University of Tehran Press

Iranian Journal of Field Crop Science

Online ISSN: 2423-8082

Homepage:https://ijfcs.ut.ac.ir/

Evaluation of Rapeseed Genotypes Using Heat Stress Tolerance Indices in Ahvaz Weather Conditions

Amaneh Pakraei [1] | Mohammad Reza Siahpoosh[2]✉

1. Department of Plant Production Engineering and Genetics, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.
2. Corresponding Author, Department of Plant Production Engineering and Genetics, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran. Email: siahpoosh@scu.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: August 05, 2022
Received in revised form: November 16, 2022
Accepted: November 29, 2022
Published online: April 28, 2023

Keywords:
Canola,
delayed cultivation,
hybrid,
tolerance index,
yield.

ABSTRACT

In order to evaluate the tolerance of rapeseed genotypes to heat stress, an experiment was carried out in the two crop years of 2018-2019 and 2019-2020 in the experimental farm of Shahid Chamran, University of Ahvaz, Ahvaz. The experiment was conducted as a combine analysis in the frame of a randomized complete block design with three replications in two conventional sowing dates (normal conditions) and delayed planting dates (stress conditions) on 9 rapeseed genotypes (including 8 hybrids and one free-pollinating variety). The results of combine analysis of variance showed that the seed yield of the genotypes differed with each other at the probability level of 1%. Also, there was a significant difference between the environments (conventional and delayed cultivation) in both years and the year effects. The average yield of genotypes under normal and stress conditions in the first year was estimated as 3.467 and 1.667 tons per hectare and in the second year as 3.358 and 1.687 tons per hectare, respectively. The increase in yield under normal conditions in the first year compared to the second year was due to more rainfall and more suitable temperature in the first months of cultivation. In this experiment, the stress intensity was estimated at 0.51 in the first year and 0.46 in the second year, which indicated high stress intensity during two years. The delay in planting followed by heat stress caused a 48% decrease in yield per unit area in average. The results of the analysis of indices based on grain yield showed that harmonic mean indices, stress tolerance index, geometric mean productivity, and average productivity are the best indices in assessing heat tolerance in rapeseed. And these four indicators had a positive and significant correlation with performance in both normal and stressful conditions. Drawing a three-dimensional diagram based on grain yield under stress and normal conditions and the selected indices showed that Hayola 50 and Hayola 61 hybrids are more heat tolerant than other cultivars and hybrids and have higher yield stability under heat stress conditions. Therefore, for areas with heat stress at the end of the growing season, Hayola 50 and Hayola 61 hybrids are more suitable than other hybrids and are recommended for cultivation in those areas.

Cite this article: Pakraei, A., & Siahpoosh, M.R. (2023). Evaluation of rapeseed genotypes using heat stress tolerance indices in Ahvaz weather conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *54*(2), 47-58. DOI: 10.22059/ijfcs.2022.345666.654929.

© The Authors.
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: http//doi.org/10.22059/ijfcs.2022.345666.654929

انتشارات دانشگاه تهران

علوم گیاهان زراعی ایران

شاپا الکترونیکی: ۸۰۸۲-۲۴۲۳

Homepage:https://ijfcs.ut.ac.ir/

ارزیابی ژنوتیپ‌های کلزا با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش گرما در شرایط آب و هوایی اهواز

آمنه پاکرایی [۱] | محمدرضا سیاهپوش [۲]✉

۱. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه شهید چمران اهواز، رایانامه: siahpoosh@scu.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۱۴

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۸/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۰۸

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۲/۰۸

کلیدواژه‌ها:
شاخص تحمل، عملکرد، کشت تأخیری، کلزا، هیبرید.

چکیده

به‌منظور ارزیابی تحمل به تنش گرما ژنوتیپ‌های کلزا آزمایشی در دو سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ و ۱۳۹۹-۱۳۹۸ در مزرعه آزمایشی دانشگاه شهید چمران اهواز اجرا شد. آزمایش به‌صورت تجزیه مرکب در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو تاریخ کاشت (۲۰ آبان، شرایط شاهد) و تاریخ کاشت تأخیری (۲۰ آذر، شرایط تنش) روی نه ژنوتیپ کلزا (شامل هشت هیبرید و یک رقم آزاد گرده‌افشان) اجرا شد. نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در سطح احتمال یک درصد با یکدیگر اختلاف دارند. همچنین بین تاریخ‌های کشت در هر دو سال آزمایش و اثرات سال تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط شاهد و تنش در سال اول به‌ترتیب ۳۴۶۷/۰۸ و ۱۶۶۷/۸۵ کیلوگرم در هکتار و در سال دوم به‌ترتیب ۳۳۵۳/۱۶ و ۱۶۸۷/۴۲ کیلوگرم در هکتار برآورد شد. افزایش عملکرد در شرایط شاهد در سال اول نسبت به سال دوم به‌دلیل میزان بارندگی بیش‌تر و دمای مناسب‌تر در ماه‌های اول کشت بود. در این آزمایش شدت تنش در سال اول ۰/۵۱ و در سال دوم ۰/۴۶ برآورد شد که نمایانگر شدت تنش در طی دو سال بود. تأخیر در کاشت و به‌دنبال آن تنش گرما به‌طور متوسط باعث کاهش ۴۸ درصدی عملکرد در واحد سطح شد. نتایج تجزیه شاخص‌های مبتنی بر عملکرد دانه نشان داد که شاخص‌های میانگین هارمونیک، شاخص تحمل تنش، میانگین هندسی بهره‌وری و میانگین بهره‌وری، شاخص‌های برتر در ارزیابی تحمل به گرما در کلزا بودند و همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد در هر دو شرایط شاهد و تنش داشتند. رسم نمودار سه‌بعدی بر اساس عملکرد دانه در شرایط تنش و شاهد و شاخص‌های انتخاب‌شده نشان داد که هیبریدهای هایولا ۵۰ و هایولا ۶۱ نسبت به سایر ارقام و هیبریدها متحمل‌تر به گرما بوده و پایداری عملکرد بالاتری در شرایط تنش گرما دارند؛ بنابراین برای مناطقی با تنش گرمای انتهای فصل کشت هیبریدهای هایولا ۵۰ و هایولا ۶۱ توصیه می‌شوند.

استناد: پاکرایی, آ.، & سیاهپوش، م.ر. (۱۴۰۲). ارزیابی ژنوتیپ‌های کلزا با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش گرما در شرایط آب و هوایی اهواز. *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۵۴ (۲)، ۵۸-۴۷. DOI: 10.22059/ijfcs.2022.345666.654929

ناشر: موسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان

۱. مقدمه

کلزا (*Brassica napus* L.) یکی از مهم‌ترین گیاهان روغنی با کیفیت روغن بسیار بالا می‌باشد که طی هزاران سال از این گیاه جهت استحصال روغن استفاده می‌شود (Wu *et al*., 2018). میزان تولید جهانی کلزا با سطح زیر کشت ۳۴/۷ میلیون هکتار و با متوسط عملکرد دانه ۱۹۷۹ کیلوگرم در هکتار به‌طور تقریبی ۷۶/۲ میلیون تن تولید بوده که نشان‌دهنده جایگاه مناسب آن نسبت به سایر گیاهان روغنی می‌باشد (FAO–2017). بر اساس آمارنامه کشاورزی سال ۱۴۰۰–۱۳۹۹ وزارت جهاد کشاورزی، استان خوزستان با سطح زیر کشت ۶۵,۶۳۲ هکتار و با متوسط تولید ۱۲۳,۷۵۷ تن در شرایط آبی و دیم، یکی از استان‌های اصلی تولیدکننده کلزا در کشور است. یکی از محدودیت‌های تولید این گیاه در مناطق خشک و نیمه‌خشک که یک‌سوم کل اراضی دنیا را شامل می‌شوند و کشور ایران نیز جزئی از این مناطق می‌باشد، تنش گرما به‌ویژه تنش گرمای آخر فصل رشد است. هنگامی‌که یک تنش غیر زنده در طول مراحل تولید مثل رخ می‌دهد، می‌تواند بهره‌وری محصول را به‌شدت کاهش دهد (Barnabas *et al*., 2008). درهمین‌حال، گیاهان می‌توانند از طریق انعطاف‌پذیری در متابولیسم سلولی و سازگاری‌های فیزیولوژیکی بر انواع تنش‌های غیر زیستی غلبه کنند (Zhang *et al*., 2015). استرس گرمایی باعث القای تغییراتی در فتوسنتز و سایر مسیرهای متابولیکی شده و منجر به کاهش دریافت تجمعی تابش خورشید و جذب کربن در طول چرخه زندگی گیاه می‌شود. علاوه‌براین ممکن است باعث آسیب اکسیداتیو قابل توجهی در ساختار سلولی و کاهش کارایی متابولیکی گیاه به‌دلیل تولید بیش از حد رادیکال‌های آزاد در گیاهان تحت تنش و کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی شود (Reddy *et al*., 2004; Sharma *et al*., 2008).

کلزا گیاه سازگار با مناطق سرد است (Ma *et al*., 2016) و در استان خوزستان مشابه بسیاری از مناطق گرم دیگر، تنش گرمای انتهای فصل رشد یکی از پارامترهای مهم کاهنده عملکرد در این گیاه به حساب می‌آید؛ زیرا در این مناطق در فصل پاییز و زمستان گیاه دوره رشدی مناسبی را طی می‌کند؛ اما با افزایش ناگهانی دما در ماه‌های اسفند و فروردین، مراحل حساس رشد این گیاه مانند گلدهی، تشکیل خورجین و پرشدن دانه با دمای بالا مصادف شده و مواجهه با این قبیل تنش‌ها به‌دلیل افزایش سرعت رسیدگی فیزیولوژیک، منجر به کوتاه‌شدن دوره پرشدن دانه و در نهایت کاهش عملکرد می‌شود (Jan *et al*., 2017). باتوجه‌به نتایج آزمایش‌های پیشین تاریخ کشت آبان‌ماه مناسب برای کشت کلزا در استان خوزستان پیشنهاد شده است (KalantarAhmadi *et al*., 2014). دمای بالای ناشی از کاشت دیرهنگام با تسریع در روند پیری برگ باعث کاهش سطح سبز برگ در طول مراحل زایشی و در نتیجه کاهش عملکرد کلزا می‌شود. حساس‌ترین مرحله زندگی گیاه کلزا به تنش گرما مرحله گرده‌افشانی است که حتی در شرایط آبیاری مطلوب نیز کاهش عملکرد را به دنبال خواهد داشت (Yu *et al*., 2014; Young *et al*., 2004). دماهای بالا به‌صورت موقتی و یا دائمی، باعث تغییرات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی و در نتیجه کاهش رشد و نمو و در نهایت عملکرد گیاه می‌شوند (Yarnia *et al*., 2011). بنابراین جهت پایداری عملکرد کلزا، درک ارتباط بین عملکرد این محصول با تنش گرما و تأثیر دمای بالا بر ویژگی‌های زراعی آن به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک ضروری است. در بسیاری از پژوهش‌ها برای گزینش گیاهان در مقابله با تنش، فقط عملکرد دانه مدنظر قرار می‌گیرد؛ درحالی‌که برخی از پژوهشگران معتقد هستند که باید شاخص‌هایی را که در ارزیابی پایداری ارقام در شرایط تنش موثر می‌باشند، شناخت و آن‌ها را علاوه بر عملکرد دانه به‌عنوان معیارهای انتخاب مورد استفاده قرار داد (Porch, 2006).

شاخص‌های تحمل به تنش، معیارهایی مبتنی بر عملکرد محصول تحت شرایط تنش در مقایسه با شرایط معمولی هستند که در مطالعات مختلف از این شاخص‌ها به‌منظور ارزیابی تحمل به تنش ژنوتیپ‌ها و گزینش آن‌ها بر اساس عملکرد تولیدی در شرایط محیطی مختلف استفاده شده است (Faraji, 2008; Omidi *et al*., 2015). به‌طور کلی گیاهان از نظر واکنش به شرایط مساعد و نامساعد محیطی به چهار گروه تقسیم می‌شوند: گروه A ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو شرایط، گروه B شامل ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا فقط در شرایط بدون تنش، گروه C ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا فقط در شرایط تنش و گروه D ژنوتیپ‌هایی که در هر دو شرایط

عملکرد پایینی دارند. درنتیجه شاخصی برای گزینش در تنش مناسب است که قادر باشد ژنوتیپ‌های گروه A را از سایر گروه‌ها متمایز کند که شاخص تحمل تنش (Stress Tolerance Index; STI) و میانگین هندسی بهره‌وری (Geometric Mean productivity; GMP) از مهم‌ترین شاخص‌ها در این راستا گزارش شده‌اند (Fernandez, 1992). بررسی پاسخ گونه‌های مختلف کلزا نسبت به تنش خشکی براساس همبستگی نشان داد که شاخص‌های STI، GMP و میانگین بهره‌وری (Mean Productivity; MP) مناسب‌ترین شاخص‌ها برای گزینش ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا تحت هر دو شرایط تنش و شاهد هستند (Rashidi *et al*., 2012). در آزمایشی دیگر همبستگی مثبت و معنی‌دار میان عملکرد دانه گندم با شاخص STI، شاخص پایداری عملکرد (Yield stability index; YSI) و میانگین هارمونیک (Harmonic mean; HM) گزارش شد (EL Rawy & Hassan, 2014). به‌عبارتی‌دیگر محققان قادر هستند ژنوتیپ‌های برتر را بر اساس مقادیر بالای STI، GMP و MP و مقادیر پایین شاخص حساسیت به تنش (Stress susceptibility index; SSI) گزینش کنند (Dorostkar *et al*., 2015). به‌طور کلی شناسایی و اصلاح ژنوتیپ‌های پرمحصول کلزا که به تنش‌های محیطی تحمل داشته باشند از نظر توسعه سطح زیر کشت این گیاه مهم است. در مطالعه‌ای، چند ژنوتیپ کلزا در شرایط گلخانه‌ای تحت تیمار گرما قرار گرفتند و بر اساس نتایج محاسبه شاخص‌های تحمل به گرما رقم صفی۵ به‌عنوان متحمل‌ترین و دی‌اچ۱۳ به‌عنوان حساس‌ترین معرفی شدند (Mohammadi *et al*., 2018).

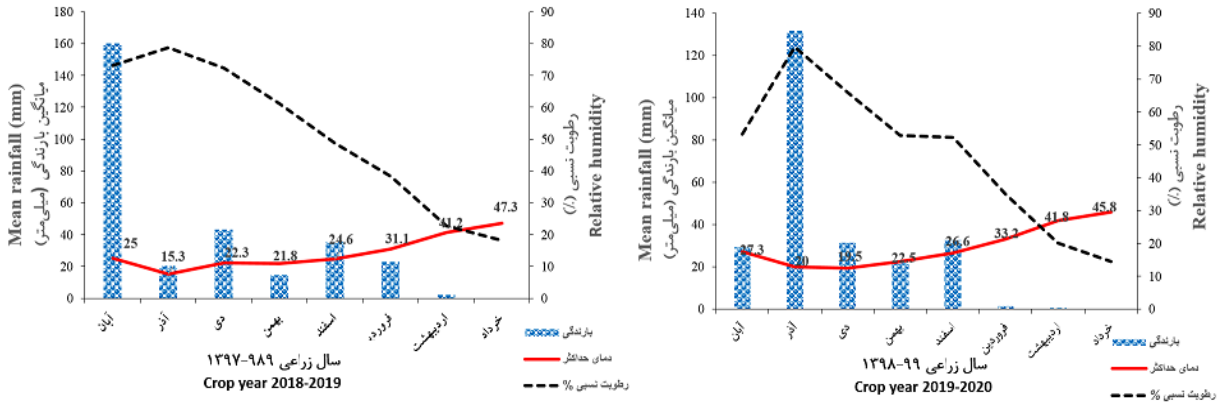
هر چند ارزیابی تحمل به گرما در شرایط گلخانه یا فیتوترون می‌تواند اطلاعات پایه ارزشمندی از نظر تحمل به گرمای ژنوتیپ‌های کلزا حاصل کند (Rezaeizadeh *et al*., 2020; Mohammadi *et al*., 2018) ولی واقعیت آن است که انجام مطالعات در شرایط طبیعی رشدی گیاه یعنی در شرایط مزرعه ارزش کاربردی بسیار بالاتری دارد. در شهرستان اهواز به‌عنوان یکی از گرم‌ترین مناطق کشور و بلکه کره زمین، به‌واسطه وقوع تنش گرمای انتهای فصل رشد برای کشت‌های پاییزه‌ای همچون کشت کلزا و گندم، با انجام کشت تأخیری امکان ارزیابی مزرعه‌ای تنش گرمای انتهای فصل در شرایط مزرعه به‌خوبی امکان‌پذیر بوده و نتایج کاربردی و قابل اطمینانی حاصل می‌شود. لذا این آزمایش با هدف ارزیابی تحمل به گرمای ژنوتیپ‌های کلزا با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش و مقایسه کارایی شاخص‌های مورد استفاده و در نهایت انتخاب برترین ژنوتیپ‌ها و همچنین شاخص‌ها در غربال ژنوتیپ‌های متحمل به گرما در شرایط آب و هوایی اهواز اجرا شد.

۲. روش‌شناسی پژوهش

این آزمایش در دو سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷، ۹۹-۱۳۹۸ در مزرعه آزمایشی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز واقع در جنوب غربی شهرستان اهواز، به طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۴۱ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۱۹ دقیقه شمالی با ارتفاع ۲۰ متر از سطح دریا انجام شد. آزمایش در دو شرایط محیطی شاهد (تاریخ کاشت رایج منطقه، ۲۰ آبان) و شرایط تنش گرما (تاریخ کاشت تأخیری، ۲۰ آذر) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در هر شرایط، روی نه ژنوتیپ صورت گرفت. اطلاعات مربوط به ژنوتیپ‌ها در جدول ۱ و اطلاعات مربوط به آمارهواشناسی منطقه در طی دو سال زراعی در شکل ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. لیست ژنوتیپ‌های مورد استفاده در این مطالعه

Genotype	Hayola 50	Hayola 4815	Hayola 61	Hayola 401	RGS 003	Salsa	Drago	Traper	Agamax
Origin Type	Australia Hybrid	Australia Hybrid	Australia Hybrid	Australia Hybrid	Germany Open pollinated	Germany Hybrid	Germany Hybrid	Germany Hybrid	Germany Hybrid
Growth habit	Spring	Spring	Spring	Spring	Spring	Spring	Spring	Spring	Spring



شکل ۱. میانگین مشخصات هواشناسی منطقه آزمایش (مزرعه آزمایش دانشگاه شهید چمران اهواز) طی فصول زراعی ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۹-۱۳۹۸

در این آزمایش، تنش گرما در مزرعه به‌صورت طبیعی و به‌صورت کاشت دیرهنگام و مصادف‌شدن گل‌دهی با گرمای بالاتر از دمای مطلوب برای رشد و نمو کلزا اعمال شد. البته بجز تأخیر در کاشت، کلیه عملیات کاشت، داشت و برداشت در هر دو تاریخ کشت به‌صورت یکسان و مطابق روال معمول انجام شد. ارقام مذکور به روش جوی و پشته کشت شدند؛ به‌این‌صورت که بذور هر رقم روی سه پشته ۲ متری، با سه خط کاشت روی هر پشته و بادرنظرگرفتن تراکم حدود ۶۰ بوته در متر مربع و با فاصله بین بوته حدود ۷ سانتیمتر مورد کشت قرار گرفتند. عملیات برداشت برای تاریخ کشت اول (کشت شاهد) از اواسط فروردین‌ماه تا اوایل اردیبهشت‌ماه و برای تاریخ کاشت دوم (کشت تأخیری) نیز از هفته دوم اردیبهشت تا انتهای ماه بسته به تاریخ رسیدگی هیبرید به طول انجامید. در زمان برداشت دو خط اول و آخر و هم‌چنین ۱۰ سانتی متر از انتهای خطوط به‌عنوان حاشیه حذف و سطح باقی‌مانده برداشت شد.

به‌منظور ارزیابی ارقام از نظر تحمل به گرما از شاخص‌های کمی SSI، شاخص تحمل (Tolerance index; TOL)، MP، STI، GMP، HM، شاخص عملکرد (Yield Index; YI) و YSI بر اساس روابط زیر استفاده شد.

1. $SSI=\frac{1-(Ys/Yp)}{SI}$ $SI=1-\frac{\bar{Y}s}{\bar{Y}p}$ $TOL= Yp - Ys$ $MP=\frac{Ys+Yp}{2}$ $STI=\frac{Yp\times Ys}{\bar{Y}p^2}$
2. $GMP=\sqrt{(Yp\times Ys)}$ $HM=\frac{(2Yp\times Ys)}{Yp+Ys}$ $YI=\frac{Ys}{\bar{Y}s}$ $YSI=\frac{Ys}{Yp}$

Yp و Ys به‌ترتیب نشان‌دهنده عملکرد هر رقم در شرایط بدون تنش و تنش گرما، $\bar{Y}p$ و $\bar{Y}s$ به‌ترتیب میانگین عملکرد دانه تمام ارقام در شرایط بدون تنش و تنش گرما و SI بیانگر شدت سختی محیطی می‌باشد. تجزیه و تحلیل داده‌ها بر اساس تجزیه مرکب در دو سال و دو مکان (دو شرایط محیطی مختلف ناشی از کشت شاهد و کشت تأخیری) با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS انجام گرفت. قبل از انجام آنالیز واریانس دو فرض اصلی تجزیه واریانس شامل شاهدبودن توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون‌های شاپیر–ویلک (Shapiro-Wilk) و کلموگروف–سمیرنوف (Kolmogorov-Smirnow) و یکنواخت‌بودن واریانس خطاهای آزمایشی با استفاده از آزمون بارتلت مورد بررسی قرار گرفت. برای انجام مقایسات میانگین از آزمون چنددامنه‌ای دانکن استفاده شد. محاسبه شاخص‌های تحمل به گرما و رسم نمودارها توسط نرم‌افزار Excel و همچنین محاسبه آنالیزهای آماری چندمتغیره با استفاده از نرم‌افزار SPSS صورت گرفت.

۳. یافته‌های پژوهش و بحث

آزمون بارتلت با مقدار کی‌دو معادل ۶/۳۲، یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی را در سطح خطای پنج درصد($\chi^2_{0.95,3}=7.81$) تأیید کرد. نتایج تجزیه مرکب داده‌ها برای صفت عملکرد دانه و روز تا رسیدگی حاکی از وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بین ژنوتیپ‌ها، محیط‌های آزمایشی (طبیعی و تنش) و سال بود. معنی‌دارشدن اثر سال را می‌توان ناشی از وجود اختلاف در میزان

بارندگی و دما دانست، به‌گونه‌ای‌که بیش‌ترین بارندگی در سال اول در آبان‌ماه به‌میزان ۱۶۰/۱ میلی‌متر و در سال دوم در آذرماه به میزان ۱۳۱/۳ میلی‌متر ثبت شد و بر اساس آمار هواشناسی سال اول نسبت به سال دوم مرطوب‌تر گزارش شد. به‌علاوه مقایسه میانگین دمای دو سال حاکی از وجود اختلاف دمایی بین دو سال زراعی بود؛ به‌طوری‌که میانگین دمای حداکثر ماهیانه در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۸ بین ۱۵/۳ درجه سانتی‌گراد در آذر ماه تا ۴۷/۳ درجه سانتی‌گراد در خردادماه بود، درحالی‌که برای سال زراعی ۹۸-۱۳۹۹ بین ۱۹/۵ دی ماه تا ۴۵/۸ در خرداد ماه ثبت شد.

تاخیر در کاشت به‌دلیل کوتاه‌شدن طول دوره رشد رویشی و برخورد مراحل زایشی گیاه با دمای بالا با وجود مدیریت منظم برنامه آبیاری جهت تأمین آب مورد نیاز گیاه در طول فصل رشد منجر به کاهش عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد شد و کاهش چشم‌گیر ۴۸ درصدی عملکرد دانه در واحد سطح به‌دلیل تاخیر در کاشت به‌ویژه به‌واسطه تنش گرما مشاهده شد. همچنین باتوجه‌به معنی‌دارشدن اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ در رژیم دما می‌توان نتیجه‌گیری کرد که نه تنها ژنوتیپ‌ها از نظرعملکرد و روز تا رسیدگی متفاوت هستند، بلکه واکنش ژنوتیپ‌ها به تاریخ کشت و به‌ویژه تنش گرما نیز متفاوت بوده و از نظر حساسیت و تحمل گرما یکسان نبوده‌اند (جدول ۲). در این تحقیق میانگین عملکرد ارقام تحت شرایط شاهد و تنش گرما در سال اول به‌ترتیب ۳۴۶۷/۰۸ و ۱۶۶۷/۸۵ کیلوگرم در هکتار و در سال دوم به‌ترتیب ۳۳۵۳/۱۶ و ۱۶۸۷/۴۲ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. در سال اول و دوم آزمایش بیش‌ترین عملکرد دانه در شرایط تنش مربوط به هیبرید هایولا ۶۱ به‌ترتیب با ۱۹۴۹/۹۱ و۲۰۱۵/۱۴ کیلوگرم در هکتار و کمترین میزان عملکرد دانه مربوط به هیبرید هایولا ۴۸۱۵ به‌ترتیب با ۱۵۰۰/۲۵ و ۱۴۲۴/۷۳ کیلوگرم در هکتار بود. به‌علاوه بیشترین و کمترین تعداد روز تا رسیدگی در سال اول و دوم چه در شرایط شاهد و چه تنش را به‌ترتیب رقم سالسا (سال اول ۱۶۷/۳۳ و سال دوم ۱۶۱/۶۶) و هیبرید هایولا ۴۸۱۵ (سال اول ۱۳۸/۳۳ و سال دوم ۱۳۴/۶۶) به خود اختصاص دادند (جدول۳ و ۴).

باتوجه‌به پیچیده و کمی‌بودن صفت تحمل به تنش گرما، انتخاب ژنوتیپ‌ها صرفا بر اساس عملکرد دانه دارای دقت لازم نبوده و گاهی با نتایج متناقض همراه است. بنابراین شناسایی شاخص‌هایی که به به‌نژادگر جهت تحقق این هدف یاری کنند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. لذا در این پژوهش در قدم اول اقدام به محاسبه شاخص‌های تحمل به تنش و شناسایی مناسب‌ترین شاخص تحمل به گرما در کلزا شد. مقادیر مربوط به عملکرد دانه و شاخص‌های تحمل به تنش در دو شرایط مختلف محیطی بر پایه‌ی معادله‌های مختلف در طی دو سال زراعی محاسبه و در جداول ۳ و۴ ارائه شده است. در این آزمایش شدت تنش در سال اول ۰/۵۱ و در سال دوم ۰/۴۹ برآورد شد که نمایانگر شدت تنش بالایی در طی دو سال بود. شدت تنش عددی است که بین صفر تا یک متغیر است و هر چه این عدد به سمت یک متمایل شود بیان‌کننده شدت تنش بیش‌تر است (Fernandes,1992). بر اساس شاخص حساسیت به تنش (SSI) ژنوتیپ‌هایی با مقادیر کمتر از یک دارای تحمل بالاتری به تنش هستند، براین‌اساس هیبریدهای هایولا ۶۱ در طی دو سال آزمایش به‌ترتیب با ۰/۸۹ و ۰/۹۸ کمترین میزان حساسیت را داشت. باید توجه کرد که شاخص حساسیت به تنش مواد گیاهی را تنها بر پایه میزان افت عملکرد بدون توجه به ظرفیت عملکرد آنها دسته‌بندی می‌کند. یعنی ممکن است یک ژنوتیپ کم‌عملکرد تنها به‌این‌دلیل که در شرایط تنش افت کمی نسبت شرایط بدون تنش داشته، در گروه ژنوتیپ‌های متحمل قرار گیرد که مطلوب به‌نژادگران نیست. افزون بر این دو ژنوتیپ با عملکرد زیاد یا کم در دو شرایط می‌توانند مقدار شاخص حساسیت به تنش یکسانی داشته باشند، لذا انتخاب بر پایه این شاخص ممکن است به‌نژادگران را به اشتباه بیندازد (Naeimi, *et al*., 2008).

دررابطه‌با شاخص تحمل تنش (STI)، مقادیر بزرگ نشان‌دهنده تحمل بیش‌تر ژنوتیپ است. هیبریدهای هایولا ۵۰ به‌ترتیب در سال اول و دوم آزمایش (۰/۵۸، ۰/۶۴) و هایولا ۶۱ (۰/۶۱ و ۰/۶۶) بیش‌ترین میزان شاخص را نشان دادند. برتری این شاخص به دلیل این است که می‌تواند ژنوتیپ‌هایی که در هر دو شرایط تنش و بدون تنش عملکرد بالایی دارند (گروه A) از سایر ژنوتیپ‌های موجود در گروه‌های دیگر تفکیک کند (Mohammadi *et al*., 2017). بر اساس مطالعات صورت‌گرفته مناسب‌ترین شاخص انتخاب شناسایی ارقام متحمل به تنش، شاخصی است که ارتباط نسبتا قوی با عملکرد دانه تحت شرایط تنش و بدون تنش داشته باشد. بنابراین ارزیابی همبستگی بین شاخص‌های تحمل به تنش و عملکرد دانه در هر دو محیط می‌تواند منجر به شناسایی مناسب‌ترین شاخص‌ها

شود (Hashem Zehi *et al*., 2013). مطابق نتایج حاصل از آنالیز همبستگی در جدول ۵، بیش‌ترین همبستگی میان عملکرد اصلی در شرایط شاهد و تنش با شاخص‌های MP، GMP، STI و HM در دو سال مشاهده شد. همبستگی بالا و مثبت میان شاخص‌های MP، GMP، STI و HM با عملکرد دانه در هر دو شرایط محیطی شاهد و تنش بیان‌کننده مؤثربودن استفاده از این شاخص‌ها جهت انتخاب تحت شرایط شاهد و تنش می‌باشد و انتظار می‌رود که ژنوتیپ‌های انتخابی براساس این نوع شاخص‌ها دارای عملکرد مطلوبی در هر دو شرایط باشد.

شاخص YI با عملکرد دانه تحت شرایط تنش گرما، در طی دو سال همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد، بنابراین این شاخص تنها جهت رتبه‌بندی ارقام در شرایط تحت تنش مناسب می‌باشد و جهت انتخاب ارقامی با عملکرد بالا در هر دو شرایط شاهد و تنش کاربرد چندانی ندارد. نتایج مذکور مطابق با پژوهش‌هایی است که روی گیاهان زراعی دیگر با اعمال تنش گرما در شرایط مزرعه و شرایط گلخانه‌ای صورت گرفته است (Modarressi *et al*., 2011; Omidi *et al*., 2015; Mohammadi *et al*., 2017). در پژوهشی دیگر MP، GMP و STI به‌طور معنی‌داری تحت شرایط تنش با عملکرد دانه همبستگی نشان داد (Yarnia, 2011).

جدول ۲. تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه و روز تا رسیدگی ژنوتیپ‌های کلزا در دو سال و دو تاریخ کشت

SOV	S	Y	S× Y	Er1	G
d.f	1	1	1	8	8
Seed Yield	73478825.10**	2701.82^{ns}	417543.62**	11122.28	484740.51**
DTR	15200.45**	3778.75**	1792.00**	4.77	642.53**
SOV	**G×S**	**G×Y**	**G×S×Y**	**Er2**	**CV%**
d.f	8	8	8	64	
Seed Yield	269748.51**	21362.42*	11332.36^{ns}	8026.73	3.50
DTR	9.75**	29.37**	19.59**	2.39	1.63

S: تاریخ کشت، Y: سال، S×V: تاریخ کشت×سال، Er1: خطای اول، G: ژنوتیپ، G×S: ژنوتیپ×تاریخ کشت، G×Y: ژنوتیپ×سال، G× S×Y: ژنوتیپ×تاریخ کشت ×سال، Er2: خطای دوم، CV: ضریب تغییرات، DTR: روز تا رسیدگی. ** و *: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح یک درصد و پنج درصد.

جدول ۳. میانگین عملکرد دانه، روز تا رسیدگی و شاخص های تحمل به تنش ژنوتیپ‌های کلزا در سال اول

Genotype	YP	YS	TOL	MP	GMP	STI	YI	YSI	HM	SSI	DTRN	DTRS
Hayola50	3852.64	1833.98	2018.66	2843.31	2658.13	0.58	1.08	0.47	2485.01	1.00	151.33	117.33
Hayola4815	3143.33	1500.25	1643.08	2123.79	2171.58	0.39	0.89	0.47	2031.09	1.00	138.33	105.66
Hayola401	3631.66	1684.39	1947.27	2658.02	2473.28	0.49	1.00	0.46	2301.38	1.03	149.66	113.33
Hayola61	3763.33	1949.91	1813.42	2856.62	2708.90	0.61	1.16	0.51	2568.82	0.92	158	119.33
Rgs003	3253.33	1609.74	1543.59	2481.53	2358.46	0.46	1.02	0.52	2241.49	0.91	156	123
Salsa	3079.66	1505.13	1574.53	2292.39	2152.97	0.38	0.90	0.48	2022.02	0.98	167.33	140.33
Drago	3550.00	1662.50	1887.50	2606.25	2429.37	0.49	1.04	0.46	2264.50	1.02	155	119.33
Traper	3429.66	1574.89	1854.78	2502.27	2324.07	0.44	0.94	0.45	2158.57	1.04	152.66	123
Agamax	3500.00	1589.89	1910.11	2544.94	2358.94	0.46	0.95	0.45	2186.53	1.05	152.33	123.66
Average	3467.08	1667.85										

Yp: عملکرد دانه در شرایط شاهد ، Ys: عملکرد دانه در شرایط تنش، TOL: شاخص تحمل، MP: میانگین بهره‌وری، GMP: میانگین هندسی بهره‌وری، STI: شاخص تحمل به تنش، YI: شاخص عملکرد، YSI: شاخص پایداری عملکرد، HM: میانگین هارمونیک، SSI: شاخص حساسیت به تنش، DTRN: تعداد روز تا رسیدگی در شرایط شاهد ، DTRS: تعداد روز تا رسیدگی در شرایط تنش.

جدول ٤. میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های کلزا تحت شرایط شاهد و تنش گرما و شاخص‌های تحمل به تنش در سال دوم

Genotype	YP	YS	TOL	MP	GMP	STI	YI	YSI	HM	SSI	DTRN	DTRS
Hayola50	3802.06	1913.33	1888.73	2857.69	2697.14	0.64	1.13	0.50	2545.61	0.99	147.30	131.60
Hayola4815	2835.55	1424.73	1410.82	2130.14	2009.94	0.35	0.84	0.50	1896.53	1.00	134.66	120.33
Hayola401	3506.66	1774.73	1731.93	2640.69	2494.66	0.55	1.05	0.50	2356.71	0.99	146.33	135.66
Hayola61	3693.22	2015.14	1678.08	2854.18	2728.08	0.66	1.19	0.54	2607.53	0.91	152.00	139
Rgs003	3190.11	1629.66	1560.45	2409.88	2280.08	0.46	0.96	0.51	2157.27	0.98	151.00	138.33
Salsa	2956.66	1529.66	1427	2243.16	2126.66	0.40	0.90	0.51	2016.21	0.97	161.66	138.66
Drago	3347.00	1720.66	1626.34	2533.83	2399.80	0.51	1.01	0.51	2272.86	0.97	156.66	132.33
Traper	3393.33	1662.56	1730.77	2527.94	2375.20	0.50	0.98	0.48	2231.70	1.02	146.66	128
Agamax	3453.89	1516.33	1937.56	2485.11	2288.50	0.46	0.89	0.43	2107.44	1.12	149	130.33
Average	3353.16	1687.42										

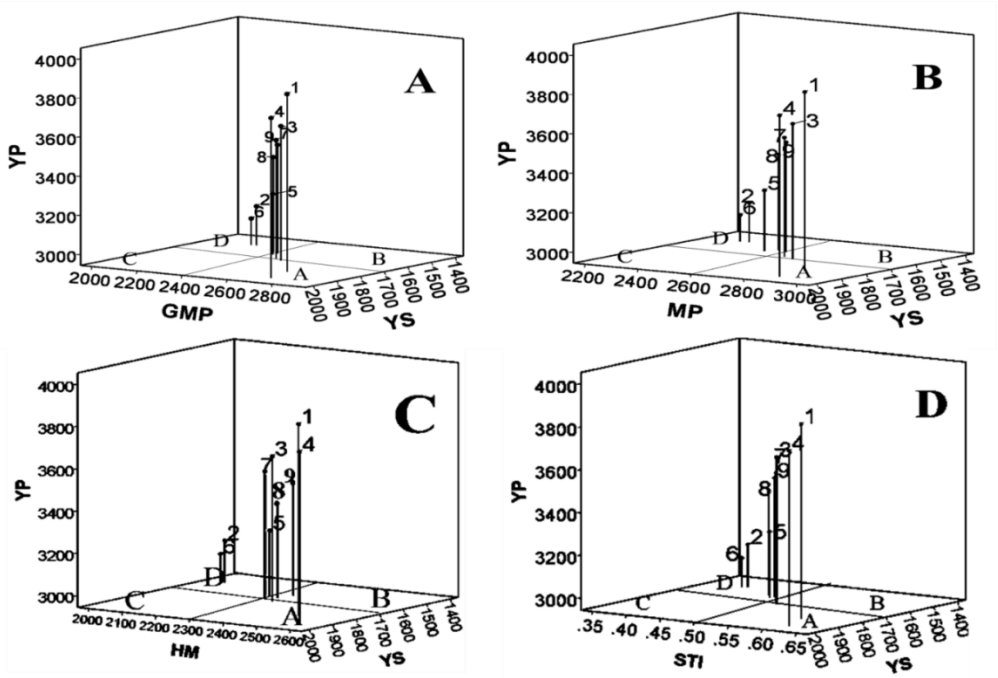
Yp: عملکرد دانه در شرایط شاهد ، Ys: عملکرد دانه در شرایط تنش، TOL: شاخص تحمل، MP: میانگین بهره‌وری، GMP: میانگین هندسی بهره‌وری، STI: شاخص تحمل به تنش، YI: شاخص عملکرد، YSI: شاخص پایداری عملکرد، HM: میانگین هارمونیک، SSI: شاخص حساسیت به تنش، DTRN: تعداد روز تا رسیدگی در شرایط شاهد ، DTRS: تعداد روز تا رسیدگی در شرایط تنش.

جدول ۵. ضرایب همبستگی شاخص‌های تحمل به گرما با عملکرد دانه در شرایط شاهد و تنش در سال اول و دوم

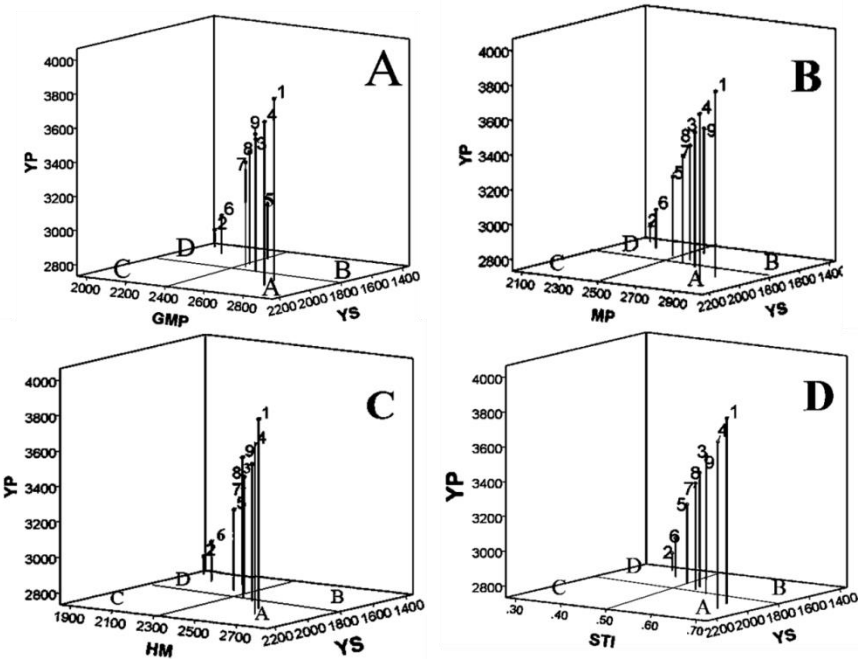
		TOL	MP	GMP	STI	YI	YSI	HM	SSI
First Year	YP	0.812**	0.911**	0.794**	0.805**	0.377 ns	-0.425 ns	0.654*	0.425 ns
	YS	-0.235ns	0.726**	0.863**	0.852**	1**	0.676*	0.947**	-0.676*
Second year	YP	0.935**	0.964**	0.910**	0.910**	0.433 ns	-0.745**	0.818**	0.745**
	YS	0.086 ns	0.658*	0.767**	0.767**	1**	0.273 ns	0.872**	-0.273 ns

TOL: شاخص تحمل، MP: میانگین بهره‌وری، GMP: میانگین هندسی بهره‌وری، STI: شاخص تحمل به تنش، YI: شاخص عملکرد، YSI: شاخص پایداری عملکرد، HM: میانگین هارمونیک، SSI: شاخص حساسیت به تنش.

یکی از بهترین راه‌های شناسایی ارقام مناسب از نظر تحمل به تنش، بررسی اثر متقابل سه‌متغیره عملکرد دانه در شرایط شاهد، عملکرد دانه در شرایط تنش و شاخص تحمل به تنش می‌باشد. به‌نحوی‌که ارقام مناسب علاوه‌بر دارابودن عملکرد قابل توجه در هر دو شرایط شاهد و تنش، از جهت مقدار شاخص محاسباتی مطلوب بوده و در ناحیه مناسب نمودار سه‌بعدی (ناحیه A) قرار گیرند. پس با این هدف نمودار سه‌بعدی جهت تعیین دقیق مناسب‌ترین ارقام از نظر تحمل به تنش گرما رسم شد. با بررسی این نمودارهای سه‌بعدی مشاهده شد که بر اساس هر چهار شاخص مناسب شناسایی شده یعنی شاخص‌های GMP، STI، HM و MP در طی دو سال، هیبریدهای هایولا۵۰، هایولا۶۱ و تا حدودی هایولا ۴۰۱ در گروه A قرار گرفته و عملکرد بالایی در هر دو شرایط شاهد و تنش گرمایی دارا بودند. ارقام آرجی‌اس۰۰۳، دراگو، تراپر و آگامکس فقط در محیط شاهد عملکرد بالایی داشتند و در گروه B قرار گرفتند. دو رقم سالسا و هایولا۴۸۱۵ در گروه D که نشان‌دهنده عملکرد نسبتا پایین در هر دو شرایط شاهد و تنش می‌باشد قرار گرفتند. هیچ رقمی در گروه C که نشان‌دهنده ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالاتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌های دیگر در محیط تنش است قرار نگرفت (شکل ۲ و ۳). باتوجه‌به عملکرد مطلوب هیبریدهای هایولا ۵۰، هایولا ۶۱ و در رتبه بعد هایولا ۴۰۱ در هر دو شرایط شاهد و تنش و هم‌چنین مقادیر بالاتر این هیبریدها از نظر بیش‌تر شاخص‌های تحمل به تنش گرما در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها می‌توان این ارقام را به‌عنوان متحمل‌ترین ارقام در این پژوهش معرفی کرد.



شکل ۲. گزینش ژنوتیپ‌های کلزا در سال اول بر اساس عملکرد دانه تحت شرایط شاهد (Yp) و تنش (Ys) و شاخص‌های GMP (A) MP (B)، HM (C)، STI (D)، ۱-هایولا۵۰، ۲- هایولا۴۸۱۵، ۳- هایولا۴۰۱، ۴- هایولا۶۱، ۵- آرجی‌اس۰۰۳، ۶- سالسا، ۷- دراگو، ۸- تراپر، ۹- آگامکس



شکل ۳. گزینش ژنوتیپ‌های کلزا در سال دوم بر اساس عملکرد دانه تحت شرایط شاهد (Yp) و تنش (Ys) و شاخص‌های GMP(A)، MP(B)، HM (C)، STI(D)۱- هایولا۵۰، ۲- هایولا۴۸۱۵، ۳- هایولا۴۰۱، ۴- هایولا۶۱، ۵- آرجی‌اس۰۰۳، ۶- سالسا، ۷- دراگو، ۸- تراپر، ۹- آگامکس

هر چند نمودار سه‌بعدی اطلاعات بسیار ارزشمندی جهت تفکیک ژنوتیپ‌ها براساس سه متغیر نشان داد، ولی جهت بررسی دقیق‌تر ژنوتیپ‌ها و تفکیک آن‌ها براساس کلیه شاخص‌ها از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی استفاده شد. نتایج آنالیز سال اول و دوم به‌ترتیب نشان داد که دو مؤلفه اول ۹۹/۹۴ و ۹۹/۹۰ درصد از کل تغییرات موجود در بین جمعیت را توجیه کردند، بنابراین تفسیر نتایج را می‌توان

براساس این دو مؤلفه انجام داد و از سایر مؤلفه‌ها که بخش ناچیزی از تغییرات را توجیه می‌کنند چشم‌پوشی کرد (جدول ۶). باتوجه‌به این امر که مؤلفه اول و دوم مستقل از یکدیگر بوده و دارای واریانس متفاوتی هستند، می‌توان آن‌ها را به‌عنوان دو محور مختصات در نظر گرفت و نمودار بای‌پلات پراکنش ژنوتیپ‌ها را براساس مقادیر این مؤلفه‌ها رسم کرد (شکل ۴). نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه به مولفه‌های اصلی نشان داد که مولفه اول در سال اول ۶۲/۹۳ و در سال دوم ۶۸/۷۲ درصد از کل تغییرات را توجیه کرد و رابطه مثبت با شاخص‌های GMP، STI، HM و MP داشت (جدول ۵).

همان‌طورکه در قسمت‌های قبل اشاره شد بزرگ‌بودن مقادیر شاخص‌های GMP، STI، HM وMP در یک ژنوتیپ بیانگر تحمل بالای آن ژنوتیپ در شرایط تنش می‌باشد. لذا این مؤلفه قادر است که ژنوتیپ‌های متحمل و حساس به گرما را از هم تفکیک سازد. علاوه‌براین باتوجه‌به مثبت و قابل توجه‌بودن ضرایب مربوط به عملکرد در شرایط شاهد و تنش گرما در این مؤلفه، می‌توان نتیجه گرفت که ژنوتیپ‌هایی با مقدار عددی بزرگ‌تر برای این مؤلفه علاوه بر تحمل بیش‌تر به تنش دارای عملکرد بیش‌تری نیز هستند. به‌عبارت دیگر این مؤلفه قادر به جداسازی ژنوتیپ‌های متحمل‌تر با قابلیت تولید عملکرد مطلوب در هر دو شرایط شاهد و تنش است. ازاین‌رو مولفه اول به عنوان مولفه پتانسیل عملکرد نامگذاری شد. مؤلفه دوم در طی دو سال اول و دوم به‌ترتیب ۳۷/۵ و ۳۱/۲ درصد از تغییرات کل را توجیه کرد. وجود اختلاف شدید ضرایب مربوط به عملکرد در شرایط مطلوب و شرایط تنش از لحاظ مقدار و علامت مؤید امکان جداسازی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در شرایط شاهد نسبت به تنش می‌باشد. هم‌چنین این مولفه رابطه مثبت و معنی‌داری با شاخص‌های TOL و SSI و رابطه منفی با YI,YSI و YS خود نشان داد، از این رو این مولفه به‌عنوان مولفه حساسیت به تنش معرفی شد و به بیانی دیگر شانس این مؤلفه در شناسایی ژنوتیپ‌های حساس بیش‌تر می‌باشد. بنابراین ژنوتیپ‌هایی که دارای مقدار عددی بزرگ‌تری از این مؤلفه هستند احتمالا دارای پتانسیل عملکرد بالا در شرایط شاهد و حساس به گرما می‌باشند (جدول ۶).

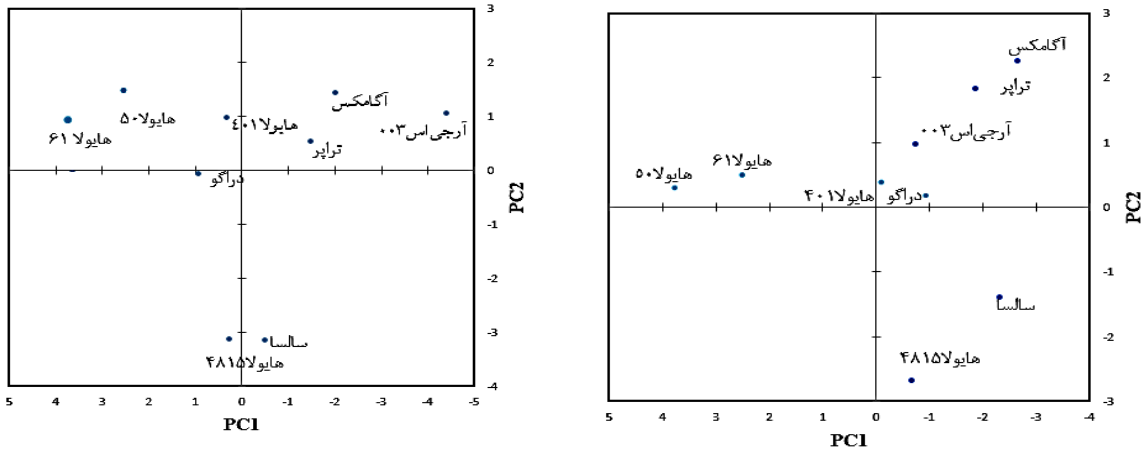
جدول ٦. مقادیر ویژه حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بر اساس شاخص‌های تحمل به تنش گرما در گیاه کلزا در طی دو سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۹-۱۳۹۸

Components	Eigenvalue	Variance (%) Total	TOL	MP	GMP	STI	YI
First year							
PC1	6.29	62.93	-0.1	0.91	0.98	0.97	0.94
PC2	3.70	99.94	0.99	0.40	0.19	0.21	-0.33
Second year							
PC1	6.87	68.72	-0.81	1	0.98	0.98	0.65
PC2	3.11	99.90	0.58	0.008	0.16	0.16	-0.45
Components	**Eigenvalue**	**Total Variance (%)**	**YSI**	**HM**	**SSI**	**YS**	**YP**
First year							
PC1	6.29	62.93	0.39	0.1	-0.39	0.94	0.66
PC2	3.70	99.94	-0.91	-0.01	0.91	-0.33	0.74
Second year							
PC1	6.87	68.72	0.55	0.94	-0.55	0.85	0.96
PC2	3.11	99.90	-0.83	0.34	0.83	-0.35	-0.25

YP: عملکرد دانه در شرایط شاهد ، YS: عملکرد دانه در شرایط تنش، TOL: شاخص تحمل، MP: میانگین بهره‌وری، GMP: میانگین هندسی بهره‌وری، STI: شاخص تحمل به تنش، YI: شاخص عملکرد، YSI: شاخص پایداری عملکرد، HM: میانگین هارمونیک، SSI: شاخص حساسیت به تنش.

بادرنظرگرفتن تمام تفاسیری که در مورد مؤلفه‌های مختلف ارائه شد و علاوه‌برآن باتوجه‌به پراکندگی ارقام در بای‌پلات مؤلفه‌های یک و دو (شکل ۴) می‌توان ملاحظه کرد که هیبریدهای هایولا۵۰، هایولا۶۱ در منطقه‌ای که نشان‌دهنده تحمل بیش‌تر آن‌ها به تنش گرما است قرار گرفته‌اند و این هیبریدها در دو شرایط شاهد و تنش گرما دارای بیش‌ترین عملکرد بودند. همچنین هایولا ۴۰۱ در رتبه سوم جدول هیبریدهای پرمحصول در هر دو شرایط محیطی تنش و بدون تنش قرار گرفتند. هیبرید هایولا ۵۰ در طی آزمایش‌**های** مزرعه‌ای مشابه با اعمال تنش گرمای انتهای فصل ناشی از تأخیر در کاشت، متحمل به گرما معرفی شده است (Kolahkaj & Mojtabaie Zamani, 2022). در آزمایش دیگری با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش هیبرید هایولا ۴۰۱ هیبریدی

متحمل و رقم آرجی‌اس۰۰۳ رقمی حساس نسبت به تنش‌های غیر زنده محیطی به‌ویژه در شرایط تنش گرما و خشکی تشخیص داده شد (Faraji, 2009).



شکل ٤. پراکنش ژنوتیپ‌های کلزا بر اساس دو مؤلفه اصلی اول و دوم (سال اول: چپ، سال دوم: راست)

۴. نتیجه‌گیری

به‌منظور به‌حداقل‌رساندن خطرات ناشی از تنش گرمای آخر فصل رشد، ضمن شناسایی مناطق دارای این نوع تنش بر اساس مشاهده‌های درازمدت اقلیمی و اعمال مدیریت زراعی خاص، باید از ژنوتیپ‌های سازگار و متحمل به گرما استفاده کرد. در این پژوهش در یک ارزیابی مزرعه‌ای دو ساله با بکارگیری شاخص‌های تحمل به تنش و تجزیه به مولفه‌های اصلی، ژنوتیپ‌های متحمل به گرما و با عملکرد بالا را در هر دو شرایط تنش و بدون تنش شناسایی شدند. معنی‌داربودن همبستگی بین شاخص‌ها با عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش نشان داد شاخص‌های میانگین بهره‌وری (MP)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، شاخص تحمل به تنش (STI) و میانگین هارمونیک (HM) نسبت به بقیه شاخص‌ها از قابلیت بهتری برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به گرما و با عملکرد بالا در کلزا برخوردارند. نتایج این پژوهش، نشان داد که ژنوتیپ‌های هایولا۵۰ و هایولا ۶۱ و بعد از آن‌ها هایولا۴۰۱ نسبت به سایر ارقام تحمل بیشتری به گرما دارند و به‌عنوان هیبریدهایی با پتانسیل عملکرد بالا در شرایط تنش گرما شناخته شدند. هر چند در این ژنوتیپ‌ها تعداد روز تا رسیدگی نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها نسبتا کمتر بود ولی برتری این هیبریدها در تاریخ کشت تأخیری همراه با تنش گرمای انتهای فصل در طی دو سال را نمی‌توان صرفا به مکانیزم فرار از گرما به واسطه زودرسی نسبت داد. داشتن پتانسیل عملکرد بالای این هیبریدها و احتمالا ژن‌های تحمل به تنش گرما از عوامل عمده تحمل سه هیبرید هایولا ۵۰، هایولا ۶۱ و هایولا ۴۰۱ به گرما می‌باشد که می‌بایست در مطالعات آتی در مبحث فیزیولوژی مولکولی مورد بررسی قرار گیرد. این هیبریدها جهت کشت در مناطق گرم کشور با احتمال تنش گرمای انتهای فصل توصیه می‌شوند.

۵. سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز از محل پژوهانه شماره SCU.AA98.500 انجام شده است که به‌این‌وسیله سپاسگزاری می‌شود.

۶. منابع

Barnabas, B., Jager, K., & Feher, A. (2008). The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plant Cell Environment*, *31*, 11e38.

Dorostkar, S., Dadkhodaie, A., & Heidari, B. (2015). Evaluation of grain yield indices in hexaploid wheat genotypes in response to drought stress. *Archives of Agronomy and Soil Science Journal*, *61*(3), 397-413.

El Rawy, M.A., & Hassan, M.I. (2014). Effectiveness of drought tolerance indices to identify tolerant genotypes in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Crop Science and Biotechlogy Journal*, *17*(4), 255-266.

Fao, http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize, 2017.

Faraji, A. (2008). Evaluation of heat and drought tolerance in two rapeseed cultivars. *Plant and Seed Journal*, *25*(2), 169-181. (In Persian)

Farshadfar, E., Zamani, M., Motallebi, M., & Imamjomeh, A. (2001). Selection for drought resistance in chickpea lines. *Iranian Journal of Agricultural Science*, *32*, 65-77. (In Persian)

Fernandes, G.C.J. (1992). Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Proceeding of the international symposium on adaptation of vegetables and other food crop in temperature and water stress.Taiwan, 245-270.

Hashem Zehi, M., Moradgholi, A., & Ghasemi, A. (2013). Evaluation of response of mung bean cultivars to drought stress using different drought stress indices. *Journal of Crop Breeding*, *12*, 112-122.

Jan, S.A., Bibi, N., Shinwari, Z.K., Rabbani, M.A., Ullah, S., Qadir, A., & Khan, N. (2017). Impact of salt, drought, heat and frost stresses on morpho-biochemical and physiological properties of *Brassica* species: An updated review. *Agriculture and Rural Development*, *2*(1), 1-10.

KalantarAhmadi, S.A., Ebadi, A., Siadat, S.A., & Tavakoli Hasanaklou, H. (2014). Effect of heat stress due to sowing date on grain yield of rapeseed cultivars in north Khuzestan conditions in Iran. *Iranian Journal of Crop Sciences*, *16*(1), 62-76.(In Persian)

Kolahkaj, S., & Mojtabaie Zamani, M. (2022). The effect of heat stress at the end of season on gronomic characteristics and yield of rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes in Ramhormoz. *Journal of Crop Ecophysiology*, *16*(3), 339-356.

Ma, B.L., Zhao, H., Zheng, Z.M., Caldwell, C., Mills, A., Earl, H., Vanasse, A., Scott, P., & Smith, D.L. (2016). Optimizing seeding dates and rates for canola production in the humid eastern Canadian agroecosystems. *Agronomy Journal*, *108*, 1869e1879.

Modarressi, M., Mohammadi, W., Zali, A., & Mardi, M. (2011). Investigation of heat stress tolerance indices in wheat. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *42*(3), 465-474. (In Persian)

Mohammadi, V.A., Fathi Hafshejan, H., Maali-Amiri, R., & Alizadeh, H. (2017). Screening of rapeseed (*Brassiac napus* L.) genotypes for tolerance to terminal heat stress by plastic greenhouse. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *49*(2),161-170. (In Persian)

Naeimi, M., Akbari, Gh., Shiranirad, A.H., Modares Sanavi, S.E.M., Sadat Nori, S.A., & Jabari, H. (2008). Evaluation of drought tolerance in different canola cultivars based on stress evaluation in terminal growth duration. *Crop Production*, *1*(3), 83-98. (In Persian)

Omidi, M., Siahpoosh, M., Mamghani, R., & Modarressi, M. (2015). Heat tolerance evaluating of wheat cultivars using physiological characteristics and stress tolerance indices in Ahvaz climatic condition. *The Plant Production*, *38*(1), 103-113.(In Persian)

Porch, T.G. (2006). Application of stress indices for heat tolerance screening of common Bean. *Agronomy and Crop Science Journal*, *192*, 390-394.

Rashidi, S.H., Shirani Rad, A.M., Ayene Band, A., Javidfar, F., & Lak, S.H. (2012). Study of relationship between drought stress tolerances with some physiological parameters in canola genotypes (*Brassica napus* L.). *Annals of Biological Research*, *3*, 564-569. (In Persian)

Reddy, A.R., Chaitanya, K.V., & Vivekanandan, M. (2004). Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology*, *161*, 1189-1202.

Rezaeizadeh, A., Mohammadi, V., Zeinali, H., & Zali, A. (2020). Physiological responses of tolerant and susceptible rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars to heat stress. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *50*(4), 89-98. (In Persian)

Report on the level, production and performance of crops in the crop year 2020-2021. http://www.ajkhz.ir/moa-barnameh-rizi/index.php/pages/general/. (In Persian)

Sharma, P., Jha, A.B., Dubey, R.S., & Pessarakli, M. (2012). Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. *Journal of Botany*, 27037. https://doi.org/10.1155/2012/217037.

Wu, W., Ma, B.L., & Whalen, J.K. (2018). Enhancing rapeseed tolerance to heat and drought stresses in a changing climate: Perspectives for stress adaptation from root system architecture. *Advances in Agronomy*, *151*, 87-157.

Yarnia, M., Arabifard, N., Rahimzadeh Khoei, F., & Zandi, P. (2011). Evaluation of drought tolerance indices among some winter rapeseed cultivars. *African Journal of Biotechnology*, *10*, 10914-10922.

Young, L., Wilen, R., & Bonham-Smith, P. (2004). High temperature stress of *Brassica napus* during flowering reduces micro and megagametophyte fertility, induces fruit abortion, and disrupts seed production. *Journal of Experimental Botany*, *55*, 485–495.

Yu, E., Fan, C., Yang, Q., Li, X., Wan, B., Dong, Y., Wang, X., & Zhou, Y. (2014). Identification of heat responsive genes in *Brassica napus* siliques at the seed-filling stage through transcriptional profiling. *PLoS ONE*, *9*(7), e101914.

Zhang, J., Mason, A.S., Wu, J., Liu, S., Zhang, X., Luo, T., Redden, R., Batley, J., Hu, L., & Yan, G. (2015). Identification of putative candidate genes for water stress tolerance in canola (*Brassica napus*). *Frontiers in Plant Science*. https://doi.org/10.3389/fpls.2015.01058.