دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

بررسی تحمل به خشکی ژنوتیپ‌های کلزا با استفاده از تجزیه بای‌پلات

سیده زهرا حسینی

عضو هیئت علمی گروه زیست شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان،
(نویسنده مسوول: hosseini@bkatu.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۹۳/۸/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۴/۵/۳

چکیده

خشک‌سالی یکی از مهم‌ترین تنش‌های زیست‌محیطی است که اثر مخربی بر رشد گیاهان و بهره‌وری محصولات زراعی در سرتاسر جهان دارد. به‌منظور بررسی تأثیر تنش خشکی بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد و بررسی شاخص‌های تحمل به خشکی، ۲۰ ژنوتیپ کلزا در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو شرایط تنش و بدون تنش خشکی مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که ژنوتیپ‌ها ازنظر همه صفات با یکدیگر اختلاف معنی‌داری داشتند. همچنین عملکرد دانه، وزن هزار دانه و کارایی مصرف آب تحت شرایط تنش خشکی بیشتر از سایر صفات کاهش یافت. شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، شاخص بهره‌وری متوسط (MP) و شاخص میانگین هارمونیک (HAM) بیشترین همبستگی را با عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش به خود اختصاص دادند. در این مطالعه از روش GT-biplot برای گروه‌بندی و تشخیص ارقام متحمل به خشکی استفاده شد. نمودار بای‌پلات مبتنی بر اثر متقابل ژنوتیپ × صفت (شاخص تحمل) نشان داد که ژنوتیپ Zarfam پایدارترین ژنوتیپ برای هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی می‌باشد و ژنوتیپ‌های Talent و Talye به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی شناسایی شدند. لذا می‌توان گفت استفاده از روش آماری GT-biplot اطلاعات بسیار مفیدی در بررسی تحمل به خشکی ژنوتیپ‌های کلزا در شرایط تنش رطوبتی فراهم می‌نماید.

واژه‌های کلیدی: اثر متقابل ژنوتیپ × صفت، خشک‌سالی، شاخص تحمل، GT-biplot

مقدمه

گیاهان در مراحل مختلف رشد و نمو خود با تنش‌های زیستی و غیرزیستی مواجه می‌شوند. دراین‌بین تنش خشکی مهم‌ترین عامل غیرزیستی است که با گرم شدن کره زمین و بیشتر شدن احتمال رخداد خشک‌سالی، پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰ عملکرد محصولات کشاورزی در ۵۰ درصد زمین‌های کشاورزی جهان را با خطر جدی مواجه سازد که این امر موجب کاهش چشمگیر تولید محصولات غذایی خواهد شد (۱). بااین‌حال جمعیت جهان به‌طور پیوسته در حال افزایش است به‌طوری‌که بر اساس پیش‌بینی‌ها جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ به بیش از ۹ میلیارد نفر خواهد رسید که نیازمند تأمین غذایی می‌باشند (۶). به‌این‌ترتیب اصلاح ارقام متحمل به تنش خشکی با کارایی مصرف آب بیشتر و شناسایی واریته‌های گیاهی مقاوم به تنش خشکی که عملکرد آن‌ها کمتر تحت تأثیر خشکی باشد، برای مناطقی از جهان که در معرض خشک‌سالی هستند، ازجمله ایران، یک ضرورت به شمار می‌رود (۱۹).

در سال‌های اخیر میزان نیاز به تولید روغن نباتی کشور به‌طور قابل‌توجهی افزایش‌یافته است. از این‌رو لزوم برنامه‌ریزی بلندمدت و منسجم، برای تأمین روغن مصرفی کشور غیرقابل‌انکار خواهد بود (۷). کلزا (*Brassica napus* L.) به‌عنوان یکی از مهم‌ترین دانه‌های روغنی بوده و در میان گیاهان دانه روغنی در جایگاه سوم قرار دارد (۱۰) و بعد از سویا مهم‌ترین منبع تولید روغن خوراکی جهان به‌حساب می‌آید. این گیاه با ویژگی‌های خاص زراعی ازجمله دامنه گسترده سازگاری به انواع شرایط آب و هوایی و دارا بودن دو تیپ پاییزه و بهاره می‌تواند در برنامه تناوب زراعی در مناطق مختلف کشت شود و امکان استفاده حداکثر از منابع آبی و خاکی را فراهم نماید (۱۵،۹). اگرچه کمبود آب در بسیاری از مراحل نموی، عملکرد کلزا را کاهش می‌دهد ولی اثرات منفی تنش در طی مرحله گلدهی و رسیدگی گیاه بسیار بارزتر است (۲۱). با توجه به حادث شدن تنش خشکی در طی مراحل گلدهی تا رسیدگی کلزا و متفاوت بودن زمان وقوع و شدت تنش طی سال‌های مختلف در ایران، شناسایی ارقام کلزا که در شرایط محدودیت آب، بتوانند عملکرد قابل قبولی تولید کنند، از اهمیت خاصی برخوردار است (۵،۴). شاخص‌های متفاوتی جهت گزینش ژنوتیپ‌ها بر اساس تظاهر آن‌ها در محیط‌های با شرایط دشوار و عادی ارائه شده است (۲).

شاخص حساسیت (SSI)[1] به تنش بیشتر برای تعیین تحمل نسبی تنش مورداستفاده قرار می‌گیرد. هر چه مقدار این شاخص کوچک‌تر باشد، میزان مقاومت به خشکی بیشتر است (۳). روزلی و هامبلین (۱۷) شاخص تحمل (TOL)[2] و میانگین بهره‌وری متوسط (MP)[3] را ارائه کردند. مقادیر بالای شاخص تحمل نمایانگر حساسیت بیشتر لاین‌ها به خشکی می‌باشد (۱۷). جهت شناسایی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا تحت هر دو شرایط تنش و

1- Stress Susceptibility Index 2- Tolerance Index 3- Mean Productivity

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-06-08]

مطلوب، شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)[1] و شاخص تحمل به تنش (STI)[2] استفاده می‌شود. مقدار بالای شاخص تحمل به تنش برای یک ژنوتیپ، بیانگر تحمل به خشکی بالاتر و عملکرد بالقوه بیشتر آن ژنوتیپ می‌باشد (۲). از میانگین همساز عملکرد (Harm)[3] در شرایط تنش و نرمال نیز در ارزیابی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش استفاده می‌گردد (۱۸). مطالعاتی که باهدف بررسی کارایی انواع معیارهای تحمل به خشکی صورت گرفت، نشان داد که هنگامی‌که هدف اصلاح‌گر افزایش عملکرد در شرایط تنش باشد، شاخص TOL و هنگامی‌که افزایش عملکرد در هر دو محیط عادی و تنش موردنظر باشد، گزینش بر اساس شاخص MP بهتر می‌باشد. شاخص میانگین هندسی عملکرد (GMP) حساسیت کمتری به مقادیر مختلف عملکرد در شرایط بدون تنش (YP) و شرایط تنش (YS) دارد، درصورتی‌که شاخص میانگین بهره‌وری (MP) چون بر اساس میانگین حسابی است، زمانی که اختلاف نسبی زیادی بین عملکرد در دو شرایط وجود داشته باشد، اریب زیادی به‌طرف عملکرد در شرایط بدون تنش خواهد داشت (۲). همچنین شاخص SSI برای اصلاح تحت تنش‌هایی با شدت کم مناسب می‌باشد، درصورتی‌که شاخص‌های STI، GMP و MP برای تنش‌هایی با شدت بالا پیشنهاد می‌شوند (۲۲). به‌طورکلی می‌توان گفت انتخاب معیار گزینش، به هدف اصلاح‌گر و شدت تنش بستگی دارد (۱۷).

در مطالعه‌ای که باهدف بررسی تغییرات محتوای دانه کلزا در خاک‌های خشک صورت گرفت، چنین نتیجه‌گیری شد که تنش کمبود آب عملکرد دانه در کلزا را به‌طور معنی‌داری کاهش می‌دهد (۸). در مطالعه دیگری که باهدف بررسی تحمل به خشکی چند رقم کلزا بر اساس خصوصیات فیزیولوژی و زراعی در منطقه یزد صورت گرفت، رقم Lilian با بیشترین تعداد خورجین در بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه و همچنین با بالاترین میزان شاخص‌های GMP و STI به‌عنوان رقم متحمل به خشکی با پتانسیل عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش خشکی شناسایی شد (۱۹). نتایج تحقیق دیگری که بر روی رابطه بین تحمل به تنش خشکی با تعدادی از صفات فیزیولوژی در ۲۲ ژنوتیپ کلزا صورت گرفت، نشان داد که میزان عملکرد دانه و روغن در شرایط تنش کاهش یافت، همچنین بین ژنوتیپ‌های کلزا در این صفات نیز تفاوت معنی‌داری وجود داشت (۱۶). نتایج مطالعه‌ای که باهدف بررسی تأثیر تنش خشکی بر عملکرد دانه، اجزاء عملکرد و نیز انتخاب بهترین شاخص تحمل به خشکی ژنوتیپ‌های کلزا صورت گرفته بود، نشان داد که ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه با شاخص‌ها در شرایط تنش خشکی و آبیاری مطلوب معنی‌دار بود، به‌طوری‌که تحت تنش خشکی شاخص‌های GMP، HARM و STI و در شرایط مطلوب شاخص‌های SSI، MP و TOL بیشترین همبستگی را با عملکرد دانه دارا بودند. به‌طورکلی در هر دو محیط آبیاری و تنش خشکی شاخص MP و TOL به‌عنوان بهترین شاخص‌ها شناخته شدند (۱۳). در بررسی دیگری اعمال تنش خشکی کاهش معنی‌دار تعداد خورجین در گیاه، تعداد دانه در خورجین، وزن هزاردانه، عملکرد دانه، درصد روغن دانه و عملکرد روغن پنج رقم کلزا را سبب شد (۱۲).

هدف از انجام این آزمایش علاوه بر بررسی اثر تنش خشکی بر عملکرد دانه کلزا و اجزای عملکرد آن، محاسبه شاخص کارایی مصرف آب و ارزیابی شاخص‌های تحمل و حساسیت در ژنوتیپ‌های کلزا به‌منظور توسعه ارقام متحمل این محصول برای منطقه موردمطالعه و مناطق با اقلیم مشابه بود.

مواد و روش‌ها

تعداد ۲۰ ژنوتیپ کلزا در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان به‌طور جداگانه در دو محیط تنش کم‌آب یاری و بدون تنش کم‌آبیاری کشت گردیدند و برای جلوگیری از تداخل رطوبت بین دو محیط، فاصله ۱۰ متری لحاظ شده بود. هر کرت آزمایشی شامل ۵ ردیف به طول ۵ متر با فواصل ردیف ۳۰ سانتی‌متر و فاصله بین کرت‌ها ۶۰ سانتی‌متر بود. فاصله بین بلوک‌ها ۱/۵ متر در نظر گرفته شد. عملیات کاشت در اواخر شهریور ماه انجام شد. وجین علف‌های هرز به‌صورت دستی طی دوره رشد در چند مرحله در درون و بین کرت‌ها، بین بلوک‌ها و بین دو سایت صورت گرفت. عمل تنک کردن در مرحله روزت کامل صورت گرفت به‌طوری‌که در نهایت تراکم ۸۰ بوته در مترمربع به‌دست آمد. بعد از کشت به‌منظور رسیدن به سطح سبز یکنواخت در هر دو قطعه آبیاری انجام شد. در مراحل بعدی متناسب با مراحل رشدی گیاه و نیاز آبی، آبیاری در هر دو سایت به‌طور یکسان صورت گرفت و فقط در مرحله آخر آبیاری که گیاهان در مراحل انتهای گلدهی و شروع غلاف‌دهی بودند (حدود مرحله ۹۰ درصد گلدهی)، در قطعه تحت تنش آبیاری صورت نگرفت، ولی در قطعه‌ی دیگر آبیاری صورت گرفت. قابل‌ذکر است که جهت اطمینان از وضعیت رطوبت خاک و تعیین زمان نیاز به آبیاری، در طی فصل رشد به‌طور مداوم از خاک هر دو محیط تحت تنش و بدون تنش نمونه‌برداری صورت می‌گرفت و رطوبت خاک به روش وزنی محاسبه می‌شد.

ژنوتیپ‌های موردبررسی در این تحقیق عبارت بودند از: ARC2، ARC5، Celecious، Dante، Geronimo، Licord، Milena، Opera، Rainbow، Sahra، Shiralee، SLM-046، Sunday، Talaye، Talent، Zarfam، Okapi، Hyola420، Hyola330 و RGS. به‌منظور ارزیابی ژنوتیپ‌ها، صفات گیاهی شامل تعداد روز تا ۵۰ درصد گلدهی، ارتفاع بوته، تعداد خورجین در بوته، طول خورجین، تعداد دانه در خورجین، وزن هزاردانه، درصد روغن دانه، درصد پروتئین دانه، تعداد روز تا رسیدگی و عملکرد کل یادداشت‌برداری شد. جهت نمونه‌برداری از پنج ردیف، دو ردیف به‌عنوان اثر حاشیه‌ای حذف و از سه ردیف باقیمانده، ۱۰ بوته به‌تصادف انتخاب و یادداشت‌برداری از صفات انجام شد. شاخص‌های مختلف تحمل و حساسیت به

1- Geometric Mean Productivity
2- Stress Tolerance Index
3- Harmonic Mean

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-06-08]

خشکی برای ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌ها با استفاده از روابط ۶-۱ محاسبه شد:

شاخص حساسیت به تنش

$$SSI = \frac{1-\frac{Y_s}{Y_p}}{1-\frac{\overline{Y}_s}{\overline{Y}_p}}$$

شاخص تحمل تنش

$$STI = \frac{Y_p.Y_s}{(\overline{Yp})^2}$$

شاخص تحمل

$$TOL = Y_p - Y_s$$

شاخص بهره‌وری متوسط

$$MP = \frac{Y_p + Y_s}{2}$$

شاخص میانگین هندسی بهره‌وری

$$GMP = \sqrt{Y_p.Y_s}$$

شاخص میانگین هارمونیک

$$Harm = \frac{2}{\frac{1}{Yp} + \frac{1}{Ys}}$$

در روابط بالا $\mathbf{Y_s}$: عملکرد بالقوه هر ژنوتیپ تحت شرایط تنش، $\mathbf{Y_p}$: عملکرد بالقوه هر ژنوتیپ تحت شرایط بدون تنش، $\mathbf{\overline{Y}_s}$: میانگین عملکرد تمامی ژنوتیپ‌ها تحت شرایط تنش، $\mathbf{\overline{Y}_p}$: میانگین عملکرد تمامی ژنوتیپ‌ها تحت شرایط بدون تنش می‌باشد.

مقایسات میانگین صفات با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) صورت گرفت. برای اینکه تفاوت معنی‌دار بین ژنوتیپ‌ها به‌طور دقیق‌تر محاسبه و به اثر متقابل ژنوتیپ × محیط نسبت داده نشود، تجزیه مرکب انجام شد تا بر اساس آن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط محاسبه و از اثر واقعی ژنوتیپ‌ها جداشده و واریانس حقیقی ژنوتیپ‌ها مورد آزمون قرار گیرد. در این تجزیه، ژنوتیپ به‌عنوان فاکتور ثابت و محیط به‌عنوان فاکتور تصادفی آزمایشی در نظر گرفته شد و آزمون فرض معنی‌دار بودن تفاوت حقیقی بین ژنوتیپ‌ها بر مبنای امید ریاضی میانگین مربعات منابع تغییر مختلف انجام شد. از تجزیه بای‌پلات ژنوتیپ × صفت (GT) برای تشخیص الگوها و روابط بین ژنوتیپ‌ها و صفات موردمطالعه استفاده شد.

مدل آماری این روش بر اساس رابطه زیر است:

$$\frac{T_{ij} - \overline{T}_j}{S_j} = a_1 \P_{i1} {}^2_{j1} + a_2 \P_{i2} {}^2_{j2} + £_{ij}$$

که در این رابطه T_{ij}: میانگین صفت i برای صفت j، $\overline{T}_j$: میانگین صفت j روی همه میانگین‌ها، S_j: انحراف معیار صفت j، a_1 و a_2: به ترتیب مقادیر منفرد مؤلفه‌های اصلی اول و دوم، $\P_{i1}$ و $\P_{i2}$ به ترتیب مقادیر PC1 و PC2 برای ژنوتیپ i، ${}^2_{j1}$ و ${}^2_{j2}$: به ترتیب مقادیر PC1 و PC2 برای صفت j و $£_{ij}$: باقی‌مانده مربوط به مدل ژنوتیپ i و صفت j را نشان می‌دهد. تصویر چندضلعی بای‌پلات کوتاه‌ترین راه برای خلاصه کردن الگوی داده‌های ژنوتیپ × صفت در یک مجموعه از داده‌هاست. چندضلعی با پیوستن ژنوتیپ‌هایی که دورترین فاصله را از مبدأ بای‌پلات داشتند ترسیم شد. به‌این‌ترتیب تعدادی از ژنوتیپ‌ها در رئوس چندضلعی و مابقی ژنوتیپ‌ها درون چندضلعی واقع شدند. همچنین خطوط عمودی از مبدأ بای‌پلات بر هر ضلع چندضلعی کشیده و چندضلعی به چند قسمت تقسیم شد. این تصویر به شناسایی ژنوتیپ‌های برخوردار از بالاترین ارزش‌ها برای یک یا چند صفت کمک می‌کند. به‌عنوان یک قاعده کلی، ژنوتیپ‌هایی که در رأس‌های چندضلعی قرار می‌گیرند از بالاترین مقدار برای صفاتی که در کنار ژنوتیپ در یک بخش قرارمی گیرند برخوردار هستند. در این روش کسینوس زاویه بین دو صفت، برآوردی از ضریب همبستگی بین صفات را نشان می‌دهد، به‌طوری که هر چه قدر زاویه بین بردار دو صفت بسته‌تر باشد همبستگی بین آن‌ها بیشتر است و بالعکس (۲۵).

کارایی مصرف آب (WUE)[1] نیز با تعیین نسبت عملکرد دانه در واحد سطح به مقدار کل آب مصرفی محاسبه شد (۲۳). کل آب مصرفی با در نظر گرفتن بارندگی مؤثر طی فصل رشد و تعداد دفعات آبیاری محاسبه شد. میزان کل آب مصرفی در شرایط تنش، مشابه شرایط غیر تنش بود، به‌جز اینکه در شرایط تنش یک آب کمتر داده شد، لذا مقدار کل آب مصرفی در شرایط تنش حدود ۷۰ میلی‌متر (۷۰۰ مترمکعب در هکتار) کمتر از شرایط غیرتنش بود.

رابطه بین شاخص‌های تحمل و صفات موردمطالعه مخصوصاً عملکرد مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت و بر اساس آن شاخص‌ها متحمل‌ترین و حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها مشخص شد. برای تجزیه و تحلیل‌های آماری و رسم نمودارها از نرم‌افزارهای Excel 2013، GGE Biplot v6.3 و SAS v9.2 استفاده شد.

1- Water Use Efficiency

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-06-08]

نتایج و بحث

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین صفات مورفولوژیکی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که در شرایط عادی و تنش رطوبتی، تفاوت بین ژنوتیپ‌ها برای کلیه صفات در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جداول ۱ و ۲). نتایج تجزیه مرکب داده‌ها در جدول ۳ ارائه‌شده است. اثر متقابل ژنوتیپ × محیط برای تمامی صفات به جزء ارتفاع بوته معنی‌دار بود، این بدین مفهوم است که ژنوتیپ‌های مختلف در شرایط محیطی مختلف واکنش متفاوتی نشان داده‌اند. به‌عبارت‌دیگر پاسخ ژنوتیپ‌ها به دو محیط یکسان نیست. به دلیل اثرات متقابل شدید ژنوتیپ × محیط، اصلاح گیاهان زراعی برای سازگاری به دامنهٔ وسیعی از شرایط آب و هوایی، اگرچه غیرممکن نیست، اما بسیار دشوار است. در برنامه‌های به‌نژادی به‌طورمعمول، ژنوتیپ‌هایی به‌عنوان سازگار شناخته می‌شوند که واریانس اثر متقابل آن‌ها با محیط اندک باشد (۲۶).

نتایج آزمون مقایسه میانگین به روش حداقل تفاوت معنی‌دار بین ژنوتیپ‌ها برای کلیه صفات اندازه‌گیری شده در شرایط تنش و بدون تنش به‌ترتیب در جداول ۴ و ۵ ارائه شده است. در شرایط بدون تنش رقم Geronimo با ۳۶۶۸ کیلوگرم در هکتار و رقم Sunday با ۱۷۱۴ کیلوگرم در هکتار، به‌ترتیب بیشترین و کمترین عملکرد را در واحد سطح به خود اختصاص دادند و ارقام Shirale، Dante و Licord به‌ترتیب با ۳۵۳۴/۷، ۳۵۰۵/۳ و ۳۴۸۶/۳ کیلوگرم در هکتار، در رتبه‌های دوم تا چهارم میزان عملکرد قرار گرفتند. در شرایط تنش خشکی، بیشترین عملکرد مربوط به رقم Zarfam با ۲۹۴۸ کیلوگرم در هکتار بود و کمترین آن به رقم Talent با ۸۷۶/۳ کیلوگرم در هکتار تعلق داشت. تنش رطوبتی باعث شد تا میانگین عملکرد به میزان ۳۳/۸ درصد در مقایسه با شرایط عادی کاهش یابد. در مجموع رقم Zarfam با میانگین کلی (شرایط عادی و تنشی) ۳۱۵۶ کیلوگرم در هکتار و رقم Ddante با میانگین ۳۱۸۲/۶ کیلوگرم در هکتار از بیشترین عملکرد برخوردار بودند و ارقام Milena و Sunday با میانگین کلی ۱۳۲۳/۵ و ۱۳۱۲/۵ کیلوگرم در هکتار، از کمترین عملکرد در هکتار برخوردار بودند. در بررسی عملکرد ژنوتیپ‌های مختلف کلزا تحت دو شرایط تنش رطوبتی و بدون تنش، عملکرد دانه در تیمار تنش خشکی حدود ۳۰ درصد کمتر از شرایط بدون تنش بود که ریزش خورجین‌ها در شرایط تنش عامل آن معرفی شد (۱۱).

بر اساس جدول مقایسه میانگین ارقام Geronimo و Milena به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین وزن هزاردانه در شرایط بدون تنش بودند. در محیط تنش رطوبتی رقم Zarfam بیشترین و ارقام Milena و Sunday دارای کمترین وزن هزاردانه بودند. وزن هزاردانه در شرایط بدون تنش بین ۲/۷۴ تا ۴/۴۶ گرم و در شرایط تنش بین ۲/۰۱ تا ۳/۷۳ گرم متغیر بود و در مجموع وزن هزار دانه در اثر تنش رطوبتی ۲۴/۴ درصد کاهش نشان داد. در هر دو محیط تنش و بدون تنش، ارقام Dante و SLM-046 ازنظر وزن هزار دانه، در رتبه‌های دوم و سوم قرار داشتند. تشابه رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس وزن هزار دانه و عملکرد دانه در هر دو محیط نشان از همبستگی بالای این دو صفت دارد. ژنوتیپ‌های Milena و Sunday کم‌ترین تغییر رتبه ازنظر صفات وزن هزار دانه و عملکرد دانه در هر دو محیط داشتند، که نشان از سهم پایین این دو ژنوتیپ در اثر متقابل ایجاد شده و پایداری مناسب این دو ژنوتیپ برای هر دو محیط می‌باشد. اما به علت پایین بودن عملکرد دانه به عنوان مهم‌ترین صفت از انتخاب آن‌ها چشم‌پوشی شد، ولی می‌توان با وارد نمودن این دو ژنوتیپ در برنامه‌های اصلاحی به‌منظور افزایش عملکرد از این پایداری مشاهده‌شده استفاده بهینه نمود.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-06-08]

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات مختلف در شرایط بدون تنش

Table 1. Analysis of variance for different traits under non-stress condition

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		عملکرد دانه (kg/ha)	وزن هزار دانه (g)	تعداد دانه در خورجین	تعداد خورجین در بوته	طول خورجین (cm)	درصد روغن دانه (٪)	روز تا رسیدگی	درصد پروتئین دانه (٪)	ارتفاع بوته (cm)	کارایی مصرف آب (WUE)
بلوک	۲	۱۳۷۷۲/۰۷	۰/۰۰	۰/۰۰	۶۳/۰۵	۰/۰۱	۰/۴۱	۱/۶۲	۰/۶۲	۱/۲۲	۰/۰۴
ژنوتیپ	۱۹	۱۱۸۱۴۴۳/۲۲**	۰/۶۸**	۳۳/۱۴**	۴۶۷۲/۰۵**	۰/۵۳**	۱۵/۹۹**	۲۲/۲۷**	۷/۳۷**	۶۵/۴۷**	۳/۲۸**
خطای آزمایشی	۳۸	۲۴۴۶۸/۱۹	۰/۰۰	۰/۳۹	۲۵/۲۸	۰/۰۱	۰/۱۵	۰/۳۰	۰/۵۹	۴/۷۶	۰/۰۷
ضریب تغییرات		۵/۳۸	۱/۱۹	۲/۴۵	۲/۳۰	۱/۰۹	۰/۹۵	۰/۲۲	۳/۱۰	۱/۲۴	۵/۳۹

*: معنی‌دار در سطح ۵ درصد، **: معنی‌دار در سطح ۱ درصد و ns: غیر معنی‌دار

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مختلف در شرایط تنش خشکی

Table 2. Analysis of variance for different traits under drought stress condition

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات									
		عملکرد دانه (kg/ha)	وزن هزار دانه (g)	تعداد دانه درخورجین	تعداد خورجین در بوته	طول خورجین (cm)	درصد روغن دانه (٪)	روز تارسیدگی	درصد پروتئین دانه (٪)	ارتفاع بوته (cm)	کارایی مصرف آب (WUE)
بلوک	۲	۱۱۴۶/۶۰	۰/۰۰	۰/۹۵	۱۹۳/۸۵	۰/۰۰	۰/۰۵	۰/۳۲	۰/۵۵	۱/۴۳	۰/۰۱
ژنوتیپ	۱۹	۱۵۰۹۹۹۳/۱۰**	۰/۷۷**	۲۴/۱۹**	۴۳۲۲/۳۳**	۰/۹۵**	۱۶/۰۷**	۱/۴۰**	۶/۰۲**	۷۷/۱۰**	۵/۳۸**
خطای آزمایشی	۳۸	۴۱۵۹/۶۷	۰/۰۰	۰/۳۰	۲۰/۵۷	۰/۰۰	۰/۱۰	۰/۴۰	۰/۵۵	۱/۵۳	۰/۰۲
ضریب تغییرات		۳/۱۲	۱/۲۲	۲/۳۳	۲/۱۶	۰/۶۹	۰/۸۲	۰/۲۷	۳/۲۰	۰/۷۱	۳/۳۱

*: معنی‌دار در سطح ۵ درصد، **: معنی‌دار در سطح ۱ درصد و ns: غیر معنی‌دار

جدول ۳- نتایج آزمایش تجزیه مرکب برای صفات موردبررسی در ژنوتیپ‌های کلزا

Table 3. Results of combined analysis for different traits of canola genotypes

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات									
		عملکرد دانه (kg/ha)	وزن هزار دانه (g)	تعداد دانه در خورجین	تعداد خورجین در بوته	طول خورجین (cm)	درصد روغن دانه (٪)	روز تا رسیدگی	درصد پروتئین دانه (٪)	ارتفاع بوته (cm)	کارایی مصرف آب (WUE)
محیط	۱	۲۱۱۶۲۱۲۰/۴۱**	۱۸/۱۵**	۱۰۸/۳۰**	۱۹۲۰/۰۰**	۴/۸۹**	۲۲۴/۱۳**	۳۲۱۳/۶۸**	۶۴/۸۳**	۱۱۱/۵۵**	۲۶/۸۵**
تکرار داخل محیط	۴	۷۴۵۹/۳۳	۰/۰۰	۰/۴۸	۱۲۸/۴۵	۰/۰۱	۰/۲۳	۰/۹۷	۰/۵۸	۱/۳۳	۰/۰۲
ژنوتیپ	۱۹	۲۶۱۹۵۸۰/۸۱**	۱/۳۸**	۵۵/۲۳**	۸۹۳۶/۳۳**	۱/۴۳**	۳۰/۴۳**	۱۵/۲۴**	۱۱/۹۶**	۱۳۹/۴۳**	۸/۳۴**
ژنوتیپ × محیط	۱۹	۷۱۸۵۵/۵۱**	۰/۰۸**	۲/۱۱**	۵۸/۰۵**	۰/۰۵**	۱/۶۳**	۸/۴۳**	۱/۴۴**	۳/۱۴ns	۰/۳۳**
اشتباه آزمایشی	۷۶	۱۴۳۱۳/۹۳	۰/۰۰	۰/۳۴	۲۲/۹۲	۰/۰۰	۰/۱۳	۰/۳۵	۰/۵۷	۳/۱۴	۰/۰۴
ضریب تغییرات		۴/۸۱	۱/۲۱	۲/۴۰	۲/۲۴	۰/۹۲	۰/۸۹	۰/۲۴	۳/۱۵	۱/۰۲	۴/۷۱

**: معنی‌دار در سطح ۱ درصد و ns: غیر معنی‌دار

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-06-08]

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده در ۲۰ ژنوتیپ کلزا در شرایط محیطی بدون تنش

Table 4. Mean comparision of measured traits under non-stress condition in 20 canola genotypes

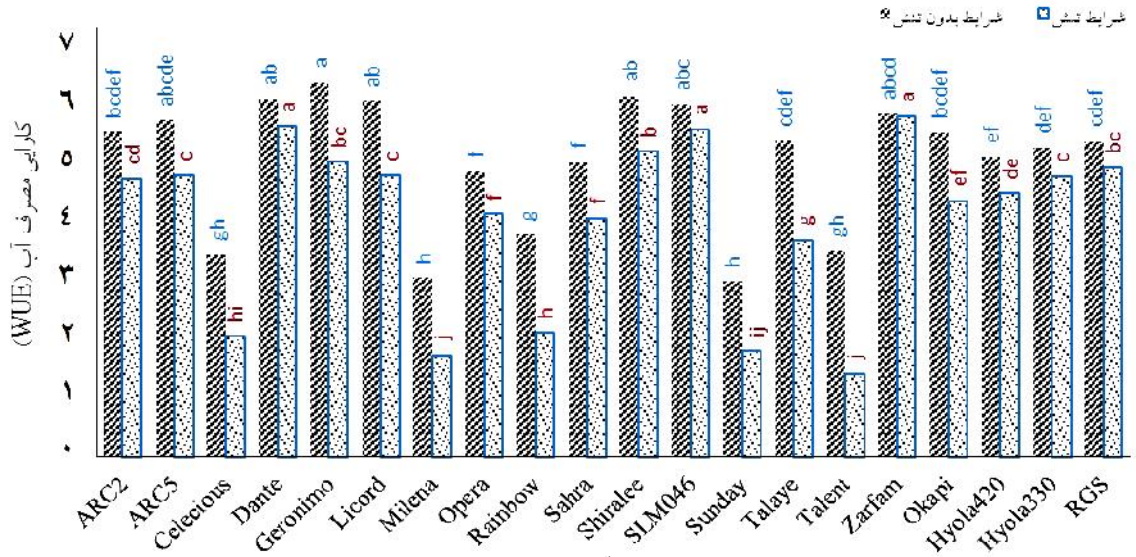
ژنوتیپ	ارتفاع بوته (cm)	درصد پروتئین دانه (٪)	روز تا رسیدگی	درصد روغن دانه (٪)	طول خورجین (cm)	تعداد خورجین در بوته	تعداد دانه در خورجین	وزن هزاردانه (g)	عملکرد دانه (kg/ha)
ARC2	۱۷۵/۸	۲۴/۸۶	۲۵۳/۷	۴۱/۳۷	۷/۸۲	۲۴۱/۳	۲۸/۳	۳/۸۱	۳۱۸۳/۳
ARC5	۱۷۶/۵	۲۳/۲۰	۲۵۴/۳	۴۰/۴۷	۷/۸۶	۲۳۵/۳	۲۹/۳	۳/۳۹	۳۲۹۲/۰
Celecious	۱۶۷/۸	۲۵/۰۳	۲۴۸/۷	۳۷/۶۳	۶/۶۵	۱۹۶/۰	۲۰/۷	۳/۰۴	۱۹۷۸/۰
Dante	۱۸۰/۵	۲۵/۶۰	۲۴۹/۷	۴۳/۲۷	۷/۹۹	۲۴۹/۷	۲۹/۷	۴/۲۱	۳۵۰۵/۳
Geronimo	۱۷۷/۹	۲۵/۲۶	۲۵۴/۳	۴۱/۴۰	۷/۸۰	۲۵۴/۰	۲۵/۷	۴/۴۶	۳۶۶۸/۰
Licord	۱۸۰/۲	۲۷/۲۰	۲۵۳/۷	۴۴/۵۳	۷/۸۴	۲۷۷/۰	۲۸/۷	۳/۷۸	۳۴۸۶/۳
Milena	۱۷۲/۰	۲۳/۰۳	۲۵۰/۷	۴۰/۶۷	۶/۸۵	۱۷۵/۳	۲۳/۳	۲/۷۴	۱۷۶۵/۰
Opera	۱۷۷/۰	۲۳/۹۶	۲۴۷/۳	۴۳/۲۳	۷/۲۱	۱۹۳/۳	۲۲/۷	۳/۰۹	۲۷۹۷/۳
Rainbow	۱۷۱/۶	۲۵/۸۳	۲۴۶/۳	۴۰/۲۳	۶/۸۸	۱۹۳/۰	۲۰/۳	۳/۱۷	۲۱۷۷/۷
Sahra	۱۷۳/۷	۲۴/۰۳	۲۴۶/۳	۳۸/۹۰	۷/۴۷	۲۳۵/۳	۲۳/۷	۳/۷۹	۲۸۸۱/۰
Shiralee	۱۷۵/۰	۲۶/۱۰	۲۴۷/۷	۴۰/۹۷	۷/۵۰	۲۲۸/۷	۲۵/۳	۳/۶۲	۳۵۳۴/۷
SLM046	۱۸۲/۳	۲۷/۸۶	۲۴۹/۳	۴۳/۲۳	۷/۹۹	۲۵۱/۳	۲۹/۷	۴/۱۶	۳۴۵۳/۳
Sunday	۱۷۲/۶	۲۲/۹۶	۲۵۱/۰	۳۷/۲۰	۶/۹۴	۱۴۱/۳	۲۱/۷	۲/۹۶	۱۷۱۴/۰
Talaye	۱۸۴/۰	۲۰/۹۶	۲۵۲/۳	۴۲/۹۰	۷/۷۰	۲۲۶/۷	۲۷/۷	۳/۷۲	۳۰۸۹/۰
Talent	۱۷۶/۴	۲۴/۷۶	۲۴۷/۷	۳۶/۱۰	۶/۹۸	۱۲۱/۷	۱۹/۳	۳/۴۱	۲۰۱۴/۷
Zarfam	۱۷۷/۷	۲۵/ ۷	۲۴۵/۷	۴۲/۳۷	۷/۸۱	۲۵۹/۳	۲۸/۷	۳/۹۲	۳۳۶۴/۳
Okapi	۱۷۸/۳	۲۴/۵۷	۲۵۱/۷	۴۳/۲۰	۷/۸۰	۲۴۷/۰	۲۸/۳	۳/۶۶	۳۱۷۴/۷
Hyola420	۱۷۱/۳	۲۵/۵۳	۲۴۹/۳	۴۳/۳۰	۷/۳۸	۲۱۴/۷	۲۴/۷	۳/۰۹	۲۹۳۲/۳
Hyola330	۱۶۹/۳	۲۳/۶	۲۴۹/۳	۴۲/۶۷	۷/۴۰	۲۰۸/۰	۲۵/۳	۳/۱۲	۳۰۲۴/۷
RGS	۱۶۷/۰	۲۴/۵	۲۴۹/۷	۴۰/۲۳	۷/۲۸	۲۱۵/۰	۲۵/۰	۳/۱۷	۳۰۸۶/۳
مقدار LSD ۵٪	۳/۶۰	۱/۲۶	۰/۹۰	۰/۶۴	۰/۱۳	۸/۳۱	۱/۰۲	۰/۰۶	۲۵۸/۵۵
مقدار LSD ۱٪	۴/۸۲	۱/۶۹	۱/۲۱	۰/۸۶	۰/۱۷	۱۱/۱۳	۱/۳۷	۰/۰۹	۳۴۶/۳۲

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده در ۲۰ ژنوتیپ کلزا در شرایط محیطی تنش

Table 5. Mean comparision of measured traits under stress condition in 20 canola genotypes

ژنوتیپ	ارتفاع بوته (cm)	درصد پروتئین دانه (٪)	روز تا رسیدگی	درصد روغن دانه (٪)	طول خورجین (cm)	تعداد خورجین در بوته	تعداد دانه در خورجین	وزن هزار دانه (g)	عملکرد دانه (kg/ha)
ARC2	۱۷۴/۵	۲۳/۲۶	۲۴۰/۰	۳۹/۴۰	۷/۳۸	۲۳۴/۰	۲۴/۷	۲/۹۱	۲۴۰۵/۳
ARC5	۱۷۵/۶	۲۴/۰۳	۲۴۰/۳	۳۸/۲۳	۷/۳۶	۲۳۳/۰	۲۴/۳	۳/۰۴	۲۴۴۰/۳
Celecious	۱۶۵/۱	۲۳/۰۰	۲۳۹/۷	۳۶/۳۳	۵/۹۰	۱۹۱/۳	۱۹/۷	۲/۲۷	۱۰۴۳/۰
Dante	۱۷۸/۵	۲۵/۳۰	۲۳۸/۷	۴۰/۹۰	۷/۸۷	۲۳۷/۳	۲۷/۷	۳/۶۸	۲۸۶۰/۰
Geronimo	۱۷۸/۱	۲۲/۹۰	۲۴۰/۰	۳۷/۸۳	۷/۳۲	۲۴۷/۷	۲۳/۷	۳/۳۸	۲۵۵۸/۰
Licord	۱۷۸/۹	۲۴/۴۳	۲۳۹/۷	۴۱/۱۷	۷/۴۲	۲۴۷/۳	۲۵/۳	۲/۸۸	۲۴۳۹/۰
Milena	۱۷۰/۳	۲۰/۸۳	۲۳۹/۷	۳۶/۷۰	۶/۴۰	۱۶۰/۷	۲۱/۳	۲/۰۱	۸۷۹/۰
Opera	۱۷۵/۳	۲۳/۰۳	۲۳۹/۳	۴۰/۶۰	۶/۸۳	۱۸۸/۷	۲۱/۳	۲/۳۹	۲۱۰۷/۰
Rainbow	۱۶۹/۳	۲۳/۰۶	۲۳۸/۷	۳۶/۸۰	۶/۳۴	۱۸۲/۰	۱۹/۷	۲/۲۱	۱۰۷۵/۰
Sahra	۱۷۱/۷	۲۳/۵۰	۲۳۹/۳	۳۷/۸۷	۷/۲۷	۲۳۴/۷	۲۲/۳	۲/۹۳	۲۰۶۳/۳
Shiralee	۱۷۳/۵	۲۴/۸۳	۲۳۹/۷	۳۷/۷۸	۷/۳۳	۲۲۱/۳	۲۴/۷	۲/۷۴	۲۶۴۳/۳
SLM046	۱۸۰/۱	۲۵/۳۳	۲۳۸/۳	۳۹/۷۳	۷/۸۲	۲۴۱/۳	۲۷/۳	۳/۵۸	۲۸۳۳/۳
Sunday	۱۶۸/۸	۲۱/۸۰	۲۴۱/۰	۳۳/۵۷	۶/۳۳	۱۳۵/۰	۱۹/۳	۲/۱۸	۹۱۲/۰
Talaye	۱۸۰/۹	۲۰/۲۰	۲۴۰/۳	۳۸/۳۷	۷/۲۳	۲۱۷/۰	۲۴/۷	۲/۶۰	۱۸۷۷/۰
Talent	۱۷۳/۸	۲۱/۷۶	۲۳۹/۰	۳۲/۹۷	۶/۲۸	۱۱۸/۰	۱۸/۳	۲/۴۰	۸۷۶/۳
Zarfam	۱۷۹/۲	۲۴/۶۶	۲۳۸/۷	۳۹/۹۳	۷/۸۱	۲۵۵/۷	۲۸/۳	۳/۷۳	۲۹۴۸/۰
Okapi	۱۷۴/۱	۲۲/۸۶	۲۴۰/۰	۳۹/۸۷	۷/۴۱	۲۳۶/۳	۲۵/۷	۲/۷۷	۲۱۵۷/۷
Hyola420	۱۶۶/۸	۲۴/۸۹	۲۴۰/۳	۴۰/۳۰	۶/۹۶	۲۱۰/۳	۲۳/۷	۲/۶۶	۲۲۷۳/۷
Hyola330	۱۶۹/۱	۲۲/۶۶	۲۳۹/۳	۴۱/۰	۶/۹۱	۲۰۲/۷	۲۴/۳	۲/۴۳	۲۴۲۶/۰
RGS	۱۶۴/۳	۲۲/۸۳	۲۳۹/۷	۳۹/۷۳	۶/۹۰	۲۰۹/۷	۲۳/۷	۲/۵۳	۲۵۰۶/۳
مقدار LSD ۵٪	۲/۰۴	۱/۲۲	۱/۰۵	۰/۵۲	۰/۰۸	۷/۴۹	۰/۹۰	۰/۰۵	۱۰۶/۶۱
مقدار LSD ۱٪	۲/۷۴	۱/۶۴	۱/۴۰	۰/۷۰	۰/۱۰	۱۰/۰۴	۱/۲۱	۰/۰۷	۱۴۲/۷۹

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-06-08]



شکل ۱- مقایسه کارایی مصرف آب (WUE) در ۲۰ ژنوتیپ کلزا مورد مطالعه

Figure 1. Comparision of water use efficiency in studied 20 canola genotypes

شاخص‌های تحمل به خشکی

نتایج حاصل از مقایسه شاخص‌های تحمل به خشکی نشان داد (جدول ۶) که در بین ژنوتیپ‌ها، رقم Talent با SSI=۱/۹۶ و رقم Zarfam با SSI= ۰/۴۳ به‌ترتیب حساس‌ترین و متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش بودند. ازنظر شاخص تحمل به خشکی (TOL) در بین ارقام موردبررسی ارقام Zarfam، RGS و Hyola330 بیشترین و ارقام Talen، Talaye و Geronimo کمترین تحمل به خشکی را نشان دادند. دامنه این شاخص در بین ارقام بین ۴۱۶/۳ تا ۱۲۱۲/۰ کیلوگرم در هکتار بود. ارقام ازنظر میانگین عملکرد در دو محیط تنش و بدون تنش خشکی Zarfam بیشترین و ارقام Milena و Sunday کمترین مقدار را داشتند. ازنظر شاخص میانگین هارمونیک (HAM) نیز وضعیت مشابهی با شاخص میانگین هندسی عملکرد و شاخص میانگین عملکرد مشاهده شد و ارقام Dante، Zarfam و SLM-046 دارای بیشترین و ارقام Milena و Sunday کمترین مقدار را ازنظر شاخص میانگین هارمونیک داشتند. تفاوت ارقام ازنظر شاخص تحمل به تنش (STI) نیز قابل ملاحظه بود. ارقام Dante و Zarfam و SLM-046 به‌ترتیب با STI معادل ۱/۱۹، ۱/۱۷ و ۱/۱۶ متحمل‌ترین و ارقام Milena و Sunday هر دو با STI=۰/۱۸، حساس‌ترین ارقام بودند. بر اساس اطلاعات جدول ۶، رقم Zarfam ازنظر کلیه شاخص‌ها در وضعیت بهتری نسبت به سایر ارقام قرار داشت و بعدازآن به‌ترتیب رقم Dante و رقم SLM-046 در رتبه بعدی بود. به‌عبارت‌دیگر این ارقام دارای بیشترین تحمل و کمترین حساسیت به تنش رطوبتی بودند و ارقام Sunday، Talent و Milena با کمترین مقدار GMP و MP و بیشترین مقادیر SSI و TOL از حساس‌ترین ارقام مورد بررسی بود.

تجزیه بای‌پلات

نتایج تجزیه بای‌پلات برای پنج شاخص تحمل به تنش در ژنوتیپ‌های موردمطالعه نشان داد که مؤلفه اصلی اول، ۸۷/۶ درصد و مؤلفه اصلی دوم ۱۲/۱ درصد از تنوع داده‌های اولیه را توجیه نمودند (شکل ۲)، لذا استفاده از این دو مؤلفه و چشم‌پوشی از سایر مؤلفه‌ها تنها موجب از دست رفتن بخش بسیار ناچیزی از تغییرات داده‌ها شد (در حدود ۰/۳ درصد از تنوع داده‌های اولیه). شکل ۲ روابط بین شاخص‌ها را نشان می‌دهد. با توجه به زوایای بردارهای هر شاخص می‌توان گفت شاخص‌های MP، GMP، STI، HAMT، Y_s و Y_p همبستگی مثبت و بالایی با یکدیگر و با بردار مؤلفه اول داشتند درحالی‌که SSI و TOL در این مؤلفه نقش منفی داشتند. بنابراین مؤلفه اول را می‌توان مؤلفه پتانسیل یا ظرفیت عملکرد نامید که ارقام با عملکرد بالا در هر دو محیط را از سایر ارقام جدا می‌سازد. ازاین‌رو ژنوتیپ‌هایی که بیشترین مقدار را روی محور PC1 داشته باشند عملکردی بالا در هر دو شرایط دارند. با این تفاسیر ژنوتیپ‌های Zarfam، Dante و SLM046 مطلوب‌ترین ژنوتیپ‌ها ازنظر عملکرد در هر دو شرایط شناخته شدند. مؤلفه دوم همبستگی بالائی با شاخص‌های SSI و TOL

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-06-08]

داشت؛ بنابراین این مؤلفه را می‌توان مؤلفه حساسیت به تنش دانست. این مؤلفه باعث تفکیک ژنوتیپ‌های حساس و متحمل به تنش می‌گردد، به‌طوری‌که ژنوتیپ Zarfam که کمترین میزان PC2 را به خود اختصاص داد بیشترین مطلوبیت ازنظر تحمل به خشکی را دارا می‌باشد. روابط بین شاخص‌ها نشان داد که با توجه به تغییر رتبه ژنوتیپ‌ها ازنظر شاخص‌های تحمل به خشکی اندازه‌گیری شده، استفاده از تجزیه بای‌پلات مبتنی براثر متقابل ژنوتیپ × صفت راه‌حل مناسب و قدرتمندی جهت بررسی روابط بین ژنوتیپ‌ها، شاخص‌ها و ارزیابی ژنوتیپ‌ها ازنظر تحمل به خشکی به شمار می‌آید و ترسیم بای‌پلات بر اساس دو مؤلفه اصلی اول و دوم راه‌حل مناسبی برای تفسیر این‌گونه داده‌ها می‌باشد (۲۵،۲۰). با استفاده از همین روش نمودار چندضلعی اثر متقابل ژنوتیپ × صفت رسم شد (شکل ۳). ژنوتیپ‌های رئوس چندضلعی در این آزمایش ژنوتیپ‌های Zarfam، Geronimo، Talaye، Talent و Sunday بودند که بالاترین پاسخ را به شاخص‌ها نشان دادند. بدین معنی که بهترین یا بدترین ژنوتیپ‌ها ازلحاظ مقدار در تعدادی یا همه شاخص‌ها بودند. خطوط عمودی در اطراف چندضلعی ترسیم شده‌اند که از مبدأ بای‌پلات شروع شده و بای‌پلات را به ۵ ناحیه تقسیم کرده‌اند. ژنوتیپ برتر برای ۵ ناحیه، ژنوتیپی است که بیشترین مقادیر شاخص‌های که در آن ناحیه قرار گرفته‌اند را دارا است. در ناحیه ۱ ژنوتیپ‌ها برای YP بیشترین مقادیر را دارا بودند و پر عملکردترین ژنوتیپ‌ها برای شرایط بدون تنش به شمار می‌روند. ژنوتیپ Talaye به‌دلیل قرار گرفتن در ناحیه ۲ برای شاخص TOL بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده که نشان‌دهنده حساسیت بالای این ژنوتیپ به شرایط خشکی می‌باشد. در ناحیه ۳ ژنوتیپ Talent بیشترین مقدار برای شاخص SSI را به خود اختصاص داد. ژنوتیپ‌های حاضر در نواحی ۳ را می‌توان در زمره ژنوتیپ‌های حساس به خشکی گروه‌بندی نمود. هیچ شاخصی در ناحیه ۴ وجود ندارد، بنابراین ژنوتیپ‌های محصور در این ناحیه دارای کم‌ترین مقادیر برای یک یا چند شاخص هستند. ژنوتیپ‌های ناحیه ۵ بیشترین مقادیر را برای شاخص‌های GMP، MP، Harm، STI و YS داشتند که در این ناحیه ژنوتیپ Zarfam بیشترین مقدار برای شاخص‌های مذکور را داشت و به‌عنوان مقاوم‌ترین ژنوتیپ به شرایط خشکی شناخته شد. نتایج محققان دیگر در سایر گیاهان نیز موفقیت این روش در تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ × صفت را تأیید می‌نماید (۲۶،۲۵،۲۴). البته قابل ذکر است که اثر مقتابل ژنوتیپ × محیط نیز مهم است به‌طوری که برخی محققین در بررسی ژنوتیپ‌های مختلف کلزا گزارش کرده‌اند که محیط بیشترین تأثیر را در در ایجاد تنوع (واریانس) داشته است (۱۴).

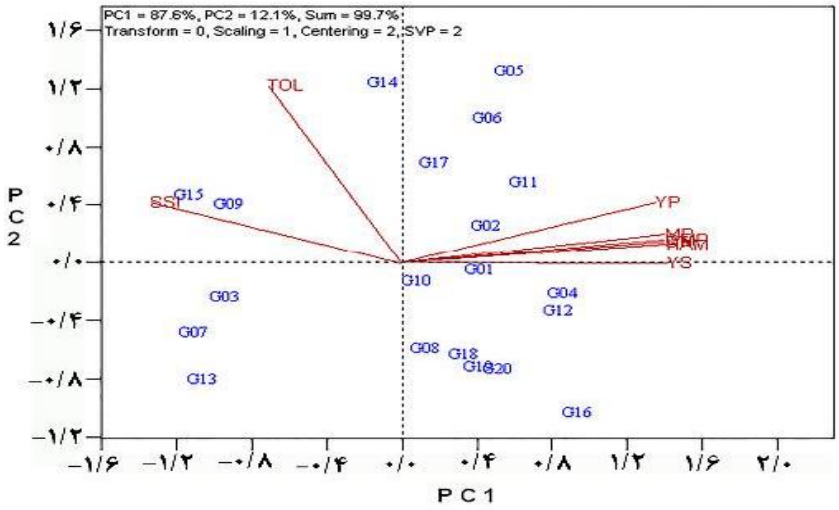
در مجموع نتایج این تحقیق نشان داد که ژنوتیپ‌های کلزا مورد مطالعه از نظر صفات اندازه‌گیری شده در هر دو محیط تنش و بدون تنش خشکی تنوع دارند. ازنظر کارایی مصرف آب ارقام Dante، SLM-046 و Zarfam بهترین کارایی را به خود اختصاص دادند. روش بای‌پلات GT در گروه‌بندی و تعیین ژنوتیپ‌ها مورد مطالعه بر اساس شاخص‌های تحمل به خشکی نشان داد که ژنوتیپ Zarfam بیشترین میزان تحمل به خشکی را شامل می‌شود. علت کارایی بالا روش تجزیه بای‌پلات را می‌توان در نمایش رابطه بین صفات مختلف به‌صورت گرافیکی و قدرت مقایسه بصری بین ژنوتیپ‌ها دانست. درنهایت با توجه به مقایسه نتایج کارایی مصرف آب و روش تجزیه بای‌پلات، ژنوتیپ Zarfam به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ به تنش خشکی در مطالعه حاضر معرفی شد.

جدول ۶- شاخص‌های تحمل به خشکی برای ژنوتیپ‌های مورد مطالعه

Table 6. Drought tolerance indices in studied canola genotypes

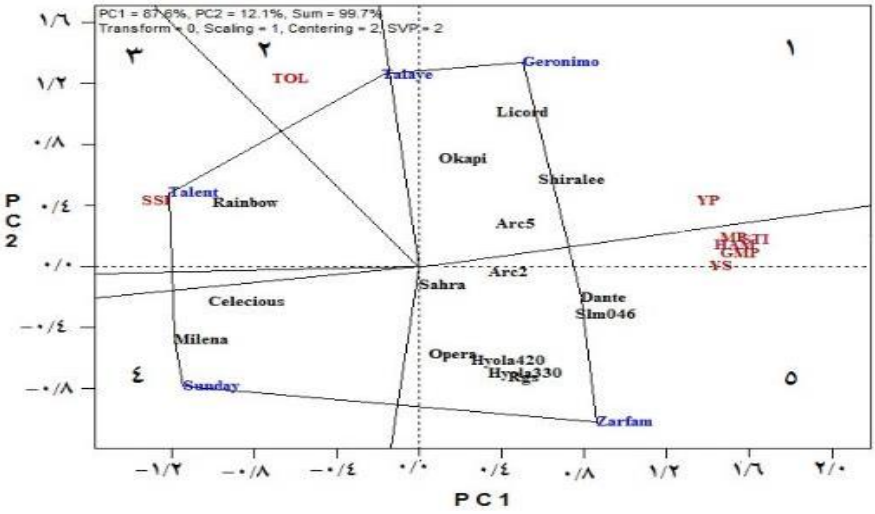
ژنوتیپ	کد ژنوتیپ	YS	YP	SSI	TOL	MP	GMP	STI	HAM
ARC2	G1	۲۴۰۵/۳	۳۱۸۳/۳	۰/۸۴	۷۷۸/۰	۲۷۹۴/۳	۲۷۶۷/۲	۰/۹۰	۲۷۴۰/۲
ARC5	G2	۲۴۴۰/۳	۳۲۹۲/۰	۰/۸۹	۸۵۱/۷	۲۸۶۶/۷	۲۸۳۴/۶	۰/۹۵	۲۸۰۲/۹
Celecious	G3	۱۰۴۳/۳	۱۹۷۸/۰	۱/۶۳	۹۳۴/۷	۱۵۱۰/۷	۱۴۳۶/۶	۰/۲۴	۱۳۶۶/۱
Dante	G4	۲۸۶۰/۰	۳۵۰۵/۳	۰/۶۳	۶۴۵/۳	۳۱۸۲/۷	۳۱۶۶/۷	۱/۱۸	۳۱۴۹/۹
Geronimo	G5	۲۵۵۸/۰	۳۶۶۸/۰	۱/۰۴	۱۱۱۰/۰	۳۱۱۳/۰	۳۰۶۳/۳	۱/۱۱	۳۰۱۴/۰
Licord	G6	۲۴۳۹/۰	۳۴۸۶/۳	۱/۰۳	۱۰۴۷/۳	۲۹۶۲/۷	۲۹۱۶/۲	۱/۰۰	۲۸۷۰/۱
Milena	G7	۸۷۹/۰	۱۷۶۵/۰	۱/۷۳	۸۸۶/۰	۱۳۲۲/۰	۱۲۴۵/۷	۰/۱۸	۱۱۷۳/۵
Opera	G8	۲۱۰۷/۰	۲۷۹۷/۳	۰/۸۵	۶۹۰/۳	۲۴۵۲/۷	۲۴۲۷/۵	۰/۶۹	۲۴۰۳/۶
Rainbow	G9	۱۰۷۵/۰	۲۱۷۷/۷	۱/۷۵	۱۱۰۲/۷	۱۶۲۶/۳	۱۵۳۰/۳	۰/۲۷	۱۴۳۹/۴
Sahra	G10	۲۰۶۳/۳	۲۸۸۱/۰	۰/۹۸	۸۱۷/۷	۲۴۷۲/۷	۲۴۳۸/۳	۰/۷۰	۲۴۰۴/۶
Shiralee	G11	۲۶۴۳/۳	۳۵۳۴/۷	۰/۸۷	۸۹۱/۳	۳۰۸۹/۰	۳۰۵۶/۸	۱/۱۰	۳۰۲۴/۷
SLM046	G12	۲۸۳۳/۳	۳۴۵۳/۳	۰/۶۲	۶۲۰/۰	۳۱۴۳/۳	۳۱۲۸/۱	۱/۱۵	۳۱۱۲/۷
Sunday	G13	۹۱۲/۰	۱۷۱۳/۷	۱/۶۱	۸۰۱/۷	۱۳۱۲/۳	۱۲۵۰/۵	۰/۱۸	۱۱۹۰/۵
Talaye	G14	۱۸۷۷/۰	۳۰۸۹/۰	۱/۳۵	۱۲۱۲/۰	۲۴۸۳/۰	۲۴۰۷/۲	۰/۶۸	۲۳۳۵/۱
Talent	G15	۸۷۶/۳	۲۰۱۴/۷	۱/۹۵	۱۱۳۸/۳	۱۴۴۵/۰	۱۳۲۸/۳	۰/۲۰	۱۲۲۱/۴
Zarfam	G16	۲۹۴۸/۰	۳۳۶۴/۳	۰/۴۲	۴۱۶/۳	۳۱۵۶/۷	۳۱۴۹/۳	۱/۱۷	۳۱۴۲/۴
Okapi	G17	۲۱۵۷/۷	۳۱۷۴/۷	۱/۱۰	۱۰۱۷/۰	۲۶۶۶/۷	۲۶۱۷/۲	۰/۸۱	۲۵۶۹/۲
Hyola420	G18	۲۳۲۱/۵	۲۹۶۲/۵	۰/۷۴	۶۴۱/۰	۲۶۴۲/۵	۲۶۲۲/۷	۰/۸۱	۲۶۰۳/۴
Hyola330	G19	۲۴۰۶/۰	۳۰۱۰/۰	۰/۶۹	۶۰۴/۰	۲۷۰۸/۰	۲۶۹۱/۱	۰/۸۵	۲۶۷۴/۳
RGS	G20	۲۵۰۶/۳	۳۰۸۶/۳	۰/۶۵	۵۸۰/۰	۲۷۹۶/۳	۲۷۸۱/۲	۰/۹۱	۲۷۶۶/۳

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-06-08]



شکل ۲- بای‌پلات روابط بین شاخص‌های اندازه‌گیری شده

Figure 2. Biplot of relation among measured indices



شکل ۳- بای‌پلات چندضلعی ژنوتیپ و شاخص‌های تحمل به خشکی

Figure 3. Polygonal biplot of genotype and drought tolerance indice

منابع

1. Ahmad, P., S. Jamsheed, A. Hameed, R. Saima, S. Sharma, M.M. Azooz and M. Hasanuzzaman. 2014. Drought Stress Induced. In: Ahmad, P. (Ed.) Oxidative Damage and Antioxidants in Plants Oxidative Damage to Plants: Antioxidant Networks and Signaling, Drought Stress Induced Oxidative Damage and Antioxidants in Plants. Academic Press, Massachusetts, USA, pp: 345-367.
2. Fernandez, G.C.J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: kuo, C.G. (Ed.) Adaptaion of Food Crops to Temperature and Water Stress. AVRDC, shanhaue, Taiwan, pp: 257-270.
3. Fischer, R.A and R. Maurer. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. Australian Journal Agricultural Research, 29: 897-912.
4. Ghodrati, G. 2012. Response of grain yield and yield components of promising genotypes of rapeseed (*Brassica napus* L.) under non-stress and moisture stress conditions. Crop Breeding Journal, 2: 49-56.
5. Golipoor, A., N. Latifi, K. Ghasemi-Golezani, H. Aliary and M. Moghaddam. 2004. Comparison of growth and grain yield of rapeseed cultivars under rainfed conditions. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 11: 5-13 (In Persian).

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-06-08]

6. IPCC. 2007. Climate change 2007. The physical science basis. In: (Eds.) Contribution of working group I to the fourth assessment report ofthe intergovernmental panel on climate change Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp: 996-1015.
7. Javidfar, F., B. Alizadeh, H. Amiri-Oghan N. Sabaghnia. 2011. A study of genotype by environment interaction in oilseed rape genotypes, using GGE biplot method. Iranian Journal of Field Crop Science, 41: 771-779 (In Persian).
8. Jensen, C.R., V.O. Morgenstern, J.K. Fieldsend, G.F.J. Milford, M.N. Andersen, A. Kumar and D.P. Singh. 1998. Use of physiological indices as a screening technique for drought tolerance in oilseed Brassica species. Annals of Botany, 81: 413-420.
9. Kimber, D.S. and D.I. McGregor. 1995. The species and their origin, cultivation and world production. In: Kimber, D. and D.I. McGregor (Eds.) Brassica oilseeds, production and utilization. CAB International, USA, pp: 178-295.
10. Nadaletti, W.C., R.A. Bariccatti, R.F. Santos, S. Souza, J.D.C. Siqueira, J. Antonelli, P. Cremonez, E. Rossi and A. Mari. 2014. Response of canola (*Brassica napus* L. var. oleifera Moench.) to the use of biofertilizer from swine farming at different groundwater levels. Journal of Food, Agriculture & Environment, 12: 415-417.
11. Naeemi, M., Gh. Aliakbari, A.H. Shirani-Rad, S.A. Modares-Sanavi and S.A. Sadat-Noori. 2010. Evaluation of drought stress effect at terminal growth stage on quantitative and qualitative yield of rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. Journal of Crops Improvement, 12: 63-71.
12. Nasri, M., M. Khalatbari, H. Zahedi, F. Paknejad and H.R. Tohidi Moghadam. 2008. Evaluation of micro and macro elements in drought stress conditions in cultivars of rapeseed (*Brassica napus* L.). Journal of Agricultural and Biological Science, 3: 579-583.
13. Omidi, H., L. Jafarzadeh-Chime and M. Rahimzadeh. 2012. Evaluation of drought stress on yield of rapeseed genotypes (*Brassica napus* L.) by drought resistance indices. Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi), 96: 57-66 (In Persian).
14. Pourdad, S.S. and M. Jamshid Moghaddam. 2013. Study on genotype environmemnt interaction through GGE biplot for seed yield in spring rapeseed (*Brassica napus* L.) in rain-fed condition. Journal of Crop Breeding, 5: 1-14 (In Persian).
15. Rameeh, V.O. 2009. Estimation of heritability and heterosis for agronomic traits and oil content in rapeseed spring varieties. Journal of Crop Breeding, 1: 1-13 (In Persian).
16. Rashidi, S., A.H. Shirani-Rad, A. Ayene-Band, F. Javidfar and S.H. Lak. 2012. Study of relationship between droughts stresses tolerances with some physiological parameters in canola genotypes (*Brassica napus* L.). Annals of Biological Research, 3: 564-569.
17. Rosielle, A.A. and J. Hamblin. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. Crop Science, 21: 943-946.
18. Safavi, M., S. Pourdad and A. Safavi. 2013. Evaluation of drought tolerance in Safflower (Carthamus tinctorius L.) under Non-Stress and Drought Stress Conditions. International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research, 9: 943-946.
19. Shabani, A., A.A. Kamkar-Haghighi, A.R. Sepaskhah, Y. Emam and T. Honar. 2010. Effect of water stress on grain yield, yield components and quality of rapeseed (*Brasica napus* L.) cv. Licord. Iranian Journal of Crop Sciences, 12: 409-421 (In Persian).
20. Shahrabi-Farahani, B., E. Farahmandfar, T. Hassanlo, A.H. Shirani-Rad and S.A. Tabatabaee. 2013. Evaluation of drought tolerance in rapeseed varieties based on physiological and agronomical characteristics at Yazd region. Electronic Journal of Crop Production, 6: 77-97 (In Persian).
21. Sinaki, J.M., E. Majidi-Heravan, A.H. Shirani-Rad, G.H. Noor-Mohammadi and G. Zarei. 2007. The effects of water deficit during growth stages of canola (*Brassica napus* L.). American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences, 2: 417- 22.
22. Sio-Se Mardeh, A., A. Ahmadi, K. Poustini and V. Mohammadi. 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. Field Crops Research, 98: 222-229.
23. Sullivan, C.Y. and J.D. Eastin. 1974. Plant physiological responses to water stress. Agricultural Meteorology, 14: 113-127.
24. Yan, W. and I. Rajcan. 2002. Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. Crop Science, 42: 11-20.
25. Yan, W. and J. Frégeau-Reid. 2008. Breeding line selection based on multiple traits. Crop Science, 48: 417-423.
26. Yan, W. and. M.S. Kang. 2002. GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists and agronomists. CRC press, Florida, USA, 267 pp.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-06-08]

Evaluation of Drought Tolerance in Canola (*Brassica napus* L.) Genotypes, using Biplot Analysis

Seyedeh Zahra Hosseini

Faculty Member of Basic Sciences, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran
(Corresponding author: hosseini@bkatu.ac.ir)
Received: November 8, 2014 Accepted: July 25, 2015

Abstract

Drought is one of the major environmental stresses that adversely affect crop growth and productivity worldwide. For evaluation of drought stress on grain yield, yield components and drought tolerance indices, 20 genotype of rapeseed (*Brassica napus* L.) was studied in an experiment based on a randomized complete blocks design with three replications in two different conditions (stress and non-stress). Result of mean comparision showed significant difference among all genotypes for all traits. Losses in grain yield, thousand grain weight and water use efficiency due to drought stress was more than other traits. In this study, geometric mean productivity index (GMP), mean productivity index (MP), harmonic mean index (HAM) and stress tolerance index (STI) showed high correlation with grain yield in normal and drought stress conditions. In present research, GT−biplot approach was applied for grouping and detection drought-tolerant and drought-sensitive genotypes. Biplot diagram based on interaction of genotype × trait (tolerance index) indicated that genotype Zarfam is the most stable genotype for non-stress and drought stress conditions, and in other hand Talent and Talye genotypes were identified as the most sensitive genotypes to drought stress condition. Hence, the statistical model of GT−biplot could provide useful information for evaluation of drought-tolerance canola genotypes in water deficit stress condion.

Keywords: Drought, Genotype × trait interaction, GT-biplot, Tolerance index

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-06-08]