 1129c-f | 809j-m | 104.0h-l | 105.0g-h | 167.0a-d | 164.8g-n |
| 7 | 2788ab | 1931g-l | 148a | 116g-l | 21.9a | 19.1f-k | 3.34h-o | 3.33i-l | 1292a-c | 821i-m | 104.2h-l | 104.8h-k | 167.0a-d | 163.3n-r |
| 8 | 2538b-e | 1694l | 132b-f | 101m | 20.9a-g | 18.0jk | 3.82a-c | 3.51d-j | 1153c-e | 713m | 104.3h-l | 103.3j-n | 165.7d-g | 164.0k-q |
| 9 | 2612b-d | 2101f-k | 136a-d | 120f-k | 20.1a-i | 19.2f-k | 3.71a-e | 3.18k-o | 1195b-d | 880g-m | 104.3h-l | 101.0m-o | 166.2c-h | 165.0f-m |
| 10 | 2542b-e | 1908n-l | 135b-d | 110j-m | 21.0a-f | 19.1f-k | 3.39g-m | 3.08o | 1135c-f | 810j-m | 105.0g-k | 102.7n-o | 166.0d-i | 164.7h-o |
| 11 | 2831ab | 2056g-l | 138a-d | 120f-k | 21.4a-c | 19.6c-j | 3.63a-h | 3.18k-o | 1381ab | 874g-m | 111.0ab | 106.8e-n | 165.3e-l | 163.5m-r |
| 12 | 2122f-k | 1822i-l | 120f-l | 115h-l | 20.5a-h | 18.6h-k | 3.38g-n | 3.36h-o | 960f-k | 791h-m | 109.8a-d | 108.0c-f | 166.7a-e | 164.5i-o |
| 13 | 2275c-h | 1729kl | 125d-i | 110j-m | 19.0g-k | 19.1f-k | 3.57b-j | 3.41e-m | 1000e-i | 728lm | 101.0m-o | 100.8n0 | 167.8ab | 164.8g-m |
| 14 | 2628bc | 2077g-l | 135b-d | 107lm | 21.1a-e | 19.8b-j | 3.70a-f | 3.43e-l | 1189cd | 909g-l | 103.3j-n | 102.8n-o | 166.3b-g | 164.7h-o |
| 15 | 2628bc | 1959g-l | 134b-e | 116g-l | 21.6ab | 19.9b-j | 3.85ab | 3.40f-m | 1190cd | 586h-m | 102.5k-o | 102.8n-o | 165.8d-i | 162.7p-r |
| 16 | 2480b-f | 1816j-l | 137a-d | 108k-m | 19.7b-j | 18.3i-k | 3.60a-i | 3.44d-l | 1047d-g | 746lm | 106.2f-j | 106.3e-i | 166.3b-g | 164.2j-p |
| 17 | 2313c-g | 1818j-l | 134b-e | 117g-l | 19.4e-k | 16.0l | 3.15l-o | 3.35h-o | 1029d-h | 461lm | 101.8l-o | 100.5no | 166.5a-f | 164.0k-q |

میانگین های دارای حروف مشترک در هر ستون تفاوت معنی دار در سطح احتمال پنج درصد ندارند (آزمون حداقل تفاوت معنی دار).

Means in each column followed by the similar letter (s) are not significantly different at 5% probability level (Least Significant Different Test).

For name of genotypes see Table 1.

برای نام ژنوتیپ ها به جدول ۱ مراجعه شود.

(Fanaei et al., 2009) و آل بارک (Albarrak, 2006) به تأثیر محدودیت آب در مراحل غنچه‌دهی، گلدهی و خورجین‌دهی بر آفت تعداد دانه در خورجین اشاره شده است که با نتایج به دست آمده از این آزمایش مطابقت داشت. براساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب، اثر سال، محیط، ژنوتیپ و اثر متقابل سال در ژنوتیپ تأثیر معنی‌داری بر وزن هزار دانه داشتند (جدول ۳). طی دو سال آزمایش بیشترین وزن هزار دانه در سال دوم حاصل شد که نشان‌دهنده این است که وزن هزار دانه می‌تواند تحت تأثیر شرایط آب و هوایی و مدیریتی واقع شود. همان‌طور که در جدول ۴ مشخص شده است، وزن هزار دانه از ۳/۵۹ به ۳/۳۱ گرم در شرایط تنش کاهش یافته بود. این نتیجه با نتیجه به دست آمده در آزمایش رضائی‌زاد و همکاران (Rezaeizad et al., 2011) که کاهش وزن هزار دانه را در شرایط تنش رطوبتی آخر فصل گزارش کردند، مطابقت و با نتایج جنسن و همکاران (Jensen et al., 1996) که گزارش کردند در تنش آب اندازه دانه‌ها به عنوان یک بازتاب جبرانی در برابر کاهش تعداد خورجین و دانه افزایش می‌یابد، مغایرت داشت. هیبرید هایولا ۴۰۱ و لاین‌های شماره ۲، ۸، ۴، ۹، ۱۴، ۳ و ۱۰ در شرایط عدم تنش و هیبرید هایولا ۴۰۱ به همراه لاین‌های شماره ۸، RGS003، ۱۴ و ۱۳ در شرایط تنش بیشترین وزن هزار دانه را داشتند (جدول ۵). ارتفاع بوته تحت تأثیر

خورجین بیشتری داشتند (جدول ۴). تمایز و تکامل خورجین‌ها روی شاخه‌ها در اوایل مراحل رشدی روزت و غنچه‌دهی انجام می‌شود، که با توجه به محدودیت در فراهمی آب در ابتدای فصل رشد در شرایط آزمایش تنش، کاهش تعداد خورجین در بوته نسبت به شرایط عدم تنش قابل انتظار بود. سیناکی و همکاران (Sinaki et al., 2007) و فنایی و همکاران (Fanaei et al., 2009) گزارش کردند که حساس‌ترین زمان برای آبیاری کلزا مراحل گلدهی و اوایل غلاف‌بندی است. نتایج نشان داد که عامل محیط و ژنوتیپ تأثیر معنی‌داری بر تعداد دانه در خورجین داشتند (جدول ۳). تعداد دانه در خورجین از ۲۱ دانه در شرایط بدون تنش به ۱۹ دانه در شرایط تنش کاهش یافت. در شرایط آبیاری مطلوب بیشترین تعداد دانه در خورجین به هیبرید هایولا ۴۰۱ و لاین شماره ۷، با میانگین ۲۲ دانه تعلق داشت که در یک گروه آماری با اکثر ارقام قرار گرفتند. در شرایط تنش هیبرید هایولا ۴۰۱ و لاین‌های شماره ۱۵، ۱۴، ۱۱، ۶ و ۲ با میانگین ۲۰ دانه بالاترین و لاین شماره ۱۷ با میانگین ۱۶ دانه کمترین تعداد دانه در خورجین را داشتند (جدول ۵). تعداد دانه در خورجین در فاز زایشی گیاه یعنی مرحله گل‌دهی و خورجین‌دهی به مرحله تثبیت می‌رسد، انجام آبیاری در این مراحل در افزایش تعداد دانه در خورجین می‌تواند تأثیرگذار باشد. در نتایج سیناکی و همکاران (۲۰۰۷)، فنایی و همکاران

عامل سال، محیط و ژنوتیپ قرار گرفت (جدول ۳). ارتفاع بوته در سال دوم آزمایش در مقایسه با سال اول ۱۵ درصد افزایش داشت. مقایسه میانگین ارتفاع در دو محیط نشان داد (جدول ۵) که ارتفاع از ۱۲۸ به ۱۲۰ سانتی متر در شرایط تنش کاهش یافت. محدودیت در فراهمی آب در ابتدای فصل رشد باعث کاهش در رشد و تولید ماده خشک می شود که اثر آن در کاهش ارتفاع قابل مشاهده بود. بازتاب عمده ناشی از تنش، توقف نابرابر رشد شاخساره نسبت به رشد ریشه است. این پدیده منجر به کاهش نسبت ساقه به ریشه می شود (Koocheki *et al.*, 2005). نتایج این تحقیق با نتایج آل بارک (Albarrak, 2006)، سیناکی و همکاران (Sinaki *et al.*, 2007) که تاثیر منفی محدودیت آبی را بر کاهش ارتفاع گزارش کردند، مطابقت دارد. لاین شماره ۱ با میانگین ۱۳۵ سانتی متر بیشترین ارتفاع را در مجموع دو شرایط مطلوب آبیاری و تنش داشت که با اکثر لاین ها در گروه آماری مشترک قرار داشت (جدول ۴).

نتایج حاکی از تاثیر معنی دار سال، محیط و ژنوتیپ بر درصد روغن بود (جدول های ۲ و ۳). در سال اول آزمایش افزایش ۱۱ درصدی روغن مشاهده شد. درصد روغن از ۴۵ درصد در شرایط بدون تنش به ۴۴ درصد در شرایط تنش کاهش یافت. به نظر می رسد که از یک طرف محدودیت در فراهمی آب می تواند روند تجمع روغن را دانه های در حال رشد در اولین

غلاف ها تحت تاثیر قرار دهد. از طرفی شرایط خشکی به همراه افزایش درجه حرارت آخر فصل نیز طی سال های مختلف می تواند در این کاهش موثر باشد. شامپولیور و میرین (Chmpoliver and Merrien, 1996) کاهش روغن و تغییر ترکیب شیمیایی دانه را تحت تاثیر خشکی در مرحله گل دهی گزارش کردند. لاین شماره ۱ با میانگین ۴۶ درصد بیشترین روغن را در مجموع دو شرایط تنش و عدم تنش داشت (جدول ۴). نتیجه این آزمایش با نتیجه گوناسکرا و همکاران (Gunasekera *et al.*, 2006) که گزارش کردند، بین ارقام کلزا اختلاف معنی داری از نظر در صد روغن وجود دارد، مطابقت دارد. عملکرد روغن از ۱۱۵۰ در شرایط بدون تنش به ۸۳۵ کیلوگرم در هکتار در شرایط تنش کاهش نشان داد (جدول ۴)، که تا حد زیادی کاهش عملکرد دانه و درصد روغن در محیط تنش می تواند در توجیه این کاهش موثر باشد. جنسن و همکاران (Jensen *et al.*, 1996) گزارش کردند که تنش خشکی عملکرد روغن را ۱۷ درصد کاهش داد. در شرایط آبیاری مطلوب لاین های شماره ۱، ۱۱ و ۷ به ترتیب با میانگین ۱۴۴۸، ۱۳۸۱ و ۱۲۹۲ کیلوگرم در هکتار و در شرایط تنش خشکی لاین های شماره ۲، ۱ و ۱۴ با میانگین ۱۱۳۸، ۹۹۲ و ۹۰۹ کیلوگرم در هکتار بالاترین عملکرد روغن را داشتند (جدول ۵). عملکرد روغن بالا در این ژنوتیپ ها به دلیل عملکرد دانه بیشتر بوده

ارزیابی شاخص‌های تحمل به خشکی

بر اساس شاخص STI هرچه اختلاف بین عملکرد دانه در شرایط معمول و تنش بیشتر باشد، میزان شاخص کوچک‌تر می‌شود. بالا بودن این شاخص حاکی از تحمل بیشتر به تنش است. بر اساس شاخص GMP و MP نیز ژنوتیپ‌هایی متحمل‌تر هستند که مقادیر بیشتری از این شاخص‌ها را داشته باشند (Fernandez, 1992). لاین‌های شماره ۲، ۱، ۱۱، ۹، ۷ و ۱۴ بالاترین مقادیر را از سه شاخص STI، GMP و MP داشتند (جدول ۶). این لاین‌ها ضمن داشتن مقادیر بالای STI از نظر میانگین عملکرد نیز در شرایط تنش و در شرایط مطلوب برتر بودند. به نظر می‌آید که شاخص تحمل به تنش STI در گزینش لاین‌های با عملکرد بالا در هر دو شرایط نرمال و تنش از کارایی بالایی برخوردار باشد. دانشیان و همکاران (Danshian et al., 2009) در سویا، مظفری و همکاران (Mozaffari et al., 1996) در آفتابگردان و مجیدی (Majidi, 2012) با استفاده از این سه شاخص ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی را معرفی کردند که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت. فرناندز (Fernandez, 1992) بیان کرد که به علت حساسیت کمتر شاخص میانگین هندسی GMP به مقادیر عملکرد در شرایط تنش و عدم تنش، این شاخص دارای برتری نسبت به شاخص MP است. شاخص SSI نشان می‌دهد که هر چه مقدار آن کمتر باشد، حساسیت به تنش کمتر و تحمل نسبی

که به صورت مستقیمی در افزایش عملکرد روغن موثر بود. فنایی و همکاران (Fanaei et al., 2005) و فرجی (Faraji, 2003) گزارش کردند که بین عملکرد روغن با عملکرد دانه و درصد روغن همبستگی زیادی وجود دارد و ارقامی که دارای عملکرد دانه بالایی هستند. تقریباً به همان نسبت عملکرد روغن بالایی در واحد سطح نیز دارند که با نتیجه به دست آمده از این آزمایش تطابق دارد. در اثر تنش خشکی زمان تا شروع گل به مقدار کمی کاهش یافت به طوری که با شرایط عدم تنش تفاوت زیادی نداشت. بروز تنش در ابتدای فصل سبب تاخیر در ظهور مراحل رشدی شد. عواملی چون درجه حرارت و طول روز نیز در این تاخیر و ایجاد این نتیجه می‌تواند تاثیرگذار بوده باشد. زمان تا رسیدگی فیزیولوژیک در ژنوتیپ‌ها در دو شرایط تنش و عدم تنش تفاوت بیشتری نشان داد. به طوری که رسیدن به این مرحله در شرایط عدم تنش پنج روز طولانی‌تر از شرایط تنش بود. محدودیت در فراهمی رطوبت به همراه گرمای آخر فصل در تسریع مراحل پایانی رشد و زودرسی می‌تواند تاثیر داشته باشد. رضائی زاد و همکاران (Rezaeizad et al., 2011) گزارش کرد که تنش خشکی سبب تاخیر در شروع فاز گلدهی شد اما تنش خشکی در از زایشی رسیدگی فیزیولوژیک را در ژنوتیپ‌ها تسریع کرد.

درصد کاهش عملکرد پیدا کردند (جدول ۶). به نظر می‌رسد این دو شاخص برای گزینش ارقام با عملکرد بالا در محیط‌های مختلف برای کلزا مناسب نباشند. رضایی‌زاده و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که شاخص SSI با عملکرد دانه در شرایط مطلوب همبستگی مثبت و در شرایط تنش همبستگی منفی نشان داد که با نتایج این آزمایش مطابقت داشت. محدودیت در استفاده از SSI و TOL پیش از این توسط کلارک و همکاران (Clarke *et al.*, 1992) در گندم و رامیز و کلی (Ramirez and Kelly, 1998) در باقلا جهت انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در محیط‌های متفاوت گزارش شده است. شاخص‌های STI، GMP و MP دارای بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد دانه در شرایط تنش و عدم تنش بودند. ضمن اینکه این سه شاخص دارای بیشترین همبستگی مثبت با هم بودند (جدول ۷). وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار میان عملکرد دانه با این شاخص‌ها در شرایط تنش و عدم تنش نشان‌دهنده مناسب بودن آن‌ها برای گزینش ارقام با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و عدم تنش است. نتایج تحقیقات انجام شده در گیاهان مختلف از جمله دانشیان و همکاران (Danshian *et al.*, 2009) در سویا، مجیدی و همکاران (Majidi *et al.*, 2011) در گل‌رنجک و رضایی‌زاد و همکاران (Rezaeizadeh *et al.*, 2011) در کلزا نشان

ژنوتیپ به تنش بیشتر است. اگرچه ژنوتیپ‌هایی با مقدار پایین SSI یافت می‌شوند که دارای حساسیت پایینی به خشکی هستند اما از نظر عملکرد ژنوتیپ‌های مطلوبی نیستند. لاین‌های شماره ۳ و ۲ با داشتن مقادیر کمتر از این شاخص در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها از حساسیت کمتر و تحمل به تنش بیشتری برخوردار بودند (جدول ۶). بر اساس شاخص TOL در واقع تحمل بیشتر مربوط به ژنوتیپی است که از شاخص کوچک‌تری برخوردار باشد (Rosielle and Hamblin, 1981). بر اساس این شاخص لاین‌های شماره ۲، ۳ و ۱۲ به عنوان لاین‌های با تحمل بیشتر به تنش شناخته شدند (جدول ۶). نتایج همبستگی فنوتیپی بین شاخص‌های اندازه‌گیری شده و عملکرد در شرایط تنش و عدم تنش در جدول ۷ ارائه شده است. همبستگی مثبت و معنی‌دار عملکرد دانه با شرایط تنش و عدم تنش نشان‌دهنده تاثیر پذیری این صفت در بین ژنوتیپ‌ها است. شاخص TOL در شرایط عدم تنش همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد دانه نشان داد اما همبستگی شاخص SSI با عملکرد دانه در این شرایط کم بود (جدول ۷). این نوع همبستگی میان این شاخص‌ها و عملکرد دانه در شرایط عدم تنش نشان‌دهنده این است که ژنوتیپ‌هایی با پتانسیل عملکرد بالا تحت شرایط تنش از کاهش عملکرد بیشتری برخوردار هستند. لاین‌های شماره ۱، ۵ و ۱۱ با عملکرد بالا در شرایط مطلوب در اثر تنش به ترتیب ۳۶، ۳۰ و ۲۷

جدول ۶- شاخص‌های تحمل به خشکی و عملکرد دانه در شرایط تنش و عدم تنش در کلزا
Table 6. Drought tolerance indices and seed yield of canola in non-stress and stress conditions

| ژنوتیپ Genotype | عملکرد مطلوب Yp (kg ha ⁻¹) | عملکرد تنش Ys (kg ha ⁻¹) | شاخص حساسیت به تنش SSI | شاخص تحمل به تنش STI | شاخص تحمل TOL | میانگین هندسی بهره‌وری GMP | میانگین بهره‌وری MP |
|--------------------|---|---|---------------------------------|-------------------------------|---------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| 1. 15/1 GOL×19H | 3147 | 2218 | 1.26 | 1.08 | 929 | 2642 | 2683 |
| 2. 13/1 RG × 19 H | 2778 | 2596 | 0.28 | 1.11 | 182 | 2685 | 2687 |
| 3. 43 FUS × OPT | 2192 | 1910 | 0.55 | 0.64 | 282 | 2046 | 2051 |
| 4. 27/2 RG × FUS | 2189 | 1762 | 0.83 | 0.59 | 427 | 1964 | 1976 |
| 5. 39/2 FUS × RC | 2838 | 1830 | 1.51 | 0.80 | 1008 | 2279 | 2334 |
| 6. 45/2 FUS × OP | 2546 | 1870 | 1.13 | 0.73 | 676 | 2182 | 2208 |
| 7. SG2 -8 7182 | 2788 | 1931 | 1.31 | 0.83 | 857 | 2320 | 2360 |
| 8. SG9 - 87182 | 2538 | 1694 | 1.42 | 0.66 | 844 | 2073 | 2116 |
| 9. SG1 - 87182 | 2611 | 2101 | 0.83 | 0.85 | 510 | 2342 | 2356 |
| 10. SG5- 87182 | 2542 | 1908 | 1.06 | 0.75 | 634 | 2202 | 2225 |
| 11. Zabol-6 | 2831 | 2056 | 1.17 | 0.90 | 775 | 2413 | 2444 |
| 12. Zabol-9 | 2122 | 1822 | 0.60 | 0.60 | 300 | 1966 | 1972 |
| 13. Zabol-14 | 2274 | 1728 | 1.02 | 0.61 | 546 | 1982 | 2001 |
| 14. Zabol-15 | 2628 | 2077 | 0.89 | 0.84 | 551 | 2336 | 2353 |
| 15. Hyola 401 | 3147 | 2218 | 1.26 | 1.08 | 929 | 2642 | 2683 |
| 16. RGS003 | 2480 | 1816 | 1.14 | 0.69 | 664 | 2122 | 2148 |
| 17. Zabol-16 | 2313 | 1818 | 0.91 | 0.65 | 495 | 2051 | 2066 |

SSI: Stress Susceptibility Index; TOL: Tolerance; MP: Mean Productivity; GMP: Geometric Mean Productivity; STI: Stress Tolerance Index.

جدول ۷- ضرایب همبستگی شاخص‌های تحمل به تنش با عملکرد دانه در شرایط تنش و عدم تنش
Table 7. Correlation coefficients between tolerance indices and seed yield in non-stress and stress condition

| | عملکرد مطلوب YP | عملکرد تنش YS | شاخص حساسیت تنش SSI | شاخص تحمل TOL | میانگین حسابی MP | میانگین بهره‌وری هندسی GMP |
|-----|---------------------|----------------------|------------------------|---------------------|---------------------|-------------------------------|
| YP | | | | | | |
| YS | 0.577 | | | | | |
| SSI | 0.455 ^{ns} | -0.461 ^{ns} | | | | |
| TOL | 0.644 ^{**} | -0.353 ^{ns} | 0.971 ^{**} | | | |
| MP | 0.914 ^{**} | 0.859 ^{**} | 0.057 ^{ns} | 0.278 ^{ns} | | |
| GMP | 0.886 ^{**} | 0.89 ^{**} | -0.007 ^{ns} | 0.216 ^{ns} | 0.998 ^{**} | |
| STI | 0.87 ^{**} | 0.901 ^{**} | -0.034 ^{ns} | 0.190 ^{ns} | 0.995 ^{**} | 0.999 ^{**} |

ns, * and **: Not-significant, significant at 5% and 1% of probability levels, respectively.

SSI: Stress Susceptibility Index; TOL: Tolerance; MP: Mean Productivity; GMP: Geometric Mean Productivity; STI: Stress Tolerance Index.

می‌توان مؤلفه تحمل یا حساسیت به تنش نامید. انتخاب بر اساس مقادیر بیشتر این مؤلفه موجب گزینش ژنوتیپ‌های حساس‌تر به تنش محیطی می‌شود. بر اساس بای‌پلات ترسیم شده بر مبنای مولفه‌های اصلی اول و دوم (شکل ۱) ژنوتیپ‌ها به گروه‌هایی تقسیم شدند. همان‌گونه که در شکل ۱ ملاحظه می‌شود ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۱۱، ۹، ۷ و ۱۴ در ناحیه با پتانسیل بالا و حساسیت پایین به خشکی و در مجاورت بردارهای مربوط به شاخص‌های مهم تحمل به خشکی STI، GMP و MP و ژنوتیپ‌های شماره ۶، ۱۰، ۸، ۱۶ و ۱۳ در ناحیه حساسیت به تنش و عملکرد پایین در مجاورت شاخص‌های حساسیت قرار گرفتند و این عکس‌العمل‌های متفاوت نشانگر تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌ها نسبت به شرایط خشکی است. استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و نمودار بای‌پلات برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی با مطالعات مجیدی (Majidi *et al.*, 2011)، ملک‌شاهی و همکاران (Malekshaei *et al.*, 2009)، رضایی زاد و همکاران (Rezaeizadeh *et al.*, 2011) در تطابق است. بر اساس نتایج به دست آمده از این تحقیق مشخص شد که تنش خشکی بسته به اینکه در چه مرحله از رشد گیاه کلزا اتفاق افتد عملکرد دانه را از طریق تحت تاثیر قرار دادن صفات مرفولوژیکی و اجزاء عملکرد به ویژه تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین کاهش می‌دهد. اما ژنوتیپ‌ها می‌توانند

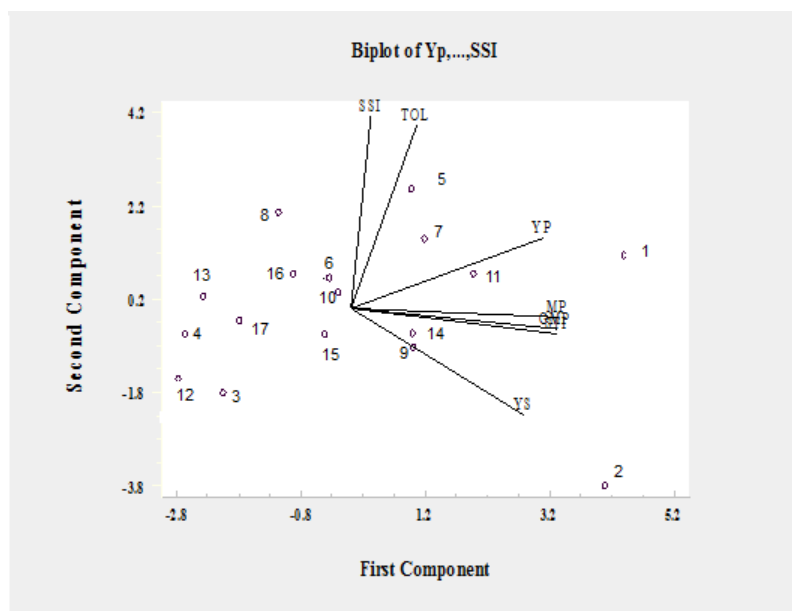
داده که شاخص‌های STI، GMP و MP از همبستگی بالایی با عملکرد دانه در دو شرایط تنش وعدم تنش برخوردار بودند و مناسب‌ترین شاخص‌ها برای ارزیابی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی هستند. در شرایط این آزمایش نیز مشخص شد که این شاخص‌ها دارای چنین ویژگی بوده و می‌توانند شاخص‌های مناسبی برای گزینش ژنوتیپ‌های برتر باشند (جدول ۶). برای ارائه روابط بین ژنوتیپ‌ها و شاخص‌های تحمل به خشکی در یک شکل واحد (ترسیم بای‌پلات) ابتدا بر اساس داده‌های جدول ۶ تجزیه به مؤلفه‌های اصلی انجام شد. همان‌گونه که در جدول ۸ ملاحظه می‌شود دو مؤلفه اول با داشتن مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک جمعاً ۰/۹۹ از تغییرات کل داده‌ها را بیان کردند. در این تحقیق اولین مؤلفه ۷۰ درصد از تغییرات کل داده‌ها را بیان کرد (جدول ۸). مؤلفه اول با شاخص‌های Y_p ، Y_s ، MP ، GMP و STI همبستگی مثبت بالایی داشت. لذا این مؤلفه به نام مؤلفه پتانسیل و پایداری عملکرد و تحمل به خشکی نام‌گذاری شد. انتخاب بر اساس این مؤلفه، ژنوتیپ‌هایی را گزینش می‌کند که عملکرد بالایی در هر دو محیط دارای تنش و بدون تنش دارند. مؤلفه دوم ۲۹ درصد از تغییرات کل شاخص‌ها را بیان کرد. این مؤلفه با شاخص‌های SSI و TOL همبستگی مثبت بالایی و همبستگی منفی و بسیار ضعیفی با عملکرد تنش و شاخص‌های MP ، GMP و STI داشت (جدول ۸). بنابراین مؤلفه مذکور را

جدول ۸- مقادیر ویژه، درصد واریانس، واریانس تجمعی و ضرایب بردارهای ویژه شاخص‌های تحمل به خشکی برای عملکرد دانه ژنوتیپ‌های کلزا

Table 8. Eigen value, variance (%), cumulative variance % and coefficients of eigen vectors drought tolerance indices for seed yield of canola genotypes

| مولفه | مقادیر ویژه | درصد واریانس | درصد واریانس تجمعی | عملکرد مطلوب | عملکرد تنش | شاخص تحمل | شاخص حساسیت تنش | میانگین بهره‌روی هندسی | میانگین حسابی | شاخص تحمل به تنش |
|------------------|-------------|--------------|-------------------------|--------------|------------|-----------|-----------------|------------------------|---------------|------------------|
| Component | Eigen value | Variance (%) | Cumulative variance (%) | YP | YS | TOL | SSI | GMP | MP | STI |
| مولفه اول | | | | | | | | | | |
| First component | 4.64 | 66.34 | 66.34 | 0.43 | 0.388 | 0.148 | 0.046 | 0.461 | 0.464 | 0.46 |
| مولفه اول | | | | | | | | | | |
| Second component | 2.35 | 33.56 | 99.91 | 0.238 | -0.35 | 0.618 | 0.648 | -0.070 | -0.028 | -0.08 |

SSI: Stress Susceptibility Index; TOL: Tolerance; MP: Mean Productivity; GMP: Geometric Mean Productivity; STI: Stress Tolerance Index.



شکل ۱- نمودار بای‌پلات شاخص‌های تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های کلزا بر اساس دو مولفه اول
Fig. 1. Biplot for drought tolerance indices in genotypes rapeseed based on first two components

مقادیر شاخص‌های STI، GMP و MP برخوردار بودند و به عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها با عملکرد بالا تعیین شدند و برای بررسی بیشتر در طرح‌های آنفارم قابل توصیه هستند. بر اساس نتایج به دست آمده از این تحقیق مشاهده شد که شاخص‌های STI، GMP

عکس‌العمل متفاوتی از خود نشان دهند. با بررسی و مقایسه مقادیر به دست آمده از شاخص‌ها برای هر یک از ژنوتیپ‌ها و نتایج حاصله از شکل ۱ لاین‌های شماره ۲، ۱، ۱۱، ۹، ۷ و ۱۴ ضمن قرار گرفتن در ناحیه پتانسیل و پایداری عملکرد و تحمل به خشکی از بیشترین

و MP در تفکیک ارقام متحمل به خشکی به شرایط تنش و بدون تنش داشتند به عنوان طور مشابهی عمل کردند و ژنوتیپ‌های یکسانی را در ارتباط با تنش شناسایی کردند. بنابراین شاخص‌های مذکور که در شرایط اجرای این آزمایش همبستگی بسیار بالایی با عملکرد در مناسب‌ترین شاخص‌ها برای شناسایی ارقام پر محصول با کمترین حساسیت نسبت به تنش خشکی در برنامه‌های به‌نژادی معرفی می‌شوند.

References

- Ahmadi, M. R., and Javidfar, F. 2000.** Screening and Breeding Techniques for Drought Resistance in Oleiferous Brassicae. Agricultural Education Press, Karaj, Iran (in Persian).
- Albarrak, K. M. 2006.** Irrigation interval and nitrogen level effects on growth and yield of canola (*Brassica napus* L.). Scientific Journal of King Faisal University 7: 87-99.
- Blum, A. 1996.** Crop response to drought and the interpretation of adaptation. Plant Growth Regulation 20: 135-148.
- Champolivier, L., and Merrien, A. 1996.** Effects of water stress applied at different growth stages to *Brassica napus* L. on yield, yield Components and seed quality. European Journal of Agronomy 5: 153-160.
- Clarke, J. M., De-Pauw, R. M., and Townley-Smith, T. M. 1992.** Evaluation of methods for quantification of drought tolerance in wheat. Crop Science 32: 728-732.
- Daneshian, J., Hadi, H., and Jonobi, P. 2009.** Study of quantitative and quality characteristic of soybean genotypes in deficit irrigation conditions. Iranian Journal of Crop Sciences 44: 393-409 (in Persian).
- Diepenbrock, W. 2000.** Yield analysis of winter oilseed rape. Field Crops Research 67: 35-49.
- Fanaei, H. R., Galavi, M., Kafi, M., Ghanbari Bonjar, A., and Shirani-Rad, A. H. 2009.** Effects of potassium fertilizer and irrigation on yield and water use efficiency of canola and Indian mustard species. Iranian Journal of Crop Sciences 11: 273-291 (in Persian).
- Fanaei, H. R., Ghanbari, A., Akbarimoghadam, H., Galavi, M., and Narouei Rad, M. R. 2008.** Assessment of the yield components and some agronomic traits of

- rapeseed spring genotypes in Sistan region. Pajouhesh & Sazandegi. 79: 36-44 (in Persian).
- Faraji, A. 2005.** Study of yield, agronomic characters and traits correlation of eighteen spring canola cultivars in Gonbad area. Seed and Plant 21: 385-398 (in Persian).
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., and Basra, S. M. 2008.** Plant drought stress: Effects, mechanisms and management. Agronomy and Sustainable Development 10: 1051-1057.
- Fernandez, G. C. J. 1992.** Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. pp. 257-270. In: Kuo, C. G. (ed.) Proceedings of International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Crops in Temperature and Water Stress. AVRDC, Shanbua, Taiwan.
- Fischer, R. A., and Maurer, R. 1978.** Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. Australian Journal Agricultural Research. 29:897-912.
- Gunasekera, C. P., Martin, L. D. K., Siddique, H. M., and Walton, G. H. 2006.** Genotype by environment interactions of Indian mustard (*B. juncea* L.) and canola (*B. napus* L.) in Mediterranean-type environments: 1. Crop growth and seed yield. European Journal of Agronomy 25:1-12.
- Jensen, C. R., Mogensen, V. O., Mortensen, G., Fieldsend, J. K., Milford, G. F. J., Andersen, M. N., and Thage, J. H. 1996.** Seed glucosinolate oil and protein contents of field grown rape (*B. napus* L.) affected by soil drying and evaporative demand. Field Crops. 47: 93- 105.
- Koocheki, A. R., and Khajeh Hosseini, M. 2008.** Modern Agronomy. Jihad-e-Daneshgahi of Mashhad University Publications, Mashhad, Iran (in Persian).
- Koocheki, A. R., Zand, E., Bannaiyan, M., Rezvani Moghadam, D., Mahdavi Damghani, A., Jami, M., Ahmadi, A., and Vesal, S. R. 2005.** Plant Physiological Ecology. Jihad-e-Daneshgahi of Mashhad University Publications, Mashhad, Iran (in Persian).
- Mahajan, S., and Tuteja, N. 2005.** Cold, salinity and drought stresses. Archives of Biochemistry and Biophysics 444: 139.158.
- Majidi, M. 2012.** Identification of canola cultivars for drought tolerance in germination and seedling growth stages using principal component analysis. Journal of Crop Production and Processing 4: 41-52 (in Persian).

- Majidi, M. M., Tavakoli, V., Mirlohi A., and Sabzali, M. R. 2011.** Wild safflower species: A possible source of drought tolerance for arid environments. *Australian Journal of Crop Science* 5: 1055-1063.
- Malekshahi, F., Deghani, H., and Alizadeh, B. 2009.** Study of drought tolerance indices in some winter rapeseed varieties (*Brassica napus* L.). *Science and Technology of Agriculture and Natural Resources* 48: 77-89 (in Persian).
- Mozaffari, K., Arshi, D., and Zeynali Khaneghah, H. 1996.** Study of drought stress on some morpho-physiological traits and yield components of sunflower. *Seed and Plant* 12: 24-33 (in Persian).
- Ramirez, P., and Kelly, J. D. 1998.** Traits related to drought resistance in bean. *Euphytica* 99: 127-136.
- Rezaizadeh, A., Mohammadi, V., Zali, A. A., Zinali, A., and Mardi, M. 2011.** Study of main agronomy traits and relations between these traits under normal irrigation and drought stress conditions in double haploid canola. *Iranian Journal of Field Crop Science* 42: 683-694 (in Persian).
- Rosielle, A. A., and Hamblin, J. 1981.** Theoretical aspects of selection for yield in stress and non stress environments. *Crop Science* 21: 943-946.
- Scarath, R., and Tang, J. 2006.** Modification of brassica oil using conventional and transgenic approaches. *Crop Science* 46: 1225-1236.
- Sinaki, J., Majidi Heravan, E., Shirani Rad, A. H., Noormohammadi, G., and Zarei, G. 2007.** The effects of water deficit during growth stages of canola (*B. napus* L.). *American Eurasian Journal of Agricultural and Environment Sciences* 2: 417- 422.

