

پاسخ فیزیولوژیک و زراعی ژنوتیپ‌های کلزا (*Brassica napus* L.) به تنش خشکی انتهای فصل در شرایط اقلیمی کرج

حامد عینی نرگسه^۱، مجید آقاعلیخانی^{۲*}، امیر حسین شیرانی‌راد^۳، علی مختصی بیدگلی^۱،
سید علی محمد مدرس ثانوی^۲

تاریخ دریافت: ۹۷/۵/۲۷ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۱/۳

- ۱- دانشجوی دکتری زراعت، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
 - ۲- دانشیار، استادیار و استاد گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
 - ۳- استاد موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
- *مسئول مکاتبه: Email: maghaalikhani@modares.ac.ir

چکیده

به منظور بررسی تأثیر تنش خشکی انتهای فصل بر برخی صفات فیزیولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد کلزا یک آزمایش مزرع‌ای دو ساله (۱۳۹۴-۱۳۹۶) در موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل رژیم آبیاری (آبیاری کامل در طول فصل رشد و قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی تا انتهای فصل رشد) و ۱۷ ژنوتیپ جدید کلزا بودند. برخی صفات فیزیولوژیک مرتبط با تنش خشکی از قبیل محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل کل و میزان پرولین، همچنین عملکرد و اجزای عملکرد دانه کلزا اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان دادند مقدار کلروفیل کل در شرایط قطع آبیاری نسبت به آبیاری نرمال ۲۱/۶۵ درصد کاهش داشت و مقدار پرولین برگ ۲۸/۰۴ درصد افزایش یافت. بر اساس یافته‌های این تحقیق، ارقام برتر لزوماً از لحاظ مقدار پرولین برتر نبودند. بر اساس میانگین دو ساله بیشترین عملکرد دانه در بین ژنوتیپ‌های مختلف کلزا در شرایط آبیاری نرمال متعلق به ژنوتیپ Artist (۵۰۴۳/۲۵ کیلوگرم در هکتار) و در شرایط قطع آبیاری متعلق به ژنوتیپ‌های L72 و HL3721 (به ترتیب ۳۹۱۵/۲۵ و ۳۸۹۲/۴۵ کیلوگرم در هکتار) بود. شایان ذکر است این برتری عمدتاً در اثر افزایش ظرفیت مخزن (تعداد خورجین در بوته، طول خورجین و تعداد دانه در خورجین) و برتری مقدار کلروفیل و محتوای نسبی آب برگ بود.

واژه‌های کلیدی: انتقال مجدد، تنظیم اسمزی، فتوسنتز، عملکرد دانه، محتوای نسبی آب

Physiological and Agronomic Response of Rapeseed (*Brassica napus* L.) Genotypes To Late-Season Drought Stress under Karaj Climatic Condition

Hamed Eyni Nargeseh¹, Majid AghaAlikhani^{2*}, Amir Hosein Shirani Rad³, Ali Mokhtassi-Bidgoli², Seyed Ali Mohammad Modarres Sanavy²

Received: August 18, 2018 Accepted: January 23, 2019

1- PhD Student, Dept. of Agronomy, Faculty of Agronomy, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

2- Assoc. Prof., Assist. Prof., Prof., Dept. of Agronomy, Faculty of Agronomy, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

3- Prof. of Seed and Plant Improvement Institute (SPII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

*Corresponding Author Email: maghaalikhani@modares.ac.ir

Abstract

In order to investigate the effect of late-season drought stress on some physiological traits, yield and yield attributes, a two-year field trial was carried out at the research field of Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran, on 2015-2017 growing seasons. Factorial arrangement of the treatments was set up as randomized complete block design with three replications. Experimental factors consisted of irrigation regimes (normal irrigation and withholding irrigation from silique setting stage until the end of the growing season) and 17 new winter genotypes of rapeseed. Several physiological traits included relative water content (RWC), total chlorophyll, proline as well as grain yield and yield attributes as dependent variables were measured. Results showed that amount of total chlorophyll under withholding irrigation was reduced (21.65 percentage) reduced compared to the normal irrigation, while leaf proline content was increased by 28.04 %. According to the findings of this study, superior genotypes were not necessarily top in terms of proline. Averaged over both years, Artist genotype produced highest grain yield (5043.25 kg.ha⁻¹) under normal irrigation condition, while L72 and HL3721 had highest grain yield (3915.25 and 3892.45 kg.ha⁻¹, respectively) under withholding condition. It is worth noting that this advantage was mainly revealed to increased source capacity (number of silique plant⁻¹, silique length and number of seed silique⁻¹) as well as the superiority of chlorophyll content and relative water content of the leaf.

Keywords: Genetic Diversity, Grain Yield, Osmotic Adjustment, Photosynthesis, Remobilization

(FAO) سطح زیر کشت این محصول در دنیا بیش از ۳۶

میلیون هکتار است (فائو ۲۰۱۸). در ایران سطح زیر

کشت کلزا در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ معادل ۴۰ هزار

هکتار بوده است که در مقایسه با سال‌های قبل کاهش

مقدمه

کلزا با نام علمی *Brassica napus* L. یکی از گیاهان

دانه روغنی مهم دنیا به شمار می‌رود (ژو و همکاران

۲۰۱۶). طبق آخرین گزارش سازمان خوار و بار جهانی

کلروفیل و نفوذپذیری نسبی غشاء افزایش یافت. آن‌ها افزایش غلظت کلروفیل و نفوذپذیری غشاء و کاهش عملکرد دانه کلزا را با تنش خشکی و کاهش رطوبت خاک مرتبط دانستند.

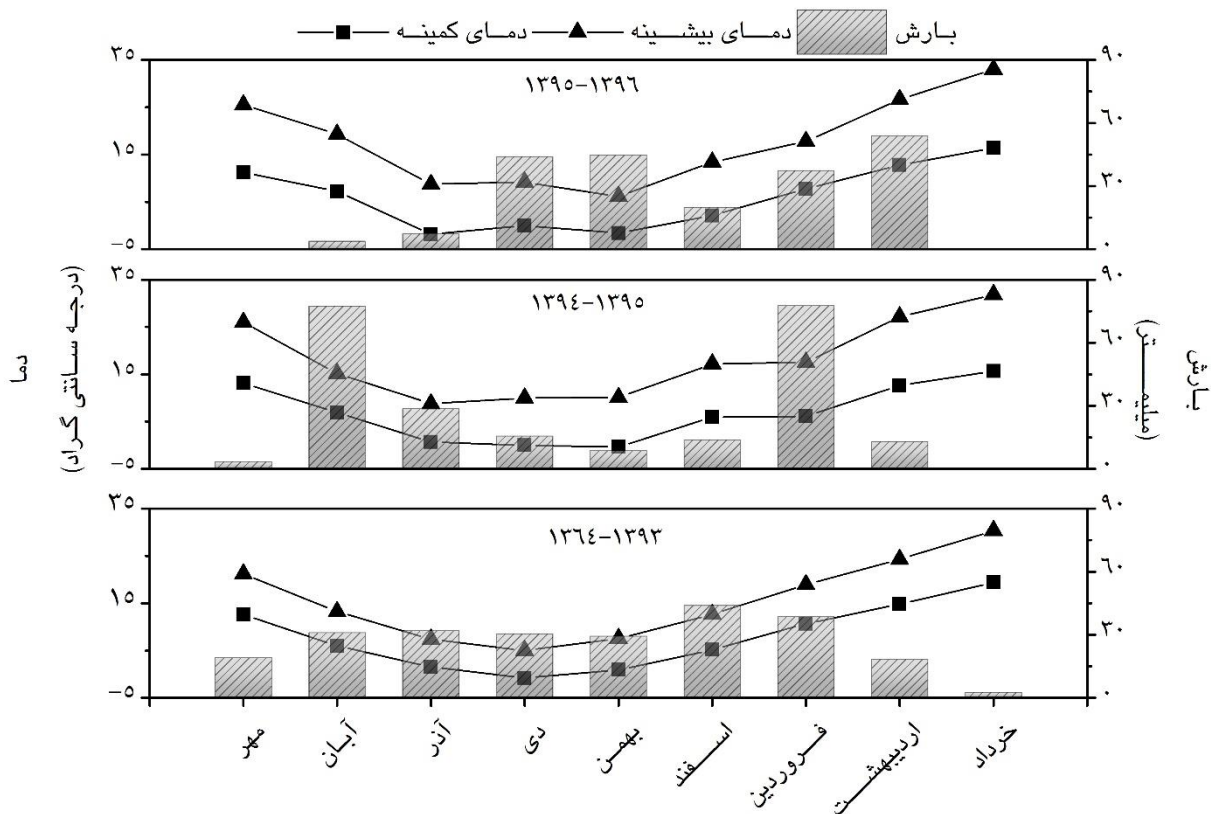
ژنوتیپ‌های مختلف واکنش‌های متفاوتی در برابر تنش خشکی از خود نشان می‌دهند به طوری که برخی از ژنوتیپ‌ها در برابر این شرایط متحمل بوده و با بهبود اجزای عملکرد و صفات مختلف فیزیولوژیک عملکرد قابل قبولی تولید کنند (سید احمدی و همکاران ۲۰۱۵ و شهرابی فراهانی و همکاران ۲۰۱۴ و حامد و همکاران ۲۰۱۵). با توجه به کاهش چشمگیر سطح زیر کشت کلزا در سال‌های اخیر، لازم است تحقیقات بیشتری در زمینه معرفی ژنوتیپ‌های مناسب برای کشت در شرایط اقلیمی ایران انجام شود.

بر این اساس تحقیق حاضر با هدف بررسی تأثیر قطع آبیاری انتهای فصل (مصادف با تشکیل خورجین) بر صفات فیزیولوژیک، عملکرد دانه و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های جدید کلزا در شرایط آب و هوایی کرج انجام شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به صورت آزمایشی دوساله (۱۳۹۴-۱۳۹۶) در مزرعه موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج با موقعیت جغرافیایی 35° و $49'$ طول شمالی و 51° و $6'$ عرض شرقی با ارتفاع ۱۳۲۱ متر از سطح دریا انجام شد. بر اساس میانگین داده‌های ۳۰ ساله هواشناسی کرج، متوسط بارندگی سالیانه ۲۵۳ میلی‌متر بوده و بارندگی‌ها عمدتاً در اواخر پاییز و اوایل بهار روی می‌دهد. اطلاعات آب و هوایی هر دو فصل کشت کلزا و میانگین بلند مدت منطقه در شکل ۱ نشان داده شده است.

چشمگیری داشته است (وزارت جهاد کشاورزی ۲۰۱۷). تنش خشکی یکی از پارامترهای محیطی است که رشد، نمو و تولید گیاهان زراعی را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد (کاتمن و همکاران ۲۰۱۶ و اونگام و همکاران ۲۰۱۶). زمان وقوع تنش در مقایسه با شدت تنش از اهمیت بیشتری برخوردار است (زیرگولی و کهریزی ۲۰۱۵). ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی تولید پایداری در شرایط نامساعد محیطی داشته دارند (نظری و همکاران ۲۰۱۷). گیاهان در شرایط تنش خشکی بسته به ژنوتیپ، شدت و مدت تنش، از طریق تغییرات نمو، بیوشیمیایی و فیزیولوژیک پاسخ‌های متفاوتی به تنش می‌دهند (شهرابی فراهانی و همکاران ۲۰۱۴). با توجه به خسارت ناشی از تنش خشکی، ارزیابی گیاهان زراعی در این شرایط مورد توجه پژوهشگران مختلف قرار گرفته است. مراحل گل‌دهی و خورجین‌دهی در کلزا نسبت به سایر مراحل رشدی بیشترین حساسیت را در برابر تنش خشکی دارند (شیرانی‌راد و همکاران ۲۰۱۰). وقوع تنش در این مراحل آثار منفی متعددی بر گیاه داشته و در نهایت عملکرد دانه را کاهش می‌دهد. یافته‌های وطن دوست و همکاران (۲۰۱۸) حاکی از آن است که عملکرد دانه کلزا در اثر قطع آبیاری در مراحل تشکیل خورجین و تشکیل دانه به ترتیب ۴۶ و ۴۰٪ درصد کاهش یافت و مقدار کلروفیل a و b و نیز کلروفیل کل در شرایط قطع آبیاری در مقایسه با شرایط آبیاری کامل در طول فصل رشد کاهش معنی‌داری نشان داد. بر اساس یافته‌های مجیدی و همکاران (۲۰۱۵) مقدار کلروفیل کلزا در شرایط تنش خشکی نسبت به آبیاری کامل کاهش یافت. مطالعه یوسفی و همکاران (۲۰۱۶) نشان داد که در شرایط تنش خشکی، محتوای نسبی آب برگ کلزا کاهش و غلظت



شکل ۱- بارش، دمای کمینه و بیشینه در دو سال زراعی (۱۳۹۴-۱۳۹۶) و میانگین بلند مدت منطقه (۱۳۶۴-۱۳۹۳) در طول فصل رشد کلزا (با اقتباس از سازمان هواشناسی کل کشور)

بود. بر این اساس آزمایش با ۲۴ تیمار و سه تکرار، مشتمل بر ۱۰۲ کرت آزمایشی بود.

عملیات آماده‌سازی زمین شامل آبیاری و شخم به‌وسیله گاوآهن برگردان‌دار قبل از کشت، دیسک و ماله برای خرد کردن کلوخ‌ها و یکنواخت شدن وضعیت خاک مزرعه به موقع انجام شد. بعد از آماده‌سازی زمین به‌منظور تعیین ظرفیت زراعی خاک، نقطه پژمردگی دائم، میزان عناصر غذایی پرمصرف خاک و در نهایت نیاز کودی اقدام به نمونه‌گیری مرکب در دو عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متر شد. بر اساس نتایج آزمایش خاک، بافت خاک رسی لومی تشخیص داده شد. هر واحد آزمایشی مشتمل بر شش خط شش متری با فاصله ۳۰ سانتی‌متر از یکدیگر و فاصله بوته روی ردیف پنج

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عوامل مورد مطالعه در این پژوهش شامل دو رژیم آبیاری (آبیاری کامل در طول فصل رشد و قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی، مرحله رشدی با کد ۶۹ (لانکاشیر و همکاران ۱۹۹۱) تا انتهای فصل رشد) و دیگری ۱۷ ژنوتیپ جدید کلزا بودند. ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر منشأ شامل دو هیبرید مجارستانی (Zorica و Zlant)، هشت هیبرید فرانسوی (Hydromel, Lauren, Kamilo, Mercure, Artist, Darko, Rohan و Alonso)، یک هیبرید آلمانی (Garou)، چهار لاین امید بخش ایرانی (HL2012, L72, HL3721) و رقم Ahmadi از ایران و رقم Okapi از فرانسه

$$RWC = [(FW-DW)/(TW-DW)] \times 100$$

رابطه [۱]

در این رابطه FW: وزن تر، DW: وزن خشک و TW: وزن آماس می‌باشد.

مقدار کلروفیل بر اساس روش آرنون (1949) تعیین و اندازه‌گیری پرولین بر اساس روش بیتس و همکاران (1973) انجام شد. عملکرد دانه و اجزای عملکرد شامل تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و وزن هزار دانه نیز در زمان رسیدگی اقتصادی با برداشت ۱۰ بوته میانی از هر کرت (پس از حذف اثر حاشیه) تعیین شد. به منظور تجزیه و تحلیل داده‌های به دست آمده (تجزیه واریانس مرکب و همبستگی بین صفات) و رسم نمودارها از برنامه‌های آماری SAS و OriginPro 9.1 استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال خطای پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که برهمکنش تیمار آبیاری و ژنوتیپ بر صفات محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل کل و پرولین معنی‌دار بود (جدول ۱).

صفات تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، طول خورجین و وزن هزار دانه و عملکرد دانه، به طور معنی‌داری تحت تأثیر برهمکنش سه جانبه سال و آبیاری و ژنوتیپ قرار گرفت. بر این اساس لازم است برای صفت عملکرد دانه، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، طول خورجین و وزن هزار دانه برش‌دهی اثر متقابل انجام شده و تیمارهای آبیاری و ژنوتیپ در هر سال به صورت جداگانه ارائه شوند. به همین دلیل سایر صفات نیز در هر دو سال جداگانه مورد بحث قرار گرفتند. همان‌گونه که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، آب و هوای دو سال آزمایش با هم متفاوت است

سانتی‌متر بود. در ادامه، با توجه به نتایج آزمون خاک و توصیه کودی، کودپاشی به میزان ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره، ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم انجام شد. به منظور استفاده بهینه از نیتروژن یک‌سوم مقدار مورد نیاز به صورت پایه و بقیه کود نیتروژن مورد نیاز به صورت سرک در مرحله شروع ساقه رفتن و ظهور اولین غنچه‌های گل مصرف شد. تمام کود سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم به صورت پایه استفاده شد. به منظور کنترل پیش کاشت علف‌های هرز علف‌کش ترفلان به میزان ۲/۵ لیتر در هکتار به طور یکنواخت در سطح مزرعه پخش و به وسیله دیسک سبک، با خاک مخلوط شد. بذر ژنوتیپ‌های جدید کلزا از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه و در تاریخ ۱۰ مهر در هر دو سال زراعی کشت به صورت مستقیم انجام شد. با توجه به فاکتوریل بودن آزمایش، به منظور جلوگیری از نشت آب در بین کرت‌های تنش و غیر تنش، دو متر فاصله بین آن‌ها در نظر گرفته شد. برای کنترل آفت شته مومی کلم از سم سیستمیک متاسیستوکس به مقدار ۱/۵ لیتر در هکتار در مرحله شروع ساقه‌دهی استفاده گردید. صفات فیزیولوژیک مورد بررسی شامل محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل کل و میزان پرولین ژنوتیپ‌های کلزا بود و نمونه‌برداری‌ها در هر دو تیمار آبیاری نرمال و قطع آبیاری در مرحله خورجین‌دهی کامل انجام شد. به منظور محاسبه محتوای نسبی آب برگ، نمونه‌گیری از برگ کاملاً جوان و توسعه یافته بوته‌های کلزا انجام و بعد از توزین برای تعیین وزن آماس، برگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق و درون آب مقطر قرار گرفته و پس از خشک کردن آب روی برگ‌ها، توسط ترازوی دقیق وزن آن‌ها تعیین شد. سپس برگ‌ها در آون (دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت) خشک و توزین شدند. محتوای آب نسبی برگ با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید (بار و همکاران ۱۹۶۲).

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس مرکب صفات مورد بررسی کلزا تحت تاثیر قطع آبیاری و ژنوتیپ (برای سهولت ارزیابی نتایج فقط نتیجه آزمون F برای میانگین مربعات نشان داده شده است)

منابع تغییر	درجه آزادی	محتوای آب نسبی	کلروفیل کل	پرولین	تعداد خورجین در بوته	تعداد دانه در خورجین	طول خورجین	وزن هزار دانه	عملکرد دانه
سال	۱	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
آبیاری	۱	**	**	**	**	**	**	**	**
ژنوتیپ	۱۶	**	**	**	**	**	**	**	**
آبیاری×ژنوتیپ	۱۶	**	**	**	**	**	**	**	**
سال×آبیاری	۱	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
سال×ژنوتیپ	۱۶	ns	ns	ns	**	**	**	**	**
سال×آبیاری×ژنوتیپ	۱۶	ns	ns	ns	**	*	**	**	**
ضریب تغییرات (درصد)	۲/۱۸	۶/۳۹	۹/۰۷	۵/۸۳	۱۲/۸۶	۵/۹۲	۱۱/۴۸	۱۰/۹۳	

ns: عدم اختلاف معنی‌دار و **: اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد می باشد.

Rohan (۲/۰۷ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) بود (شکل ۲). کمترین مقدار کلروفیل کل مربوط به ژنوتیپ Hydromel (۱/۶۵ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) بود (شکل ۲). نتایج نشان داد که در شرایط قطع آبیاری بیشترین مقدار کلروفیل کل در ژنوتیپ Lauren (۱/۷۷ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) و کمترین مقدار کلروفیل کل در ژنوتیپ Darko (۱/۱۴ میلی‌گرم در گرم وزن تر) مشاهده گردید.

مقدار کلروفیل کل در هر دو سال زراعی در شرایط قطع آبیاری نسبت به آبیاری نرمال کاهش یافت (شکل ۲). دلیل این کاهش را می‌توان تخریب غشاهای تیلاکوئیدهای کلروپلاست و اکسیداسیون نوری کلروفیل به دلیل افزایش فعالیت گونه‌های فعال اکسیژن (اشرف و همکاران ۱۹۹۴ و موران و همکاران ۱۹۹۴ و آلونسو و همکاران ۲۰۰۱ و دسینگ و کاناگراج ۲۰۰۷) و افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز (هوفاکر و همکاران ۱۹۷۰) دانست. از دلایل دیگر کاهش مقدار کلروفیل در شرایط تنش خشکی بازدارندگی بیوسنتز کلروفیل بوده (چگنی و همکاران ۲۰۱۶) و کاهش مقدار کلروفیل در گیاهان جنبه سازگاری داشته و با این کار الکترون‌های برانگیخته شده طی فرآیند فتوسنتز، کاهش و در نتیجه خسارت‌های

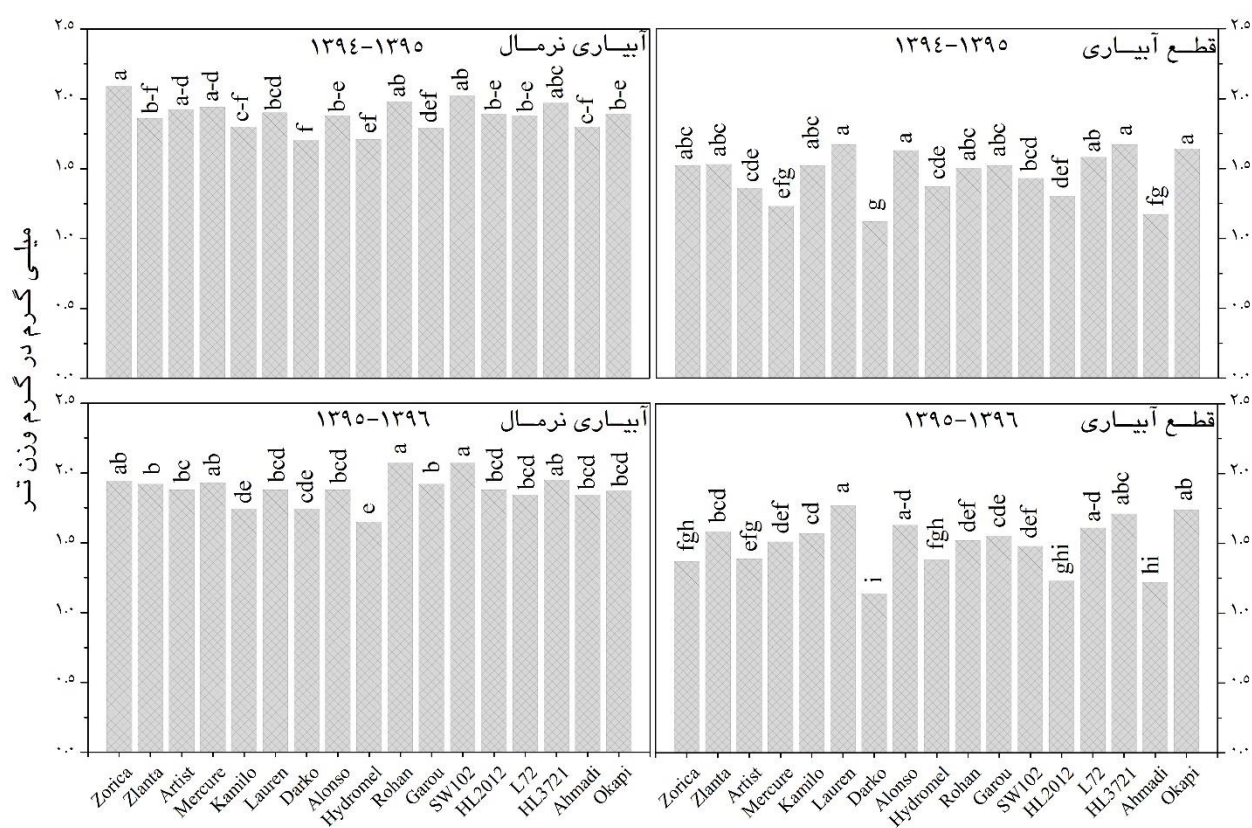
و این تفاوت باعث شده صفات مورد بررسی تحت تاثیر قرار گیرند. متفاوت بودن پراکنش بارندگی‌های بهاره در دو سال آزمایش مشهود بود به طوری که در سال اول بارندگی‌ها نسبت به سال دوم از پراکنش بهتری برخوردار بودند. همچنین از لحاظ دمایی نیز سال دوم با سرمای زودرس در فصل پاییز مواجه شد و در کل سال سردتری را شاهد بودیم.

کلروفیل

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری و ژنوتیپ در سال زراعی اول نشان داد که بیشترین مقدار کلروفیل کل در شرایط آبیاری نرمال (۲/۰۹ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) در ژنوتیپ Zorica به ثبت رسید (شکل ۲). کمترین مقدار کلروفیل کل (۱/۷ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) در ژنوتیپ Darko مشاهده شد. در شرایط قطع آبیاری مقدار کلروفیل کل در مقایسه با شرایط آبیاری نرمال کاهش یافت (شکل ۲). تحت شرایط مذکور ژنوتیپ Lauren بیشترین مقدار کلروفیل کل (۱/۶۷ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) را دارا بود (شکل ۲). در سال دوم با توجه به متفاوت بودن شرایط آب و هوایی نسبت به سال اول، بیشترین مقدار کلروفیل کل مربوط به ژنوتیپ

مقاومت به تنش به شمار رفته و به‌عنوان یک معیار مقاومت به خشکی به منظور انتخاب ارقام مقاوم پیشنهاد می‌شود (پسرکلی ۱۹۹۹). گزارش‌های مختلفی در زمینه کاهش مقدار کلروفیل در شرایط تنش خشکی ارائه شده است (مجیدی و همکاران ۲۰۱۵، دین و همکاران ۲۰۱۱ و وطن‌دوست و همکاران ۲۰۱۸) که با یافته‌ای تحقیق حاضر همسو می‌باشند.

ناشی از تشکیل رادیکال‌های آزاد اکسیژن کم می‌شود (کرانر و همکاران ۲۰۰۲). تفاوت بین ژنوتیپ‌ها را می‌توان با مقاومت آن‌ها در برابر تنش خشکی مرتبط دانست. ژنوتیپ‌هایی که مقدار کلروفیل بالاتری داشتند مقاومت بیشتری در برابر تنش خشکی نشان دادند (گرگرسن و هولم ۲۰۰۷). تدوام فتوسنتز و حفظ کلروفیل برگ‌ها در شرایط تنش رطوبتی از جمله شاخص‌های فیزیولوژیک



شکل ۲- مقایسه میانگین ترکیبات تیماری ژنوتیپ و آبیاری در دو سال زراعی ۱۳۹۴-۱۳۹۶ بر مقدار کلروفیل کل کلزا. میانگین‌های دارای حروف مشترک از لحاظ آماری در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند

اختلاف معنی‌داری بین این دو ژنوتیپ مشاهده نشد (جدول ۲). کمترین مقدار محتوای نسبی آب برگ در هر دو سال زراعی نیز در ژنوتیپ Ahmadi (۹۰/۸۰ و ۸۹/۶۲ درصد) به ثبت رسید. همان‌گونه که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، در شرایط قطع آبیاری محتوای نسبی آب برگ نسبت به شرایط آبیاری نرمال کاهش یافت. بیشترین مقدار محتوای نسبی آب برگ در هر دو سال زراعی در

محتوای نسبی آب برگ

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها بیشترین مقدار محتوای نسبی آب برگ در هر دو سال زراعی (۱۳۹۶-۱۳۹۴) تحت شرایط آبیاری نرمال مربوط به ژنوتیپ Zorica (۹۶/۲۵ و ۹۵/۱۰ درصد) بود. همچنین ژنوتیپ Artist بعد از Zorica بیشترین مقدار محتوای نسبی آب برگ را به خود اختصاص داد و از لحاظ آماری نیز

شرایط آبیاری نرمال به ۸۵/۳۰ درصد تحت شرایط قطع آبیاری کاهش یافت. همچنین محتوای نسبی آب برگ در همه ژنوتیپ‌های مورد تحقیق و دو تیمار آبیاری (نرمال و قطع آبیاری) در سال اول (۸۹/۸۷ درصد) بیشتر از سال دوم (۸۸/۶۱ درصد) بود.

این شرایط متعلق به ژنوتیپ Lauren بود (۹۰/۱۲) و ۸۸/۱۸ درصد)، درحالی‌که کمترین مقدار مربوط به ژنوتیپ Ahmadi (۸۱/۱۵ و ۸۰/۳۳ درصد) بود. به‌طورکلی نتایج نشان داد که محتوای نسبی آب برگ ژنوتیپ‌های مختلف کلزا در هر دو سال زراعی از ۹۳/۱۸ درصد در

جدول ۲- مقایسه میانگین‌های صفات مختلف فیزیولوژیک کلزا تحت تأثیر برهمکنش ژنوتیپ و آبیاری در دو سال زراعی

۱۳۹۴-۱۳۹۶

پرولین (میکرو مول در گرم وزن تر)		محتوای آب نسبی (درصد)							
قطع آبیاری		آبیاری نرمال		قطع آبیاری		آبیاری نرمال		ژنوتیپ	
۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۴-۹۵
۱۵/۹۷cd	۱۵/۸۸b-f	۱۲/۳۶c	۱۱/۶۶cde	۸۳/۵۲def	۸۶/۶۸b-f	۹۵/۱۰a	۹۶/۲۵a	Zorica-۱	
۱۷/۵۰a-d	۱۵/۵۸c-f	۱۴/۳۹ab	۱۲/۹۹abc	۸۵/۸۱a-e	۸۷/۶۵a-e	۹۲/۲۸b-e	۹۳/۵۰b-f	Zlanta-۲	
۱۵/۵۸d	۱۵/۹۹b-f	۱۳/۰۶bc	۱۱/۶۶cde	۸۵/۱۶b-e	۸۶/۲۸c-g	۹۵/۰۲a	۹۵/۸۷ab	Artist-۳	
۲۰/۰۷a	۱۶/۸۹a-d	۱۴/۷۵ab	۱۲/۵۶b-e	۸۳/۱۶efg	۸۳/۷۸g-j	۹۳/۸۹abc	۹۵/۱۲a-d	Mercure-۴	
۱۶/۴۹bcd	۱۴/۶۷def	۱۴/۷۶ab	۱۳/۱۴abc	۸۶/۳۴a-d	۸۸/۰۵a-d	۹۱/۷۹c-f	۹۳/۲۰c-g	Kamilo-۵	
۱۶/۲۷bcd	۱۳/۶۳f	۱۴/۴۸ab	۱۲/۸۹abc	۸۸/۱۸a	۹۰/۱۲a	۹۴/۱۲abc	۹۵/۳۷a-d	Lauren-۶	
۱۹/۰۰abc	۱۷/۸۸abc	۱۴/۱۴abc	۱۲/۷۲a-d	۸۱/۶۰fg	۸۲/۶۷hij	۹۰/۷۵def	۹۱/۹۵efg	Darko-۷	
۱۷/۰۵a-d	۱۵/۰۲def	۱۴/۳۹ab	۱۲/۹۶abc	۸۷/۳۲ab	۸۹/۴۹ab	۹۲/۷۲a-d	۹۳/۹۴a-e	Alonso-۸	
۱۸/۵۸a-d	۱۶/۵۴a-e	۱۵/۶۱a	۱۴/۴۲a	۸۳/۸۱c-f	۸۴/۹۱e-i	۸۹/۸۲ef	۹۱/۰۰fg	Hydromel-۹	
۱۷/۵۸a-d	۱۶/۲۶a-e	۱۳/۲۲bc	۱۱/۱۱de	۸۴/۱۴c-f	۸۴/۷۴f-i	۹۴/۳۴ab	۹۵/۵۹abc	Rohan-۱۰	
۱۷/۶۹a-d	۱۵/۶۵c-f	۱۳/۹۹abc	۱۲/۴۵cde	۸۴/۲۸c-f	۸۵/۳۹d-h	۹۱/۶۷c-f	۹۳/۰۱d-g	Garou-۱۱	
۱۸/۹۹abc	۱۷/۰۸a-d	۱۳/۱۳bc	۱۱/۶۹cde	۸۳/۵۰def	۸۴/۲۳f-i	۹۴/۰۵abc	۹۵/۲۹a-d	SW102-۱۲	
۲۰/۰۱a	۱۸/۱۹ab	۱۳/۱۳bc	۱۱/۶۹cde	۸۱/۳۲fg	۸۲/۱۲ij	۹۲/۶۲a-d	۹۳/۸۴a-e	HL2012-۱۳	
۱۷/۵۵a-d	۱۵/۴۶c-f	۱۴/۵۵ab	۱۲/۹۵abc	۸۶/۰۷a-e	۸۶/۹۷b-f	۹۰/۴۲def	۹۱/۶۱efg	L72-۱۴	
۱۸/۷۹a-d	۱۴/۶۰def	۱۳/۲۱bc	۱۰/۸۹e	۸۷/۹۶ab	۸۸/۹۲abc	۹۳/۵۲abc	۹۴/۶۵a-d	HL3721-۱۵	
۱۹/۳۲ab	۱۸/۵۳a	۱۴/۴۸ab	۱۴/۱۹ab	۸۰/۳۳g	۸۱/۱۵j	۸۹/۶۲f	۹۰/۸۰g	Ahmadi-۱۶	
۱۶/۲۲bcd	۱۴/۲۸ef	۱۳/۳۴bc	۱۱/۸۷cde	۸۶/۶۱abc	۸۷/۹۲a-d	۹۱/۹۶b-f	۹۳/۳۹b-f	Okapi-۱۷	

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر صفت از لحاظ آماری در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند

محتوای نسبی آب برگ و بیشتر بودن محتوای نسبی آب برگ در ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی می‌تواند ناشی از مکانیسم‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک متفاوت مانند اندازه و زاویه برگ، وجود یا نبود موم روی سطح برگ (جیانگ و هوانگ ۲۰۰۱) و وجود ساز و کارهای کاهش‌دهنده تلفات آب مثل بسته‌تر شدن روزنه‌ها، افزایش غلظت شیره سلولی و یا جذب بیشتر آب از طریق

شاخص محتوای نسبی آب برگ در مطالعات برای ارزیابی وضعیت آبی گیاه مورد استفاده قرار می‌گیرد (جباری و همکاران ۲۰۱۵). کاهش محتوای نسبی آب برگ می‌تواند به دلیل کاهش درصد رطوبت خاک در شرایط قطع آبیاری و به دنبال آن کاهش پتانسیل آب برگ در اثر افزایش شدت تنش خشکی باشد (حیدری و همکاران ۲۰۱۵). دلیل اختلاف بین ژنوتیپ‌ها از نظر مقدار

همه گیاهان در شرایط تنش‌های زیستی و غیر زیستی، پرولین را در بافت‌های خود ذخیره می‌کنند، اما ذخیره آن، بسته به گونه گیاهی و شدت تنش می‌تواند بین ۲ تا ۱۰۰ برابر متغیر باشد (جزئی‌زاده و مرتضایی‌نژاد ۲۰۱۷). افزایش پرولین در زمان بروز تنش نشان‌دهنده نقش این اسید آمینه در تنظیم فشار اسمزی است (اشرف و فولاد ۲۰۰۷). علاوه بر نقش تنظیم اسمزی، پرولین عملکردهای دیگری از جمله حفظ ثبات پروتئین‌ها، حذف رادیکال‌های هیدروکسیل، تنظیم pH سلولی و تنظیم نسبت NADP/NADPH دارد (ماتیسک و همکاران ۲۰۰۲ رضوی‌زاده و همکاران ۲۰۰۹). بر اساس نتایج این تحقیق مقدار پرولین برگ ژنوتیپ‌های کلزا در شرایط قطع آبیاری نسبت به آبیاری نرمال افزایش یافت (جدول ۲). در تحقیق دین و همکاران (۲۰۱۱) مقدار پرولین اندازه‌گیری شده در ارقام مختلف آفتابگردان و کلزا تحت شرایط تنش خشکی نسبت به آبیاری نرمال، افزایش نشان داد. لطفی و همکاران (۲۰۱۵) بیان کردند که مقدار پرولین در بوته‌های کلزا تحت شرایط تنش خشکی در مقایسه با شرایط نرمال بیشتر و بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده شد، اما مقدار زیاد یا کم پرولین نمی‌تواند به‌عنوان یک معیار مقاومت و برتری در بین ژنوتیپ‌ها باشد. در مطالعه حاضر نیز ارقام برتر، لزوماً مقدار پرولین زیادی نداشتند. به همین ترتیب ژنوتیپ‌های ضعیف نیز از لحاظ مقدار پرولین در سطح پایینی قرار نداشتند. ابراهیمیان و همکاران ۲۰۱۲ نیز گزارش کردند که پرولین نمی‌تواند معیار مناسبی برای انتخاب ارقام مقاوم به خشکی باشد.

عملکرد دانه و اجزای عملکرد

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که عملکرد دانه در بین ژنوتیپ‌ها و تیمارهای آبیاری مورد مطالعه متفاوت بود (شکل ۳). در سال اول تحت شرایط آبیاری نرمال ژنوتیپ‌های Zorica، Lauren و Artist بیشترین عملکرد

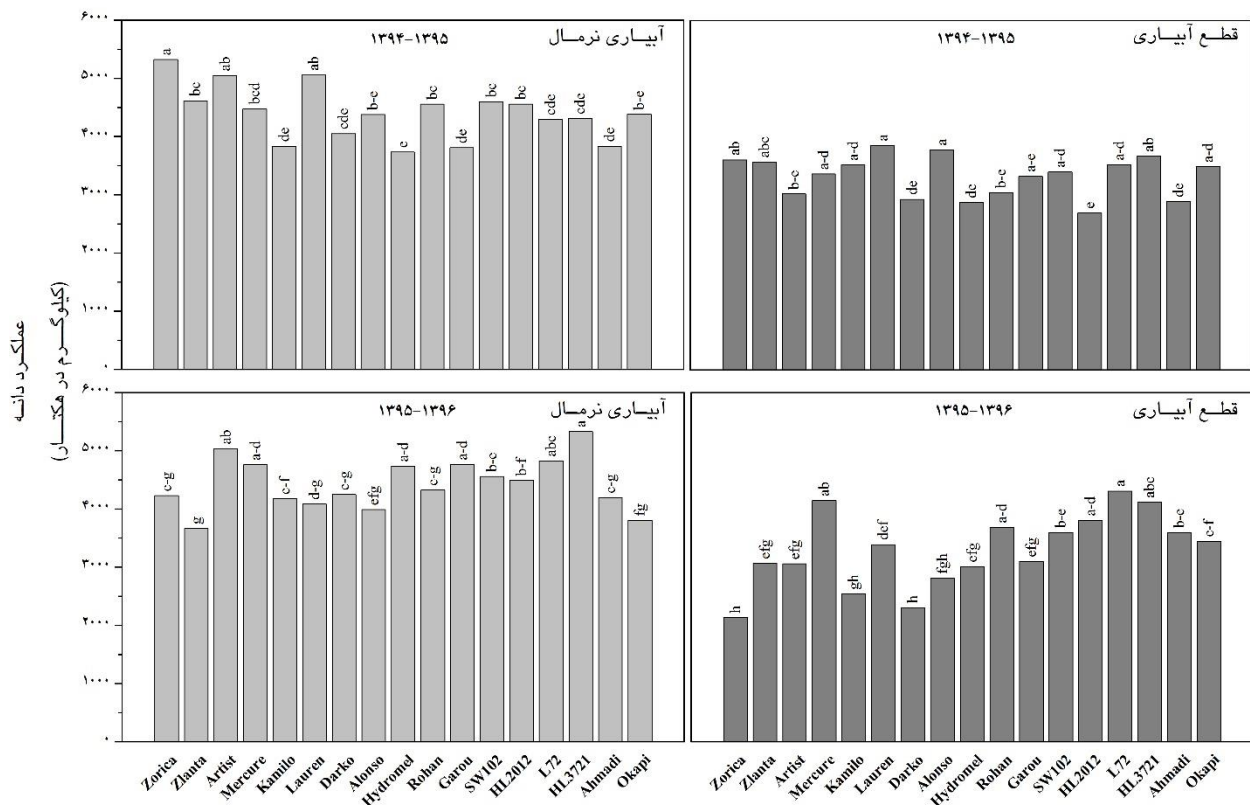
توسعه ریشه باشد (عبدلی و همکاران ۲۰۱۳). به گزارش شانفلد و همکاران (۱۹۹۸) ارقام متحمل به تنش خشکی، در شرایط اعمال تنش خشکی محتوای نسبی آب برگ بیشتری در مقایسه با ارقام حساس دارد. نصراله زاده اصل و همکاران (۲۰۱۸) در یک مطالعه نشان دادند که محتوای نسبی آب برگ ذرت در شرایط تنش نسبت به شرایط آبیاری نرمال ۲۰ درصد کاهش یافت.

پرولین

بر اساس نتایج مقایسه میانگین، در شرایط آبیاری نرمال در هر دو سال زراعی بیشترین مقدار پرولین متعلق به ژنوتیپ Hydromel (۱۴/۴۲ و ۱۵/۶۱ میکرو مول در گرم وزن تر) بود، درحالی‌که کمترین مقدار در ژنوتیپ‌های HL3721 در سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۶ (۱۰/۸۹ میکرو مول در گرم وزن تر) و Zorica در سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۶ (۱۲/۳۶ میکرو مول در گرم وزن تر) مشاهده شد (جدول ۲). مقدار پرولین در همه ژنوتیپ‌های مورد بررسی در شرایط قطع آبیاری نسبت به آبیاری نرمال افزایش نشان داد. بیشترین مقدار پرولین در بین ژنوتیپ‌ها در هر دو سال زراعی به ترتیب متعلق به Ahmadi (۱۸/۵۳ میکرو مول در گرم وزن تر) و Mercure (۲۰/۰۷ میکرو مول در گرم وزن تر) بود، درحالی‌که کمترین مقدار پرولین در ژنوتیپ‌های Lauren (۱۳/۶۳ میکرو مول در گرم وزن تر) و Artist (۱۵/۵۸ میکرو مول در گرم وزن تر) مشاهده شد. متوسط مقدار پرولین در بین تمام ژنوتیپ‌های مورد بررسی در هر دو تیمار آبیاری نرمال و قطع آبیاری، در سال اول (۱۴/۲۳ میکرو مول در گرم وزن تر) در مقایسه با سال دوم (۱۵/۸۷ میکرو مول در گرم وزن تر) کمتر بود. همچنین لازم به ذکر است که مقدار پرولین در شرایط تنش قطع آبیاری (۱۶/۹۱ میکرو مول در گرم وزن تر) نسبت به آبیاری نرمال (۱۳/۲۰ میکرو مول در گرم وزن تر) در هر دو سال زراعی در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه افزایش نشان داد.

در این شرایط متعلق به ژنوتیپ‌های Lauren (۳/۳۸۵۴) کمترین عملکرد در هکتار) و Alonso (۳/۳۷۷۶ کیلوگرم در هکتار) بود، در صورتی‌که ژنوتیپ HL2012 (۳/۲۶۹۶ کیلوگرم در هکتار) را دارا بود (شکل ۳).

دانه را به خود اختصاص دادند (۲/۵۲۳۴، ۶/۵۰۵۵ و ۴/۵۰۴۹ کیلوگرم در هکتار). در مقابل ژنوتیپ Hydromel کمترین عملکرد دانه (۷/۳۷۳۲ کیلوگرم در هکتار) را داشت (شکل ۳). در شرایط قطع آبیاری عملکرد دانه تمامی ژنوتیپ‌ها کاهش یافت. بیشترین عملکرد دانه



شکل ۳- مقایسه میانگین عملکرد دانه کلزا در ترکیبات تیماری ژنوتیپ و آبیاری در هر دو سال زراعی

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر صفت از لحاظ آماری در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند

در هکتار) کمترین مقدار عملکرد دانه را داشت (شکل ۳). شایان ذکر است که به‌طور میانگین در هر دو سال زراعی، عملکرد دانه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه تحت شرایط آبیاری نرمال (۳/۴۴۱۳ کیلوگرم در هکتار) بیشتر از عملکرد دانه در تیمار قطع آبیاری (۳۳۱۳/۸۷ کیلوگرم در هکتار) بود.

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که تعداد خورجین در بوته در شرایط قطع آبیاری نسبت به آبیاری نرمال کمتر

شرایط آب و هوایی در دو سال زراعی متفاوت بود و واکنش ژنوتیپ‌ها از لحاظ عملکرد دانه یکسان نبود. در سال دوم تحت شرایط آبیاری نرمال ژنوتیپ HL3721 (۷/۵۳۲۷ کیلوگرم در هکتار) بیشترین مقدار عملکرد دانه را تولید کرد و Zlanta (۸/۳۶۶۵ کیلوگرم در هکتار) کمترین عملکرد دانه را داشت (شکل ۳). در شرایط قطع آبیاری ژنوتیپ L72 (۸/۴۳۰۸ کیلوگرم در هکتار) بالاترین مقدار عملکرد دانه و ژنوتیپ Zorica (۷/۲۱۳۵ کیلوگرم

جهت تثبیت دوباره کربن حاصل از تنفس دیواره غلاف و انتقال آن به دانه در حال رشد عمل می‌کند (ما و همکاران ۲۰۰۱). با بروز تنش خشکی و کاهش میزان مواد فتوسنتزی از میزان رشد خورجین و در نهایت مساحت آن‌ها به‌ویژه هنگام پر شدن دانه کاسته و در نهایت عملکرد دانه کاهش می‌یابد (رایت و همکاران ۱۹۹۵). کاهش فتوسنتز و ارسال فرآورده‌های فتوسنتزی به خورجین‌ها در اثر تنش خشکی، مهم‌ترین عامل کاهش طول خورجین و به دنبال آن عملکرد دانه می‌باشد (سید احمدی و همکاران ۲۰۱۵).

بر اساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین که در جدول ۴ ارائه شده است، بیشترین تعداد دانه در خورجین تحت شرایط آبیاری نرمال و قطع آبیاری در سال اول در ژنوتیپ‌های Zorica (۲۶/۸۷) و Lauren (۱۸/۶) مشاهده گردید. در سال دوم با توجه به تاثیر شرایط آب و هوایی بر رشد و نمو کلزا، واکنش ژنوتیپ‌های مورد تحقیق متفاوت بود. در شرایط آبیاری نرمال و قطع آبیاری بیشترین تعداد دانه در خورجین متعلق به ژنوتیپ‌های HL3721 (۲۷/۹۹) L72 (۱۸/۵۶) بود (جدول ۴). تعداد دانه در خورجین در شرایط آبیاری نرمال بیشتر از شرایط قطع آبیاری بود. غلاف‌های کلزا حاوی ۳۰ (کلارک ۱۹۷۹) تا ۴۰ (راکو ۱۹۷۸ و مورگان ۱۹۸۲) عدد دانه می‌باشند و پس از مرحله گرده افشانی، بسته به رقم میزان سقط و عوامل محیطی تنوع قابل ملاحظه‌ای در توزیع و تعداد بذرها از دست رفته مشاهده می‌شود (بیشورنر و اودنباچ ۱۹۸۷). به گزارش راتو و مندهام (۱۹۹۱) توانایی ژنوتیپ‌های مختلف کلزا برای تشکیل دانه در خورجین متفاوت بوده و این صفت از عوامل مهم و تأثیرگذار بر عملکرد نهایی دانه به شمار می‌رود. البته لازم به ذکر است که تعداد دانه در خورجین دارای محدودیت بوده و تأثیر عوامل ژنتیکی بیشتر از عواملی محیطی می‌باشد (سید احمدی و همکاران ۲۰۱۵).

بود (جدول ۳). بیشترین تعداد خورجین در بوته در شرایط آبیاری نرمال و قطع آبیاری در سال اول متعلق به ژنوتیپ‌های Zorica (۲۱۵/۰۹) Lauren (۱۵۸/۶) بود (جدول ۳). در سال دوم با توجه به متفاوت بودن شرایط آب و هوایی، تعداد خورجین در بوته‌ی ژنوتیپ‌های مورد بررسی تحت تاثیر قرار گرفت و ژنوتیپ‌ها واکنش متفاوتی نسبت به سال اول از خود نشان دادند. در شرایط آبیاری نرمال و قطع آبیاری به‌ترتیب ژنوتیپ‌های HL3721 (۲۳۹/۸۱) و L72 (۱۷۵/۸۷) بیشترین تعداد خورجین در بوته را به خود اختصاص دادند (جدول ۳). از اجزای مهم عملکرد دانه، تعداد خورجین در بوته می‌باشد که ظرفیت تشکیل دانه را فراهم کرده و با پوسته سبز و انجام فتوسنتز درصدی از مواد لازم برای پر شدن دانه را فراهم می‌نماید (شیرانی‌راد و همکاران ۲۰۱۳). در مطالعات مختلف علت کاهش تعداد خورجین در بوته در شرایط تنش خشکی، عرضه کمتر مواد فتوسنتزی و ریزش گل‌ها و خورجین‌های در حال رشد ذکر شده است (کومار و سینگ ۱۹۹۸ و راتو و مندهام ۱۹۹۱).

بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۳ در سال اول بیشترین طول خورجین تحت شرایط آبیاری نرمال و قطع آبیاری به ترتیب در ژنوتیپ‌های Zorica (۷/۵۸) سانتی‌متر) و Lauren (۶/۰۱ سانتی‌متر) به ثبت رسید (جدول ۳). واکنش ژنوتیپ‌ها متفاوت بود. در شرایط آبیاری نرمال و قطع آبیاری بیشترین مقدار طول خورجین مربوط به ژنوتیپ‌های HL3721 (۸/۲۴) سانتی‌متر) L72 (۶/۴۹ سانتی‌متر) بود (جدول ۳). سطح خورجین به عنوان یک سطح فتوسنتزی فعال از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و به طور معمول یک سوم وزن دانه‌های کلزا از طریق فتوسنتز خورجین‌ها تامین می‌گردد و بین مساحت دیواره‌های خورجین در کلزا با تعداد دانه در خورجین همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود دارد (سیرین و اسان و مورگان ۱۹۹۶). نتایج مطالعات نشان داده است که غلاف یک اندام فتوسنتزی مهم است که در

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های تعداد خورجین در بوته و طول خورجین کلزا در ترکیبات تیماری ژنوتیپ و آبیاری در دو سال زراعی ۱۳۹۴-۱۳۹۶

طول خورجین (سانتی‌متر)		تعداد خورجین در بوته		طول خورجین (سانتی‌متر)		تعداد خورجین در بوته		ژنوتیپ
قطع آبیاری		آبیاری نرمال		قطع آبیاری		آبیاری نرمال		
۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۴-۹۵	
۳/۱۷i	۵/۳۶b-e	۶/۰۲ij	۷/۵۸a	۸۰/۸۷j	۱۳۶/۶bcd	۱۷۰/۹۰gh	۲۱۵/۰۹a	Zorica-۱
۴/۵۸ef	۵/۳۴b-e	۵/۱۷k	۶/۵۱de	۱۲۱/۴۴fg	۱۴۱/۶bc	۱۴۳/۶۵j	۱۸۰/۸۶f-i	Zlanta-۲
۵/۳۷cd	۵/۳۰b-e	۷/۳۱cde	۷/۳۳ab	۱۳۳/۷۱def	۱۳۲/۱cd	۲۱۰/۶۰b	۲۱۱/۱۲ab	Artist-۳
۶/۰۲ab	۴/۸۹efg	۷/۴۰bcd	۶/۹۵bcd	۱۵۴/۲۷bc	۱۲۵/۳def	۲۰۸/۰۴bcd	۱۹۵/۴۷cde	Mercure-۴
۳/۸۶gh	۵/۳۶b-e	۷/۲۰def	۶/۶۱de	۱۰۵/۶۴hi	۱۴۶/۳ab	۱۸۸/۹۵ef	۱۷۳/۴۵hij	Kamilo-۵
۵/۲۸cd	۶/۰۱a	۵/۸۱j	۷/۱۹abc	۱۳۹/۴۹de	۱۵۸/۶a	۱۶۱/۵۵hi	۲۰۰/۰۷bcd	Lauren-۶
۳/۶۷h	۴/۶۷g	۶/۵۶ghi	۶/۲۵ef	۹۴/۱۵i	۱۱۹/۷ef	۱۷۲/۷۴gh	۱۶۴/۷۳j	Darko-۷
۴/۲۶fg	۵/۷۳ab	۶/۱۰hij	۶/۷۰cde	۱۱۶/۵۸gh	۱۵۶/۷a	۱۷۲/۲۶gh	۱۸۹/۰۲d-g	Alonso-۸
۵/۲۱cd	۴/۹۸d-g	۷/۸۶abc	۶/۲۰ef	۱۳۴/۲۹de	۱۲۸/۳de	۲۰۸/۸۲bc	۱۶۴/۶۱j	Hydromel-۹
۶/۲۳a	۵/۱۵c-f	۶/۸۵d-g	۷/۲۱abc	۱۶۰/۵۸b	۱۳۲/۸cd	۱۹۵/۱۲def	۲۰۵/۵۶abc	Rohan-۱۰
۵/۰۵de	۵/۴۲bcd	۷/۹۱ab	۶/۳۲ef	۱۲۷/۳۰efg	۱۳۶/۶bcd	۲۱۹/۵۸b	۱۷۵/۴۶g-j	Garou-۱۱
۵/۱۷d	۴/۸۹efg	۶/۸۹d-g	۶/۹۴bcd	۱۳۴/۵۷de	۱۲۷/۳def	۱۹۶/۰۵cde	۱۹۷/۶۳b-d	SW102-۱۲
۶/۲۴a	۴/۶۹fg	۶/۷۸efg	۶/۴۹de	۱۶۶/۰۹ab	۱۱۷/۶ef	۱۸۲/۱۰fg	۱۸۴/۵۷e-h	HL2012-۱۳
۶/۴۹a	۵/۶۷ab	۶/۹۷d-g	۵/۸۰f	۱۷۵/۸۷a	۱۴۳/۸bc	۱۹۱/۵۷fe	۱۷۰/۳۰ij	L72-۱۴
۶/۲۶a	۵/۵۸abc	۸/۲۴a	۶/۶۷cde	۱۷۵/۲۹a	۱۵۶/۳a	۲۳۹/۸۱a	۱۹۴/۰۶c-f	HL3721-۱۵
۵/۶۶bc	۴/۶۵g	۶/۶۳fgh	۵/۹۰f	۱۶۱/۰۴b	۱۱۵/۹f	۱۶۶/۶۳hi	۱۶۹/۵۴ij	Ahmadi-۱۶
۵/۴۷cd	۵/۵۵abc	۵/۶۳jkl	۶/۴۹de	۱۴۵/۱۲cd	۱۴۷ab	۱۵۶/۸۰ij	۱۸۰/۸۳f-i	Okapi-۱۷

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر صفت از لحاظ آماری در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند

عملکرد است که تنش خشکی باعث کاهش مقدار آن در مقایسه با شرایط آبیاری نرمال شد. وزن تک دانه آخرین جزء عملکرد است که در طی مراحل نمو حاصل می‌گردد (دیینبراک ۲۰۰۰). به طور کلی وزن دانه به سرعت و طول دوره پر شدن دانه وابسته بوده و از دو منبع فتوسنتز جاری و انتقال مجدد مواد ذخیره‌ای تامین می‌شود. با توجه به کاهش وزن دانه در تیمارهای قطع آبیاری، می‌توان کاهش سرعت و دوره پر شدن دانه را دلیل این کاهش وزن دانه بیان کرد (سینکی و همکاران ۲۰۰۷).

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در سال اول زراعی تحت شرایط آبیاری نرمال و قطع آبیاری ژنوتیپ‌های Zorica (۴/۸۲ گرم) و Lauren (۳/۴۴ گرم) بیشترین وزن هزار دانه را داشتند (جدول ۴). وزن هزار دانه ژنوتیپ‌های کلزا نیز تحت تاثیر شرایط آب و هوایی در دو سال زراعی قرار گرفت. در شرایط آبیاری نرمال و قطع آبیاری بیشترین وزن هزار دانه متعلق به ژنوتیپ‌های HL3721 (۵/۰۴ گرم) و L72 (۳/۵۴ گرم) بود (جدول ۴). وزن دانه در ژنوتیپ‌های کلزا یکی از اجزای

جدول ۴- مقایسه میانگین‌های تعداد خورجین در بوته و طول خورجین کلزا در ترکیبات تیماری ژنوتیپ و آبیاری در دو سال زراعی ۱۳۹۴-۱۳۹۶

وزن هزار دانه (گرم)		تعداد دانه در خورجین		قطع آبیاری		آبیاری نرمال		ژنوتیپ
۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۴-۹۵	
۱/۶۹g	۲/۸۶b-e	۳/۸۲de	۴/۸۲a	۸/۶۱h	۱۴/۵c-f	۲۱/۳۵c-g	۲۶/۸۷a	Zorica-۱
۲/۵۰def	۲/۹۸a-d	۳/۰۷f	۳/۸۶d-g	۱۳/۰۶ef	۱۵/۲bcd	۱۷/۴۳h	۲۱/۹۴c-g	Zlanta-۲
۲/۸۳cde	۲/۸b-e	۴/۵۹ab	۴/۶ab	۱۴/۰۵cde	۱۳/۹c-g	۲۵/۶۰ab	۲۵/۶۶ab	Artist-۳
۲/۹۷bcd	۲/۴۱ef	۴/۴۳b	۴/۱۶b-e	۱۵/۰۱cde	۱۲/۲fgh	۲۴/۹۳abc	۲۳/۴۲a-e	Mercure-۴
۲/۳۱f	۳/۲abc	۴/۱۵bcd	۳/۸۱d-h	۱۱/۵۲fg	۱۵/۹bc	۲۲/۲۱b-f	۲۰/۳۹e-h	Kamilo-۵
۳/۰۲bcd	۳/۴۴a	۳/۵۵ef	۴/۴abc	۱۶/۳۷abc	۱۸/۶a	۱۹/۶۵fgh	۲۴/۳۴a-d	Lauren-۶
۱/۷۳g	۲/۲f	۳/۸۰de	۳/۶۳fgh	۹/۰۴gh	۱۱/۵gh	۲۰/۹۳d-h	۱۹/۹۵e-h	Darko-۷
۲/۴۳ef	۳/۲۸ab	۳/۷۵de	۴/۱۱cde	۱۲/۸۸ef	۱۷/۳ab	۱۹/۹۲e-h	۲۱/۸۶c-g	Alonso-۸
۲/۶۱def	۲/۵def	۴/۴۱b	۳/۴۷gh	۱۳/۶۵def	۱۳d-h	۲۴/۱۲bcd	۱۹/۰۲gh	Hydromel-۹
۳/۲۷abc	۲/۷c-f	۴/۳۸bc	۴/۶۱ab	۱۵/۹۹bcd	۱۳/۲d-h	۲۳/۵۳b-e	۲۴/۷۹abc	Rohan-۱۰
۲/۶۲def	۲/۸۱b-e	۴/۶۲ab	۳/۶۹e-h	۱۳/۱۹ef	۱۴/۱c-f	۲۴/۷۱abc	۱۹/۷۴fgh	Garou-۱۱
۲/۶۲def	۲/۴۸def	۴/۲۴bcd	۴/۲۸bcd	۱۳/۳۰ef	۱۲/۶e-h	۲۴/۰۸bcd	۲۴/۲۸a-d	SW102-۱۲
۳/۱۹abc	۲/۲۶f	۳/۹۰cde	۳/۹۶c-f	۱۶/۲۴abc	۱۱/۵gh	۲۰/۹۸d-h	۲۱/۲۷d-h	HL2012-۱۳
۳/۵۴a	۲/۹b-e	۳/۸۴de	۳/۴۱gh	۱۸/۵۶a	۱۵/۱b-e	۲۱/۴۹d-g	۱۹/۱۱gh	L72-۱۴
۳/۴۶ab	۳/۰۸abc	۵/۰۴a	۴/۰۸c-f	۱۸/۱۴ab	۱۶/۲abc	۲۷/۹۹a	۲۲/۶۵b-f	HL3721-۱۵
۳/۲۱abc	۲/۲۶f	۳/۲۳f	۳/۳۷h	۱۵/۳۷cde	۱۰/۷h	۱۷/۳۳h	۱۸/۰۸h	Ahmadi-۱۶
۲/۹۳cde	۲/۹۷a-d	۳/۲۴f	۳/۷۴e-h	۱۵/۲۷cde	۱۵/۵bcd	۱۷/۹۱gh	۲۰/۶۶e-h	Okapi-۱۷

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر صفت از لحاظ آماری در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند

است. نتایج تجزیه همبستگی نیز نشان داد که رابطه مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه با کلروفیل کل ($r = +0.61$; $p \leq 0.01$) و محتوای نسبی آب برگ ($r = +0.50$; $p \leq 0.05$) داشت. عملکرد دانه ژنوتیپ‌های مختلف کلزا در تحقیق حاضر رابطه معنی‌داری با مقدار پرولین نداشتند. در یک مطالعه شهرابی فراهانی (۲۰۱۴) تحمل به خشکی چند ژنوتیپ کلزا را بر اساس خصوصیات فیزیولوژی و زراعی در منطقه یزد مورد بررسی قرار دادند که نتایج نشان داد، رقم Lilian به‌واسطه برتری در برخی صفات فیزیولوژیک از جمله محتوای نسبی آب برگ برترین رقم شناخته شد. حامد و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعه ارزیابی ویژگی‌های زراعی و برخی صفات فیزیولوژیک ارقام کلزا تحت تأثیر تنش خشکی نشان دادند که ژنوتیپ GKH به

بالا بودن صفات کلروفیل و محتوای نسبی آب برگ می‌تواند باعث مقاومت بیشتر ژنوتیپ‌ها در برابر تنش خشکی شود. عملکرد بالای ژنوتیپ Lauren در سال اول تحت شرایط قطع آبیاری را می‌توان به برتری این ژنوتیپ از نظر مقدار کلروفیل و محتوای نسبی آب برگ نسبت داد. در سال دوم نیز در بین ژنوتیپ‌های برتر از لحاظ عملکرد دانه (L72، Mercure و HL3721)، ژنوتیپ HL3721 از نظر صفات فیزیولوژیک کلروفیل و محتوای نسبی آب برگ در سطح بالایی قرار داشت و موجب عملکرد دانه قابل قبول شد. به عبارت دیگر، ثبات عملکرد این ژنوتیپ احتمالاً ارتباط زیادی با تنظیم بهتر روابط آبی و پایداری بیشتر در حفظ غشای سلولی داشته که در نهایت موجب دستیابی به عملکرد دانه بیشتر شده

درصد کاهش و مقدار پرولین برگ ۲۸/۰۴ درصد افزایش یافتند. به طور میانگین در هر دو سال زراعی بیشترین عملکرد دانه در بین ژنوتیپ‌های مختلف کلزا در شرایط آبیاری نرمال متعلق به Artist (۵۰۴۳/۲۵ کیلوگرم در هکتار) و در شرایط تنش کمبود آب در مرحله خورجین‌دهی به بعد قطع آبیاری متعلق به ژنوتیپ‌های HL3721، L72 و Mercure (۳۹۱۵/۲۵، ۳۸۹۲/۴۵ و ۳۷۵۴/۴۵ کیلوگرم در هکتار) بود. با توجه به صفات مورد بررسی، و همچنین عملکرد قابل قبول ژنوتیپ HL3721 می‌توان این ژنوتیپ را جزء ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی معرفی کرد که پتانسیل بالایی برای کشت در مناطق با آب و هوای مشابه اقلیم کرج دارد.

دلیل بر خورداری از صفات مناسب فیزیولوژیک و زراعی در سطوح مختلف تنش خشکی، بیشترین مقدار عملکرد دانه را تولید کرد.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که صفات مورد بررسی شامل کلروفیل کل، پرولین، محتوای نسبی آب برگ، عملکرد دانه و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های کلزا تحت تأثیر قطع آبیاری قرار گرفتند و این صفات در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه اختلاف معنی‌دار داشتند. بر اساس نتایج به دست آمده در مجموع دو سال آزمایش مقدار کلروفیل کل در شرایط قطع آبیاری نسبت به آبیاری نرمال ۲۱/۶۵

منابع مورد استفاده

- Abdoli M, Saeedi M, Jalali Honarmand S, Mansourifar S, and Ghobadi ME, 2013. Evaluation of some physiological and biochemical traits and their relationship with yield and its components in bread wheat cultivars under post-pollination conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 6(1): 47-63. (In Persian).
- Alonso R, Elvira S, Castillo FJ, and Gimeno BS, 2001. Interactive effects of ozone and drought stress on pigments and activities of antioxidative enzymes in *Pinus halepensis*. *Plant, Cell & Environment*, 24: 905-916.
- Arnon DI, 1949 Copper enzymes in isolated chloroplasts: Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant physiology* 24: 1-15. Bates, L. S., Waldren, R. P. and Teare, L. D. (1973) Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39: 205-207.
- Ashraf M, and Foolad MR, 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*, 59: 206-216.
- Ashraf MY, Azmi AR, Khan AH, and Ala SA, 1994. Effect of water stress on total phenols, peroxidase activity and chlorophyll content in wheat. *Acta Physiologiae Plantarum*, 16(3): 185-191.
- Barr HD, and Weatherley PE, 1962. Re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. *Australian Journal of Biological Sciences*, 15: 413-428.
- Bates LS, Waldren RP, and Teare LD, 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39: 205-207.
- Beschorner M, and Odenbach W, 1987. Fertility of zero-erucic and double low winter rape cultivars in relation to light intensity and genotype. In: *Proceedings of the International Rapeseed Conference*, 7: 52-56.
- Chegeni H, Goldani M, Shirani Rad AH, and Kafi M, 2016. Effects of terminal drought stress on some biochemical and agronomic characteristics in some rapeseed lines (*Brassica napus* L.). *Plant Ecophysiology*, 27: 20-31. (In Persian)
- Desingh R, and Kanagaraj G, 2007. Influence of salinity stress on photosynthesis and antioxidative systems in two cotton varieties. *General and Applied Plant Physiology*, 33 (3-4): 221-234.

- Diepenbrock W, 2000. Yield analysis of winter oilseed rape: a review. *Field Crops Research*, 67: 35-49.
- Din J, Soukhan I, and Gurmani AR, 2011. Physiological and agronomic response of canola varieties to drought stress. *Journal of Plant and Animal Sciences*, 21: 78-82.
- Ebrahimiyan M, Majidi MM, Mirlohi A, and Noroozi A, 2012. Physiological traits related to drought tolerance in tall fescue. *Euphytica*, 190: 401-414.
- FAOSTAT 2017. FAOSTAT Data. www.faostat.fao.org.
- Gregersen PL, and Holm PB, 2007. Transcriptome analysis of senescence in the flag leaf of wheat. *Plant Biotechnology*, 5: 192-206.
- Hamed A, Akbari Gh, Khosh Kholgh Sima N, Shirani Rad, AH, Jabbari H, and Tabatabaie SA, 2015. Evaluating agronomic traits and some physiological traits of Rapeseed cultivars under drought stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 7(2): 155-171. (In Persian).
- Heidari N, Pouryoucef M, and Tavakoli A, 2015. Effects of drought stress on photosynthesis, its parameters and relative water content of anise (*Pimpinella anisum* L.). *Journal of Plant Research*, 27(5): 829-839. (In Persian).
- Huffaker RC, Radin T, Kleinkopfig E, and Cox EL, 1970. Effect of mild water stress on enzyme of nitrate assimilation and of the carboxylative phase of photosynthesis in barley. *Crop Science*, 10: 471-474.
- Jabbari H, Akbari Gh, Khosh Kholgh Sima NA, Shirani Rad AH, Allah Dadi I, and Tajdini F, 2015. Investigating the crop, physiological and qualitative characteristics of rapeseed under water stress. *Environmental Stresses in crop Sciences*, 8(1): 35-49. (In Persian).
- Jazi Zadeh E, and Mortezaie Nejad F, 2017. Effects of water stress on morphological and physiological indices of *Cichorium intybus* L. for introduction in urban landscapes. *Journal of Plan Process and Function*, 6(21): 279-290. (In Persian).
- Jiang Y, and Huang B, 2001. Osmotic adjustment and root growth associated with drought preconditioning enhanced heat tolerance in Kentucky bluegrass. *Crop Science*, 41: 1168-1173.
- Kottmann L, Wilde P, and Schittenmhelm S, 2016. How do timing, duration, and intensity of drought stress affect the agronomic performance of winter rye? *European Journal of Agronomy*, 75: 25-32.
- Kranner I, Beckett RP, Wornik S, Zorn M, and Pfeifhofer HW, 2002. Revival of a resurrection plant correlates with its antioxidant status. *The Plant Journal*, 31: 13-24.
- Kumar A., and Singh DP, 1998. Use of physiological indices as a screening technique for drought tolerance in oilseed *Brassica species*. *Annals of Botany*, 81: 413-420.
- Lancashire PD, Blieholder H, Langeluddecke P, Stauss R, Van den boom T, Weber E, and Witzten-Berger A, 1991. An uniform decimal code for growth stages of crops and weeds. *Annals of Applied Biology*, 119: 561-601.
- Lotfi R, Gharavi-Kuochebagh P, and Khoshvaghti H, 2015. Biochemical and physiological responses of *Brassica napus* plants to humic acid under water stress. *Russian Journal of Plant Physiology*, 62 (4): 480-486.
- Ma Q, Bhabdian M.H, Turner N.C, and Palta, J.A, 2001. Gas exchange by pods and subtending leaves and internal recycling of CO₂ by pods of chickpea (*Cicer arietinum*. L) subjected to water deficits. *Journal of Experimental Botany*, 52, 123-131.
- Majidi MM, Jafarzadeh M, Rashidi F and Mirlohi A, 2015. Effect of drought stress on yield and some physiological traits in Canola varieties. *Journal of Plant Process and Function*, 3(9): 59-70. (In Persian).
- Matysik J, Alia BB, and Mohanty P, 2002. Molecular mechanisms of quenching of reactive oxygen species by proline under stress in plants. *Current Science*, 82: 525-532.

- Ministry of Agriculture-Jahad, 2017. Agricultural statistics, 2013-2014, volume 1. Available at: <http://www.maj.ir/Portal/Home/.pdf>
- Moran JF, Becana M, Iturbe-Ormaetxe I, Frechilla S, Klucas RV, and Aparicio-Tejo P, 1994. Drought induces oxidative stress in pea plants. *Planta*, 194: 346-352.
- Morgan DG, 1982. The regulation of yield components in oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 33: 1266-1268.
- Nasrollahzade V, Yusefi M, Ghosemi A, and Bandehhagh A, 2018. Grain yield, yield components and relative water content in maize (*Zea mays* L.) under water deficit stress and two mycorrhizal fungi. *Agricultural Science and Sustainable Production*, 27(4): 81-92. (In Persian)
- Nazari M, Mirlohi A, and Majidi MM, 2017. Effects of drought stress on oil characteristics of *carthamus* species. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 94: 247-256.
- Ongom PO, Volenec JJ, and Ejeta G, 2016. Selection for drought tolerance in sorghum using desiccants to simulate post-anthesis drought stress. *Field Crops Research*, 198, 213-321.
- Pessarkli M, 1999. Hand book of Plant and Crop Stress. Marcel Dekker Inc. 697 pp.
- Rakow G, 1978. Zur Formulierung von Zuchtzielen fu Èr Ko Èrnerraps. *Fat Science Technology*, 80: 93-99.
- Rao G, and Mendham NJ, 1991. Comparison of chinoli (*B. compestris*) and *B. napus* oilseed rape using different growth regulators, plant population densities and irrigation treatments. *Journal of Agricultural Science*, 117: 177-187.
- Razavizadeh R, Ehsanpour AA, Ahsan N, and Komatsu S, 2009. Proteome analysis of tobacco leaves under salt stress. *Peptides*, 30: 1651-1659.
- Schonfeld MA, Johnson R, Carver B, and Mornhiweg D, 1988 Water relation in winter wheat as drought resistance indicators. *Crop Science*. 28: 526-531.
- Seyed Ahmadi A, Bakhshandeh A, and Garineh MH, 2015. Evaluation physiological characteristics and grain yield canola cultivars under end seasonal drought stress in weather condition of Ahvaz. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 13 (1): 71-80. (In Persian).
- Shahrabi B, Farahmandfar E, Hassanlo T, Shirani Rad AH, and Tabatabaee SA, 2014. Evaluation of drought tolerance in rapeseed varieties based on physiological and agronomical characteristics at Yazd region. *Electronic Journal of Crop Production*, 6(4). 77-97. (In Persian).
- Shirani Rad AH, Abbasian A, and Aminpanah H, 2013. Evaluation of rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars for resistance against water deficit stress. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 19 (2): 266-273.
- Shirani Rad AH, Naeemi M, and Nasr Esfahani Sh, 2010. Evaluation of terminal drought stress tolerance in spring and winter rapeseed genotypes. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 12 (2): 112-126 (in Persian).
- Sinaki J, Majidi Heravan ME, Shirani Rad AH, Noormohammadi Gh, and Zarei Gh, 2007. The effects of water deficit during growth stages of canola (*Brassica napus* L.). *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 2: 417-422.
- Sirin Vasa, A, and Morgan, DG, 1996. Growth and development of pod wall in spring rapeseed (*Brassica napus* L.) as related to the presence of seeds and exogenous phytohormones. *Journal of Agricultural Science*, 127: 487-500.
- Vatan Doost H, Seyed Sharifi R, Farzaneh S, and Hasan Panah D, 2018. Grain filling and some fatty acids composition of canola (*Brassica napus* L.) with application of bio-fertilizers and irrigation withholding. *Agricultural Science and Sustainable Production*, 27 (4): 23-37. (In Persian).

- Wright PR, Morgan JM, Jessop RS, and Gass A, 1995. Comparative adaptation of canola (*Brassica napus*) and Indian mustard (*B. juncea*) to soil water deficits: yield and yield components. *Field Crops Research*, 42: 1-13.
- Yousefi F, Hasibi P, Roshanfekar H, and Meskarbashi M, 2015. Study of Drought and salinity stress effect on some physiological characters of two canola (*Brassica napus* L.) varieties in Ahvaz. *Journal of Plan Production*, 38(4): 25-34. (In Persian).
- Zhou L, Wang H, Chen X, Li Y, Hussain N, Cui L, Wu D, and Jiang L, 2016. Identification of candidate genes involved in fatty acids degradation at the late maturity stage in *Brassica napus* based on transcriptomic analysis. *Plan Growth Regulation*, 83: 385-396.
- Zirgoli MH, and Kahrizi D, 2015. Effects of end-season drought stress on yield and yield components of rapeseed (*Brassica napus* L.) in warm regions of Kermanshah Province. *Biharean Biologist*, 9(2): 133-140.