

شناسایی واریته‌های کلزای مقاوم به تنش گرمای آخر فصل به روش گلخانه پلاستیکی

ولی اله محمدی^{۱*}، حجت فتحی هفشجانی^۲، رضا معالی امیری^۳ و هوشنگ علیزاده^۴
۱، ۳ و ۴. دانشیاران گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
۲. دانشجوی دکتری گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
(تاریخ دریافت: ۹۶/۰۲/۱۲ - تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۴/۲۰)

چکیده

بخش عمده تولید کلزای کشور در مناطق گرم و خشک جنوب و گرم و مرطوب شمال صورت می‌گیرد و همین امر اجرای برنامه‌های به‌ترتیب برای مقاومت به تنش گرما را ضروری می‌کند. به‌منظور شناسایی رقم‌های مقاوم و حساس به گرما نه واریته بهاره کلزا شامل رقم‌های زراعی و لاین‌های امیدبخش در قالب دو طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو آزمایش در شرایط دمای طبیعی و تنش گرما در مزرعه پژوهشی گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه تهران (واقع در کرج) طی دو سال ۱۳۹۳-۱۳۹۵ ارزیابی شدند. تنش گرما با ایجاد گلخانه پلاستیکی در مرحله گلدهی و نصب بخاری برقی اعمال شد. دمای بالای ۳۹/۴-۲۵/۱ درجه سلسیوس درون گلخانه پلاستیکی، تفاوت قابل توجه آن با دمای طبیعی مزرعه و کاهش معنی‌دار عملکرد دانه رقم‌ها در این شرایط در هر دو سال آزمایش نشان داد. روش گلخانه پلاستیکی می‌تواند به‌طور مؤثری برای اعمال تنش گرما به کار گرفته شود. رقم‌های رودی ۲۲، دلگان و مهتاب رقم‌های به‌نسبت متحمل بودند. رقم صفی ۵ با احراز رتبه اول عملکرد در هر دو شرایط تنش و بدون تنش و با در نظر گرفتن شاخص‌های تحمل، متحمل‌ترین رقم و دی‌اچ ۱۳ حساس‌ترین رقم به تنش گرما بودند که می‌توانند در برنامه‌ریزی توسعه کشت کلزا و همین‌طور برنامه‌های به‌ترتیب استفاده شوند.

واژه‌های کلیدی: تنش گرما، شاخص تحمل، کلزا، گلخانه پلاستیکی، رقم‌های مقاوم.

Screening of Rapeseed (*Brassica napus* L.) Genotypes for Tolerance to Terminal Heat Stress by Plastic Greenhouse

Valiollah Mohammadi^{1*}, Hojjat Fathi Hafshejani², Reza Maali-Amiri³ and Houshang Alizadeh⁴

2, 3 and 4. Associate Professors, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran

2. Ph.D. Student, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran

(Received: May 02, 2017 - Accepted: July 11, 2017)

ABSTRACT

The majority of rapeseed in Iran is produced in South hot-dry and North hot-humid regions making it necessary to improve heat resistant cultivars. In order to identify heat tolerant and susceptible cultivars, nine spring varieties of rapeseed including commercial cultivars and promising lines, were evaluated under normal and heat stress conditions in research field of the University of Tehran in two sets of randomized complete blocks with three replications for two years during 2015-2016. Heat stress applied by a plastic greenhouse at flowering stage equipped with electric heater. The temperature exceeding 25.1- 39.4°C inside the plastic sheet, remarkably different temperature with the open field, significant yield loss of the varieties under stressed condition in both years, illustrated that plastic greenhouse could be effectively used for applying heat stress. Based on grain yield in normal and heat-stressed conditions and tolerance indices, Roodi22, Dalgan and Mahtab were semi-tolerant while Safi5 and DH13 were shown to be the most tolerant and susceptible varieties, respectively which might be considered in production and also breeding programs.

Keywords: Heat stress, Index tolerance, Plastic greenhouse, Rapeseed, Resistant cultivars.

* Corresponding author E-mail: vmohammadi@ut.ac.ir

مقدمه

کلزا سومین منبع اصلی تولید و تأمین روغن‌نباتی جهان است (Yu et al., 2014)، که به دلیل ویژگی‌های خاص مانند سازگاری با شرایط مختلف آب‌وهوایی، ارزش تناوبی بالا، داشتن رقم‌های بهاره و پاییزه، عملکرد بالای روغن در واحد سطح، کیفیت بالای روغن، کنجاله ارزشمند و دیگر برتری‌های آن کلید خودکفایی نسبی کشور در روغن-خوراکی به شمار می‌آید. تنش گرما به‌ویژه تنش آخر فصل یکی از محدودیت‌های تولید کلزا و اغلب محصولات زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک به شمار می‌آید. دماهای بالا به‌صورت زودگذر یا دائمی سبب تغییرپذیری‌های ریخت‌شناختی (مورفولوژیک)، ساختاری (آناتومیک)، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی در گیاهان و در نتیجه کاهش رشد و نمو و عملکرد می‌شوند (Porter, 2005). تفاوت زیاد عملکرد در زراعت‌های مناطق گرم در مقایسه با همان زراعت‌ها در مناطق سرد و یا به‌عبارت‌دیگر برتری عملکرد زراعت‌های زمستانه به زراعت‌های بهاره افزون بر اینکه از تأمین آب کافی در زمستان و طولانی بودن فصل رشد ناشی می‌شود به تأثیر تنش گرما در کاهش محصول زراعت‌های بهاره باز می‌گردد (Paulsen, 1994).

تنش گرما عبارت است از افزایش دما به بالاتر از حد آستانه تحمل گیاه که سبب ایجاد تغییرپذیری‌های برگشت‌ناپذیر در رشد و نمو گیاه می‌شود. امروزه برآورد می‌شود که ۴۰ درصد از مجموع کل کاهش عملکرد توسط تنش‌های غیرزیستی ناشی از گرماست. حدود ۲۳ درصد از سطح کره زمین میانگین دمای بیش از ۴۰ درجه سلسیوس را تجربه می‌کنند و با توجه به پیش‌بینی افزایش ۱ و ۳ درجه‌ای دما به ترتیب در سال‌های ۲۰۲۵ و ۲۱۰۰ به دلیل پدیده تغییر اقلیم این گستره رو به افزایش است (Ashraf & Harris, 2005). حساس‌ترین مرحله زندگی گیاه از جمله گیاه کلزا به تنش گرما مرحله رشد زایشی به‌ویژه مرحله گرده‌افشانی است که حتی در شرایط آبیاری مطلوب نیز افت عملکرد را به دنبال خواهد داشت (Nuttal et al., 1992; Morrison, 1993 and Anghadi et al., 2000; Garcia del Moral et al., 2003; Yu et al., 2014). با افزایش دما از حالت بهینه، رشد بساک‌ها، جوانه‌زنی و رشد لوله گرده با افت قابل توجهی روبه‌رو شده و در نتیجه

باعث افت عملکرد خواهد شد (Endo et al., 2009). برای پایداری زراعت کلزا، درک ارتباط بین عملکرد محصول و تنش گرما و تأثیر دمای بالا بر ویژگی‌های زراعی کلزا به‌ویژه در مناطق نیمه‌خشک ضروری است (Anghadi et al., 2000).

به‌طور کلی کلزا یک زراعت فصل سرد به‌شمار می‌آید (Morrison, 1993; Brandt & McGregor, 1997). نتایج آزمایش‌ها نشان داده است، در اراضی مرطوب‌تر و دمای خنک‌تر در کانادا یک همبستگی منفی بین عملکرد دانه و دمای فصل رویش وجود دارد (Brandt & McGregor, 1997; Nuttal et al., 1992). دمای بحرانی برای آغاز آسیب تنش گرما در کلزا از ۲۵ تا ۲۷ درجه سلسیوس (Morrison et al., 1989; Morrison, 1993) و ۳۰ تا ۳۲ درجه سلسیوس (Polowick & Fan & Stefansson, 1986) گزارش شده است. نتایج تحقیقات دیگر پژوهشگران نشان داده است، افزایش دما باعث افزایش میزان تنفس خورجین‌ها در کلزا و در پی آن کاهش مواد پرورده توسط خورجین‌ها در مرحله پر شدن دانه خواهد شد. تأخیر در کاشت کلزا سبب روبه‌رو شدن دوره رسیدن گیاه با دمای بالای محیط می‌شود که نتیجه آن کاهش ذخیره مواد نورساختی (فتوسنتزی) و کاهش وزن دانه‌ها و درنهایت کاهش عملکرد گیاه است (Whitfield, 1992). نتایج پژوهشی که توسط Morrison (1993) انجام شد نشان داد، بوته‌های کلزایی که سراسر دوره رشد خود را در دمای روزانه ۲۷ و شبانه ۱۷ درجه سلسیوس سپری کرده بودند تقریباً به‌طور کامل عقیم شدند. Nuttal et al. (1992) در نتایج بررسی‌های خود برآورد کرده‌اند، به ازای هر ۳ درجه سلسیوس افزایش دما، عملکرد کلزا ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار کاهش می‌یابد.

Young et al. (2004) با بررسی تأثیر تنش گرما در مرحله گلدهی بر ریخت‌شناختی و باروری کلزا نشان دادند، شمار دانه در بوته تحت تنش گرما کاهش یافته بود. همچنین در فرایند اعمال تنش میزان ریزش بذر افزایش یافته، ولی قوه بذر، درصد جوانه‌زنی و زنده‌مانی دانه گرده کاهش یافته بود. اندام‌های زایشی ماده نیز تحت تأثیر تنش قرار گرفته بود. Singh et al. (2008) در نتایج بررسی تأثیر تنش دما بر توان زنده‌مانی و جوانه‌زنی دانه گرده ۱۲

رخ می‌دهند. بارندگی، دور آبیاری و دوره نوری دو شرایط نیز متفاوت خواهند بود. از آنجاکه تاریخ کاشت مناسب، عامل بسیار مهمی در بروز ظرفیت (پتانسیل) عملکرد محصولات زراعی است، اختلاط تأثیر تاریخ کاشت با دمای بالا و نبود امکان تفکیک این دو، برآورد تأثیر تنش گرما را با اشکال روبه‌رو می‌سازد. نقص دوم این شیوه این است که نمی‌توان از اعمال تنش گرما با توجه به نوسان‌های سالیانه دمای محیط و تغییرهای آن مطمئن بود. از اتاقت رشد و گلخانه نیز برای اعمال تنش گرما در مقیاس کوچک استفاده می‌شود. قابلیت مدیریت دما، رطوبت و نور از برتری‌های گلخانه و اتاقت رشد است. محدودیت فضای آزمایش، احتمال طغیان آفات و بیماری‌ها و مهم‌تر از همه ناهمخوانی یافته‌ها با نتایج به‌دست‌آمده از مزرعه اشکال‌هایی است که به این روش وارد است. با توجه به مطالب یادشده یافتن یک روش ارزیابی مناسب برای تنش گرما همواره از دغدغه‌های پژوهشگران بوده است به شکلی که ضمن اعمال تنش گرما تا حد امکان دیگر عامل‌های مؤثر در رشد و تولید گیاهان در دو شرایط همسان و یا نزدیک به یکدیگر باشند. اگرچه استفاده از گلخانه‌های پلاستیکی برای پرورش گیاهان سبزی و صیفی در فصل‌های سرد بسیار متداول است. لذا در این پژوهش مؤلفان بر آن شدند تا کارایی این روش برای اعمال تنش گرما را آزمون کنند. *Naveed et al.* (2016) نیز به‌موازات این تحقیق از این روش در ذرت استفاده کرده‌اند.

وابستگی شدید کشور به واردات روغن نباتی، بهره‌گیری از همه ظرفیت‌های اراضی زراعی کشور در تولید دانه‌های روغنی به‌ویژه کلزا را ناگزیر ساخته است. حدود ۷۰ درصد از زراعت کلزای کشور در مناطق گرم و خشک جنوب مانند استان خوزستان، ایلام و مناطق گرم و مرطوب شمال مانند استان گلستان صورت می‌گیرد که در اغلب سال‌ها در مرحله پر شدن دانه با تنش گرما روبه‌رو می‌شوند (*Ahmadi et al.*, 2015). لذا تهیه رقم‌های کلزای متحمل به گرما از اولویت‌های تحقیقاتی کشور است. افزون بر این، پدیده گرمایش جهانی و تغییر اقلیم ضرورت توجه به تنش گرما را دوچندان کرده است. رقم‌های بهاره کلزا در استان‌های خوزستان، گلستان و دشت مغان استان اردبیل، اگرچه در پاییز کشت می‌شوند در برخی از سال‌ها به دلیل گرمای زود هنگام و در بیشتر سال‌ها در کشت‌های تأخیری به

رقم زراعی کلزا نشان دادند که دماهای کمینه، بهینه و بیشینه برای درصد جوانه‌زنی و طول لوله گرده به ترتیب برابر با ۶/۴، ۲۴/۳ و ۳۳/۷ درجه سلسیوس است. *Faraji* (2008) در ارزیابی تحمل به تنش خشکی و گرما در رقم‌های کلزا نشان داد، در هر دو شرایط تنش و بدون تنش، عملکرد دانه و درصد روغن هایولا ۴۰۱ به‌طور قابل توجهی بیشتر از رقم آرچی اس ۰۰۳ بود. *Fani et al.* (2010) تأثیر تنش خشکی و گرمای پایان فصل را بر ۱۶ رقم کلزا بررسی و نتیجه گرفتند، هایولا ۴۰۱ بهترین عملکرد را در شرایط گرما و نیز گرما و خشکی توأمان داشت. توجه به تقویم زراعی کلزا در منطقه خوزستان مشخص می‌کند که این گیاه در طول مرحله گلدھی تا پایان دوره رشد با افزایش دما هوا و تنش گرما روبه‌رو است. از سوی دیگر، قطع و یا کاهش بارندگی در این دوره سبب بروز تنش خشکی نیز می‌شود (*Ghobadi et al.*, 2006).

بنا بر نتایج بررسی‌های انجام‌شده دمای بالاتر از ۳۰ تا ۳۲ درجه سلسیوس در زراعت کلزا دمای تنش به‌شمار می‌آید (*Fan & Stefansson, 1986*; *Polowick & Sawhney, 1988*). پژوهشگران به‌منظور اعمال تنش گرما در گیاهان زراعی از روش‌های متفاوتی مانند کشت تأخیری به‌منظور برخورد گیاهان با گرمای آخر فصل (*Modarresi et al., 2010*; *Moshatati et al., 2012*; *Joshi et al., 2016*) و استفاده از اتاقت‌های رشد و گلخانه به‌منظور مدیریت شرایط آزمایش (*Angadi et al., 2000*; *Aksouh-Harradj et al., 2004*; *Mohammadi et al., 2006*; *Brunel et al., 2006*) استفاده می‌کنند. هرکدام از روش‌های یادشده برتری‌ها و عیب‌هایی دارند. تأخیر در کاشت متداول‌ترین روش اعمال تنش گرما در کشتزار است. در این روش مواد گیاهی در یک منطقه معتدل یک‌بار در تاریخ کشت معمول منطقه (بدون تنش) و یک‌بار با تأخیر نزدیک به ۳۰ تا ۴۵ روزه (تنش گرما) کشت می‌شوند تا در شرایط اخیر با دماهای بالا در آخر بهار و اوایل تابستان برخورد کند. عیب بزرگ این روش کاشت مواد گیاهی در دو تاریخ متفاوت است که باعث می‌شود همه عامل‌های مؤثر در تاریخ کشت با تأثیر دما اختلاط یابد. به‌عنوان مثال مرحله‌های مختلف رشد گیاه از جوانه‌زنی تا گلدھی و ... فنولوژی در شرایط تنش و بدون تنش به‌صورت متفاوتی

عنصرهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم از منبع‌های اوره، سوپرفسفات‌تریپل و سولفات‌پتاسیم به میزان ۵۰، ۱۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌صورت پایه پیش از کاشت به زمین اضافه شد.

در تاریخ دهم مهرماه هر رقم در دو خط به طول ۱٫۵ متر و فاصله ۲۵ سانتی‌متر کشت شد. پس از بذرکاری بی‌درنگ اقدام به آبیاری به‌صورت نشتی شد. پس از چهار روز آبیاری دوم انجام و پس از سبز شدن بوته‌ها در مرحله دو تا سه برگه، کرت‌ها برای تراکم ۸۰ بوته در مترمربع تنک شدند. دیگر عملیات از جمله آبیاری، وجین، کود سرک (اوره طی دو مرحله، ساقه رفتن و آغاز گلدهی) و هر مرحله ۵۰ کیلوگرم در هکتار، سم‌پاشی علیه شته همزمان در هر دو رژیم دمایی انجام گرفت. به‌منظور اعمال تنش گرما، از روش ابتکاری گلخانه پلاستیکی استفاده شد. به‌این‌ترتیب که در زمان آغاز گلدهی (۵۰ درصد ژنوتیپ‌ها) بلوک‌های تنش با پوشش پلاستیکی به طول و عرض ۸ متر و به ارتفاع ۳/۵ متر محصور شدند. برای کنترل دما از بخاری برقی و برای جلوگیری از افزایش رطوبت از دستگاه تهویه هوا استفاده شد. جنس پلاستیک طوری انتخاب شد که شدت نور درون پلاستیک تفاوت معنی‌داری با هوای آزاد نداشته باشد. دمای هوا در هر دو آزمایش (تنش و بدون تنش) از آغاز گلدهی تا زمان رسیدن فیزیولوژیکی (اواسط فروردین تا اوایل خرداد) به‌وسیله دماسنج ثبت شد که خلاصه آن در جدول ۱ آورده شده است. برای اندازه‌گیری صفات، پنج بوته از هر کرت به‌صورت تصادفی انتخاب و ارتفاع بوته، شمار شاخه فرعی، شمار خورجین در شاخه اصلی و ارتفاع پایین‌ترین شاخه فرعی اندازه‌گیری شدند. طول خورجین و شمار دانه در خورجین در پنج خورجین از ساقه اصلی ثبت شد. برای پرهیز از ریزش دانه‌ها برداشت به‌صورت دومرحله‌ای انجام شد. به ترتیبی که با تغییر رنگ خورجین‌ها به رنگ قهوه‌ای، بوته‌های هر کرت جداگانه از سطح خاک قطع و به سالن منتقل شدند. پس از خشک شدن کامل، بوته‌ها کوبیده شدند و دانه‌ها گردآوری و عملکرد و وزن هزاردانه توزین و یادداشت شد. آزمون همگنی واریانس خطاها، تجزیه واریانس مرکب آزمایش به تفکیک هر سال و تجزیه مرکب دو ساله و مقایسه میانگین‌ها به کمک نرم‌افزار SAS انجام شد. همچنین با استفاده از عملکرد هر رقم در شرایط طبیعی (Yp) و تنش (Ys) و

جهت محدودیت‌های ایجادشده در انجام کشت بهنگام، در زمان گلدهی و به‌ویژه پر شدن خورجین‌ها با دماهای بالا روبه‌رو می‌شوند. به‌رغم اهمیت تنش گرما تاکنون بررسی‌های بسیار اندکی در این زمینه صورت گرفته است و می‌توان گفت رقم‌های مقاوم و حساس به‌دقت شناسایی نشده‌اند. از سوی دیگر در اغلب آزمایش‌ها از کشت تأخیری برای اعمال تنش گرما استفاده می‌شود که در آن عامل‌های مختلف مانند دوره نوری (فتوپریود)، فنولوژی و میزان بارندگی با تأثیر دما اختلاط می‌یابند. هدف از این آزمایش شناسایی رقم‌های کلزای مقاوم به تنش گرما با استفاده از روش ابتکاری گلخانه پلاستیکی بود. پوشش پلاستیکی برای نخستین بار در این پژوهش برای اعمال تنش گرما استفاده شد. از این‌رو هدف دوم تحقیق بررسی کارایی این روش بود.

مواد و روش‌ها

نه واریته بهاره کلزا شامل رقم‌های رایج در کشور، هایولا ۴۰۱ و آرچی‌اس ۰۰۳ و لاین‌های امیدبخش زمان، موج، مهتاب، دلگان، دی‌اچ ۱۳، صفی ۵ و رودی ۲۲ که از بخش تحقیقات دانه‌های روغنی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر و شرکت توسعه کشت دانه‌های روغنی دریافت شده بودند، در این پژوهش استفاده شدند. هایولا ۴۰۱ بیشترین سطح زیر کشت را در کشور دارد. آرچی‌اس ۰۰۳ نیز دومین رقم زراعی تجاری بهاره و آزادگرده‌افشان است که در مناطقی از کشور کشت و کار می‌شود. زمان، موج، مهتاب، دلگان، دی‌اچ ۱۳، صفی ۵ و رودی ۲۲ لاین‌های امیدبخش آزادگرده‌افشانی‌اند که در حال ارزیابی برای انتخاب و معرفی به‌عنوان رقم‌های جدید هستند. آزمایش در قالب دو طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار تحت دو رژیم دمایی در دو سال (۱۳۹۵-۱۳۹۳) در مزرعه پژوهشی و آموزشی گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه تهران (واقع در کرج با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۵۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۸ دقیقه شرقی با ارتفاع ۱۳۱۲/۵ متر از سطح دریا) اجرا شد. شرایط آب و هوایی کرج برای زراعت کلزا در زمان‌های گلدهی و پر شدن خورجین‌ها (اواسط فروردین - اوایل خرداد) تا حدودی بدون تنش گرما به‌شمار می‌آید. در شهریورماه زمین طرح بر پایه اصول خاک‌ورزی آماده و

میانگین همه ژنوتیپ‌ها در شرایط طبیعی (\bar{Y}_p) و در شرایط تنش (\bar{Y}_s) شاخص‌های زیر محاسبه شدند. درصد افت عملکرد هر ژنوتیپ در شرایط تنش نسبت به شرایط طبیعی (که در واقع همان صورت فرمول فیشر و مورر است) نیز به عنوان یکی از نمایه‌های تحمل محاسبه شد.

شدت تنش	$SI = 1 - (\bar{Y}_s / \bar{Y}_p)$	(Fischer & Maurer, 1978)
حساسیت به تنش	$SSI = (1 - (Y_s / Y_p)) / SI$	(Fischer & Maurer, 1978)
تحمل تنش	$STI = (Y_p \times Y_s) / (\bar{Y}_p)^2$	(Fernandez, 1992)
تحمل	$TOL = Y_p - Y_s$	(Rosielle & Hamblin, 1981)
میانگین عملکرد	$MP = (Y_p + Y_s) / 2$	(Rosielle & Hamblin, 1981)

جدول ۱. دامنه بیشینه دما از آغاز گلدهی تا زمان رسیدن فیزیولوژیکی و دامنه میانگین بیشینه دمای بلندمدت در محل آزمایش (درجه سلسیوس)

Table 1. The range of maximum temperature (°C) from flowering to physiological maturity and the long-term maximum temperature average in experiment location

Year	Non-Stressed	Heat-Stressed	The long term maximum temperature average in experiment location
2015	23.2-30.5	30.1-39.4	
2016	17.6-29.1	25.1-37.3	
1985-2005			17.7-29.2

دامنه تفاوت بیشترین دمای ایجادشده در شرایط بدون تنش با شرایط تنش از ۶/۹ تا ۸/۹ درجه سلسیوس بوده است. برای سال دوم دامنه تفاوت دمای بیشینه بین دو آزمایش از ۷/۵ تا ۸/۲ درجه سلسیوس بوده است (جدول ۱). همچنین معنی‌دار شدن تأثیر رژیم دما در سال اول و سال دوم و تجزیه واریانس مرکب دو ساله آزمایش در سطح ۱ درصد مؤید قابلیت گلخانه پلاستیکی در اعمال تنش گرما بود (جدول ۲ و ۳). کاهش معنی‌دار عملکرد دانه در شرایط تنش بر پایه مقایسه میانگین انجام شده در هر دو سال نیز گواه این موضوع است (جدول ۴).

نتایج و بحث

دماهای ثبت‌شده در مرحله‌های اجرای آزمایش نشان‌دهنده تفاوت دما در دو شرایط تنش و بدون تنش (جدول ۱) و مؤثر بودن گلخانه پلاستیکی در اعمال تنش گرما بود. به‌گونه‌ای که بیشینه دما در شرایط بدون تنش در سال اول تنها به ۳۰/۵ درجه سلسیوس رسید، اما در همین سال دما زیر گلخانه پلاستیکی به ۳۹/۴ درجه سلسیوس افزایش یافت. در سال دوم نیز، بیشینه دما در شرایط بدون تنش ۲۹/۱ درجه سلسیوس بود در صورتی‌که در شرایط تنش، دما تا ۳۷/۳ درجه سلسیوس افزایش یافت. در سال اول

جدول ۲. میانگین مربعات به‌دست‌آمده از تجزیه واریانس مرکب واریته‌های کلزا در سال ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ برای عملکرد دانه

Table 2. The mean square for grain yield resulted from combined analysis of variance for rapeseed varieties in 2015 and 2016

Source of variation	df	2015	2016
Temperature regime	1	2775306.741**	3087402.667**
Replication × Temperature regime	4	15323.185	5860.648
Genotype	8	229507.991**	924568.63**
Genotype × Temperature regime	8	59281.907**	86707.25**
Error	32	13827.706	12867.44
CV(%)	-	10.75166	9.277088

** significant at 1% probability level.

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد.

مزرعه در مقایسه با استفاده از اتافک‌های رشد است. افزون بر این استفاده از بخاری برقی در کنار اثر گلخانه‌ای، تأمین دمای مناسب برای اعمال تنش را ممکن می‌سازد. از

از مزایای ایجاد گلخانه پلاستیکی، نبود اختلاط تأثیر تاریخ کاشت با تأثیر تنش گرما در مقایسه با روش تأخیر در زمان کاشت در شرایط تنش و اجرای آزمایش در شرایط

کیلوگرم در هکتار و کمترین میزان عملکرد دانه مربوط به رگه آرچی اس ۰۰۳ با ۵۸۰ کیلوگرم در هکتار بود. در شرایط بدون تنش نیز بیشترین میزان عملکرد دانه به رگه رودی ۲۲ با ۲۱۷۸ کیلوگرم در هکتار و کمترین میزان عملکرد دانه به رگه آرچی اس ۰۰۳ با ۶۲۴ کیلوگرم در هکتار اختصاص یافت (جدول ۵). نتایج تجزیه واریانس مرکب دو ساله آزمایش نشان داد، اثر سال، رژیم دما، ژنوتیپ و اثر متقابل سال در ژنوتیپ، رژیم دما در ژنوتیپ و سال در رژیم دما در ژنوتیپ در سطح ۱ درصد معنی‌دار و اثر متقابل سال در رژیم دما معنی‌دار نیستند (جدول ۳). با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ در رژیم دما به این نتیجه می‌رسیم که ژنوتیپ‌ها در رژیم‌های دما واکنش متفاوتی از خود نشان داده‌اند که بیانگر تفاوت در میزان حساسیت و تحمل ژنوتیپ‌ها به تنش گرما است. مقایسه میانگین مرکب دو ساله آزمایش نشان داد، در شرایط تنش بیشترین عملکرد دانه مربوط به رگه صفی ۵ با ۱۳۱۶ کیلوگرم در هکتار و کمترین عملکرد دانه مربوط به زمان با ۷۴۵ کیلوگرم در هکتار بود. در شرایط بدون تنش نیز بیشترین عملکرد دانه به رگه صفی ۵ با ۱۶۴۶ کیلوگرم در هکتار و کمترین عملکرد دانه به واریته هایولا ۴۰۱ با ۱۱۵۰ کیلوگرم در هکتار اختصاص یافت (جدول ۵).

عیب‌های گلخانه‌های پلاستیکی امکان افزایش میزان رطوبت درون پلاستیک است که با بهره‌گیری از دستگاه‌های خودکار تهویه قابل تنظیم خواهد بود. البته در مناطق پر باران باید تمهیداتی برای دریافت یکسان آب در هر دو آزمایش تنش و بدون تنش در نظر گرفته شود. نتایج آزمایش در سال اول و دوم نشان داد، تأثیر رژیم دما، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ در رژیم دما بر عملکرد دانه در سطح ۱ درصد معنی‌دار است (جدول ۲). همچنین با توجه به معنی‌دار شدن اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ در رژیم دما می‌توان نتیجه‌گیری کرد که نه تنها ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد متفاوت هستند، بلکه واکنش ژنوتیپ‌ها به تنش گرما نیز متفاوت بوده و از نظر حساسیت و تحمل گرما یکسان نبوده‌اند. در سال اول آزمایش بیشترین میزان عملکرد دانه در شرایط تنش مربوط به رگه صفی ۵ با ۱۲۰۲ کیلوگرم در هکتار و کمترین میزان عملکرد دانه مربوط به رگه رودی ۲۲ با ۶۵۹ کیلوگرم در هکتار بود. در شرایط بدون تنش بیشترین میزان عملکرد دانه به رگه آرچی-اس ۰۰۳ با ۱۷۳۵ کیلوگرم در هکتار و کمترین میزان به رگه رودی ۲۲ با ۸۶۳ کیلوگرم در هکتار اختصاص یافت (جدول ۵). در سال دوم آزمایش بیشترین میزان عملکرد دانه در شرایط تنش مربوط به رگه رودی ۲۲ با ۱۵۵۰

جدول ۳. میانگین مربعات به دست آمده از تجزیه واریانس مرکب دو ساله واریته‌های کلزا برای عملکرد دانه

Table 3. The mean square for grain yield resulted from two years combined analysis of variance for rapeseed varieties

Source of variation	df	2015-2016
Year	1	449565.037**
Temperature regime	1	585852.926**
Year × Temperature regime	1	4156.481 ^{ns}
Replication × Temperature regime × Year	8	10591.917
Genotype	8	360536.563**
Genotype × Year	8	793540.058**
Genotype × Temperature regime	8	42705.988**
Genotype × Year × Temperature regime	8	103283.169**
Error	64	13347.57
CV(%)	-	9.974916

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

** and ns significant at 1% probability level and non-significant respectively.

جدول ۴. مقایسه میانگین عملکرد دانه در واریته‌های کلزا در سال ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ و مرکب دوساله

Table 4. The mean comparison of grain yield in rapeseed varieties in 2015 and 2016 and two years combined

conditions	2015(kg/ha)	2016(kg/ha)	Combined 2015 and 2016 (kg/ha)
Non-Stressed	1320.41 ^a	1461.85 ^a	1391.13 ^a
Heat-Stressed	867.00 ^b	983.63 ^b	925.31 ^b

حرف‌های غیر همسان در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد.

Different letters in each column show significant difference at 5% probability level.

که هدف اصلی آزمایش به‌شمار می‌آید، بر پایه داده‌های

به‌منظور شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش گرما

شرایط تنش (گروه C) عملکرد بالای دارند تفکیک کند (Khalilzadeh & Sadeghzade-Ahari, 2006)؛
(Fernandes, 1992؛ Karbalai- Khiavi, 2002).

مقادیر پایین عددی در شاخص تحمل (TOL) نشان‌دهنده تحمل نسبی ژنوتیپ‌ها است. رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها از نظر شاخص تحمل نشان داد، کمترین میزان این شاخص مربوط به لاین‌های صفی ۵ با ۳۳۰ و آرچی-اس ۰۰۳ با ۳۵۹ و رقم هایولا ۴۰۱ با ۳۹۲/۵ کیلوگرم در هکتار بود و بالاترین میزان آن متعلق به لاین‌های دی‌اچ ۱۳ با ۷۳۴/۵، زمان با ۵۲۱ و دلگان با ۴۸۹/۵ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۵). انتخاب بر پایه شاخص تحمل اغلب منجر به انتخاب ژنوتیپ‌های می‌شود که در شرایط بدون تنش عملکرد پایینی دارند (Rosielle & Hamblin, 1981). به‌عنوان مثال رقم‌های آرچی‌اس ۰۰۳ و هایولا ۴۰۱ به‌رغم اینکه بر پایه شاخص تحمل در گروه ژنوتیپ‌های مقاوم قرار گرفتند، از نظر عملکرد در شرایط بدون تنش آخرین رتبه‌ها را داشتند. Naeimi, et al. (2008) نیز بر این باورند، این شاخص برای گزینش رقم‌هایی که در هر دو محیط تنش و بدون تنش عملکرد بالایی داشته باشند موفق نیست. پایین بودن شاخص تحمل به‌حتم به معنای بالا بودن عملکرد ژنوتیپ در محیط بدون تنش نیست، چراکه ممکن است عملکرد ژنوتیپی در شرایط عادی پایین و در شرایط تنش نیز با افت کمتری همراه باشد که باعث کوچک شدن شاخص تحمل خواهد شد (Moghaddam & Hadizade, 2002). صرف‌نظر از صفی ۵ که در صدر رتبه‌بندی این شاخص قرار گرفت، رقم‌های آرچی‌اس ۰۰۳ و هایولا ۴۰۱ به‌رغم دریافت رتبه‌های دوم و سوم با در نظر گرفتن دیگر شاخص‌ها و عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش و توضیح‌های بالا در گروه ژنوتیپ‌های مقاوم قرار نمی‌گیرند.

اعداد بزرگ‌تر شاخص میانگین عملکرد (MP) نشان‌دهنده متحمل بودن ژنوتیپ به تنش است. بیشترین میزان این شاخص متعلق به لاین‌های صفی ۵ و رودی ۲۲ به ترتیب با ۱۴۸۱ و ۱۳۱۲/۵ کیلوگرم در هکتار و کمترین میزان این شاخص مربوط به واریته‌های هایولا ۴۰۱ (۹۵۳/۷۵) و آرچی‌اس ۰۰۳ (۱۰۰۰) کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۵). بر پایه نتایج دیگر تحقیقات انجام‌شده شاخص میانگین عملکرد قادر به تشخیص و جداسازی ژنوتیپ‌های گروه A از گروه C نیست (Sanjeri, Shiranirad, 2010)؛

به‌دست‌آمده از آزمایش‌ها، شاخص‌های تحمل بر پایه معادله‌های مختلف محاسبه شدند. در این آزمایش شدت تنش (IS) معادل ۰/۳۳۴۸ برآورد شد. مقایسه شاخص حساسیت به تنش (SSI) ژنوتیپ‌های مورد آزمون که مقادیر کمتر آن (کمتر از یک) نشان‌دهنده تحمل بالاتر است (Fischer & Maurer, 1978)، نشان داد که لاین‌های صفی ۵ با ۰/۵۹۸۸، رودی ۲۲ با ۰/۸۱۷۲ و آرچی-اس ۰۰۳ با ۰/۹۰۹۱ کمترین میزان و دی‌اچ ۱۳ با ۱/۴۱۳۵ و زمان با ۱/۲۲۹۱ و موج با ۱/۰۸۱۶ بیشترین میزان شاخص حساسیت به تنش را داشتند (جدول ۵). رگه آرچی‌اس ۰۰۳ در دسته‌بندی ژنوتیپ‌های مقاوم و حساس توسط این شاخص در زمره ژنوتیپ‌های مقاوم قرار می‌گیرد، اما عملکرد این ژنوتیپ در شرایط تنش و بدون تنش به ترتیب رتبه‌های پنجم و هشتم را به خود اختصاص داد. به این معنا که به‌رغم داشتن شاخص حساسیت به تنش کمتر از یک، این ژنوتیپ قابلیت تولید عملکرد قابل توجه در شرایط تنش و بدون تنش را نداشته و تنها به علت نوسان پایین عملکرد این‌گونه دسته‌بندی شده است. 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 کم عملکرد تنها به این دلیل که در شرایط تنش افت کمی نسبت به شرایط بدون تنش داشته، در زمره 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 به‌اشتباه بیندازد (Naeimi, et al., Naderi, et al., 2000)؛
2008). در رابطه با شاخص تحمل تنش (STI) که مقادیر بزرگ‌تر نشان‌دهنده تحمل بیشتر ژنوتیپ است، لاین‌های صفی ۵ با ۱/۱۱۹۳ و رودی ۲۲ با ۰/۸۶۷۷ بیشترین و واریته هایولا ۴۰۱ با ۰/۴۵۰۱ و رگه زمان با ۰/۴۸۷۳ کمترین میزان شاخص را نشان دادند (جدول ۵). شاخص تحمل تنش این برتری را دارد که می‌تواند واریته‌هایی که در هر دو شرایط تنش و بدون تنش عملکرد بالایی دارند (گروه A) را از دو گروه واریته‌هایی که تنها در شرایط بدون تنش (گروه B) و یا تنها در

داشت. بر اساس رتبه بندی این شاخص آرجی اس ۰۰۳ در زمره ژنوتیپ‌های متحمل به تنش گرما قرار می‌گیرد، اما دقت نظر در میزان عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش نشان می‌دهد میزان عملکرد دانه این ژنوتیپ همانگونه که قبلاً توضیح داده شد رتبه مناسبی را اخذ نمی‌کند (جدول ۵). این شاخص نیز معایب شاخص حساسیت به تنش را داراست.

۲۰۰۳). که نتایج به دست آمده از این آزمایش نیز با تحقیقات بالا همخوانی دارد. درصد افت عملکرد، میزان کاهش عملکرد در شرایط تنش را نسبت به شرایط طبیعی نشان می‌دهد. کمترین میزان این شاخص با ۲۰، ۲۷ و ۳۰ درصد به ترتیب به صفی ۵، رودی ۲۲ و آرجی اس ۰۰۳ و بیشترین میزان آن با ۴۱، ۴۷ و ۳۶ درصد به دی‌اچ ۱۳، زمان و موج اختصاص

جدول ۵. میانگین عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش و شاخص‌های تحمل تنش در واریته‌های بهاره کلزا در سال‌های ۱۳۹۴، ۱۳۹۵ و میانگین دو سال

Table 5. The average of grain yield under stressed and non-stressed conditions and tolerance indices in spring rapeseed varieties in 2015, 2016 and average of two years

Yield loss%	SSI	STI	TOL	MP	2015&2016		2016		2015		Variety
					\bar{Y}_s	\bar{Y}_p	Ys (kg/ha)	Yp (kg/ha)	Ys (kg/ha)	Yp (kg/ha)	
20	0.5988	1.1193	330.00	1481.00	1316 ^a	1646 ^a	1430 ^a	1909 ^b	1202 ^a	1383 ^b	Safi5
30	0.9091	0.5001	359.00	1000.00	821 ^d	1180 ^b	580 ^e	624 ^f	1061 ^a	1735 ^a	RGS003
33	0.9966	0.7409	489.50	1222.25	978 ^c	1467 ^a	1059 ^b	1730 ^b	896 ^b	1204 ^b	Dalghan
33	0.9949	0.7411	488.50	1222.25	978 ^c	1467 ^a	854 ^{cd}	1481 ^c	1102 ^a	1452 ^b	Mahtab
34	1.0194	0.4501	392.50	953.75	758 ^d	1150 ^b	817 ^{cd}	978 ^e	698 ^c	1322 ^b	Hayola401
27	0.8172	0.8677	416.00	1312.50	1105 ^b	1521 ^a	1550 ^a	2178 ^a	659 ^c	863 ^c	Roodi22
36	1.0816	0.5341	461.00	1042.50	812 ^d	1273 ^b	911 ^{bc}	1313 ^{dc}	713 ^c	1233 ^b	Moj
41	1.2291	0.4873	521.00	1005.50	745 ^d	1266 ^b	694 ^{cd}	1217 ^d	796 ^{bc}	1315 ^b	Zaman
47	1.4135	0.6556	734.50	1184.75	818 ^d	1552 ^a	959 ^{bc}	1728 ^b	676 ^c	1376 ^b	DH13

\bar{Y}_s , \bar{Y}_p , Ys, Yp به ترتیب میانگین عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش هر واریته و میانگین عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش واریته‌ها در دو سال آزمایش. حرف‌های غیر همسان در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد.

\bar{Y}_p , Ys, \bar{Y}_p , \bar{Y}_s are grain yield under the non-stressed and stressed conditions for each genotype and the average grain yield under the non-stressed and stressed conditions for two years.

Different letters in each column show significant difference at 5% probability level.

دمای بالای ۳۹/۴ - ۲۵/۱ درجه سلسیوس درون گلخانه پلاستیکی، تفاوت قابل توجه آن با دمای طبیعی مزرعه و کاهش معنی‌دار عملکرد دانه واریته‌ها در این شرایط در هر دو سال آزمایش، گویای کارایی این روش در ارزیابی مواد گیاهی برای مقاومت به گرما بود. بر پایه عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش و شاخص‌های مختلف صفی ۵ به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ و دی‌اچ ۱۳ به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ انتخاب شدند. از آنجا که رگه صفی ۵ بالاترین عملکرد دانه را در شرایط طبیعی و تنش داشت و در همه شاخص‌های تحمل رتبه نخست را کسب کرد، به‌عنوان

نتیجه‌گیری کلی

در ارزیابی تحمل ژنوتیپ‌های گیاهان زراعی، به تنش گرما، یکی از چالش‌ها چگونگی اعمال تنش گرما است. اتاقلک‌های رشد با امکان تنظیم‌های مختلف به‌صورت خودکار اگرچه گزینه مناسبی برای اعمال تنش گرما هستند، ولی با مشکل هماهنگ نبودن نتایج با شرایط مزرعه روبه‌رو هستند. کشت تأخیری در مزرعه نیز که بسیار متداول است با اختلاط تاریخ کشت با اثرگذاری دما همراه است. در این آزمایش به‌منظور غلبه بر این عیب‌ها برای نخستین بار از گلخانه پلاستیکی برای اعمال تنش گرما استفاده شد که

دزفول در شرایط گرم و خشک خوزستان نیز عملکرد خوبی داشته و در مرحله ارزیابی و انتخاب و معرفی به عنوان واریته جدید است. لاینها و واریته‌های شناسایی شده در این پژوهش می‌توانند افزون بر بررسی‌های ژنتیکی در برنامه‌های بهنژادی و همین‌طور برنامه‌ریزی کشوری زراعت کلزا استفاده شوند.

سپاسگزاری

از مسئولان، پژوهشگران و کارشناسان بخش تحقیقات دانه‌های روغنی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج و شرکت توسعه کشت دانه‌های روغنی کشور به دلیل در اختیار قرار دادن بذر واریته‌های کلزا قدردانی می‌شود.

متحمل‌ترین ژنوتیپ شناخته شد. رگه دی‌اچ ۱۳ در شرایط تنش در بین نه واریته و لاین رتبه ششم را داشت و از لحاظ شاخص‌های حساسیت به تنش، تحمل و درصد افت رتبه آخر را داشت و به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ شناخته شد (جدول ۵). با توجه به زودرس‌تر بودن رگه صفی ۵ نسبت به واریته دی‌اچ ۱۳ می‌توان یکی از دلایل تحمل و حساسیت این دو ژنوتیپ را به سازوکار فرار از تنش نسبت داد. زیرا در زمان اعمال تنش گرما آغاز گلدهی در ۵۰ درصد از ژنوتیپ‌ها ملاک عمل قرار گرفت که در این هنگام رگه صفی ۵ در مرحله‌های پیشرفته‌تری از گلدهی قرار داشته، اما واریته دی‌اچ ۱۳ در آغاز گلدهی بوده است. رگه صفی ۵ در آزمایش‌های عملکرد در مرکز تحقیقات صفی‌آباد

REFERENCES

- Ahmadi, k., Gholizade, H., Ebadzade, H., Hossein-poor, R., Hatami, F., Fazli, B., Kazemian, A. & Rafie, M. (2015). *Agricultural statistics*. Ministry of Agriculture. (In Farsi)
- Aksouh-Harradj, N. M., Campbell, L. C. & Mailer, R. J. (2006). Canola response to high and moderately high temperature stresses during seed maturation. *Canadian journal of plant science*, 86(4), 967-980.
- Anghadi, S. V., Cutforth, H.W., Miller, P. R., McConkey, B. G., Entz, M. H., Brandt, S. A. & Olkmar, K. M. (2000). Response of three Brassica species to high temperature stress during reproductive growth. *Canadian Journal of Plant Science*, 80, 693-701.
- Ashraf, M. A. & Harris, P. J. (2005). *Abiotic stresses: plant resistance through breeding and molecular approaches*. Food Products Press.
- Brandt, S. A. & McGregor, D. I. (1997). Canola response to growing season climatic conditions. In: *Proceedings of Soils and Crops Workshop*, 20-21 February. Extension Div., University of Saskatchewan, Saskatoon, pp. 322-328.
- Brunel-Muguet, S., D'Hooghe, P., Bataillé, M. P., Larré, C., Kim, T. H., Trouverie, J. & Dürr, C. (2015). Heat stress during seed filling interferes with sulfur restriction on grain composition and seed germination in oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Frontiers in plant science*, 6, 1-12.
- Endo, M., Tsuchiya, T., Hamada, K., Kawamura, S., Yano, K., Ohshima, M. & Kawagishi-Kobayashi, M. (2009). High temperatures cause male sterility in rice plants with transcriptional alterations during pollen development. *Plant and Cell Physiology*, 50(11), 1911-1922.
- Fan, Z., & Stefansson, B. R. (1986). Influence of temperature on sterility of two cytoplasmic male-sterility systems in rape (*Brassica napus* L.). *Canadian journal of plant science*, 66(2), 221-227.
- Fani E., Nabipour M., & Danaei A. (2010). Study the effects of heat and drought at the end of the season on yield and yield components of 16 canola cultivars. *Journal of Plant Production*, 17(3), 67-79. (In Farsi)
- Faraji, A. (2008). Evaluation of heat and drought tolerance in two rapeseed cultivars. *Plant and Seed Journal*, 25(2), 169-181. (In Farsi)
- 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.
- Fischer, R. A. & Maurer, R. (1978). *Drought resistance in spring wheat cultivars*. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*, 29, 897-912.
- Garcia del Moral, L. F., Rharrabti, Y., Villegas, D. & Royo, C. (2003) Evaluation of grain yield and its components in durum wheat under Mediterranean conditions: An ontogenic approach. *Agronomy Journal*, 95, 266-274.
- Ghobadi, M., Bakhshandeh, A. A., Fathi, G. E., Gharineh, M. H., Alami Saeid, K., & Naderi, A. (2006). Effects of sowing date and heat stress during flowering on yield and yield components in canola (*Brassica napus* L.) cultivars. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 8(1), 46-57. (In Farsi)
- Ghodrati, Gh. (2010). Grain yield of spring rapeseed line. Seed and Plant Improvement Institute. Research report. (In Farsi)

16. Joshi, M. A., Faridullah, S. & Kumar, A. (2016). Effect of heat stress on crop phenology, yield and seed quality attributes of wheat. *Journal of Agrometeorology*, 18(2), 206-215.
17. Khalilzadeh, G. H., & Karbalai-Khiavi, H. (2002). Investigation of drought and heat stress on advanced lines of durum wheat. In: Proceeding of *The 7th Iranian congress of crop sciences*. Gilan, Iran, pp. 563-564. (In Farsi)
18. Mahan, J. R., McMichael, B. L. & Wanjura, D. F. (1995). Methods for reducing the adverse effects of temperature stress on plants: A review. *Environmental and Experimental Botany*, 35, 251-258.
19. Modarresi, M., Mohammadi, V., Zali, A. & Mardi, M. (2010). Response of wheat yield and yield related traits to high temperature. *Cereal Research Communications*, 38(1), 23-31.
20. Moghaddam, A., & Hadizade, M. H. (2002). Response of corn (*Zea mays* L.) hybrids and their parental lines to drought using different stress tolerance indices. *Plant and Seed Journal*. 18 (3), 255-272. (In Farsi)
21. Mohammadi, V., Ghannadha, M. R., Zali, A. A. & Yazdi-Samadi, B. (2004). Effect of post anthesis heat stress on head traits of wheat. *International Journal of Agriculture and Biology*, 6(1), 42-44.
22. Morrison, M. J. (1993). Heat stress during reproduction in summer rape. *Canadian Journal of Botany*, 71(2), 303-308.
23. Morrison, M. J., McVetty, P. B. E. & Shaykewich, C. F. (1989). The determination and verification of a baseline temperature for the growth of Westar summer rape. *Canadian Journal of Plant Science*, 69(2), 455-464.
24. Moshatati, A., Siadat, S. A., Alami Saeid, K., Bakhshandeh, A. M. & Jalal Kamali, M. R. (2012). Effect of terminal heat stress on yield and yield components of spring bread wheat cultivars in Ahwaz, Iran. *International Journal of Agriculture*, 2 (6), 844-849.
25. Naderi, A., Majidi-Hervan, E., Hashemi-Dezfoli, A., Rezaei, A. & Nour Mohammadi, G. (2000). Efficiency analysis of indices for tolerance to environmental stresses in field crops and introduction of a new index. *Plant and Seed Journal*. 15 (4), 390-402. (In Farsi)
26. 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 Farsi)
27. Naveed, M., Ahsan, M., Akram, H. M., Aslam, M., & Ahmed, N. (2016). Genetic effects conferring heat tolerance in a cross of tolerant × susceptible maize (*Zea mays* L.) genotypes. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1-12.
28. Nuttall, W. F., Moulin, A. P., & Townley-Smith, L. J. (1992). Yield response of canola to nitrogen, phosphorus, precipitation, and temperature. *Agronomy journal*, 84(5), 765-768.
29. Paulsen, G. M. (1994). High temperature responses of crop plants. In: K. J. Boote, J. M. Bennett, T. R. Sinclair, & G. M. Paulsen (Ed), *Physiology and determination of crop yield*. (pp. 365-389.). American Society of Agronomy, Madison, WI.
30. Polowick, P. L. & Sawhney, V. K. (1988). High temperature induced male and female sterility in canola (*Brassica napus* L.). *Annals of Botany*, 62(1), 83-86.
31. Porter, J. R. (2005). Rising temperatures are likely to reduce crop yields. *Nature*, 436(7048), 174-174.
32. Rosielle, A. A. & Hamblin, J. (1981). Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. *Crop Science*, 21(6), 943-946.
33. Sadeghzade Ahari, D. (2006). Evaluation for tolerance to drought stress in dry land promising durum wheat genotypes. *Iranian Journal Crop Science*, 8 (1), 30-45. (In Farsi)
34. Sanjeri, A. (2003). Evaluation of tolerance resources to drought and yield stability of varieties and wheat lines in semi-dry parts of Iran. M.Sc. Thesis. Ardabil University. (In Farsi)
35. Shiranirad, A. H. (2010). The result of research breeding on Canola. Seed and Plant Improvement Institute. Research report. (In Farsi)
36. Singh, S. K., Kakani, V. G., Brand, D., Baldwin, B. & Reddy, K. R. (2008). Assessment of cold and heat tolerance of winter-grown canola (*Brassica napus* L.) cultivars by pollen-based parameters. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 194(3), 225-236.
37. Whitfield, D. M. (1992). Effect of temperature and aging on CO₂ exchange of pods of oilseed rape. *Field Crops Research*, 28(4), 271-280.
38. 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 Experimental Botany*, 55, 485-495.
39. 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), 1-18.