دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

"مقاله پژوهشی"

شناسایی ژنوتیپ‌های کلزای متحمل به خشکی با استفاده از تحلیل چندمتغیره

بهروز امین‌زاده[۱]، بهزاد ثانی[۱]، بهرام علیزاده[۱و۲] و حمید مظفری[۱]

۱- گروه زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر قدس، تهران، ایران
۲- موسسه تحقیقات اصلاح وتهیه و نهال بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران، (نویسنده مسوول: alizadeh.oilseed@gmail.com)
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۷/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۸
صفحه: ۷۵ تا ۸۴

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: تنش خشکی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی عامل محدودکننده اصلی کشت کلزا در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌شمار می‌رود. بنابراین، شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی، یکی از برنامه‌های ضروری در این مناطق به‌شمار می‌رود. یکی از روش‌های مناسب به منظور شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش می‌باشد. در این راستا، مطالعه پیش‌رو برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی از بین ۳۸ ژنوتیپ کلزای زمستانه با استفاده از شاخص‌های تحمل به خشکی طراحی شد.

مواد و روش‌ها: این آزمایش براساس طرح بلوک‌های کامل تصادفی (RCBD) با سه تکرار تحت شرایط نرمال و تنش خشکی در سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۵ انجام شد. در آزمایش نرمال، آبیاری در پنج مرحله انجام شد، درحالی‌که در شرایط تنش خشکی، آبیاری قبل از شروع گل‌دهی، متوقف شد. عملکرد ژنوتیپ‌ها تحت شرایط نرمال و خشکی با استفاده از شاخص تحمل خشکی شامل TOL، MP، GMP، HM، STI، YSI، SSI، YR، K1STI و RDI برای شناسایی ژنوتیپ‌های حساس و متحمل به خشکی مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: تجزیه واریانس اختلاف معنی‌داری بین ژنوتیپ‌های ارزیابی شده برای تمام شاخص‌های تحمل به خشکی نشان داد. بیشترین ضریب تغییرپذیری ژنوتیپ برای شاخص‌های TOL و SSI، YR و K2ST1 مشاهده گردید. تحلیل همبستگی، ارتباط مثبت و معنی‌داری بین Yp و TOL، SSI و YR و همچنین ارتباط منفی و معنی‌داری با Ys را نشان داد. بر اساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی دو مؤلفه اول ۹۹/۶۴ درصد کل تغییرات مشاهده شده را به‌خود اختصاص دادند. ۶۵/۳۶ و ۳۴/۲۸ درصد تغییرات به ترتیب توسط مؤلفه‌های اول و دوم پوشش داده شدند. مؤلفه اول، ژنوتیپ‌های متحمل را تشخیص داد، درحالی‌که مؤلفه دوم ژنوتیپ‌های حساس به خشکی را شناسایی نمود. تجزیه خوشه‌ای، ضمن تأیید نتایج حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، ژنوتیپ‌ها را در سه دسته طبقه‌بندی نمود. همچنین با استفاده از تجزیه خوشه‌ای نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی را تأیید کرد و ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی را از ژنوتیپ‌های حساس تفکیک نمود.

نتیجه‌گیری: درنهایت، این تحقیق پنج ژنوتیپ برتر را شناسایی نمود، ازجمله G6، G10، G18، G23 و G33 که متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها درمقابل خشکی بوده و عملکرد آنها تحت شرایط نرمال و تنش خشکی تفاوت معنی‌داری نداشت.

واژه‌های کلیدی: تجزیه به مؤلفه اصلی، تنش، شاخص‌های تحمل به خشکی، کانولا و Brassica

مقدمه

شب بویان[1] یکی از ۱۰ خانواده محصولات اقتصادی ضروری است (۲۹). از میان این خانواده، کلزا (گونه Brassica) هزاران سال است که برای تولید روغن مورد استفاده قرار می‌گیرد (۳۰). براساس گزارش FAO، کلزا به عنوان دومین دانه روغنی پس از سویا معرفی شده و در مساحتی برابر با ۴۴۱۳۰۱۹۱ هکتار در سرتاسر دنیا برداشت می‌شود (۷).

ایران از نظر سطح زیر کشت کلزا، ۲۷امین کشور دنیا محسوب می‌شود (۷)، اما کشاورزی در ایران با تنش خشکی مواجه می‌باشد. نرخ تعرق در ایران درطول چهار دهه گذشته، کاهش یافته است (۲۸)، درحالی‌که گونه Brassica با مناطق پربارش سازگار می‌باشد. عملکرد دانه کلزا تا حد زیادی تحت تأثیر تنش خشکی قرار دارد (۲۲ و ۲۱). تغییراقلیم دائمی به افزایش تنش غیرزیستی از جمله تنش گرما و خشکی تولید کلزا را تهدید می‌کند (۱۵). همچنین، گزارش شده است که کلزا و سایر گونه‌های Brassica بیشتر تحت‌تأثیر خشکی هستند؛ زیرا عمدتاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک پرورش می‌یابند. بنابراین، راهبردهای مختلفی برای مقابله با تنش خشکی به‌کار گرفته شده‌اند، که از مهم‌ترین آنها می‌توان توسعه سیستم‌های آبیاری، بهبود مدیریت محصول و به کارگیری روش‌های اصلاح نباتات را نام برد (۱۶). شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی از بین منابع موجود کلزا یک روش ارزشمند برای مقابله با تنش خشکی به‌حساب می‌آید. مطالعات متعددی برای شناسایی ارقام متحمل به خشکی کلزا انجام گرفته‌اند. مطالعه‌ای بر روی ۱۰ رقم متفاوت کلزا تحت تنش خشکی نشان داد که نرخ جوانه‌زنی در بین همه ارقام، کاهش یافته است، اما RGS003 و رقم الیت به‌ترتیب متحمل‌ترین و حساس‌ترین واریته‌ها می‌باشند (۲۰). گزارش شده است که تنش خشکی باعث کاهش تعداد شاخه فرعی در بوته، تعداد دانه در غلاف‌ها، تعداد غلاف در بوته، وزن ۱۰۰۰دانه، عملکرد دانه، ارتفاع گیاه و میزان روغن می‌گردد (۲،۱۸). همچنین مشخص شده است که مراحل گل‌دهی و توسعه بذر حساس‌ترین مرحله در کلزا تحت تنش خشکی بوده و وزن ۱۰۰۰ دانه و میزان روغن را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد (۱۲،۱۸۶)، بااین‌حال، ارقامی مانند Con-III عملکرد مناسبی در مراحل مختلف رشد تحت شرایط تنش خشکی نشان دادند (۱۲). اکثر مطالعات با تمرکز بر عملکرد دانه تحت شرایط نرمال و خشکی، ارقام متحملی را انتخاب کردند. ارقام برتر تحت تنش خشکی ازنظر جنبه‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی نیز با یکدیگر متفاوت هستند. برای مثال، رقم رنگین‌کمان که به‌عنوان رقم متحمل به خشکی انتخاب شد، پرولین بیشتری تحت تنش خشکی تولید کرد (۶). ازبین ارقام ارزیابی‌شده در غرب ایران، رقم هیولا۴۰۱ با عملکرد بالاتر،

1- Brassicaceae

متحمل‌ترین رقم شناسایی شد (۱۸). مطالعه دیگری گزارش نمود که رقم الیت متحمل‌ترین رقم به خشکی است (۲۵). همچنین گزارش شده است که طول ریشه/اندام هوایی در ارقام مختلف، یکسان نبوده و کل گیاه، طول ریشه، نسبت ریشه/اندام هوایی به‌طورقابل‌توجهی تحت تأثیر تنش خشکی می‌باشند (۱۳). تجمع پرولین و افزایش فعالیت پروکسیداز اسکوربات و جذب K^+ به‌عنوان مکانیسم‌های ایجاد تحمل به خشکی در کلزا گزارش شده‌اند (۱۹). بهره‌وری مصرف آب به عنوان یک روش غیرمستقیم انتخاب رقم متحمل به خشکی برای عملکرد دانه تحت شرایط تنش خشکی در کلزا معرفی می‌شود (۸).

تحقیقات متعددی برای شناسایی ارقام متحمل و حساس به خشکی بااستفاده از شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش انجام شدند. تحلیل شاخص‌های تحمل به خشکی به‌عنوان یکی از روش‌های استاندارد برای ارزیابی تحمل به خشکی گزارش می‌شود (۵). متوسط بهره‌وری (۲۳)، شاخص تحمل (۲۳)، بهره‌وری متوسط هندسی (۱۰)، شاخص مقاومت به تنش (۱۰)، شاخص تنش (۱۱)، شاخص حساسیت به تنش (۱۱)، شاخص پایداری عملکرد (۳) و متوسط بهره‌وری هارمونی (۲۴) برخی شاخص‌های ضروری برای شناسایی ارقام متحمل و حساس به خشکی محسوب می‌شوند. ارزیابی ارقام تحت شرایط نرمال و تنش به طور همزمان به‌عنوان روشی مفید برای شناسایی ارقام متحمل به خشکی معرفی شده‌اند (۲۷). براساس شاخص مقاومت به تنش و بهره‌وری متوسط هندسی، ارقام لیکورد و طلایی مناسب‌ترین ارقام شناخته شدند؛ ارقام زرفام و مودنا به ترتیب به‌عنوان متحمل‌ترین و حساس‌ترین ارقام شناخته شدند (۳۱). همچنین، براساس شاخص حساسیت به تنش، رقم ساری‌گل به‌عنوان رقم حساس به خشکی طبقه‌بندی می‌شود، درحالی‌که ارقام هیولا۳۰۸ و SW5001 ارقام متحمل به خشکی در بین ارقام بهاره می‌باشند (۱۴). رقم ساری‌گل نیز کمترین نرخ بهره‌وری مصرف آب را نشان داد (۲۰)، بااین‌حال، در مطالعه دیگری درمورد اثر تنش خشکی بر ارقام کلزا، ساری‌گل و زرفام نسبت به رقم اوکاپی تحت شرایط خشکی عملکرد بیشتری داشتند (۳۵).

در این تحقیق به منظور شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل و حساس به خشکی، ۳۸ ژنوتیپ کلزا در دو شرایط نرمال و تنش خشکی مورد ارزیابی قرار گرفتند. سپس با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش، ژنوتیپ‌های متحمل و حساس شناسایی شدند.

مواد و روش‌ها

طراحی آزمایش و تیمار خشکی

در مطالعه حاضر، ۳۸ کلزای زمستانه در مزرعه آزمایشی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر[1] در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو آزمایش مجزا (شرایط نرمال و خشکی) در سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۵ کشت شدند. طول و عرض جغرافیایی مزرعه آزمایشی به‌ترتیب ۵۱ درجه و ۶۰ دقیقه شرقی و ۳۹ درجه و ۴۹ دقیقه شمالی می‌باشد. ارتفاع از سطح دریا، ۱۲۳۱ متر و میزان بارش ۲۴۲ میلی‌متر بود که به‌عنوان مناطق خشک و نیمه‌خشک در نظرگرفته می‌شود. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک در مزرعه آزمایشی قبل و حین آزمایش مورد بررسی قرار گرفتند. کشت آزمایش ۱۰ مهر و به روش هیرم‌کاری انجام شد. ژنوتیپ‌های ارزیابی‌شده و ارقام شاهد در جدول ۱ مشخص شده‌اند. چهار ردیف برای هر قطعه آزمایش با طول ۴ متر، عرض ۱/۲ متر و فاصله‌گذاری ۳۰ سانتی‌متری در نظرگرفته شدند. فاصله بین کرت ها ۱۰۰ سانتی‌متر و بین تکرارها ۲۰۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. کاشت شیاری دو ردیفه در هر قطعه آزمایشی به‌کار گرفته شدند. پس از آماده‌سازی زمین، کوددهی (اوره، سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاس به ترتیب به میزان ۲۰۰، ۱۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار و کوده اوره به صورت تقسیط در سه مرحله) انجام شد. نمونه‌گیری اعماق مختلف خاک شامل ۰تا۳۰ سانتی‌متر و ۳۰تا۶۰ سانتی‌متر در هر دو آزمایش نرمال و خشکی چهار مرتبه با استفاده از اوگر انجام شد. به‌منظور تعیین درصد رطوبت خاک، نمونه‌های خاک در یک آون خشک‌کننده با دمای ۱۱۰درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت قرار داده شدند. آبیاری شیاری در مزارع آزمایشی اعمال شد. در آزمایش نرمال، آبیاری طی پنج مرحله انجام شد، که شامل آبیاری مراحل کاشت، روزت، شروع گل‌دهی، شروع تشکیل غلاف و توسعه دانه بودند؛ اما تیمار خشکی تنها دوبار قبل از شروع گل‌دهی، آبیاری شد. طی فصل رشد، صفات کمی متعددی نظیر ارتفاع گیاه، تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد غلاف در شاخه‌های اصلی، تعداد غلاف‌ها در شاخه‌های فرعی ، تعداد کل غلاف‌ها ، طول ساقه اصلی، فاصله شاخه اول از زمین، طول غلاف، تعداد دانه‌ها در هر غلاف، وزن هزار دانه، درصد میزان روغن در دانه، عملکرد دانه و عملکرد روغن دانه بررسی شدند.

1- Seed and plant improvement institute (SPII)

جدول ۱- ژنوتیپ‌های کلزای مورد بررسی در این مطالعه و منشاء آنها
Table 1. The evaluated oilseed rape genotypes and their origins

شماره	ژنوتیپ	شجره	شماره	ژنوتیپ	شجره
۱	WRL-95-01	GA096×Zarfam	۲۰	WRL-95-20	Sunday×Geronimo
۲	WRL-95-02	Modena×GAo96	۲۱	WRL-95-21	Okapi×GA096
۳	WRL-95-03	Sunday×Geronimo	۲۲	WRL-95-22	Orient×Modena
۴	WRL-95-04	Modena×Okapi	۲۳	WRL-95-23	Okapi×SW0756
۵	WRL-95-05	Sunday×Geronimo	۲۴	WRL-95-24	Okapi×SW0756
۶	WRL-95-06	Okapi×GA096	۲۵	WRL-95-25	Geronimo×Sunday
۷	WRL-95-07	Orient×Modena	۲۶	WRL-95-26	Sunday×Modena
۸	WRL-95-08	Okapi×SW0756	۲۷	WRL-95-27	Okapi×Modena
۹	WRL-95-09	Okapi×SW0756	۲۸	WRL-95-28	Geronimo×Sunday
۱۰	WRL-95-10	Geronimo×Sunday	۲۹	WRL-95-29	Geronimo×Sunday
۱۱	WRL-95-11	Sunday×Modena	۳۰	WRL-95-30	Okapi×Modena
۱۲	WRL-95-12	Okapi×Modena	۳۱	WRL-95-31	Okapi×Modena
۱۳	WRL-95-13	Geronimo×Sunday	۳۲	WRL-95-32	Okapi×Modena
۱۴	WRL-95-14	Geronimo×Sunday	۳۳	WRL-95-33	Okapi×Modena
۱۵	WRL-95-15	Okapi×Modena	۳۴	WRL-95-34	Okapi×SW0756
۱۶	WRL-95-16	Okapi×Modena	۳۵	WRL-95-35	RGS003*Okapi
۱۷	WRL-95-17	Okapi×Modena	۳۶	WRL-95-36	RGS003*SLM046
۱۸	WRL-95-18	Okapi×Modena	۳۷	رقم نیما (شاهد)	Okapi*Modena
۱۹	WRL-95-19	Sunday×Modena	۳۸	رقم احمدی (شاهد)	Geronimo * SW0756

تحلیل آماری

در تحقیق حاضر، همه صفات کمی مورد بررسی در دو شرایط نرمال و تنش خشکی مورد تجزیه واریانس قرار گرفتند. علاوه‌بر این، پس از اندازه‌گیری عملکرد ژنوتیپ‌های مورد بررسی تحت شرایط نرمال[۱] و تنش[۲]، شاخص‌های تحمل به خشکی شامل شاخص تحمل[۳] (۲۳)، شاخص متوسط بهره‌وری[۴] (۲۳)، شاخص بهره‌وری متوسط هندسی[۵] (۱۰)، متوسط شاخص هارمونیک[۶] (۲۴)، شاخص تحمل تنش[۷] (۱۰)، شاخص پایداری عملکرد[۸] (۳)، شاخص حساسیت به تنش[۹] (۱۱)، درصد کاهش عملکرد[۱۰] (۴)، شاخص اصلاح‌شده تحمل تنش برای شرایط غیرتنش[۱۱] (۹)، شاخص اصلاح‌شده تحمل تنش برای شرایط تنش[۱۲] (۹) و شاخص خشکی نسبی[۱۳] (۱۱) محاسبه شدند (جدول ۲). انتخاب بر مبنای مقادیر کمتر شاخص تحمل، منجر به گزینش ژنوتیپ‌هایی می‌شود که عملکرد آنها در محیط تنش نسبت به محیط نرمال کاهش کمتری داشته و ثبات عملکرد دارند (۲۳). انتخاب برمبنای مقادیر بیشتر شاخص متوسط بهره‌وری و بهره‌وری متوسط هندسی منجر به انتخاب ژنوتیپ‌هایی با پتانسیل عملکرد بالا می‌شود (۱۰،۲۳)؛ اما بهره‌وری متوسط هندسی قدرت تفکیک بیشتری دارد (۱۰). در انتخاب برمبنای شاخص متوسط هارمونیک، ژنوتیپ‌هایی مقاوم‌تر محسوب می‌شوند که مقادیر بیشتری از این شاخص را داشته باشند (۲۴). انتخاب برمبنای شاخص تحمل تنش منجر به انتخاب ژنوتیپ‌های با مقاومت بیشتر به خشکی و عملکرد بالقوه بیشتر می‌شود (۱۰). شاخص پایدرای عملکرد، نشان‌دهنده میزان مقاومت ژنتیکی به تنش خشکی است و درنتیجه ژنوتیپ با مقادیر بیشتر از این شاخص باید عملکرد بالایی در هر دو محیط تنش و نرمال داشته باشد (۳). انتخاب بر مبنای مقادیر کمتر شاخص حساسیت به تنش، نشان‌دهندهٔ تغییرات ناچیز عملکرد یک ژنوتیپ در وضعیت تنش نسبت به وضعیت نرمال و درنتیجه پایداری بیشتر آن ژنوتیپ است (۱۱). مقادیر بیشتر شاخص اصلاح‌شده تحمل تنش برای شرایط غیرتنش، شاخص اصلاح‌شده تحمل تنش برای شرایط تنش و شاخص خشکی نسبی نیز نشان‌دهنده مقاومت بیشتر به خشکی می‌باشند (۹).

جدول ۲- شاخص‌های تحمل مورد استفاده در این مطالعه و روش محاسبه آنها
Table 2. The used tolerance indices in this study and their calculation methods

شاخص	علامت اختصاری	روش محاسبه
شاخص تحمل	TOL	Yp – Ys
شاخص متوسط بهره‌وری	MP	(Ys + Yp)/2
شاخص بهره‌وری متوسط هندسی	GMP	Ys × Yp
شاخص میانگین هارمونیک	HM	[2(Yp×Ys)]/(Yp+ Ys)
شاخص تحمل تنش	STI	$Ys \times Yp/(Yp)^2$
شاخص پایداری عملکرد	YSI	Ys/Yp
شاخص حساسیت به تنش	SSI	[1- (Ys/Yp)]/SI
درصد کاهش عملکرد	YR	((Yp – Ys)/Yp×100
شاخص اصلاح‌شده تحمل تنش برای شرایط غیرتنش	K1STI	$(Yp2) / (Yp^2) \times STI$
شاخص اصلاح‌شده تحمل تنش برای شرایط تنش	K2STI	$(Ys2) / (Ys^2) \times STI$
شاخص خشکی نسبی	RDI	(Ys/Yp) (Ys/Yp)

1- Yp: Yield potential 2-Ys: Yield stability 3-Tol: Tolerance Index 4- MP: Mean productivity
5- GMP: Geometric mean productivity 6- HM: Harmonic mean: 7- STI: Stress tolerance index
8- YSI: Yield Stability Index 9- SSI: Stress Susceptibility Index 10- YR: Yield Reduction (percentage)
11- K1STI: Modified stress tolerance index for non-stressed 12- K2STI: Modified stress tolerance index for stressed
13- RDI: Relative drought index

آمار توصیفی و آنالیز واریانس برای همه شاخص‌های تحمل به خشکی و همچنین پتانسیل عملکرد دانه در شریط نرمال(Yp)و خشکی (Ys) انجام شدند. علاوه‌براین، تحلیل خوشه‌ای با استفاده از روش WARD و همچنین تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل و حساس به خشکی استفاده شد. به‌منظور تحلیل داده‌ها، از نرم‌افزارهای آماری SPSS نسخه ۲۴ و XLSTAT نسخه ۲/۲ استفاده شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس برای همه صفات کمی ارزیابی شده تحت دو محیط نرمال و شرایط تنش خشکی انجام شد (جدول ۳). نتایج اختلافات معنی‌داری را در صفات کمی ژنوتیپ‌های مورد بررسی نشان داد که تاییدکننده تنوع مناسب ژنوتیپ‌های مورداستفاده در این مطالعه بودند. همچنین تجزیه واریانس بر اساس شاخص‌های تحملنشان داد بین ژنوتیپ‌های ارزیابی‌شده ازلحاظ کلیه شاخص‌های تحمل به خشکی اختلاف معنی‌داری می‌باشد. بنابراین، تنوع گسترده‌ای بین ۳۸ ژنوتیپ مورد ارزیابی در پاسخ به خشکی وجود دارد و شاخص‌های به‌کارگرفته شده می‌توانند به‌خوبی ژنوتیپ‌ها را از لحاظ تحمل به خشکی، از یکدیگر مجزا نمایند (جدول ۴). میانگین و انحراف معیار شاخص‌های تحمل بررسی و نتایج آن در جدول ۵ ارائه شده است. بیشترین ضریب تغییرپذیری ژنوتیپ برای شاخص‌های TOL و SSI، YR و K2ST1 مشاهده گردید. نتایج مشابهی نیز برای شاخص‌های TOL و SSI در گندم مشاهده گردید (۱). محاسبه پارامترهای آماری ساده برای شاخص‌های تحمل به خشکی نشان دادند که تنوع مناسبی بین ژنوتیپ‌های ارزیابی شده وجود دارد. بنابراین، این تنوع را می‌توان در برنامه‌های اصلاح نباتات کلزا درمقابل تنش خشکی مورداستفاده قرار داد. اختلاف میانگین عملکرد همه ژنوتیپ‌ها بین شرایط تنش خشکی (Ys) و تحت‌آبیاری (Yp) حدود ۱ تن در هکتار بود که نشان داد ژنوتیپ‌های موردارزیابی تحت شرایط تنش خشکی، عملکرد مناسبی دارند. تجزیه همبستگی بین شاخص‌های تحمل به خشکی (شکل ۱) نشان‌دهنده یک همبستگی مثبت معنی‌دار ببین Yp و TOL، MP، GMP، HM، STI، SSI، YR و K1STI و همبستگی منفی معنی‌دار بین Yp، YSI و RDI می‌باشد. Ys یک همبستگی مثبت معنی‌دار با MP، GMP، HM، STI، YSI، K2STI و RDI نشان داد. Ys همچنین همبستگی منفی معنی‌داری با TOL، SSI و YR نیز نشان داد. در مطالعه پیش رو هیچ همبستگی‌ای بین Yp و Ys مشاهده نشد که این نتایج گزارشات قبلی درخصوص کلزای زمستانه را تأیید می‌نماید (۳۱)، درحالی‌که مطالعه دیگری، یک رابطه معنی‌دار مثبت بین Yp و Ys را گزارش نمود (۳۴). شاخص TOL با Yp و Ys به ترتیب همبستگی مثبت و منفی داشت که با گزارشات منتشر شده درمورد ارقام کلزای زمستانه مطابقت داشته (۱۷،۳۱) و با گزارش دیگری که قبلاً منتشر گردید، مغایر می‌باشد (۳۴). علاوه‌بر این، هیچ همبستگی بین TOL با Yp و Ys در دانه‌های کلزای بهاره مشاهده نگردید (۳۲). شاخص TOL نیز همبستگی مثبتی با SSI و YR نشان داد. بااین‌حال، یک همبستگی منفی قوی با YSI و RDI نشان داد که گزارشات قبلی در مورد ارقام کلزای زمستانه و بهاره را تأیید کرد (۳۱،۳۲). STI همبستگی مثبت قوی با K1STI و K2STI نشان داد. YSI همبستگی منفی با SSI و YR و همچنین یک همبستگی مثبت با K2STI نشان داد. این نتایج درخصوص گزارشات مربوط به شاخص‌های تحمل به خشکی کلزای زمستانه می‌باشند (۳۱). در این مطالعه، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی براساس ۱۱ شاخص تحمل به خشکی و صفات عملکرد تحت شرایط نرمال و تنش برای هر ۳۸ ژنوتیپ کلزا انجام شد. این تحلیل می‌تواند مشخصات ژنوتیپ‌ها را مشخص نموده و آنها را براساس شاخصه‌های تحمل به خشکی از یکدیگر مجزا سازد (۳۳). نتایج نشان داد که دو مؤلفه‌ی اول، ۹۹/۶۴ درصد کل تغییرات را به‌خود اختصاص می‌دهند. بنابراین، بای‌پلات دوبعدی براساس دو مؤلفه اول به‌دست آمد (شکل ۲، جدول ۶). ۶۵/۳۶ درصد تغییرات توسط مؤلفه اول پوشش داده شد که دارای همبستگی مثبت قوی با Ys، MP، GMP، HM، STI، YSI، K2STI و RDI، اما همبستگی منفی با TOL، SSI و YR بود. بر این اساس، این مؤلفه به‌عنوان مؤلفه عملکرد و تحمل به خشکی نامگذاری شد. این مؤلفه می‌تواند ژنوتیپ‌هایی که درمقابل تنش خشکی متحمل هستند و عملکرد آنها کاهش معنی‌داری ندارد را از یکدیگر متمایز نماید. مؤلفه دوم، ۳۴/۲۸درصد تغییرات را به‌خود اختصاص داد که همبستگی مثبتی با Yp، K2STI، TOL، SSI و YR داشت. بنابراین، مؤلفه دوم، ژنوتیپ‌هایی که عملکرد مناسبی تحت شرایط نرمال دارند را نشان می‌دهد، اما به‌علت حساسیت آنها به تنش خشکی، هیچ ژنوتیپ پایداری تحت شرایط تنش خشکی وجود نداشت. بنابراین، گروه دوم تحت عنوان مؤلفه پتانسیل عملکرد ناپایدار نام‌گذاری شد. بای‌پلات این مؤلفه‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است. نمودار بای‌پلات ژنوتیپ‌های کلزا را از لحاظ تحمل به خشکی از یکدیگر متمایز می‌سازد. ژنوتیپ‌هایی که سمت راست واقع شده‌اند، ژنوتیپ‌های سازگار و متحمل به خشکی هستند که در تجزیه کلاستر نیز در گروه ۳ قرار گرفتند. درمقابل، ژنوتیپ‌های واقع در سمت چپ که از پتانسیل عملکرد بالا (سمت چپ بالا) و پایین (سمت چپ پایین) برخوردار می‌باشند، نسبت به تنش خشکی حساس هستند که در تجزیه کلاستر نیز در گروه ۱ قرار گرفتند و عملکرد در این گروه تحت شرایط تنش خشکی به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. بدیهی است که ژنوتیپ‌های سمت چپ بالای نمودار نظیر G13، G8 و G25 پتانسیل عملکرد بیشتری دارند، اما با حضور شاخص‌های TOL، SSI، YR در پایین سمت راست نمودار، ژنوتیپ‌هایی که در این سمت قرار می‌گیرند، متحمل‌تر و سازگارتر هستند. بنابراین، با در نظر گرفتن تحلیل بای‌پلات، G33، G23، G18، G6 و G10 پایدارترین و متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها درمقابل خشکی می‌باشند. مطالعات قبلی بر روی ژنوتیپ‌های کلزا بااستفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نیز نشان داد که دو مؤلفه اول که بیش از ۹۵ درصد تغییرات را پوشش داده‌اند، قادر به تمایز ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی از ژنوتیپ‌های حساس به خشکی بوده‌اند (۱۷،۳۴)؛ در این مطالعه نیز بیش از ۹۵ درصد تغییرات توسط دو مؤلفه اول پوشش داده شد و بر این اساس تفکیک ژنوتیپ‌ها با استفاده از بای‌پلات انجام پذیرفت.

جدول ۳- تجزیه واریانس برای ۳۸ ژنوتیپ کلزا در دو شرایط نرمال و تنش خشکی

Table 3. Combined ANOVA for 38 oilseed rape genotypes under two conditions of normal and drought stress

			میانگین مربعات													
	منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع گیاه	تعداد شاخه های فرعی	تعداد غلاف در شاخه های اصلی	تعداد غلاف در شاخه های فرعی	تعداد کل غلاف ها	طول ساقه اصلی	فاصله شاخه اول از زمین	طول غلاف	تعداد دانه ها در غلاف	وزن هزار دانه	درصد میزان روغن در دانه	عملکرد دانه	عملکرد روغن
نرمال	ژنوتیپ	۳۷	۱۴۲/۹۴*	۱/۷۹**	۱۳۷/۵۸*	۱۱۱۴/۸۱**	۱۴۴۳/۸۶**	۱۶۷/۴۶**	۲۶۳/۱۴**	۱/۱۲**	۱۵/۳۴**	۰/۲۰**	۲/۳۹*	۰/۲۶**	۰/۰۵**
	بلوک	۲	۳۸۸/۷۲**	۱/۰۳ns	۳۹/۳۲ ns	۱۱۴۲/۶۸ ns	۱۲۸۵/۰۹ns	۵۰۰/۲۲**	۱۴۸/۶۵ ns	۲/۰۸*	۹/۲۵ ns	۰/۱۲ ns	۲۱/۷۴ ns	۰/۱۳ ns	۰/۰۴ns
	خطا	۷۴	۸۳/۳۶	۰/۸۴	۸۱/۶۵	۴۸۶/۵۱	۵۷۱/۵۳	۴۹/۵۹	۹۹/۸۱	۰/۶۱	۷/۸۳	۰/۰۶	۱/۵۱	۰/۰۹	۰/۰۲
	CV%		۵/۹۲	۱۳/۷۵	۱۳/۰۸	۱۵/۰۹	۱۱/۱۰	۱۳/۴۶	۱۶/۸۱	۱۰/۹۸	۱۰/۱۱	۵/۴۶	۲/۷۶	۶/۹۵	۷/۲۱
تنش	ژنوتیپ	۳۷	۶۳۰/۳۶**	۱/۷۳**	۱۴۹/۳۳**	۱۷۰۷/۰۲**	۲۱۱۰/۵۸**	۱۰۹/۲۱**	۲۹۴/۲۶**	۱/۳۰**	۲۳/۳۴**	۰/۲۴**	۴/۷۹**	۰/۳۵**	۰/۰۷**
	بلوک	۲	۶/۳۱ns	۱/۳۰ ns	۲۴/۰۲ns	۳۲/۲۹ns	۶/۱۲ns	۴۶/۲۶ns	۸۹/۹۰ ns	۵/۵**	۷/۷۱ns	۰/۱۲ns	۰/۰۶ns	۰/۰۰۴ns	۰/۰۰۱ns
	خطا	۷۴	۱۸۰/۲۳	۰/۷۰	۷۸/۲۰	۴۰۷/۵۷	۴۹۲/۸۵	۴۵/۷۰	۶۸/۳۵	۰/۴۷	۶/۴۶	۰/۱۲	۱/۰۲	۰/۰۵	۰/۰۱
	CV%		۱۰/۱۹	۱۷/۹۹	۲۰/۳۳	۱۸/۳۱	۱۴/۴۴	۱۷/۷۳	۱۸/۴۷	۱۱/۴۱	۱۰/۸۰	۸/۸۷	۲/۳۸	۶/۹۵	۷/۴۵

علامت **، * و ns: به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ درصد، معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ درصد و عدم معنی‌داری است.

جدول ۴- آنالیز واریانس برای شاخص‌های کمی تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های کلزا

Table 4. Analysis of variance for drought tolerance quantitative indices in oilseed rape genotypes

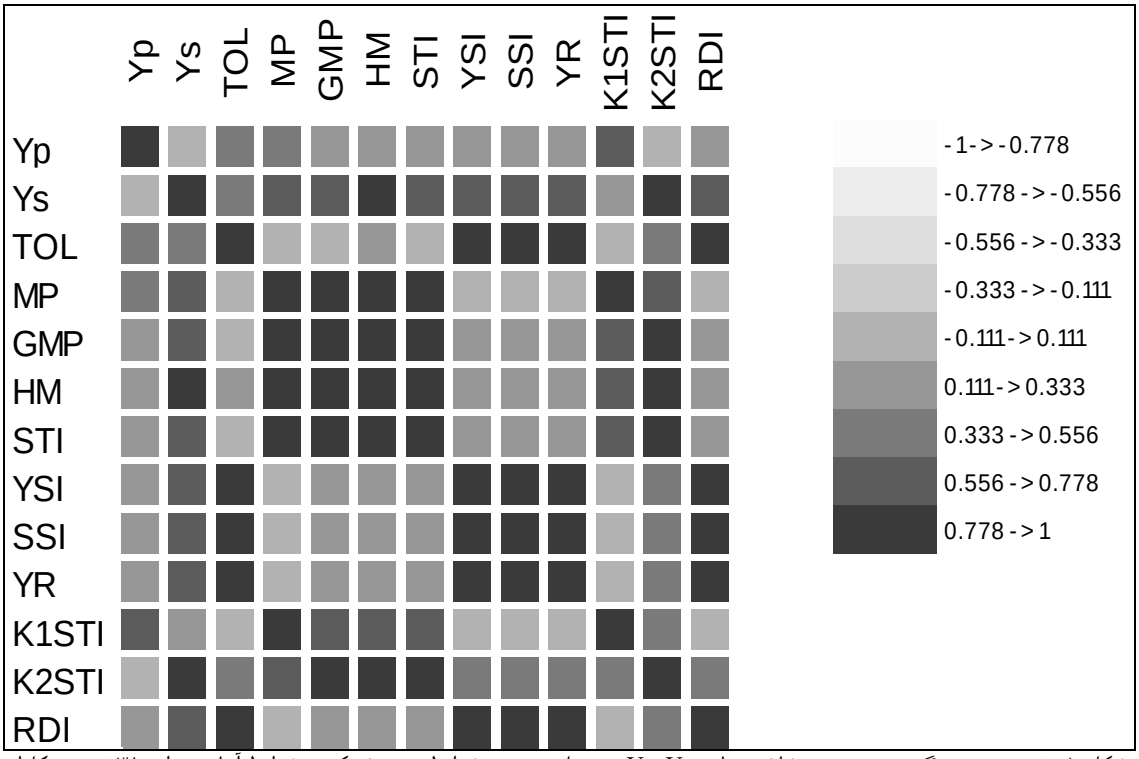
		میانگین مربعات											
منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد در شرایط نرمال	عملکرد در شرایط تنش خشکی	شاخص تحمل	متوسط بهره وری	بهره وری متوسط هندسی	متوسط هارمونی	شاخص تحمل تنش	شاخص پایداری عملکرد	شاخص حساسیت به تنش	درصدکاهش عملکرد	شاخص اصلاح شده تحمل تنش برای شرایط غیرتنش	شاخص اصلاح شده تحمل تنش برای شرایط تنش	شاخص خشکی نسبی
بلوک‌ها	۲	۰/۱۴	۰	۰/۱۹	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۰/۰۹	۶۶/۸	۰/۸۹	۰/۰۴	۰/۰۱
ژنوتیپ‌ها	۳۷	۰/۲۶**	۰/۳۵**	۰/۵۸***	۰/۱۶**	۰/۱۸**	۰/۲**	۰/۰۳**	۰/۰۲**	۰/۳۳**	۲۲۹/۱۱**	۱/۷۷**	۲/۱۱**	۰/۰۴**
خطا	۷۴	۰/۱	۰/۰۵	۰/۱۵	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۷	۵۳/۶	۰/۶۳	۰/۳۱	۰/۰۱
CV%		۶/۹۵	۶/۹۶	۳۰/۵۲	۴/۹۹	۵/۰۱	۵/۱۵	۱۰/۱۳	۱۰/۱	۲۶/۶	۲۶/۶	۲۲/۹۲	۲۲/۲۵	۱۰/۱

علامت **، * و ns: به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ درصد، معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ درصد و عدم معنی‌داری است.

جدول ۵- آمار توصیفی و ضریب تغییرپذیری ژنوتیپ (GCV%) برای شاخص‌های تحمل به خشکی در ۳۸ ژنوتیپ کلزا

Table 5. Descriptive statistics and genotypic coefficient of variability (GCV%) of drought tolerance indices in 38 oilseed rapes genotypes

پارامتر آماری	عملکرد در شرایط نرمال (تن در هکتار)	عملکرد در شرایط تنش خشکی (تن در هکتار)	شاخص تحمل	متوسط بهره وری	بهره وری متوسط هندسی	متوسط هارمونی	شاخص تحمل تنش	شاخص پایداری عملکرد	شاخص حساسیت به تنش	درصدکاهش عملکرد	شاخص اصلاح شده تحمل تنش برای شرایط غیرتنش	شاخص اصلاح شده تحمل تنش برای شرایط تنش	شاخص خشکی نسبی
حداقل	۳/۸۵	۲/۶۳	۰/۴۶	۳/۳۳	۳/۲۸	۳/۲۴	۰/۵۳	۰/۶	۰/۳۸	۱۰/۷	۱/۷۴	۱/۱۷	۰/۸۳
حداکثر	۵/۰۲	۴/۲	۲/۰۱	۴/۴۹	۴/۴۸	۴/۴۷	۰/۹۸	۰/۸۹	۱/۴۴	۴۰/۲۷	۴/۹۷	۵/۳۴	۱/۲۴
متوسط	۴/۵۲	۳/۲۵	۱/۲۷	۳/۸۸	۳/۸۲	۳/۷۷	۰/۷۲	۰/۷۲	۰/۹۹	۲۷/۷۸	۳/۲۹	۲/۴۲	۱
انحراف معیار	۰/۲۹	۰/۳۴	۰/۴۳	۰/۲۳	۰/۲۴	۰/۲۵	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۳	۸/۵۴	۰/۷۱	۰/۸	۰/۱۲
ضریب تغییر پذیری ژنوتیپ	۶/۴۵	۱۰/۳۹	۳۴/۱۷	۵/۹	۶/۲۴	۶/۷۱	۱۲/۴۵	۱۱/۸۲	۳۰/۷۳	۳۰/۷۳	۲۱/۵۶	۳۳/۲۶	۱۱/۸۲



شکل ۱- ضریب همبستگی پیرسون بین شاخص‌های Yp، Ys و تحمل تنش در شرایط تنش خشکی و شرایط آبیاری برای ۳۸ ژنوتیپ کلزا. Yp: عملکرد نرمال، Ys: علکرد خشکی، TOL: شاخص‌های تحمل به خشکی شامل شاخص تحمل، MP: شاخص متوسط بهره‌وری، GMP: شاخص بهره‌وری متوسط هندسی، HM: شاخص میانگین هارمونیک، STI: شاخص تحمل تنش، YSI: شاخص پایدرای عملکرد، SSI: شاخص حساسیت به تنش ، YR: درصد کاهش عملکرد، K1ST1: شاخص اصلاح‌شده تحمل تنش برای شرایط غیرتنش، K2STI: شاخص اصلاح‌شده تحمل تنش برای شرایط تنش، RDI: شاخص خشکی نسبی

Figure 1. Pearson correlation coefficients between Yp, Ys and stress tolerance indices under drought stress and irrigation conditions for 38 oilseed rapes genotypes, Yp: Yield potential; Ys: Yield stability; TOL: Tolerance index; MP: Mean productivity; GMP: Geometric mean productivity; HM: Harmonic mean; STI: Stress Tolerance index; YSI: Yield stability index; SSI: Stress susceptibility index; YR: Yield reduction(percentage); K1STI: Modified stress tolerance index for non-stressed; K2STI: Modified stress tolerance index for stressed; RDI: Relative drought index.

جدول ۶- سهم شاخص‌های مورد ارزیابی در دو مولفه اول حاصل از تجزیه به مولفه‌های اصلی

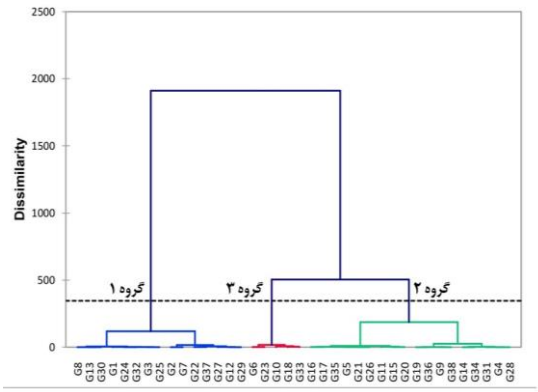
Table 6. Contribution of the evaluated indices of two first components of the principal component analysis

شاخص	مولفه اول	مولفه دوم
عملکرد نرمال	۰/۰۷۳	۲۲/۲۲۷
عملکرد خشکی	۱۱/۷۵	۰/۰۱
شاخص تحمل	۶/۲۱	۱۰/۵۶
شاخص متوسط بهره‌وری	۷/۲۷	۸/۵۳
شاخص بهره‌وری متوسط هندسی	۸/۸۷	۵/۴۸
شاخص میانگین هارمونیک	۱۰/۰۵	۳/۱۹
شاخص تحمل تنش	۸/۹۸	۵/۳۰
شاخص پایدرای عملکرد	۸/۰۵	۷/۰۴
شاخص حساسیت به تنش	۸/۰۵	۷/۰۴
درصد کاهش عملکرد	۸/۰۵	۷/۰۴
شاخص اصلاح‌شده تحمل تنش برای شرایط غیرتنش	۳/۳۶	۱۵/۹۱
شاخص اصلاح‌شده تحمل تنش برای شرایط تنش	۱۱/۱۷	۰/۵۸
شاخص خشکی نسبی	۸/۰۵	۷/۰۴

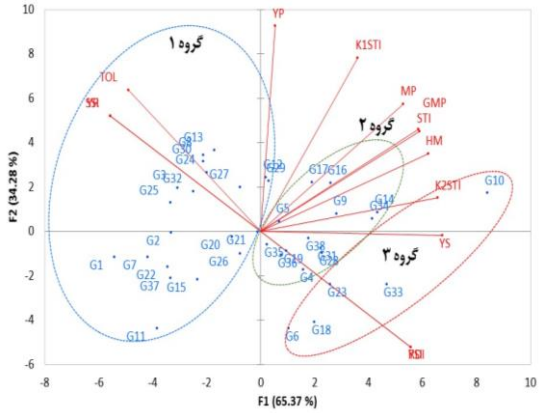
همه ژنوتیپ‌های موردمطالعه بااستفاده از روش WARD خوشه‌بندی شدند که نتایج در شکل ۲ نشان داده شده است. این تحلیل برای شناسایی ژنوتیپ‌ها با بیشترین فاصله ژنتیکی طبق عملکرد آنها تحت شرایط نرمال و تنش خشکی و همچنین شاخص‌های محاسبه‌شده تحمل به خشکی آنها می‌باشد. تحلیل خوشه‌ای، ژنوتیپ‌ها را در سه دسته طبقه‌بندی نمود. همه دسته‌های تحلیل خوشه‌ای با تغییر مقادیر و نرمال‌سازی به عدد Z ازلحاظ شاخص‌هایشان مقایسه شدند و نتایج در شکل ۳ نشان داده شده است. گروه اول از ۱۵ ژنوتیپ تشکیل شده بود که بیشترین و کمترین عملکرد را به‌ترتیب تحت شرایط نرمال و تنش خشکی داشتند. بنابراین، کاهش شدیدی در این گروه تحت شرایط تنش خشکی

مشاهده شد. کمترین STI، RDI و K2STI به گروه ۱ متعلق بود که حساسیت شدید به خشکی در ژنوتیپ‌های موجود در این گروه را نشان می‌دهد. کمترین YSI در این گروه مشاهده شد که نشان می‌دهد این گروه از ژنوتیپ‌های سازگار تشکیل نشده است. علاوه‌بر این، این گروه شامل بیشترین شاخص‌های TOL، SSI و YR بود که بر حساسیت آن‌ها به تنش خشکی تأکید داشت. تعیین مشخصات ژنوتیپ‌های این گروه با ژنوتیپ‌هایی که توسط مؤلفه دوم PCA متمایز شده بودند، مطابقت دارد. گروه دوم بزرگ‌ترین گروه و شامل ۱۸ ژنوتیپ بود. ژنوتیپ‌های گروه دوم از نظر مقادیر شاخص‌ها اغلب در حدواسط بین گروه‌های ۱ و ۳ بودند؛ اما الگوی تغییرپذیری شاخص‌های آنها بیشتر به گروه ۳ شباهت داشت. درنهایت، گروه سوم که از ۵ ژنوتیپ شامل G6، G10، G18، G23 و G33 تشکیل می‌شود، بر اساس اکثر شاخص‌های تحمل به خشکی، ژنوتیپ‌های برتر بودند و عملکرد قابل قبولی برای این ژنوتیپ‌ها تحت شرایط نرمال مشاهده شد، اما عملکرد بسیار بالایی را درمقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها تحت شرایط تنش نشان دادند. بیشترین STI، RDI و K2STI به این گروه متعلق بود که نشان‌دهنده ژنوتیپ‌های با تحمل بالای این گروه نسبت به تنش خشکی می‌باشد. بیشترین YSI به این گروه تعلق داشت که پایداری آنها را اثبات می‌کند. علاوه‌براین، این گروه کمترین شاخص‌های TOL، SSI و YR را نشان می‌دهد که نشان‌دهنده کمترین کاهش و حساسیت در شرایط تنش خشکی می‌باشد. سومین گروه تجزیه خوشه‌ای، نتایج مؤلفه اول PCA را تایید می‌کند که ژنوتیپ‌های G33، G23، G18، G6 و G10 را به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی و پایدار از یکدیگر متمایز می‌سازد.

الف)

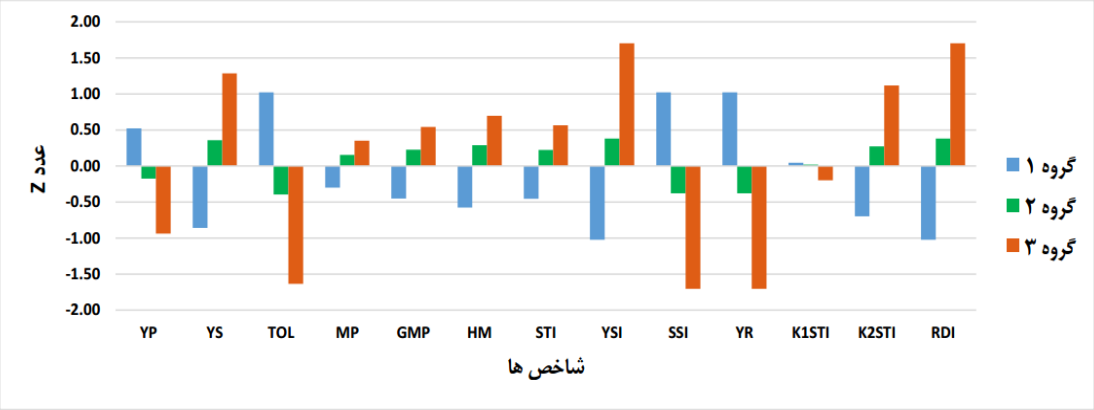


ب)



شکل ۲- الف) تجزیه خوشه‌ای ۳۸ ژنوتیپ کلزا مورد بررسی بر اساس شاخص‌های تحمل به خشکی و با استفاده از روش WARD . ب) نمودار بای‌پلات با استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای ۳۸ ژنوتیپ کلزا و براساس دو مؤلفه اصلی و بردارهای شاخه‌های شاخص‌های تحمل به خشکی. Yp: عملکرد نرمال، Ys: علکرد خشکی، TOL: شاخص‌های تحمل به خشکی شامل شاخص تحمل، MP: شاخص متوسط بهره‌وری، GMP: شاخص بهره‌وری متوسط هندسی، HM: شاخص میانگین هارمونیک، STI: شاخص تحمل تنش، YSI: شاخص پایدرای عملکرد، SSI: شاخص حساسیت به تنش ، YR: درصد کاهش عملکرد، K1ST1: شاخص اصلاح‌شده تحمل تنش برای شرایط غیرتنش، K2STI: شاخص اصلاح‌شده تحمل تنش برای شرایط تنش، RDI: شاخص خشکی نسبی

Figure 2. a) cluster analysis of 38 oilseed rape genotypes evaluated based on drought tolerant indices using WARD method. b) Biplot graph using principal component analysis for38 oilseed rape genotypes based on two principal components and vectors of drought tolerance indices. Yp: Yield potential; Ys: Yield stability; TOL: Tolerance index; MP: Mean productivity; GMP: Geometric mean productivity; HM: Harmonic mean; STI: Stress Tolerance index; YSI: Yield stability index; SSI: Stress susceptibility index; YR: Yield reduction(percentage); K1STI: Modified stress tolerance index for non-stressed; K2STI: Modified stress tolerance index for stressed; RDI: Relative drought index



شکل ۳- مقایسه سه گروه حاصل از تحلیل خوشه‌ای برای شاخص‌های تحمل به خشکی کلزا. Yp: عملکرد نرمال، Ys: علکرد خشکی، TOL: شاخص‌های تحمل به خشکی شامل شاخص تحمل، MP: شاخص متوسط بهره‌وری، GMP: شاخص بهره‌وری متوسط هندسی، HM: شاخص میانگین هارمونیک، STI: شاخص تحمل تنش، YSI: شاخص پایدرای عملکرد، SSI: شاخص حساسیت به تنش، YR: درصد کاهش عملکرد، K1ST1: شاخص اصلاح‌شده تحمل تنش برای شرایط غیرتنش، K2STI: شاخص اصلاح‌شده تحمل تنش برای شرایط تنش، RDI: شاخص خشکی نسبی

Figure 3. Comparison of three classes of cluster analysis for oilseed rape drought tolerance indices. Yp: Yield potential; Ys: Yield stability; TOL: Tolerance index; MP: Mean productivity; GMP: Geometric mean productivity; HM: Harmonic mean; STI: Stress Tolerance index; YSI: Yield stability index; SSI: Stress susceptibility index; YR: Yield reduction (percentage); K1STI: Modified stress tolerance index for non-stressed; K2STI: Modified stress tolerance index for stressed; RDI: Relative drought index

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد که تغییرپذیری قابل‌توجهی در شاخص‌های تحمل به خشکی در ۳۸ ژنوتیپ کلزای موردمطالعه وجود دارد. نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی و تجزیه خوشه‌ای یکدیگر را تأیید نمودند. سه گروه اصلی از ژنوتیپ‌های ارزیابی شده در مطالعه پیش رو شناسایی شدند. گروه‌های اول و سوم، از لحاظ پایداری عملکرد و تحمل به خشکی، گروه‌های مناسبی بودند که به‌ترتیب با مؤلفه دوم و اول PCA مطابقت داشتند. درنهایت، گروه ۳ شامل ژنوتیپ‌های G6، G10، G18، G23 و G33 به‌عنوان گروه برتر در این مطالعه انتخاب شد که متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها درمقابل خشکی بوده و عملکرد آنها تحت شرایط نرمال و تنش خشکی، مطلوب بود.

منابع

1. Anwar, J., G.M. Subhani, M. Hussain, J. Ahmad, M. Hussain and M. Munir. 2011. Drought tolerance indices and their correlation with yield in exotic wheat genotypes. Pakistan Journal of Botany, 43(3): 1527-1530.
2. Bagheri, H. and S. Jamaati-e-Somarin. 2011. Study of drought stress on agronomic traits of winter canola (*Brassica napus* L.). Scientific Research and Essays, 6(25): 5285-5289.
3. Bouslama, M. and W. Schapaugh Jr. 1984. Stress tolerance in soybeans. I. Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance 1. Crop Science, 24(5): 933-937.
4. Choukan, R., T. Taherkhani, M. Ghanadha and M. Khodarahmi. 2006. Evaluation of drought tolerance in grain maize inbred lines using drought tolerance indices. Iranian Journal of Crop Sciences, 8: 79-89 (In Persian).
5. Clarke, J.M., R.M. DePauw and T.F. Townley-Smith. 1992. Evaluation of methods for quantification of drought tolerance in wheat. Crop Science, 32(3): 723-728.
6. Din, J., S. Khan, I. Ali and A. Gurmani. 2011. Physiological and agronomic response of canola varieties to drought stress. Journal of Animal and Plant Science, 21(1): 78-82.
7. FAO. 2018. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Food and Agricultural Commodities Production. Available online: http://www.fao.org/statistics/en
8. Faraji, A., N. Latifi, A. Soltani and A.H.S. Rad. 2009. Seed yield and water use efficiency of canola (*Brassica napus* L.) as affected by high temperature stress and supplemental irrigation. Agricultural Water Management, 96(1): 132-140.
9. Farshadfar, E. and J. Sutka. 2002. Screening drought tolerance criteria in maize. Acta Agronomica Hungarica, 50(4): 411-416.
10. Fernandez, G.C. 1993. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In Proceeding of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crops in Temperature and Water Stress, Shanhua, Taiwan, pp: 257-270.
11. Fischer, R. and R. Maurer. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. Australian Journal of Agricultural Research, 29(5): 897-912.

12. Haq, T., A. Ali, S. Nadeem, M.M. Maqbool and M. Ibrahim. 2014. Performance of canola cultivars under drought stress induced by withholding irrigation at different growth stages. Soil and Environment, 33(1): 43-50.
13. Khalaj, H., S.S. Noori, A.S. Rad, G.A. Akbari, E.A. Dadi and M. Labbafi. 2007. The assessment of appling drought stress on different canola (*Brassica napus* L.) cultivars. in The 12th International Rapeseed Congress.
14. Khalili, M., A.P. Aboughadareh, M.R. Naghavi and S. Talebzadeh. 2012. Response of spring canola (*Brassica napus* L.) genotypes to water deficit stress. International Journal of Agricultural Crop Science, 4: 1579-1586.
15. Lobell, D.B. and S.M. Gourdji. 2012. The influence of climate change on global crop productivity. Plant Physiology, 160(4): 1686-1697.
16. Majidi, M., F. Rashidi and Y. Sharafi. 2015. Physiological traits related to drought tolerance in Brassica. International Journal of Plant Production, 9(4).
17. Malekshahi, F., H. Dehghani, and B. Alizadeh. 2009. Study of drought tolerance indices in some spring rapeseed cultivars (*Brassica napus* L). Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources, 48: 77-89.
18. Mirzaei, A., R. Naseiri, A. Moghadam and M. Esmailpour-Jahromi. 2013. The effects of drought stress on seed yield and some agronomic traits of canola cultivars at different growth stages. Bulletin Environmental Pharmacology Life Science, 2: 115-121.
19. Moradshahi, A., E.A.B. Salehi and B.B. Khold. 2004. Some physiological responses of canola (*Brassica napus* L.) To water deficit stress under laboratory conditions. Iranian Journal Of Science And Technology Transaction A- Science, 28: p. 43-50.
20. Nazemi, G. and A. Alhani. 2014. The effects of water deficit stress on seed yield and quantitative traits of Canola cultivars. International Journal of Farming and Allied Sciences, 3: 819-822.
21. Resketo, P. and L. Szabo. 1992. The effect of drought on development and yield components of soybean. International Journal of Tropical Agriculture, 8: 347-354.
22. Richards, R. 1978. Genetic analysis of drought stress response in rapeseed (*Brassica campestris* and *B. napus*). I. Assessment of environments for maximum selection response in grain yield. Euphytica, 27(2): 609-615.
23. Rosielle, A. and J. Hamblin. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment 1. Crop Science, 21(6): 943-946.
24. Schneider, K.A., R. Rosales-Serna, F. Ibarra-Perez, B. Cazares-Enriquez, J.A. Acosta-Gallegos, P. Ramirez-Vallejo, N. Wassimi and J.D. Kelly. 1997. Improving common bean performance under drought stress. Crop Science, 37(1): 43-50.
25. Sepehri, A. and A.R. Golparvar. 2011. The effect of drought stress on water relations, chlorophyll content and leaf area in canola cultivars (*Brassica napus* L.). Electronic Journal of Biology, 7(3): 49-53.
26. Shahverdikandi, M.A., A. Tobeh, S.J. Godehkahriz and Z. Rastegar. 2011. The study of germination index of canola cultivars for drought resistance. International Journal of Agronomy and Plant Production, 2: 89-95.
27. Simane, B., P. Struik, M. Nachit and J. Peacock. 1993. Ontogenetic analysis of yield components and yield stability of durum wheat in water-limited environments. Euphytica, 71(3): 211-219.
28. Tabari, H., H. Abghari and P. Hosseinzadeh Talaee. 2012. Temporal trends and spatial characteristics of drought and rainfall in arid and semiarid regions of Iran. Hydrological Processes, 26(22): 3351-3361.
29. Warwick, S., A. Francis and I. Al-Shehbaz. 2006. Brassicaceae: species checklist and database on CD-Rom. Plant Systematics and Evolution, 259(2-4): 249-258.
30. Wu, W., B.L. Ma and J.K. Whalen. 2018. Enhancing rapeseed tolerance to heat and drought stresses in a changing climate: perspectives for stress adaptation from root system architecture, in Advances in Agronomy. Elsevier, 87-157.
31. Yarnia, M., N. Arabifard, F.R. Khoei and P. Zandi. 2011. Evaluation of drought tolerance indices among some winter rapeseed cultivars. African Journal of Biotechnology, 10(53): 10914-10922.
32. Yousefi, A. 2017. Evaluation of drought tolerance indices in three canola species (*Brassica* spp.) Under irrigation restriction conditions. Environmental Stresses in Crop Sciences, 10(2): 257-267.
33. Zahravi, M. 2009. Evaluation of genotypes of wild barley (Hordeum spontaneum) based on drought tolerance indices. Seed and Plant Improvement Journal, 4: 533-Pe549
34. Zali, H., T. Hasanloo, O. Sofalian, A. Asgharii and M. Enayati Shariatpanahi. 2019. Identifying drought Tolerant Canola Genotypes using Selection Index of Ideal Genotype. Journal of Crop Breeding, 11(29): 117-126.
35. Zarei, G., H. Shamsi, and S.M. dehghani. 2010. The effect of drought stress on yield, yield components and seed oil content of three autumnal rapeseed cultivars (*Brassica napus* L.). Journal Of Research In Agricultural Science, 6(1): 29-36.

Identification of Drought Tolerant Oilseed Rape Genotypes using Multivariate Analysis

Behroz Aminzadeh[1], Behzad Sani[1], Bahram Alizadeh[1,2] and Hamid Mozaffari[1]

1- Department of Agronomy, Shahr -e- Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2- Associate Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran, (Corresponding author: alizadeh.oilseed@gmail.com)
Received: 17 October, 2021 Accepted: 18 January, 2022

Extended Abstract

Introduction and Objective: Drought stress as one of the most important abiotic stress is the main limiting factor of oilseed rape cultivation in arid and semi-arid climates. Therefore, the identification of drought tolerant genotypes is the essential programs in these regions. One of the appropriate methods to identify drought tolerant genotypes is the use of stress tolerance indices. To this end, the present study was designed to detect drought tolerant among 38 winter genotypes using drought tolerance indices.

Material and Methods: The experiment was based on randomized complete block design (RCBD) with three replications under both normal and drought conditions during 2016 to 2017 cropping season. In the well-watered experiment, irrigation was performed in five stages, while in drought treatment, irrigation was stopped before flower initiation. The yield of genotypes under normal and drought conditions using drought tolerant indices, including; TOL, MP, GMP, HM, STI, YSI, SSI, YR, K1STI, K2STI and RDI were investigated to identify drought tolerant and susceptible genotypes.

Results: Analysis of variance showed a significant difference among evaluated genotypes for all drought tolerance indices. The highest coefficient of genotype variability was observed for TOL and SSI, YR and K2ST1 indices. Correlation analysis showed a significant positive correlation between Yp and TOL, SSI and YR, while a negative correlation was observed for Ys. The principal component analysis showed that the two first components covered 99.64% of all data variations. 65.36 and 34.28% of the variation were covered by the first and second components, respectively. The first component detected tolerant genotypes, but the second component identified drought sensitive genotypes. Cluster analysis, while confirming the results of principal component analysis, classified genotypes into three categories. Cluster analysis confirmed the PCA results, which separated drought tolerant genotypes (Class 3) from sensitive genotypes (Class 1).

Conclusion: Finally, this research detected five superior genotypes, including; G6, G10, G18, G23 and G33, which were the most drought tolerant genotypes and their yields were not significantly changed under normal and drought stress conditions.

Keywords: *Brassica*, Canola, Drought Tolerant Indices, Principal Component Analysis, Stress