نشریه پژوهش های کاربردی زراعی
دوره۳۵- شماره ۳- پیاپند ۱۳۶ پائیز ۱۴۰۱

ارزیابی اثرات تنش خشکی آخر فصل بر عملکرد و برخی صفات ژنوتیپ های کلزای زمستانه

Evaluation of the Effects of Terminal Drought Stress on yield and Some Traits of Winter Oilseed Rape Genotypes

الهه شادان*[1]، حمید نجفی زرینی[2]، بهرام علیزاده[3]، غفار کیانی[2]، غلامعلی رنجبر[2]

۱. دانشجوی دکتری و اعضای هیات علمی گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری ، (نگارنده مسئول)
۲. دانشجوی دکتری و اعضای هیات علمی گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۳. عضو هیأت علمی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۱۸ - شناسانهٔ برنمود رقمی: 10.22092/aj.2023.355332.1555

چکیده

شادان،ا.، نجفی زرینی، ح.، علیزاده، ب.، کیانی، غ.، رنجبر، غ.، . ارزیابی اثرات تنش خشکی آخر فصل بر عملکرد و برخی صفات ژنوتیپ های کلزای زمستانه
نشریه پژوهش های کاربردی زراعی دوره ۳۵ - شماره ۳- پیاپند ۱۳۶ پائیز ۱۴۰۱ صفحه: ۶۶-۴۶

به منظور ارزیابی اثر تنش خشکی بر صفات مورفو-فنولوژیک، فیزیولوژیک و زراعی و شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی با عملکرد بالا، آزمایشی در موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج به مدت دوسال زراعی (۹۵-۹۷) در شرایط آبیاری کامل و اعمال تنش خشکی آخر فصل (آغاز غلاف‌دهی) بر برخی ژنوتیپ‌های جدید کلزا در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. نتایج تجزیه مرکب نشان داد اثر خشکی بر اکثر صفات مورد ارزیابی به‌غیر از ارتفاع اولین ساقه فرعی، روز تا پایان و طول گلدهی و درصد روغن معنی‌دار بود. با انجام تجزیه عاملی در شرایط نرمال چهار و در شرایط تنش خشکی سه عامل شناسایی شدند که به ترتیب در مجموع ۸۵/۳۵ و ۸۲/۵۱ درصد تغییرات را توجیه کردند. این عوامل به ترتیب در شرایط نرمال "عملکرد، مخزن و ارتفاع"، "رنگیزه گیاهی"، "صفات فنولوژیک" و "شاخص کلروفیل" و در شراسط استرس عامل "صفات فیزیولوژیک-مورفولوژیک و بهره‌وری"، " رنگیزه گیاهی" و "ارتفاع و مخزن" نامیده شد. از بین شاخص‌های خشکی محاسبه شده، شاخص‌های MP، GMP، HMP، YI و STI همبستگی بالایی با عملکرد دانه تحت شرایط نرمال و تنش خشکی نشان دادند. بنابراین می‌توان از این شاخص‌ها برای گزینش ارقام متحمل استفاده کرد. بنابرنتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی، رسم بای‌پلات و تجزیه خوشه‌ای بر اساس این شاخص‌ها، ژنوتیپ‌های شماره، ۵، ۱٤، ۱۵، ٦ و ۷ به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی آخر فصل با عملکرد بالا شناسایی شدند. از این ژنوتیپ‌ها می‌توان در کرج و مناطقی که دارای شرایط اقلیمی مانند کرج هستند استفاده کرد.

واژه های کلیدی: ای‌پلات، تجزیه به مولفه اصلی، تجزیه خوشه‌ای، تجزیه عاملی، شاخص‌های تحمل به تنش.

آدرس پست الکترونیکی نگارنده مسئول: elahe_shadan96@yahoo.com

مقدمه:

کلزا دارای بالاترین میزان روغن دانه و بیشترین ارزش غذایی نسبت به سایر دانه‌های روغنی به علت وجود پایین ترین مقداراسید چرب اشباع شده در میان گیاهان دانه روغنی است (Shahsavarari & Dadrasnia, 2016). کمبود آب به عنوان عامل اصلی محمدود کننده عملکرد گیاهان تحت شرایط تنش خشکی می‌باشد. همزمانی تنش خشکی با مراحل حساس گلدهی، غلاف‌دهی و منجر به کاهش بیشتر عملکرد نسبت به سایر مراحل رشد در گیاه کلزا می‌شود (Kahrizi & Allahvarand, 2012). مطالعه پاسخ‌های مورفولوژیکی و فیزولوژیکی گیاه تحت شرایط تنش خشکی موجب درک چگونگی پاسخگویی وسازگاری گیاهان در شرایط تنش خشکی می‌شود. برخی صفات زراعی و مورفولوژیکی مانند ارتفاع، تعداد شاخه فرعی، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن هزار دانه نه تنها بر میزان تحمل به شرایط کم آبی تاثیر می‌گذارد بلکه نشان می‌دهد گیاهان چگونه به وسیله این تغییرات با شرایط تنش سازگار می‌شوند (Sharifi *et al*., 2015; Liu, 2015). در پژوهشی، دلیل برتری ارقام از نظر عملکرد تحت شرایط تنش خشکی افزایش ظرفیت مخزن (تعداد غلاف در بوته، طول غلاف و تعداد دانه در غلاف) و برتری در مقدار کلروفیل و محتوای نسبی آب برگ عنوان شد (Eyni Nargeseh *et al.,* 2019). تجزیه عاملی از روش‌هـــای آماری چند متغیره، جهـــت درک عمیق‌تر روابط بین صفات است و یک روش آمـــاری موثر در کاهش حجم داده‌ها و نتیجه‌گیری قطعی از داده‌هایی است که همبستگی بالایی را بین متغیرهای اولیه نشـــان می‌دهند (Cooper, 1983). طی تحقیقی با انجام تجزیه به عامل‌ها در شرایط نرمال و خشکی، چهار عامل در هر یک از شرایط شناسایی شد. این عامل ها به ترتیب ۷۸/۲ و ۶۲/۷ درصد از تغییرات کل را توجیه کردند (Bilgrami *et al*., 2018). انتخاب ارقام مقاوم در برابر تنش خشکی و اتخاذ روش‌های زراعی صحیح از راه‌های مقابله با تنش خشکی است. (Guerrini, 2020). انتخاب بر اساس عملکرد ژنوتیپ‌ها در هر دو محیط تنش و بدون تنش، باعث انتخاب ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا و مقام تنش می‌شود (Fernandez, 1992). شاخص‌هایی که همبستگی بالایی در هر دو شرایط تنش و نرمال با عملکرد داشته باشند ، به دلیل اینکه، قادر به شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو محیط هستند به‌عنوان بهترین شاخص‌ها معرفی می‌شوند و برای تخمین پایداری عملکرد و انتخاب ژنوتیپ‌های مقاوم می‌توان از آنها استفاده کرد (Fernandez, 1992; Pour-Aboughadareh, 2020). در بررسی روابط بین ژنوتیپ‌ها و شاخص‌های تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های کلزا، از تجزیه به مولفه‌های اصلی و روش بای‌پلات استفاده شد. نتایج نشان داد که مولفه اول دارای همبستگی مثبت و بالایی با شاخص‌های تحمل به تنش (STI)، میانگین بهره‌وری (MP)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) و عملکرد دانه در شرایط نرمال بود و ژنوتیپ‌های دارای پتانسیل عملکرد بالا و همچنین تا حدودی متحمل به تنش خشکی را

شناسایی نمود (Zareei Siahbidi & Rezaeizad, 2020). با توجه به شرایط اقلیمی حاکم بر کشور و نیاز روز افزون به روغن خوراکی تحقیق حاضر با هدف بررسی اثر تنش خشکی آخر فصل (همزمان با آغاز غلاف‌دهی) بر صفات مورفولوژیکی، فنولوژیکی، فیزیولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های جدید کلزای مورد مطالعه و شناسایی ژنوتیپ‌های سازگار به شرایط نرمال و تنش خشکی با استفاده از برخی شاخص‌های تحمل به تنش بود.

مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر به مدت دو سال زراعی (۱۳۹۵-۱۳۹۷) در مزرعه موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج با موقعیت جغرافیایی ° ۳۵ و ' ۴۹ طول شمالی و ° ۵۱ و ' ۶ عرض شرقی با ارتفاع ۱۳۲۱ متر از سطح دریا انجام شد. (اطلاعات مربوط به هواشناسی به علت محدودیت فضا به صورت جداگانه بارگذاری شده است). این پژوهش در هر دو سال، به صورت دو آزمایش جداگانه، نرمال (آبیاری کامل) و تنش خشکی (قطع آبیاری از ابتدای غلاف‌دهی) در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با ۳ تکرار و تعداد ۱۶ ژنوتیپ انجام شد. ژنوتیپ‌ها شامل ۹ رقم هیبرید خارجی جدید DK Expower، DK Extorm،DK Excalibur، ES Natalie، ES Danube، ES Artist، SY-Vesuvio، SY-Medea، SY-Harnus و لاین‌های امید بخش HL3721، HL2012،L72 و SW102 و ارقام SLM046، Okapi و Ahmadi بود. عملیات کاشت در مهر ماه سال ۹۵ و ۹۶ انجام گرفت. تمامی واحدهای آزمایشی تا قبل از اعمال تنش، از نظر آبیاری و اعمال مدیریت‌های زراعی به‌صورت یکسان در نظر گرفته شدند. در طول دوره رشد، صفات فنولوژیک شامل روز تا شروع گلدهی، روز تا پایان گلدهی، طول دوره گلدهی و روز تا رسیدگی برای هر رقم ثبت شد. صفات فیزیولوژیک شامل محتوای نسبی آب برگ به روش (Clarke, 1992)، کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها به روش (Arnon, 1967) و میزان سبزینگی برگ (عدد SPAD) به روش غیر تخریبی و توسط دستگاه کلروفیل‌متر دستی اندازه‌گیری شد. به منظور تعیین ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته ، تعداد دانه در غلاف، تعداد شاخه فرعی و ارتفاع اولین ساقه جانبی از سطح زمین از هر کرت آزمایشی ۱۰ بوته به‌طور تصادفی انتخاب و میانگین این صفات در آنها تعیین شد .برای تعیین وزن هزار دانه، سه نمونه ازمحصول هر کرت به وسیله دستگاه بذر شمار، شمارش وسپس توزین شد و میانگین آنها به‌عنوان وزن هزاردانه یادداشت شد. عملکرد دانه پس از رسیدن فیزیولوژیک در هر تیمار با حذف دو خط کناری و ۰/۵ متر از ابتدا و انتهای هر کرت بر حسب تن در هکتار ثبت شد. درصد روغن با استفاده از دستگاه سوکسله استخراج و عملکرد روغن نیز از حاصلضرب درصد روغن هر رقم در عملکرد دانه آن محاسبه شد. برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها ازنظر تحمل به خشکی شاخص‌های ذیل محاسبه شدند: شاخص تحمل (Tolerance TOL = Y_p-Y_s)، میانگین بهره‌وری حسابی MP (= (Yp+Ys)/ ، میانگین بهره‌وری هندسی GMP (= √ (Yp×Ys)، میانگین هارمونیک HARM= 2

جدول۱ - تجزیه واریانس مرکب برخی صفات مورد مطالعه در ارقام کلزا

Table 1. Combined analysis of variance for some of the studied traits in rapeseed cultivars

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی D.F.	عملکرد دانه Grain yield ($kg.ha^{-1}$)	تعداد غلاف دربوته Pods per plant	تعداد دانه در غلاف Seeds per pod	ارتفاع گیاه Plant height (cm)	کلروفیل a Chlorophyll a (mg/g.fw)	کلروفیل b Chlorophyll b (mg/g.fw)	کاروتنوئید Carotenoids (mg/g.fw)	محتوای نسبی آب Relative water content	شاخص کلروفیل SPAD
سال Year	1	26.84^{*}	3044.11^{**}	2304.99^{**}	9558.11^{*}	10.66^{ns}	0.381^{**}	2.151^{ns}	3.718^{*}	105.29^{ns}
تنش Stress	1	40.59^{*}	71811.89^{**}	1822.8^{*}	18057.5^{*}	12.02^{*}	2.847^{**}	0.027^{**}	10377^{**}	9642.8^{*}
تنش× سال Year×Stress	1	.0148	0.736^{ns}	9.01^{ns}	50.47^{ns}	0.07^{ns}	0.00035^{ns}	0.111^{**}	0.003^{ns}	23.36^{ns}
(تکرار) سال×تنش (Replication)Year×Stress	8	0.625	1899.73	43.34	285.51	0.323	0.015	0.005	273.4	507.07
ژنوتیپ Genotype	15	2.003^{**}	4660.56^{**}	116.47^{ns}	1117.8^{**}	1.35^{**}	0.056^{**}	0.244^{**}	440.3^{ns}	228.73^{ns}
ژنوتیپ× سال Year× Genotype	15	0.076^{ns}	924.713^{ns}	47.195^{**}	218.09^{ns}	0.1^{ns}	0.01^{ns}	0.044^{ns}	25.17^{ns}	83.69^{ns}
ژنوتیپ× تنش Stress × Genotype	15	0.151^{**}	416.82^{ns}	22.70^{*}	253.86^{ns}	0.19^{ns}	0.008^{ns}	0.055^{ns}	291.6^{**}	106.43^{ns}
سال×تنش× ژنوتیپ Year× Stress × Genotype	15	0.033^{ns}	496.55^{**}	7.55^{ns}	111.08^{**}	0.086^{**}	0.008^{*}	0.032^{**}	20.99^{ns}	65.62^{ns}
اشتباه Error	120	0.194	152.74	4.77	47.54	0.029	0.004	0.004	77.82	101.07

ns، * و ** به ترتیب عدم معنی دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد

^{ns}, * and **: not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively

$(\bar{Y}p\times\bar{Y}s)/Y_p+Ys$ STI= ،شاخص تحمل تنش
$(Yp\times Ys)/(\bar{Y}p)^2$ ،(Fernandez, 1992)، شاخص عملکرد YI= YS/ $\bar{Y}s$، شاخص حساسیت به تنش SSI=1- (Ys/Yp)/SI که در آن SI شدت تنش می‌باشد و از فرمول SI=1- $\bar{Y}s$ / $\bar{Y}p$ به دست می‌آید (Fisher & Maurer, 1978). Yp، Ys، به ترتیب عملکرد ژنوتیپ درشرایط نرمال و تنش خشکی و $\bar{Y}p$ و $\bar{Y}s$ به ترتیب میانگین عملکرد همه ژنوتیپ‌ها در شرایط نرمال و تنش خشکی می‌باشد. آزمون بارتلت جهت آزمون همگنی واریانس آزمایش‌های مختلف در سال‌ها و تیمارهای مختلف آبی انجام و پس از حذف صفات تعداد شاخه فرعی و روز تا شروع گلدهی تجزیه مرکب توسط نرم افزار SAS انجام و آزمون F تجزیه مرکب بر اساس امید ریاضی میانگین مربعات انجام شد. تجزیه به مولفه‌های اصلی (PCA) بر اساس شاخص‌های تنش توسط نرم افزار MSTATC و تجزیه خوشه‌ای، و رسم نمودار بای‌پلات به کمک نرم‌افزار STATGRAPH انجام شد.

نتایج و بحث

تجزیه مرکب

نتایج تجزیه واریانس مرکب (جدول، ۱) داده‌های دو ساله نشان داد که اثر سال بر صفات عملکرد دانه، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن هزاردانه، ارتفاع، کلروفیل b و RWC معنی‌دار بود. شرایط آب و هوایی در دو سال آزمایش با هم متفاوت بود. به دلیل وجود شرایط آبی بهتر درسال دوم (بارش بیشتر باران) صفات مورد بررسی تحت تأثیر قرار گرفته‌اند. تاثیر تنش خشکی بر تمام صفات مورد ارزیابی به غیر از روز تا پایان گلدهی، طول گلدهی و درصد روغن معنی‌دار بود. اثر متقابل سال و خشکی تنها بر صفت کاروتنوئیدها معنی‌دار بود. نتایج تجزیه واریانس مرکب برای ژنوتیپ‌ها نشان داد که ژنوتیپ‌های مورد بررسی از تنوع زیادی برخوردار بودند و از نظرصفات عملکرد، عملکرد روغن، تعداد غلاف در بوته ، ارتفاع بوته ، روز تا پایان‌گلدهی، طول گلدهی، روز تا رسیدگی، درصد روغن، کلروفیل a و b و میزان کاروتنوئیدها دارای اختلاف معنی‌داری با یکدیگر بودند. اثر تنش خشکی بر صفات مورد ارزیابی شده در این آزمایش به شرح زیر می‌باشد:

کلروفیل a و b و کاروتنوئیدها

همانطور که مشاهده می‌شود (جدول، ۲) تنش خشکی باعث کاهش میزان کاروتنوئیدها، کلروفیل a و b شده است. اما در مورد عدد SPAD مقدار آن در اثر تنش خشکی افزایش یافته است. تنش موجب افزایش تولید انواع اکسیژن فعال می‌شود و کاهش میزان کلروفیل، نشان دهنده میزان آسیب‌های اکسیداتیو است. دلیل این کاهش می‌تواند بازدارندگی مراحل مختلف بیوسنتز کلروفیل باشد، و همچنین با افزایش میزان تنش روند تخریب رنگیزه‌های کلروفیل توسط آنزیم کلروفیلاز نیز با سرعت بیشتری انجام می‌شود (Goldani, 2012). افزایش عددSPAD هنگام تنش خشکی احتمالاً به‌دلیل کاهش سطح برگ گیاه و تجمع کلروفیل در سطح کمتر برگ‌ها است. در واقع، گیاه سطح تعریق را به‌دلیل کاهش تلفات آب، از طریق کمترکردن سطح برگ در شرایط

تنش، کم کرده و در نتیجه با کاهش سطح برگ، میزان کلروفیل در واحد سطح برگ افزایش می‌یابد .(Salehi *et al*., 2003) . کاهش مقدار کلروفیل در گیاهان جنبه سازگاری داشته و با این کار الکترون‌های برانگیخته شده طی فرآیند فتوسنتز، کاهش و در نتیجه خسارت‌های ناشی از تشکیل رادیکال‌های آزاد اکسیژن کم می‌شود (Kranner *et al.,* 2002). کاروتنوئیدها آنتی اکسیدان‌های چربی دوست در کلروپلاست هستند که غشاهای کلروپلاستی را در مقابل تنش اکسیداتیو محافظت می کنند. کاروتنوئیدها علاوه بر نقش ساختمانی و جذب نور می‌توانند به صورت مستقیم اکسیژن یکتایی را غیر فعال کنند و یا از طریق فرو نشاندن کلروفیل برانگیخته شده، به صورت غیر مستقیم از تشکیل اکسیژن یکتایی جلوگیری کنند (Loggini *et al*., 1999; Munne-Bosch & Penuelas, 2003). و بدین شکل مانع شروع پراکسیداسیون لیپیدی در دستگاه فتوسنتزی بشوند. ژنوتیپ‌هایی که مقدار کلروفیل بالاتری داشتند مقاومت بیشتری در برابر تنش خشکی نشان دادند (Eyni Nargeseh *et al.,* 2019). تدوام فتوسنتز و حفظ کلروفیل برگ‌ها هنگام تنش خشکی از جمله شاخص‌های فیزیولوژیک مقاومت به تنش است و به‌عنوان یک معیار مقاومت به خشکی به منظور انتخاب ارقام مقاوم پیشنهاد می‌شود (Pessarkli, 1999).

محتوی نسبی آب برگ (RWC)

تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار RWC در ژنوتیپ‌های مورد بررسی شد. در شرایط تنش خشکی به دلیل کمبود آب در خاک، جذب آب توسط ریشه‌ها کاهش می‌یابد و از طرفی گیاه از طریق تعریق آب از دست می‌دهد. این موارد باعث کاهش RWC در گیاهان تحت تنش خشکی می‌شود. این امر در نهایت منجر به بسته شدن روزنه‌های گیاه می‌شود. در زمان وقوع تنش آبی محتوای نسبی آب برگ که به طور مستقیم با فشار تورگر و پتانسیل آبی گیاه در ارتباط است، کاهش می‌یابد و بدین دلیل ارتباط نزدیکی بین کاهش آب درون سلول و محتوای نسبی آب برگ و عملکرد وجود دارد (Yadav & Bhushan, 2001).

ارتفاع و ارتفاع اولین ساقه فرعی از زمین

اثر تنش خشکی به ترتیب باعث کاهش ۱۴/۹ و ۲۵/۹ درصدی ارتفاع و ارتفاع اولین ساقه فرعی شده است. کاهش ارتفاع گیاه در اثر تنش خشکی نتیجه اختلال در فتوسنتزگیاه به دلیل بسته شدن روزنه‌ها و کاهش تولید هیدرات‌های کربن برای انتقال به بخش‌های فوقانی و درنهایت عدم دستیابی گیاه به پتانسیل ژنتیکی از نظر ارتفاع بوته است. طی تحقیقاتی علت کاهش ارتفاع گیاه در شرایط تنش خشکی کاهش تقسیم سلولی ، کاهش رشد رویشی گیاه عنوان شد. این امر در نهایت موجب کاهش عملکرد بیولوژیکی گیاه طی تنش خشکی شد (Zabet *et al*., 2003). ارقام پابلند توانایی بیشتری در ذخیره هیدرات‌های کربن در ساقه و انتقال مجدد آن به دانه ها را، در مراحل پایانی رشد دارند. تشکیل اولین ساقه نزدیک سطح زمین می‌تواند از لحاظ تشکیل تعداد خورجین بیشتر یک مزیت، و به دلیل نرسیدن نور به پای پوشش گیاهی که میزان سقط و پوک شدن خورجین‌ها افزایش می‌یابد از معایب باشد و در

جدول ۲- میانگین و درصد تغییرات صفات اندازه گیری شده در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط نرمال

Table 2. Mean and percent change in the traits of rapeseed genotypes under stress and normal conditions

تیمار Treatment	عملکرد دانه Grain yield ($kg.ha^{-1}$)	تعداد غلاف در بوته Pods per plant	تعداد دانه در غلاف Seeds per pod	ارتفاع گیاه Plant height (cm)	ارتفاع اولین ساقه جانبی Height of the first branch	درصد روغن Oil percentage(%)	عملکرد روغن Oil yield	روز تا پایان گلدهی Days to flowering end
نرمال Normal	3601.4	91.83	26.00	130.01	16.55	39.20	1419.64	227.36
تنش خشکی Stress	2681.8	53.16	19.84	110.61	12.26	36.24	976.77	227.54
درصد تغییرات Variation (%)	25.53	42.11	23.69	14.92	25.92	7.55	31.19	0.08
تیمار Treatment	طول دوره گلدهی Duration of flowering	روز تا رسیدگی Days to maturity	کلروفیل a Chlorophyll a (mg/g.fw)	کلروفیل b Chlorophyll b (mg/g.fw)	کاروتنوئیدها Carotenoids (mg/g.fw)	شاخص کلروفیل SPAD	محتوای نسبی آب Relative water content (%)	وزن هزاردانه 1000-seed weight (gr)
نرمال Normal	36.67	247.64	1.6124	0.47636	0.55888	45.72	0.74699	4.53
تنش خشکی Stress	37.44	240.20	1.1119	0.23282	0.53509	59.89	0.59995	3.86
درصد تغییرات Variation (%)	2.1	2.9	31	48.87	4.26	31	19.68	14.79

مقابل برداشت مکانیزه کلزاهایی که پایین‌ترین خورجین آنها فاصله بیشتری از زمین دارد ساده‌تر است (Atlasi Pak *et al.,* 2007)، و این دلایل باعث افزایش عملکرد دانه خواهد شد.

روز تا رسیدگی

نتایج نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار صفت تعداد روز تا رسیدگی شد. گیاه با کوتاه کردن دوران رسیدگی خود

سعی دارد تا از برخورد مرحله پرشدن دانه با گرمای آخر فصل جلوگیری نماید در نتیجه ژنوتیپ‌های با دوره رشد کوتاه (زودرس)، با ارسال سریعتر مواد ذخیره شده در گیاه به دانه‌ها، بهره‌وری بیشتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها دارند. در حالیکه در شرایط بدون تنش به علت وجود شرایط مناسب برای رشد، افزایش تعداد روز تا رسیدگی و استفاده بهینه گیاه از آب و مواد غذایی در دسترس موجب افزایش در میزان عملکرد دانه می‌شود.

عملکرد دانه و روغن و اجزای عملکرد

تنش خشکی تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکرد روغن را به صورت معنی‌دار تحت تاثیر قرار داد و به ترتیب باعث کاهش۴۲، ۲۳/۷، ۱۴/۸، ۲۵/۵ و ۳۱/۲ درصدی صفات شد. تعداد غلاف در بوته و دانه در غلاف از مهم‌ترین صفات تعیین کننده عملکرد کلزا است. اعمال تنش در مراحل گلدهی و غلاف‌دهی گیاه کلزا به دلیل ریزش بیشتر گل و غلاف، سبب کاهش قابل ملاحظه‌ای در تعداد غلاف در بوته می‌شود (Sianki, 2007). طی آزمایشی کمبود تولید اسمیلات‌ها و مواد فتوسنتزی در شرایط تنش و عدم تامین مواد فتوسنتزی کافی برای غلاف‌ها و ریزش آنها در نهایت، موجب کاهش تعداد غلاف در بوته شد (Shirani Rad *et al.,* 2010). عدم تامین آب کافی در مرحله رشد و توسعه غلاف‌ها و کاهش میزان فتوسنتز موجب کاهش تعداد دانه در غلاف می‌شود. هر چه تعداد دانه در غلاف بیشتر باشد مخزن بزرگتری برای مواد فتوسنتزی تولید شده ایجاد می‌شود و در نهایت عملکرد دانه افزایش خواهد یافت.

طی مطالعه‌ای مشخص شد تنش خشکی در زمان غلاف‌دهی باعث کاهش معنی‌دار تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و عملکرد دانه می‌شود (Eyni Nargeseh *et al.,* 2019). در شرایط نرمال وجود آب کافی مانع بروز رقابت بالا برای توزیع مواد فتوسنتزی تولید شده بین دانه‌ها و سایر اجزای گیاه می‌شود. اما در شرایط خشکی به دلیل کاهش جذب آب و املاح توسط گیاه و به طبع آن کاهش تولید اسمیلات‌ها از سویی و ایجاد اختلال در فرآیند انتقال مواد ذخیره شده به دانه‌ها از سویی دیگر، موجب کاهش در وزن هزار دانه می‌شود. طی پژوهشی گزارش شد که در شرایط تنش خشکی، بسته شدن روزنه‌ها و کاهش سرعت فتوسنتز منجر به تولید دانه‌های کوچکتر و در نتیجه کاهش وزن هزار دانه کلزا و در نهایت کاهش عملکرد دانه می شود (Safavi Fard *et al.,* 2020). می‌توان اینطور بیان کرد که عدم وجود آب کافی طی مراحل مختلف رشد و نمو با تاثیر منفی بر اجزای عملکرد (تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن هزار دانه)، میزان کلروفیل،کاروتونیئد، RWC، ارتفاع بوته و روز تا رسیدگی منجر به کاهش عملکرد دانه می‌شود. با توجه به این موضوع که عملکرد روغن از حاصلضرب عملکرد دانه در درصد روغن حاصل می‌شود افزایش در میزان عملکرد دانه موجب افزایش در عملکرد روغن نیز خواهد شد. در واقع هر صفتی که موجب افزایش در میزان عملکرد دانه شود به طور غیر مستقیم و با توجه به نحوه محاسبه عملکرد روغن، موجب

جدول۳- تجزیه به عامل های صفات مختلف کلزا در شرایط نرمال و تنش خشکی

Table 3. Factor analysis for traits in rapeseed under normal and stress conditions

تیمار Treatment	نرمال Normal				تنش خشکی Drought stress			
صفات Traits	بارعامل Factor loading				صفات Traits	Factor loading عامل		
	اول First	دوم Second	سوم Third	چهارم Forth		اول First	دوم Second	Thir
عملکرد دانه Grain yield (tkg.ha^{-1})	0.858	0.294	-0.238	-0.224	عملکرد دانه Grain yield (t.ha^{-1})	0.898	0.216	0.02
عملکرد روغن Oil yield (kg.ha^{-1})	0.867	0.269	-0.268	-0.199	عملکرد روغن Oil yield (kg.ha^{-1})	0.915	0.276	0.08
تعداد غلاف دربوته Pods per plant	0.856	0.376	-0.051	-0.112	تعداد غلاف دربوته Pods per plant	0.881	0.299	0.24
تعداد دانه در غلاف Seeds per pod	0.872	0.090	-0.339	0.114	تعداد دانه در غلاف Seeds per pod	0.407	-0.121	0.75
ارتفاع گیاه Plant height (cm)	0.675	0.515	-0.125	0.010	وزن هزاردانه 1000-seed weight (gr)	0.004	0.188	0.91
ارتفاع اولین ساقه جانبی Height of the first branch	0.699	-0.254	-0.082	0.548	ارتفاع گیاه Plant height (cm)	0.638	0.143	0.65
روز تا پایان گلدهی Days to flowering end	-0.292	-0.206	0.879	-0.047	روز تا پایان گلدهی Days to flowering end	-0.671	-0.002	-0.10
طول دوره گلدهی Duration of flowering	-0.171	-0.021	0.953	0.061	روز تا رسیدگی Days to maturity	-0.916	-0.206	-0.12
کلروفیل a Chlorophyll a (mg/g.fw)	0.223	0.620	-0.293	-0.058	کلروفیل a Chlorophyll a (mg/g.fw)	0.271	0.900	0.17
کلروفیل b Chlorophyll b (mg/g.fw)	0.203	0.900	0.021	0.105	کلروفیل b Chlorophyll b (mg/g.fw)	0.101	0.905	0.21
کاروتنوئید Carotenoids (mg/g.fw)	-0.154	0.909	-0.066	0.124	کاروتنوئید Carotenoids (mg/g.fw)	0.285	0.845	-0.24
شاخص کلروفیل SPAD	-0.183	0.227	0.036	0.900	شاخص کلروفیل SPAD	-0.817	-0.128	-0.26
--	--	--	--	--	محتوای نسبی آب Relative water content (%)	0. 831	0.244	0.19
مقادیر ویژه Eigen Values	5.804	1.893	1.322	1.222	مقادیر ویژه Eigen Values	7.21	1.99	1.5
درصد واریانس توجیه شده Percentage of explained variance	34.90	22.93	17.01	10.51	درصد واریانس توجیه شده Percentage of explained variance	44.65	21.05	16.8
درصد واریانس تجمعی Percentage of cumulative variance	34.90	57.83	74.84	85.35	درصد واریانس تجمعی Percentage of cumulative variance	44.65	65.70	82.5

افزایش در عملکرد روغن نیز می‌شود. این نتایج نشان می‌دهد که یکی از بهترین راهکارها جهت افزایش عملکرد روغن در گیاه کلزا، افزایش عملکرد دانه است. طی پژوهشی کاهش تعداد غلاف در گیاه، دانه در غلاف و وزن هزاردانه در شرایط تنش خشکی در مرحله غلاف‌دهی باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه و عملکرد روغن شد (Rouhi *et al.*, 2021). در مطالعه‌ای به منظور بررسی تاثیرات گرما و خشکی روی ژنوتیپ‌های کلزا انجام شد گزارش شد خشکی بیشتر از طریق تاثیر بر روی اجزای عملکرد موجب کاهش در عملکرد دانه و عملکرد روغن می‌شود (Elferjani & Soolanayakanahally, 2018). در آزمایشی، دلیل برتری ارقام از نظر عملکرد تحت شرایط تنش خشکی افزایش ظرفیت مخزن (تعداد غلاف در بوته، طول غلاف و تعداد دانه در غلاف) و برتری در مقدار کلروفیل و محتوای

نسبی آب برگ عنوان شد(Eyni Nargeseh *et al.*, 2019).

تجزیه عاملی

تجزیه عامل‌ها به روش مؤلفه‌های اصلی انجام و از روش وریماکس برای دوران عامل‌ها استفاده شد. در تجزیه به عامل‌ها در شرایط نرمال (جدول، ۳) چهار عامل نخست که دارای ریشه‌های مشخصه بزرگتر از یک بودند انتخاب شدند. درصد واریانس کل توجیه شده توسط این چهار عامل حدود ۸۵/۳۵ درصد بود. در عامل اول، با توجیه ۳۴/۹ درصد از تغییرات کل صفات، عملکرد دانه و روغن، تعداد دانه در غلاف، تعداد غلاف در بوته، ارتفاع و ارتفاع اولین ساقه فرعی دارای بار عامل‌های بزرگ و در عین حال مثبت هستند، بنابراین این عامل را می‌توان عامل عملکرد و مخزن و ارتفاع نامید. تعداد دانه در غلاف و تعداد غلاف در بوته از مهم‌ترین اجزای عملکرد هستند و با افزایش این دو جزء شاهد افزایش در میزان عملکرد دانه خواهیم بود.

ارقام پابلند توانایی بیشتری در ذخیره هیدرات‌های کربن در ساقه و انتقال مجدد آن به دانه ها را، در مراحل پایانی رشد دارند و برداشت این ارقام توسط ماشین‌های برداشت آسانتر است. عامل دوم ۲۲/۹ درصد از تغییرات واریانس کل را توجیه نمود و دارای ضرایب بزرگ و مثبت برای صفات صفات کلروفیل a، کلروفیل b و کارتوئیدها بود. این عامل، عامل رنگیزه نامیده شد. میزان کلروفیل در گیاهان یکی از فاکتورهای مهم حفظ ظرفیت فتوسنتزی است. با انجام فتوسنتز و تولید اسمیلات‌ها و انتقال و ذخیره آنها به مخازن (غلاف‌ها و دانه‌ها) شاهد افزایش در میزان عملکرد خواهیم بود. عامل سوم شامل صفات روز تا پایان گلدهی و طول گلدهی بود و ۱۷ درصد از تغییرات کل را توجیه نمود. این عامل، عامل صفات فنولوژیک نامگذاری شد. بر طبق این عامل ژنوتیپ‌هایی که دوران گلدهی بیشتری دارند دارای عملکرد بالاتری نیز می‌باشند. با افزایش طول دوره گلدهی در شرایط نرمال تعداد گل‌های تلقیح شده افزایش می‌یابد و این به نوبه خود باعث افزایش تعداد غلاف‌های بارور و تعداد دانه‌ها در غلاف می‌شود و این امر در نهایت موجب افزایش در میزان عملکرد نهایی خواهد شد. عامل چهارم تنها شامل صفت شاخص کلروفیل (SPAD) با علامت مثبت بود. این عامل به تنهایی ۱۰/۵۱ درصد از کل تغییرات را توجیه می‌کرد و عامل شاخص کلروفیل (SPAD) نامیده شد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری کلروفیل به روش SPAD با برآورد مقدار کلروفیل به روش عصاره‌گیری مرتبط است؛ به طوری که بین نتایج قرائت SPADو تعیین کلروفیل توسط اسپکتروفتومتر یک همبستگی بالاو مثبت (R_2=۰/۹۵) وجود دارد (Yadava, 1989). شاخص کلروفیل بالاتر نشان دهنده وجود میزان کلروفیل کل، بیشتر در گیاه است. افزایش محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی باعث افزایش میزان فتوسنتز و رشد گیاه می‌شود و همان طور که قبلا بیان شد افزایش تولید فرآورده‌های فتوسنتزی باعث افزایش در عملکرد دانه خواهد شد. نتایج تجزیه عاملی در شرایط تنش (جدول ۴) نشان می‌دهد سه عامل نخست در حدود ۸۲/۵۱ درصد از تغییرات کل

را توجیه می‌نمایند. عامل اول ۴۴/۶۵ درصد از تغییرات کل را به خود اختصاص داده است. بزرگترین ضرایب عاملی آن مربوط به عملکرد دانه و روغن، تعداد غلاف در بوته، RWC با علامت مثبت و روزتا پایان گلدهی، روز تا رسیدگی و عدد SPAD منفی بود. این عامل را می‌توان عامل فیزیولوژیک و مورفولوژیک و بهره‌وری نامید. بر طبق این عامل گیاهانی که عدد SPAD کمتری دارند و از RWC بالاتری نیز برخوردارند و در عین حال زودتر گلدهی خود را پایان داده و زودرس‌تر بوده‌اند دارای عملکرد بالاتری نیز هستند. همانطور که مشاهده کردیم در شرایط تنش میزان عدد SPAD افزایش یافته بود و دلیل احتمالی آن کاهش سطح برگ عنوان شد. با کاهش سطح برگ و به موازات آن کم شدن سطح فتوسنتزی گیاه و کاهش تولید اسمیلات‌ها، با کاهش در میزان عملکرد مواجه خواهیم بود. در واقع گیاهانی که در شرایط تنش، عدد SPAD کمتری در واحد سطح دارند، به دلیل داشتن سطح فتوسنتز کننده بیشتر، و تولید بیشتر مواد فتوسنتزی عملکرد بالاتری خواهد داشت. گیاهانی که در شرایط تنش از RWC بالاتری برخوردار هستند احتمالا توانایی دارند تا روزنه‌های خود را به مدت بیشتری باز نگه دارند و این امر خود موجب افزایش در میزان فتوسنتز و تولید و در نتیجه افزایش عملکرد در گیاهان تحت تنش خشکی می‌شود. همچنین مشاهده می‌شود در شرایط تنش گیاهانی که طول دوره گلدهی خود را سریعتر به پایان رسانده باشند و زودتر وارد فاز پرشدن دانه شوند و نیز در روز تا رسیدگی تعجیل داشته باشند از عملکرد بالاتری برخوردار هستند. ارتباط منفی صفت روز تا رسیدگی با عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی، حاکی از آن است که در شرایط تنش ژنوتیپ‌هایی که نتوانسته‌اند طول دوره رشد خود را کاهش دهند و از تنش خشکی فرار کنند، دچار کاهش در میزان عملکرد شده‌اند. عامل دوم شامل کلروفیلa و کلروفیل bو میزان کارتونوئیدها با بارهای عاملی مثبت بود. این عامل، عامل رنگیزه نامگذاری شد. کاروتنوئیدها آنتی‌اکسیدان‌های بیولوژیکی هستند که نقش کلیدی در حفاظت از بافت گیاهی ایفا می‌نماید. کاهش میزان کاروتنوئیدها ممکن است باعث آسیب فتواکسیداتیو شدید در بافت گیاهی شود(Kaboosi & Nodehi, 2016). در واقع کاروتنوئیدها به عنوان مکانسیم دفاع محافظت نوری می‌تواند کلروپلاست‌ها را در مقابل آسیب ناشی از تنش اکسیداتیو محافظت کنند و با افزایش میزان فتوسنتز و تولید مواد فتوسنتزی شاهد افزایش در میزان عملکرد دانه خواهیم بود. عامل سوم شامل ارتفاع گیاه، تعداد دانه در غلاف و وزن هزاردانه بود. این عامل، عامل ارتفاع و مخزن نامیده شد. ساقه با ارتفاع زیاد به دلیل فراهم آوردن منبعی برای انتقال مجدد مواد به دانه‌ها و افزایش وزن هزار دانه، که از مهترین اجزای عملکرد دانه می‌باشد در افزایش عملکرد ژنوتیپ‌های گیاهی در شرایط خشکی دخیل است. با توجه به علامت مثبت این صفات در این عامل گزینش گیاهان با تعداد دانه در غلاف، وزن هزار دانه و ارتفاع بیشتر منجر به تولید عملکرد بالاتری در شرایط تنش خواهد شد. با توجه به آسانی روش اندازه

گیری شاخص کلروفیل (SPAD) و غیر تخریبی بودن این صفت می‌توان از آن به عنوان شاخصی مناسب برای گزینش گیاهان با عملکرد بالا در هر دو شرایط آبی استفاده کرد. علاوه بر این مشاهده می‌شود تحت هر دو شرایط آبی صفات تعداد دانه در غلاف، تعداد غلاف در بوته، ارتفاع بوته، کلروفیل aو b و کاروتنوئیدها، به عنوان صفات تاثیر گذار بر میزان عملکرد دانه هستند و می‌توان از این صفات به عنوان شاخص در هر دو شرایط آبی برای افزایش میزان عملکرد دانه استفاده کرد. در آزمایشی بر روی اثر تنش خشکی بر روی ژنوتیپ های کلزا با انجام تجزیه به عامل‌ها در شرایط معمول، چهار عامل نخست ۸۵ درصد از تغییرات کل را توجیه کرد. این عامل‌ها به ترتیب عامل تولید غلاف، عامل عملکرد، عامل تولید دانه و عامل کمی- فنولوژیکی نامیده شد. در شرایط خشکی نیز چهار عامل اول در حدود ۸۷ درصد از تغییرات کل را توجیه کرد. این عامل‌ها به ترتیب عامل عملکرد، عامل تولید غلاف، عامل مورفو- فنولوژی و وزن هزاردانه نامیده شد (Zabet *et al.*, 2016).

شاخص‌های تحمل به خشکی

بر اساس شاخص‌های (جدول، ۴)MP، GMP ، HMP ، YI و STIکه مقادیر بالاتر آنها نشان دهنده تحمل به تنش است، ژنوتیپ‌های ۵، ۱۴ ،۶، ۷ و ۱۵ تحت هر دو شرایط نرمال و تنش خشکی دارای بیشترین میزان میزان عملکرد دانه بودند و به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی شناسایی شدند. از نظر شاخص‌های SSI و TOL که مقادیر کمتر آنها نشان دهنده حساسیت پایین رقم نسبت به شرایط تنش می‌باشد، ژنوتیپ‌های ۳، ۱، ۱۶، ۶، ۴ و ۷ به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی تعیین شدند. بر طبق این شاخص‌ها ژنوتیپ ۳ متحمل‌ترین ژنوتیپ، بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی است. ولی با توجه به میانگین ژنوتیپ‌ها و نحوه محاسبه این دو شاخص دلیل این برتری، عملکرد بالای این ژنوتیپ در شرایط تنش و یا نرمال نمی‌باشد بلکه تفاوت کم، بین میانگین عملکرد ژنوتیپ در شرایط تنش خشکی و نرمال (درصد تغییرات کم) باعث انتخاب این ژنوتیپ به عنوان متحمل ترین ژنوتیپ شده است. انتخاب ژنوتیپ‌های ۱ ،۴، ۱۶ نیز به همین دلیل می‌باشد. از آنجاییکه پایین بودن درصد تغییرات به‌عنوان یک فاکتور مقاومت به تنش، بیشتر دارای ارزش فیزیولوژیکی است تا ارزش زراعی، می‌توان این طور بیان کرد که انتخاب براساس

شاخص‌های SSI و TOLباعث گزینش ارقامی با عملکرد پایین در محیط دارای تنش و نرمال می‌شود، که چنین ارقامی به‌دلیل عملکرد پایین، از نظر زراعی مطلوب نمی‌باشند (Schnider *et al.*, 1997). بهترین شاخص برای غربال ژنوتیپ‌های متحمل به تنش شاخصی است که دارای همبستگی نسبتاً بالایی با عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش و غیر تنش باشد. زیرا این شاخص‌ها قادر به شناسایی و جداسازی ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه بالا در هر دو محیط هست (Fernandez,1992). با توجه به (جدول، ۵) همبستگی میان شاخص‌های تحمل به تنش و عملکرد در هردو شرایط آبی، مشاهده می‌شود شاخص‌های MP، GMP، HMP، YIو STI را

جدول ۴- شاخص های تحمل به تنش و عملکرد دانه ژنوتیپ های کلزا تحت شرایط تنش و بدون تنش خشکی

Table 4. Stress tolerance indices and grain yield of rapeseed genotypes under stress and non-stress conditions

ژنوتیپ Genotype	عملکرد نرمال Yield under normal condition ($t.ha^{-1}$)	عملکرد تنش Yield under drought condition ($t.ha^{-1}$)	میانگین حسابی Mean productivity	میانگین هندسی Geometric mean productivity	میانگین هارمونیک Harmonic mean	شاخص عملکرد Yield index	شاخص تحمل تنش Stress tolerance index	شاخص تحمل Tolerance index	شاخص حساسیت به تنش Stress susceptibility index
1-Okapi	3.30822	2.70983	3.00903	2.99411	2.97928	1.01044	0.69119	0.59838	0.70840
2-SLM-046	3.69595	2.79917	3.24756	3.21645	3.18565	1.04375	0.79766	0.89678	0.95029
3-Ahmadi	3.21835	2.75033	2.98434	2.97515	2.96599	1.02554	0.68246	0.46801	0.56954
4- SW102	3.35177	2.62033	2.98605	2.96357	2.94126	0.97707	0.67716	0.73143	0.85466
5- L72	4.33767	3.22717	3.78242	3.74144	3.70091	1.20334	1.07929	1.11050	1.00267
6- HL3721	3.98650	3.27000	3.62825	3.61052	3.59288	1.21932	1.00508	0.71650	0.70391
7- HL2012	3.96252	3.10683	3.53467	3.50869	3.48289	1.15847	0.94918	0.85568	0.84574
8- Expower	3.45005	2.16200	2.80603	2.73112	2.65821	0.80617	0.57509	1.28805	1.46218
9- Extorm	3.08500	1.94300	2.51400	2.44829	2.38431	0.72450	0.46216	1.14200	1.44979
10- Excalibur	3.25850	2.14550	2.70200	2.64407	2.58738	0.80001	0.53902	1.11300	1.33774
11- Natalie	3.59983	2.62400	3.11192	3.07343	3.03542	0.97843	0.72829	0.97583	1.06166
12- Danube	3.44883	2.37550	2.91217	2.86229	2.81327	0.88578	0.63167	1.07333	1.21887
13- Artist	3.83420	2.84350	3.33885	3.30190	3.26536	1.06028	0.84060	0.99070	1.01196
14- Vesuvio	4.17440	3.22717	3.70078	3.67035	3.64017	1.20334	1.03867	0.94723	0.88870
15- Medea	4.04108	2.94800	3.49454	3.45154	3.40906	1.09925	0.91852	1.09308	1.05937
16- Harnus	2.86927	2.15700	2.51313	2.48777	2.46267	0.82325	0.47718	0.71227	0.91105

می‌توان به عنوان شاخص‌های مناسب جهت دستیابی به ژنوتیپ‌های پرمحصول تحت هر دو شرایط محیطی معرفی کرد. این نتایج با نتایج سایر محققان که نشان دادند این شاخص‌ها به جهت همبستگی با میزان عملکرد تحت هر دو شرایط، شاخص‌های مناسبی جهت گزینش و انتخاب ارقام مقاوم به خشکی هستند مطابقت داشت (Pour-Aboughadareh, 2020; Jahangiri

جدول۵ - ضرایب همبستگی بین شاخص های تحمل به خشکی و عملکرد دانه ژنوتیپ های کلزا در شرایط نرمال و تنش

Table 5. Correlation coefficient between drought tolerance indices and grain yield of rapeseed genotypes

	عملکرد نرمال Yield under normal condition ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد تنش Yield under drought condition ($kg.ha^{-1}$)	میانگین حسابی Mean productivity	میانگین هندسی Geometric mean productivity	میانگین هارمونیک Harmonic mean	شاخص عملکرد Yield index	شاخص تحمل تنش Stress tolerance index	شاخص تحمل Tolerance	شاخص حساسیت به تنش Stress susceptibility index
عملکرد نرمال Yield under normal condition ($kg.ha^{-1}$)	1								
عملکرد تنش Yield under drought condition ($kg.ha^{-1}$)	0.860^{**}	1							
میانگین حسابی Mean productivity	0.964^{**}	0.965^{**}	1						
میانگین هندسی Geometric mean productivity	0.952^{**}	0.975^{**}	0.999^{**}	1					
میانگین هارمونیک Harmonic mean	0.940^{**}	0.983^{**}	0.997^{**}	0.999^{**}	1				
شاخص عملکرد Yield index	0.854^{**}	1.000^{**}	0.962^{**}	0.972^{**}	0.980^{**}	1			
شاخص تحمل تنش Stress tolerance index	0.956^{**}	0.969^{**}	0.998^{**}	0.998^{**}	0.997^{**}	0.967^{**}	1		
شاخص تحمل Tolerance	0.248^{ns}	-0.281^{ns}	-0.018^{ns}	-0.059^{ns}	-0.098^{ns}	-0.291^{ns}	-0.042^{ns}	1	
شاخص حساسیت به تنش Stress susceptibility index	-0.187^{ns}	-0.660^{**}	-0.440^{ns}	-0.447^{ns}	-0.510^{*}	-0.669^{**}	-0.460^{ns}	0.901^{**}	1

^{ns}، * و ** به ترتیب عدم معنی دار، معنی دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد

^{ns}, * and **: not significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

.(& Kahrizi,2015; Dehghani, *et al.,* 2020

نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی (جدول، ۶) نشان داد دو مؤلفه اول شامل بیش از ۹۹ درصد از کل اطلاعات است. با توجه به همبستگی بالای شاخص‌های تحمل به خشکی با یکدیگر این موضوع دور از انتظار نبود. نمودار بای‌پلات بر اساس این دو مولفه رسم شد (شکل، ۱). مؤلفه اول شامل Yp، YS، GMP، MP، STI و HMP و YI با ضرایب بالا بود و ۸۷/۸ درصد از تغییرات کل را توجیه کرد و به عنوان مؤلفه پتانسیل عملکرد و تحمل به تنش نامیده شد. بر طبق این مولفه می‌توان ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا و متحمل به خشکی را از ژنوتیپ‌های با عملکرد پایین و حساس به خشکی جدا کرد. بر اساس مقادیر مثبت و بالای این مولفه ژنوتیپ‌های ۵، ۱۴، ۶، ۷ و ۱۵ با عملکرد بالاتر در هر دو شرایط نرمال و تنش خشکی انتخاب می‌شوند. در دومین مولفه شاخص‌های SSI، TOL و عملکرد در شرایط نرمال دارای مقادیر بالا و مثبت بودند. این مولفه، مولفه حساسیت به تنش نامیده شد.

انتخاب بر اساس این مولفه منجر به انتخاب ژنوتیپ‌های ۸، ۹ ،۱۰ و۱۲ که دارای عمکرد دانه پایین در شرایط تنش و مقادیر بالای TOL و SSI (حساسیت بالا در شرایط تنش) می‌شود. تجزیه و تحلیل خوشه‌ای به روش Ward و بر اساس شاخص‌های تحمل به خشکی و عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش خشکی ارقام کلزا را به ترتیب در سه گروه با ۶، ۵ و ۵ ژنوتیپ طبقه بندی کرد (شکل، ۲). اولین گروه متشکل از ژنوتیپ بود که دارای عملکرد دانه بالا و همچنین متحمل به خشکی هستند و داری مقادیر مناسب و قابل اطمینانی از شاخص‌هایی مانند STI، MP، GMP، HMP بودند. بنابراین ، این گروه (۶، ۱۴، ۵، ۱۵، ۷) به عنوان یک گروه مقاوم در برابر خشکی هستند. گروه دوم ژنوتیپ‌هایی با مقادیر کم STI، MP، GMP، HMP و همچنین Ys و Yp و مقادیر بالاتر SSI بودند. بنابراین ژنوتیپ‌های (۱۲، ۱۰، ۸، ۱۶ و ۹) با عملکرد پایین و حساس به خشکی در این خوشه وجود داشتند. ژنوتیپ گروه سوم (۱۳، ۲، ۱۱، ۴، ۳، ۱) با عملکرد متوسط در هر دو شرایط بدون تنش و دارای تنش، و حساسیت کمتر به شرایط تنش خشکی، دارای پایداری در عملکرد بودند، و بنابراین به عنوان ژنوتیپ‌های نیمه مقاوم در نظر گرفته می‌شود. ملاحظه می‌شود که نتایج حاصل از تجزیه خوشه‌ای به طور کلی با روش تجزیه به مولفه‌های اصلی و ترسیم بای‌پلات در تمایز ژنوتیپ‌های حساس و متحمل به خشکی مطابقت دارد.

نتیجه گیری

به طور کلی نتایج تحقیق حاضر نشان داد که تنش خشکی تاثیر معنی‌داری روی بیشتر صفات فیزیولوژیک، مورفولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد دانه، ژنوتیپ‌های مورد مطالعه داشت. نتایج حاصل ازتجزیه عامل‌ها نشان داد که افزایش افزایش تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، کلروفیل a و b، کاروتنوئیدها و ارتفاع بوته در هر دو شرایط منجر به افزایش عملکرد دانه است. پس از این صفات به عنوان شاخص‌هایی برای انتخاب گیاهان پر محصول در هر دو شرایط می‌توان استفاده کرد. در

جدول ۶- تجزیه به مولفه های اصلی بر اساس عملکرد دانه و شاخص های تحمل به تنش

Table 6. Principal components analysis based on grain yield and drought tolerance indices

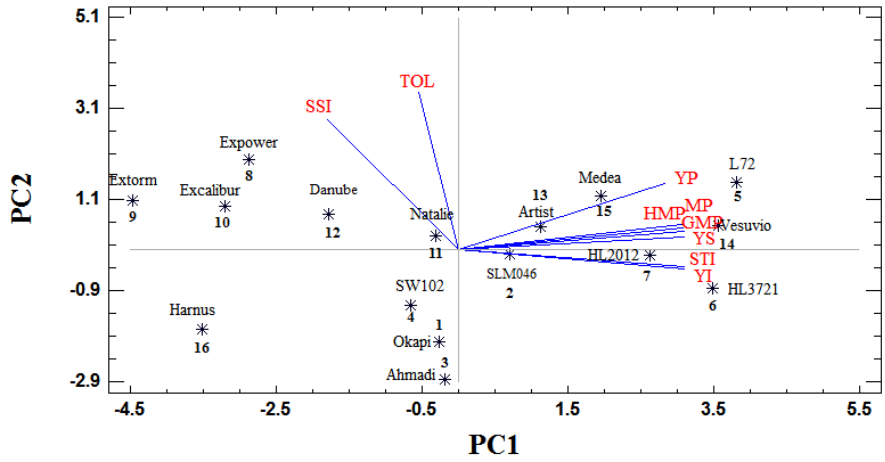
شماره مولفه اصلی Component no.	عملکرد نرمال Yp ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد تنش Ys ($kg.ha^{-1}$)	میانگین حسابی MP	میانگین هندسی GMP	میانگین هارمونیک HM	شاخص عملکرد YI	شاخص تحمل تنش STI	شاخص تحمل TOL	شاخص حساسیت به تنش SSI	مقادیر ویژه Eigen value	درصد واریانس تجمعی Percentage of cumulative variance
1	0.412	0.433	0.423	0.431	0.438	0.160	0.205	-0.021	-0.135	13.94	87.81
2	0.392	-0.230	0.081	0.034	-0.011	-0.090	0.026	0.622	0.625	1.93	99.95

شرایط خشکی گیاهان زودرس که توانایی سریعتری در به پایان بردن دوره رشدی خود را دارند و در انتقال مواد ذخیره‌ای در ساقه به دانه‌ها بهتر عمل می‌کنند دارای عملکرد بیشتری هستند. زود رسی یکی از صفات مناسب برای گزینش گیاهان با عملکرد بالا در شرایط تنش خشکی است. با توجه به نتایج حاصل از ضریب همبستگی بین شاخص‌های تحمل به تنش با عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش خشکی و نرمال، شاخص‌های MP، GMP، HMP، YIو STI مناسبترین شاخص‌ها برای غربال و گزینش ژنوتیپ‌های متحمل

به تنش خشکی بودند. نتایج حاصل از تجزیه مولفه‌های اصلی و رسم بای‌پلات و تجزیه خوشه‌ای بر اساس این شاخص‌ها ژنوتیپ‌های شماره، ۵، ۱۴، ۶، ۷ و ۱۵ را به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی شناسایی کرد و می‌توان از آنها در کرج و مناطقی که دارای شرایط آب و هوایی مانند کرج هستند استفاده کرد.

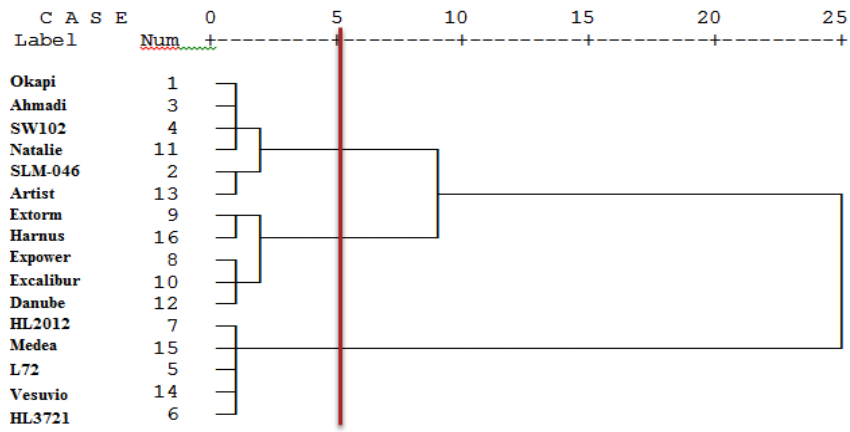
شکل – ۱ نمایش بای پلات شاخص‌های مقاومت به خشکی در ژنوتیپ‌های کلزا بر اساس دو مولفه اول

Figure 1. Biplot display for drought resistance indices in genotypes of rapeseed based on first two components.



شکل ۲- دندوگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های کلزا بر اساس شاخص‌های تحمل به خشکی با استفاده از روش Ward.

Figure 2. Dendrogram of cluster analysis of genotypes based on drought tolerance indices using Ward's meth



References

Arnon, A. N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, 23:112-121.

Atlasipak, V., Maskarbashi, M., Mamaghani, R., and Nabipur, M. 2006. The effect of planting pattern on light use efficiency and dry matter accumulation in canopy of three spring rapeseed cultivars. *Journal of plant productions,* 29 (4):139-152. (In Farsi),

Bilgrami, S.S., Fakheri, B.A., Shariati, V., Razavi, KH., Mahdinezhad, N., Tavakol, E., Ramandi, H.D., and Ghaderian, M. 2018. Evaluation of agro-morphological traits related to grain yield of Iranian wheat genotypes in drought-stress and normal irrigation conditions. *Australian Journal of Crop Science*, 12: 738-748.

Clark, J.M., Depauw, M., and Ownley-Smith, T.F. 1992. Evaluation of methods for quantification of drought tolerance in wheat. *Crop Science*, 32: 723-728.

Cooper, J. C. B. 1983. Factor analysis. An overview. *The American Statistician*, 37: 141–147.

Dehghani, Z., Nikkhah, H.R., and Frouzesh, P. 2020. Evaluation of drought tolerance in promising barley lines under controlled and field conditions. *Seed and Plant*, 36(2): 161-182. (In Persian with English Summary).

Elferjani, R., and Soolanayakanahally, R. 2018. Canola responses to drought, heat, and combined stress: shared and specific effects on carbon assimilation, seed yield, and oil composition. *Frontiers in Plant Science*, 9:1224.

Eyni Nargeseh, H., Agha Alikhani, M., Shirani Rad, A. H., Mokhtassi-Bidgoli, A., and Modarres, S.A.M. 2019. Physiological and agronomic response of rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes to late-season drought stress under Karaj climatic condition. *journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 29(2): 80-95. (In Persian with English Summary).

Fernandez, G.C. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In C. G. Kuo (ed). *Adaptation of Vegetables and Other Food Crop to Temperature and Water Stress*. Asian Vegetable Research and Development Center, Taiwan. p. 257.

Fisher, R. A., and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars Grain yield response. *Australian Journal of Agricultural Research*, 29: 897-912.

Goldani, M. 2012. Effect of irrigation intervals on some growth indices ecotypes basil (*Ocimum basilicum* L.) *Iranian Agricultural Research*, 10 (2): 412-420. (in Persian).

Guerrini, L., Napoli, M., Mancini, M., Masella, P., Cappelli, A., Parenti, A., and Orlandini, S. 2020. Wheat grain composition, dough rheology and bread quality as affected by nitrogen and sulfur fertilization and seeding density. *Agronomy*, 10: 233.

Kaboosi, K., and Nodehi, A. 2016. The effects of salinity stress levels on quantity and quality traits of different cultivars of canola under application of vermicompost. *Journal of Crop Production*, 9(3): 133-151. (In Persian with English Summary).

Kahrizi, D., and Allahvarand, T., 2012. Estimation and interrelationships of genetic variability parameters of some morpho-phenological traits in spring rapeseed (*Brassica napus* L.). *Asian Journal of Biological Science*, 5: 358-364.

Kranner, I., Beckett, R.P., Wornik, S., Zorn, M., and Pfeifhofer, H.W. 2002. Revival of a resurrection plant correlates with its antioxidant status. *The Plant Journal*, 31: 13-24.

Jahangiri, S., and Kahrizi, D. 2015. Study of Genetic variation and drought tolerance in commercial rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. *Journal of Genetic Resources*, 1:73-82.

Liu, H., Searle, L.R., Mather, D.E., Able, A.J., and Able, J.A. 2015. Morphological, physiological and yield responses of durum wheat to pre-anthesis water-deficit stress are genotype-dependent. *Crop and Pasture Science*, 66: 1024–1038.

Pessarkli, M. 1999. Hand book of Plant and Crop Stress. Marcel Dekker Inc, New York. p. 697.

Pour-Aboughadareh, A., Mohammadi, R., Etminan, A., Shooshtari, L., Maleki-Tabrizi, N., and Poczai, P. 2020. Effects of drought stress on some agronomic

and morpho-physiological traits in durum wheat genotypes. *Sustainability*, 12:5610.

Rouhi, M., Banayan Aval, M., and Shirani Rad, A. H. 2021. Study of ecophysiology of reaction of wintering rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars to end of season drought stress in delayed culture. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 14(1): 13-26. (In Persian with English Summary).

Safavi Fard, N., Shirani Rad, A.H., Daneshian, J., Shahsavari, N., and Ghaffari, M. 2020. Response of canola cultivars and hybrids to winter cultivation under late season drought stress. *journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 30(4): 185-198. (In Persian with English Summary).

Salehi, M., Nassiri Mahallati, M., and Koocheki, A. 2003. Leaf nitrogen and chlorophyll as indicators for salt stress. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 1: 199-205. (In Persian with English Summary).

Schnider, K.A., Rosales-Serna, R., Ibarra-Perez, F., Cazares-Enriques, B., Acosta Gallegos, J.A., Ramirez-Allejo, P., Wassimi, N., and Kelly, J. D. 1997. Improving common bean performance under drought stress. *Crop Sciences*, 37: 43-50.

Shahsavari, N., and Dadrasnia, A. 2016. Effect of zeolites and zinc on the physiological characteristics of canola under late-season drought stress. *Communications in soil science and plant analysis*, 47: 2077- 2087.

Sharifi, Y., Majidi, M. M., Jafarzadeh, M., and Mirlohi, A. 2015. Multivariate Analysis of Genetic Variation in Winter Rapeseed (*Brassica napus* L.) Cultivars. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 17: 1319-1331.

Shirani Rad, A.H., Naeemi, M., and Nasr Esfahani, S.H. 2010. Evaluation of terminal drought stress tolerance in spring and winter rapeseed genotypes. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 12 (2): 112-126. (In Persian with English Summary).

Sinaki, J., Majidi Heravan, M.E., Shirani Rad, A.H., Noormohammadi, G.H., and Zarei, G.H. 2007. The effects of water deficit during growth stages of canola. *American Eurasian Journal Agricultural Biological Science*, 2:417- 422.

Yadav, R.S., and Bhushan, C. 2001. Effect of moisture stress on growth and yield

in rice genotypes. *Indian Journal Agricultural Research*, 2: 104-107.

Yadava, U. 1989. A rapid and nondestructive method to determine chlorophyll in intact leaves. *Horticulture Science*, 21: 1449-1450.

Zabet, M., Hosein Zade, A.H., Ahmadi, A., and Khialparast, F. 2003. A Study of variation and comparison of yield and its components under two irrigation conditions in mung bean. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 33(3): 561-571. (In Persian with English Summary).

Zabet, M., Seddigh, S., and Samadzade, A. 2016. The effect of drought stress on yield and yield components in 10 genotypes of rapeseed under Birjand climate conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 9: 121-127. (In Persian with English Summary).

Zareei Siahbidi, A., and Rezaeizad, A. 2020. Study on response of some oilseed rape genotypes to drought stress. *Applied Research in Field Crops*, 32(4): 59-75.

Evaluation of the Effects of Terminal Drought Stress on yield and Some Traits of Winter Oilseed Rape Genotypes

Elaheh Shadan[1*], Hamid najafi zarrini[2], Bahram Alizadeh[3], Ghaffar Kiani[2], Gholamali Ranjbar[2]

1. Ph. D. Student in Plant Breeding, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran . (Corresponding author)
2. Associate Professor, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
3. Associate Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

Received: July 2021 Accepted: May 2023- DOI: 10.22092/aj.2023.355332.1555

Extended Abstract

Shadan, E., Najafi Zarini, H., Alizadeh, B., Kiani, Gh., Evaluation of the Effects of Terminal Drought Stress on yield and Some Traits of Winter Oilseed Rape Genotypes
Applied Research in Field Crops Vol 35, No. 3, 2022 07-09: 46-66(in Persian)

Introduction:

Rapeseed is a main oilseed crop in the world. Water deficiency during drought stress is a major cause of yield decline in crops. The highest yield reduction in rapeseed was observed when water deficit occurred at flowering and pod developmental stages (Kahrizi & Allahvarand, 2012). In order for breeding programs to become successful, it is important to develop an understanding of what traits affect grain yield, and how these traits can be improved, which may result in increasing grain yield. Factor analysis of multivariate statistical methods is for a deeper understanding of the relationships between traits and is an effective statistical method in reducing data volume (Cooper, 1983). The aim of this study was to study the effect of late-season drought stress on some traits affecting the yield of studied rapeseed genotypes and to identify genotypes that are adaptable to normal and drought stress conditions through using some stress tolerance indices.

Material & Methods:

This experiment was carried out at the research field of Seed and Plant

Email address of the corresponding author: elahe_shadan96@yahoo.com

Improvement Institute, Karaj, Iran, during the 2016-2018 growing season under full irrigation conditions and late-season drought stress (applied from the beginning of pod setting stage) on new winter rapeseed genotypes in a randomized complete block design with three replications. Some morphological, physiological, phenological traits, yield and yield components were measured. Factor analysis was performed to determine the most influential variables. To identify drought tolerant genotypes, drought tolerance indices such as tolerance index (TOL), stress susceptibility index (SSI), mean productivity (MP), geometric mean productivity (GMP), harmonic mean (HMP), stress tolerance index (STI) and yield stability index (YSI) were used.

Results & Discussion:

The combined analysis of variance showed that the effect of drought stress on all evaluated traits was significant except for height of the first branch, days to end of flowering, flowering period and oil percentage. The results of factor analysis identified four factors in normal conditions and three factors in drought stress conditions, which explained 85.35% and 82.51% of the variation, respectively. These factors in normal conditions were named as “yield, sink and height”, “plant pigment”, “phenological traits” and chlorophyll index (SPAD), respectively, and in stress conditions were named as “ phenological, physiological traits and productivity”, “plant pigment” and “ height and sink”, respectively. It seems possible to use these traits as selection criteria in breeding programs to improve the grain yield of the winter rapeseed genotypes. The results showed that GMP, MP, HMP and STI indices were positively correlated with grain yield under both stress and non-stress conditions. Therefore, they can be exploited not only to screen drought tolerance but also to identify superior genotypes for both stress and non-stress field conditions (Fernandez, 1992). The principal component analysis using grain yield under both conditions and drought tolerance indices showed that the genotypes 5, 14, 15, 6 and 7 were the most tolerant genotypes to drought conditions, while the genotypes 9, 10, 12 and 8 were the most sensitive genotypes. With cluster analysis using WARD procedure based on drought tolerance, the studied genotypes were grouped in 3 separate clusters. The first group consisted of genotypes that gave

high yield and were drought tolerant and had appropriate and reliable values of indices such as STI, MP, GMP, HMP. Therefore, this group (genotypes 6, 5, 14, 7, 15) are drought tolerant group. The second group had genotypes with low values of STI, MP, GMP, HMP as well as Ys and Yp and higher values of SSI. Therefore, the genotypes 12, 10, 8, 16 and 9 with low yield and drought sensitivity were placed in this cluster. The next group (1, 3, 4, 11, 2, 13), which produced an average yield in both non-stress and stress conditions, and with less sensitivity to drought stress condition, were stable in yield, and therefore considered as semi-resistant cultivars.

Keywords: Bi-plot, Cluster analysis, Factor analysis, Principal component analysis, Stress tolerance indices

References:

Cooper, J. C. B. 1983. Factor analysis. An overview. *The American Statistician*, 37: 141–147.

Kahrizi, D., and Allahvarand, T., 2012. Estimation and Interrelationships of genetic variability parameters of some morpho-phenological traits in spring rapeseed (*Brassica napus* L.). *Asian Journal of Biological Science*, 5: 358-364.

Fernandez, G. C. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In C. G. Kuo (ed). *Adaptation of Vegetables and Other Food Crop to Temperature and Water Stress*. Asian Vegetable Research and Development Center, Taiwan. p. 257.