

Response of New Genotypes of Rapeseed (*Brassica napus*) to Late Season Withholding Irrigation under Semi-Arid Climate

Hamed Eyni Nargeseh¹, Majid Aghaalikhani^{2*}, Amir Hosein Shirani Rad³,
Ali Mokhtasi-Bidgoli⁴ and Seyed Ali Mohammad Modares Sanavy⁵

- 1- Ph.D. Candidate of Agronomy, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
- 2- ***Corresponding Author:** Associate Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran (maghaalikhani@modares.ac.ir)
- 3- Professor of Seed and Plant Improvement Institute (SPII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
- 4- Assistant Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
- 5- Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Received: 5 July, 2017

Accepted: 22 November, 2017

Abstract

Background and Objectives

Water deficit stress is one of the most important environmental stresses which affect the crop production. Genetic improvement or application of drought tolerant genotypes is recommended to increase crop production under water restricted conditions. The objective of the current study is investigating the withholding irrigation effect in terminal stages of the growing season on agronomic performance of rapeseed new genotypes in a semi-arid climate.

Materials and Methods

The experiment was conducted during 2015-2016 growing season in Karaj, Iran. Experimental factors (two water irrigation regimes and 17 rapeseed genotypes) were investigated with factorial arrangement of treatments based on a randomized complete block design (RCBD) with three replications. In this study, several different traits including plant height, number of silique per plant, number of grain per silique, 1000-grain weight, grain yield, biomass, oil percentage and oil yield were measured. To determine the most tolerant genotypes, stress tolerance indices (SSI, TOL, STI and GMP) were calculated under stress (withholding irrigation from silique setting stage until the end of the growing season) and non-stress (normal irrigation) conditions. Also, agronomic water use efficiency (WUE_{agr}) was calculated for both irrigation conditions.

Results

Mean comparison of the interaction between withholding irrigation and genotypes showed that the responses of genotypes were different in terms of plant height, number of silique per plant, number of grain per silique, 1000-grain weight, grain yield, biomass, and oil yield at irrigation different treatments. Finally under withholding irrigation treatment from silique setting stage until the end of the growing season, Lauren hybrid was identified as the superior genotype due to suitable agronomic traits such as plant height (158.9 cm), number of silique per plant (158.6), number of grain per silique (18.6), 1000-grain weight (3.44 g), biomass (15471 kg.ha⁻¹), grain yield (3854.3 kg.ha⁻¹), oil percentage (43.33%) and oil yield (1668.3 kg.ha⁻¹). Based on the stress tolerance indices among 17 rapeseed genotypes, the most tolerant genotypes were Lauren, Zorica, Alonso and Zlanta. Finally with considering to WUE_{agr} (Kg.ha⁻¹.mm⁻¹), Zorica (0.92), Artist and Lauren



genotypes (0.88) had the highest WUEagr under normal irrigation conditions, while Alonso (0.86), Lauren (0.84) and KL3721 (0.82) had the highest WUEagr under withholding irrigation conditions.

Discussion

Generally in this study, the amount of the studied traits was decreased under conditions of withholding irrigation compared to the full irrigation. Yield components such as silique number per plant, grain number per silique and 1000-grain weight could be considered as key traits affecting rapeseed grain yield under withholding irrigation.

Keywords: Grain yield, Oil yield, Silique setting, Water deficit stress

پاسخ ژنوتیپ‌های جدید کلزا (*Brassica napus*) به قطع آبیاری انتهایی فصل در آب و هوای نیمه خشک

حامد عینی نرگسه^۱، مجید آقاعلیخانی^{۲*}، امیرحسین شیرانی‌راد^۳، علی مختصی بیدگلی^۴ و سید علی محمد مدرس ثانوی^۵

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

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۴/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۹/۰۱

چکیده

در تحقیقی که در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج انجام شد پاسخ ۱۷ ژنوتیپ جدید کلزا به دو نوع رژیم آبیاری (آبیاری کامل در طول فصل رشد و قطع آبیاری از مرحله خورجین دهی تا برداشت) بررسی شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. به منظور گزینش متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها تحت شرایط آبیاری نرمال و قطع آبیاری، شاخص‌های تحمل به تنش و کارایی مصرف آب زراعی محاسبه شد. در تیمار قطع آبیاری ژنوتیپ Lauren با داشتن صفات زراعی مناسب مانند ارتفاع بوته (۱۵۸/۹cm)، تعداد خورجین در بوته (۱۵۸/۶)، تعداد دانه در خورجین (۱۸/۶)، وزن هزار دانه (۳/۴۴ گرم)، ماده خشک (۱۵۴۷۱ kg/ha)، عملکرد دانه (۳۸۵۴/۳ kg/ha)، درصد روغن دانه (۴۳/۳۳) و عملکرد روغن (۱۶۶۸/۳ kg/ha) به‌عنوان ژنوتیپ برتر شناخته شد. این ژنوتیپ در شرایط آبیاری نرمال نیز از نظر صفات ذکر شده جزو ژنوتیپ‌های مناسب بود. شایان ذکر است که ژنوتیپ Alonso تحت تنش بعد از Lauren بیشترین عملکرد دانه (۳۷۷۶/۳ kg/ha) و روغن (۱۶۲۲ kg/ha) را داشت. شاخص‌های STI و GMP بیشترین همبستگی را با عملکرد دانه در شرایط تنش و غیرتنش داشتند و برای گزینش ژنوتیپ‌های برتر مناسبند. بر همین اساس مقاوم‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش Lauren، Zorica، Alonso و Zlanta بودند. بیشترین کارایی مصرف آب زراعی (کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر) در شرایط نرمال مربوط به ژنوتیپ‌های Zorica (۰/۹۲) و Artist و Lauren (۰/۸۸) بود، در حالی که در شرایط قطع آبیاری بالاترین رکوردها در ژنوتیپ‌های Lauren (۰/۸۶)، Alonso (۰/۸۴) و HL3721 (۰/۸۲) به‌دست آمد.

کلیدواژه‌ها: تنش کم‌آبی، خورجین دهی، روغن، عملکرد دانه

مقدمه

محتوای بالای روغن (۴۴-۴۰ درصد) نقطه امید برای تأمین روغن خوراکی مورد نیاز کشور به شمار می‌آید (Rezaie Zadeh et al., 2012). در طی سال‌های اخیر نیز سطح زیر کشت کلزا در تناوب با غلات زمستانه در کشور افزایش یافته است که اغلب، در بسیاری از مناطق کشت دوره رشد زایشی گیاه با کمبود آب مواجه می‌شود (Kahrizi and Allahvarand, 2012).

گیاهان روغنی به‌عنوان منبع روغن‌های نباتی قادرند بخش بزرگی از نیاز روغن مورد استفاده انسان را تأمین کنند (Jashni et al., 2017). کلزا با نام علمی *Brassica napus* L. به دلیل ویژگی‌های خاص مانند سازگاری با شرایط آب و هوایی، ارزش تناوبی بالا، کنترل علف‌های هرز، دارا بودن ژنوتیپ‌های بهاره و پاییزه صفر و

هدف از تعیین تحمل به خشکی معرفی ارقامی است که در شرایط یکسان افت عملکرد کمتری داشته باشند. با توجه به محدودیت منابع آب برای تولید محصولات کشاورزی در (Tofang-Saz-Poor *et al.*, 2015)، لازم است راهکارهای افزایش عملکرد از قبیل شناسایی ارقام متحمل به قطع آبیاری در مراحل پایانی دوره رشد گیاهان زراعی بررسی شود. هدف از پژوهش حاضر الف) بررسی اثر قطع آبیاری در مراحل انتهایی رشد بر صفات زراعی، عملکرد و اجزای عملکرد ارقام و هیبریدهای مختلف کلزا و ب) شناسایی ارقام متحمل به تنش خشکی با استفاده از شاخص‌های تحمل خشکی در مناطق نیمه‌خشک کشور می‌باشد.

مواد و روش‌ها

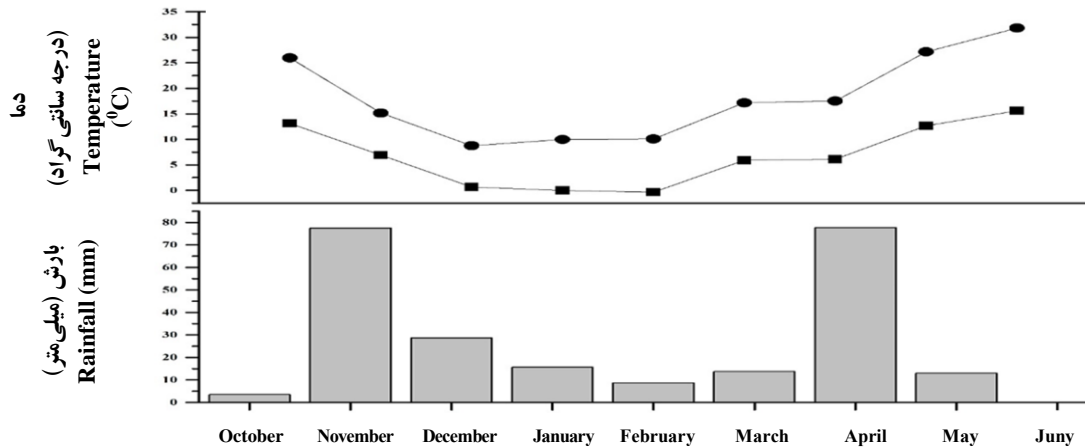
آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۴ در مزرعه مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج با موقعیت جغرافیایی 35° و 49° عرض شمالی و 51° و 6° طول شرقی با ارتفاع ۱۳۲۱ متر از سطح دریا انجام شد. این منطقه با داشتن ۱۵۰ تا ۱۸۰ روز خشک، جزو مناطق آب و هوایی مدیترانه‌ای گرم و خشک، و با داشتن زمستان‌های سرد و مرطوب و تابستان‌های گرم و خشک جزو رژیم رطوبتی نیمه‌خشک محسوب می‌شود (Shirani rad *et al.*, 2013). اطلاعات آب و هوایی فصل کشت کلزا در سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۴ در شکل (۱) نشان داده شده است.

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. عوامل مورد بررسی دو رژیم آبیاری (آبیاری کامل در طول فصل رشد و قطع آبیاری از مرحله خورجین دهی تا انتهای فصل رشد) و ۱۷ ژنوتیپ جدید کلزا بودند. ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر منشاء شامل دو هیبرید مجارستانی (Zlant و Zorica)، هشت هیبرید فرانسوی (Artist, Mercure, Kamilo)، یک هیبرید آلمانی (Garou)، چهار لاین امیدبخش ایرانی (Hydromel, Rohan, Lauren, Darko, Alonso) و رقم Ahmadi از (SW102, HL2012, L72, HL3721)، رقم ایران و رقم Okapi از فرانسه بود. بر این اساس آزمایش با ۳۴ تیمار و سه تکرار، مشتمل بر ۱۰۲ کرت آزمایشی بود.

کم آبی و خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که تولیدات گیاهان را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد (Kramer and Boyer, 1995). تأثیر تنش کم آبی تابع ژنوتیپ، شدت و مدت تنش، شرایط آب و هوایی و مراحل رشد و نمو گیاه است. البته زمان وقوع تنش نسبت به شدت تنش مهم‌تر می‌باشد (Zirgoli and Kahrizi, 2015). تنش شدید طول دوره رشد زایشی را کاهش داده (Hall, 1992) و در طول مراحل گلدهی و رسیدگی منجر به کاهش قابل توجهی در عملکرد می‌شود (Stoker and Carter, 1984).

در بسیاری از مناطق کشت کلزای کشور در اواخر اردیبهشت و اوایل خرداد که مصادف با مراحل تشکیل خورجین و پر شدن دانه است، دما به سرعت افزایش یافته و باعث بروز خسارت گرم‌زدگی می‌شود. از طرفی در این زمان به علت محدود بودن منابع آبی و اختصاص آب به زراعت‌های بهاره و تابستانه معمولاً زراعت کلزا با کمبود آب و تنش خشکی مواجه می‌شود. یکی از راه‌حل‌های افزایش تولید محصول در شرایط محدودیت منابع آب بهبود ژنتیکی یا به بیان دیگر، کاربرد ارقام مقاوم به خشکی است (Nemoto *et al.*, 1998). اما در این زمینه اطلاعات کافی برای انتخاب ارقام جدید کلزا با پتانسیل عملکرد بالا تحت شرایط محدودیت آب وجود ندارد.

یافته‌های Kalantar ahmadi and Fathi (2014) از تحقیقی در شمال خوزستان حاکی از برتری عملکرد دانه و روغن ژنوتیپ Hayola401 بود و نشان داد قطع آبیاری در مرحله ۱۰ درصد رسیدگی خورجین‌های ساقه اصلی قابل توصیه است. (Naeemi *et al.*, 2010) در بررسی اثر تنش خشکی پایان فصل بر عملکرد ۱۲ رقم کلزا دریافتند که در بیشترین عملکرد دانه در تیمار آبیاری مطلوب و در تیمار تنش خشکی، به ترتیب معادل ۲۸۱۷ و ۲۰۵۸ کیلوگرم در هکتار بو متعلق به ارقام Orient و Opera بود. بنا به گزارش Din *et al.* (2011) در شرایط تنش کم آبی (قطع آبیاری در مراحل گلدهی و پر شدن غلاف) عملکرد دانه ارقام کلزا (Rainbow, CON-II, Oscar, Shirale, 19H) به‌طور قابل توجهی کاهش یافت. میانگین کاهش عملکرد دانه کلزا در تیمار تنش در مرحله گلدهی و تنش در مرحله پر شدن غلاف به ترتیب ۵۰ و ۳۷ درصد بود.



شکل ۱- بارش، دمای بیشینه (●) و کمینه (■) در طول فصل رشد کلزا

Figure 1. Rainfall, minimum temperature (●) and maximum temperature (■) during the growing season

شاخص تحمل (TOL) و میانگین هندسی تولید (GMP) بر اساس عملکرد دانه تحت شرایط آبیاری نرمال (Y_p) و قطع آبیاری (Y_s) محاسبه شد (رابطه‌های ۱ تا ۴).

$$1: SSI = (1 - (Y_s/Y_p)) / (1 - (\bar{V}_s/\bar{V}_p))$$

(Fischer and Maurer, 1978)

$$2: STI = Y_s \times Y_p / \bar{V}_p^2 \quad (\text{Fernandez, 1992})$$

$$3: TOL = Y_p - Y_s \quad (\text{Hossain et al., 1990})$$

$$4: GMP = \sqrt{(Y_p \times Y_s)} \quad (\text{Fernandez, 1992})$$

در روابط فوق Y_p و \bar{V}_p به ترتیب مبنی عملکرد دانه هر ژنوتیپ در شرایط آبیاری نرمال و عملکرد همان ژنوتیپ در شرایط تنش یا قطع آبیاری و \bar{V}_p و \bar{V}_s نیز به ترتیب میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط نرمال و شرایط تنش می‌باشند. در تیمار بدون تنش پس از ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A آبیاری انجام می‌شد در تیمار تحت تنش از مرحله خورجین دهی تا پایان فصل رشد آبیاری قطع شد. مقدار آب مصرفی در طول فصل رشد برای تیمار آبیاری نرمال ۵۷۶۰ و برای تیمار قطع آبیاری ۴۴۸۰ متر مکعب در هکتار برآورد شد. کارایی مصرف آب بر اساس عملکرد دانه و آب مصرفی در طول فصل (رابطه ۵) محاسبه شد (Geng et al., 2017).

$$5: WUE_{agr} = \text{Grain yield} / \text{Irrigation}$$

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و رسم نمودارها از نرم‌افزارهای SAS و OriginPro 9.1 استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال خطای پنج درصد انجام شد.

بعد از آماده‌سازی زمین (شخم، دیسک و ماله) از دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متر نمونه‌گیری مرکب شد و ظرفیت زراعی خاک، نقطه پژمردگی دائم و میزان عناصر غذایی پرمصرف خاک اندازه‌گیری شدند. بر اساس نتایج آزمایش خاک، بافت خاک رسی لومی تشخیص داده شد. بر اساس نتایج تجزیه خاک و توصیه کودی، اقدام به کودپاشی (۳۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره، ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم) و پخش علف کش ترفلان به میزان ۲/۵ لیتر در هکتار به‌طور یکنواخت در سطح مزرعه شد و به وسیله دیسک سبک، کود و علف کش با خاک مخلوط گردیدند. بذر ارقام و هیبریدها از مؤسسه اصلاح بذر تهیه و در تاریخ ۱۰ مهر ۱۳۹۴ در کرت‌هایی شامل شش خط به طول شش متر و با آرایش ۳۰×۵ سانتی‌متر کشت شد. در ادامه، به منظور جلوگیری از نشست آب در بین کرت‌های تنش و غیرتنش، دو متر فاصله بین آن‌ها در نظر گرفته شد. برای مقابله با شته مومی از سم متاسیستوکس (۱/۵ لیتر در هکتار) استفاده شد.

در این تحقیق علاوه بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه درصد و عملکرد روغن کلزا به روش اسپکترومتری با دستگاه NMR مدل Mq20 نیز اندازه‌گیری شد.

برای ارزیابی حساسیت ژنوتیپ‌ها به تنش شاخص حساسیت به تنش (SSI)، شاخص تحمل به تنش (STI)،

نتایج و بحث

اثر اصلی قطع آبیاری و ژنوتیپ و همچنین اثر متقابل قطع آبیاری و ژنوتیپ برای صفات ارتفاع بوته، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد روغن معنی‌دار بود اما برهمکنش ژنوتیپ و قطع آبیاری بر درصد روغن معنی‌دار نبود (جدول ۱).

عملکرد دانه

بر اساس مقایسه میانگین‌ها واکنش ارقام مورد مطالعه از لحاظ عملکرد دانه در تیمارهای مختلف آبیاری متفاوت بود (جدول ۲). بیشترین و کمترین عملکرد دانه در شرایط آبیاری نرمال به ترتیب ۵۳۲۴/۲ و ۳۷۳۲/۷ کیلوگرم در هکتار بود که از ارقام Zorica و Hydromel حاصل شد و با سایر ارقام اختلاف آماری معنی‌دار نشان دادند. برتری رقم Zorica نسبت به سایر ارقام را می‌توان به برتری معنی‌دار آن در اجزای عملکرد از جمله، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه و عملکرد بیولوژیک نسبت داد. پایین بودن عملکرد دانه هیبرید Hydromel نیز با توجه به تعداد کمتر خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین قابل توجیه است.

نتایج تجزیه همبستگی نیز نشان داد که در تیمار آبیاری کامل بین صفات مذکور با عملکرد دانه رابطه مثبت و معنی‌داری وجود دارد. بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد دانه با تعداد خورجین در بوته ($r = +0/86$) و تعداد دانه در خورجین ($r = +0/88$) مشاهده شد (جدول ۳).

تعداد خورجین در بوته یکی از اجزای مهم عملکرد دانه به شمار می‌رود، چون ظرفیت تشکیل دانه را فراهم کرده و با انجام فتوسنتز درصدی از مواد لازم برای پر شدن دانه را فراهم می‌نماید (Shirani rad et al., 2013). تعداد دانه در خورجین نیز اگر بیشتر باشد مخزن بزرگ‌تری برای انباشت مواد فتوسنتزی گیاه و افزایش عملکرد ایجاد می‌شود (Tayo and Morgan, 1979).

در شرایط قطع آبیاری بیشترین و کمترین مقدار عملکرد دانه به ترتیب ۲۸۵۴/۳ و ۲۶۹۶/۳ کیلوگرم در

هکتار مربوط به هیبریدهای Lauren و HL2012 بود. بهره‌مندی از بوته‌های بلندتر، تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین بیشتر، همچنین دانه‌های سنگین‌تر و عملکرد بیولوژیک بالاتر نقش مهمی در موفقیت نسبی هیبرید Lauren در شرایط قطع آبیاری داشتند (جدول ۲). شایان ذکر است که ژنوتیپ Alonso تحت تنش بعد از Lauren بیشترین عملکرد دانه ($3776/3 \text{ kg/ha}$) و روغن (1622 kg/ha) را داشت. از دلایل افت عملکرد ژنوتیپ HL2012 می‌توان به کاهش تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و کمتر بودن وزن هزار دانه اشاره کرد (جدول ۳). نتایج تجزیه همبستگی نیز نشان داد که در شرایط قطع آبیاری، بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد دانه با تعداد خورجین در بوته ($r = +0/87$)، تعداد دانه در خورجین و عملکرد بیولوژیک ($r = +0/85$) و با وزن هزار دانه ($r = +0/84$) مشاهده شد (جدول ۳). نشان داده شده که عملکرد دانه کلزا تابع سه جزء تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و وزن هزار دانه است (Murat and Ciftci, 2007). 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 (Rao and Mendham, 1991). ایشان توانایی ژنوتیپ‌های مختلف کلزا برای تشکیل دانه در خورجین را متفاوت و این صفت را بر عملکرد نهایی دانه موثر قلمداد کرده‌اند. گفتنی است تعداد دانه در خورجین محدودیت دارد و بیش از آن که تحت تأثیر عوامل محیطی باشد، در کنترل ژنتیک است. وزن دانه آخرین جزء عملکرد است که در طی مراحل نمو حاصل می‌گردد (Diepenbrock, 2000). با توجه به کاهش وزن دانه در تیمارهای قطع آبیاری، می‌توان کاهش سرعت و دوره پر شدن دانه را دلیل کاهش وزن دانه بیان کرد (Sinaki et al., 2007). به‌طور کلی می‌توان گفت عملکرد دانه در ارقام مختلف کلزا در تیمار آبیاری کامل ($4402/76$ کیلوگرم در هکتار) برتری معنی‌داری در مقایسه با قطع آبیاری ($3327/80$ کیلوگرم در هکتار) داشت.

جدول ۱- میانگین مربعات صفات مورد بررسی در تیمارهای مختلف آبیاری و ارقام کلزا

Table 1. Mean square of studied traits at different treatments of irrigation and rapeseed genotypes

عملکرد روغن Oil yield	درصد روغن Oil percentage	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	وزن هزار دانه 1000 Grain weight	تعداد دانه در خورجین Grain per silique	تعداد خورجین در بوته Silique per plant	ارتفاع بوته Plant Height	درجه آزادی df	منابع تغییرات S.O.V
21872.24 ^{ns}	22.15 ^{**}	495357.13 ^{ns}	3458571.8 ^{ns}	4.66 ^{**}	90.81 ^{**}	1498.12 ^{**}	17.86 ^{ns}	2	Block
6912891.33 ^{**}	46.20 ^{**}	29466287.54 ^{**}	511943050.7 ^{**}	38.52 ^{**}	1551.42 ^{**}	63650.03 ^{**}	3468.50 ^{**}	1	Irrigation
148113.99 ^{**}	1.17 [*]	664183.62 ^{**}	9426200.7 ^{**}	0.63 ^{**}	20.64 ^{**}	795.96 ^{**}	51.29 ^{**}	16	Genotype
80264.54 ^{**}	0.58 ^{ns}	346161.62 [*]	6690090.9 ^{**}	0.36 ^{**}	13.29 ^{**}	526.50 ^{**}	37.06 ^{**}	16	Irrigation × Genotype
31654.30	0.61	179855.59	1477292.8	0.15	5.50	92.38	13.88	66	Error
10.54	1.79	10.97	7.77	11.6	12.95	5.94	2.34		ضریب تغییرات (درصد) C.V. (%)

ns: عدم اختلاف معنی دار * و **: اختلاف معنی دار در سطح احتمال یک و پنج درصد.

ns: not significant, * and ** Significant at the 5% and 1% levels of probability, respectively.

جدول ۲- مقایسه میانگین برهمکنش ارقام کلزا و آبیاری

Table 2. Mean comparison of interaction between rapeseed genotypes and irrigation

کارایی مصرف آب زراعی (کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر) WUE _{agr} (kg.ha ⁻¹ .mm ⁻¹)	عملکرد روغن (کیلوگرم در هکتار) OY (kg/ha)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) GY (kg/ha)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) BY (kg/ha)	وزن هزار دانه (گرم) 1000 GW (g)	تعداد دانه در خورجین Grain per silique	تعداد خورجین در بوته Silique per plant	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) PH (cm)	ژنوتیپ Genotype
0.92 ^a	2409.9 ^a	5324.2 ^a	21867.4 ^a	4.82 ^a	26.87 ^a	215 ^a	175 ^a	Zorica
0.80 ^{bc}	2024.2 ^{bcd}	4615.1 ^{bc}	16793.6 ^{efg}	3.86 ^{d-g}	21.94 ^{c-g}	180.8 ^{f-i}	163.4 ^{b-f}	Zlanta
0.88 ^{ab}	2256 ^{ab}	5049.4 ^{ab}	20977.2 ^{ab}	4.6 ^{ab}	25.66 ^{ab}	211.1 ^{ab}	167.9 ^b	Artist
0.78 ^{bcd}	1977.3 ^{b-e}	4447.1 ^{bcd}	18675.5 ^{cd}	4.16 ^{b-e}	23.42 ^{a-e}	195.4 ^{cde}	168.7 ^b	Mercure
0.67 ^{de}	1659.1 ^{fg}	3834.3 ^{de}	16479.4 ^{efg}	3.81 ^{d-h}	20.39 ^{e-h}	173.4 ^{hij}	161.6 ^{d-g}	Kamilo
0.88 ^{ab}	2252.2 ^{ab}	5055.6 ^{ab}	18823.5 ^{cd}	4.4 ^{abc}	24.34 ^{a-d}	200 ^{bcd}	168.8 ^b	Lauren
0.70 ^{cde}	1752.8 ^{d-g}	4049.8 ^{cde}	15741.7 ^{fg}	3.63 ^{fgh}	19.95 ^{e-h}	164.7 ^j	161.4 ^{d-g}	Darko
0.76 ^{b-e}	1928.5 ^{c-f}	4375.7 ^{b-e}	17719.7 ^{cde}	4.11 ^{cde}	21.86 ^{c-g}	189 ^{d-g}	166.8 ^{bcd}	Alonso
0.65 ^e	1617.5 ^g	3732.7 ^e	15592.5 ^{fg}	3.47 ^{gh}	19.02 ^{gh}	164.6 ^j	159 ^{ef}	Hydromel
0.79 ^{bc}	2056.4 ^{bcd}	4556.2 ^{bc}	20990.9 ^{ab}	4.61 ^{ab}	24.79 ^{abc}	205.5 ^{abc}	167.3 ^{bc}	Rohan
0.66 ^{de}	1673.5 ^{efg}	3807.3 ^{de}	16399 ^{efg}	3.69 ^{e-h}	19.74 ^{fgh}	175.4 ^{g-j}	161.6 ^{c-g}	Garou
0.80 ^{bc}	2062.1 ^{bc}	4598.8 ^{bc}	19477.2 ^{bc}	4.28 ^{bcd}	24.28 ^{a-d}	197.6 ^{cde}	167.9 ^b	SW102
0.79 ^{bc}	2017.3 ^{bcd}	4553.7 ^{bc}	17340.4 ^{def}	3.96 ^{c-f}	21.27 ^{d-h}	184.5 ^{e-h}	161.6 ^{d-g}	HL2012
0.74 ^{cde}	1895.2 ^{c-g}	4291.1 ^{cde}	15586.2 ^{fg}	3.41 ^{gh}	19.11 ^{gh}	170.3 ^{ij}	160.3 ^{efg}	L72
0.75 ^{cde}	1906.2 ^{c-g}	4311.5 ^{cde}	18907.1 ^{cd}	4.08 ^{c-f}	22.65 ^{b-f}	194 ^{def}	164.8 ^{b-e}	HL3721
0.67 ^{de}	1686.1 ^{efg}	3834.3 ^{de}	15164.5 ^g	3.37 ^h	18.08 ^h	169.5 ^{ij}	157.7 ^g	Ahmadi
0.76 ^{b-e}	1930.9 ^{c-f}	4382.3 ^{b-e}	17347.6 ^{def}	3.74 ^{e-h}	20.66 ^{e-h}	180.8 ^{f-i}	161.6 ^{d-g}	Okapi
0.81 ^{ab}	1541.3 ^{ab}	3607.3 ^{ab}	13683.7 ^{bc}	2.86 ^{b-e}	14.5 ^{c-f}	136.6 ^{bcd}	151.1 ^{bcd}	Zorica
0.80 ^{abc}	1528.3 ^{ab}	3574.7 ^{abc}	13204.3 ^{bcd}	2.98 ^{a-d}	15.2 ^{bcd}	141.6 ^{bc}	154.8 ^{ab}	Zlanta
0.67 ^{bcd}	1286.7 ^{bcd}	3022.3 ^{b-e}	13168.7 ^{bcd}	2.8 ^{b-e}	13.9 ^{c-g}	132.1 ^{cd}	151.8 ^{bcd}	Artist
0.75 ^{a-d}	1418.3 ^{a-d}	3366.3 ^{a-d}	12757.7 ^{cd}	2.41 ^{ef}	12.2 ^{fgh}	125.3 ^{def}	149.9 ^{bcd}	Mercure
0.79 ^{a-d}	1496.3 ^{abc}	3519.3 ^{a-d}	14052 ^{abc}	3.2 ^{abc}	15.9 ^{bc}	146.3 ^{ab}	154.1 ^{abc}	Kamilo
0.86 ^a	1668.3 ^a	3854.3 ^a	15471 ^a	3.44 ^a	18.6 ^a	158.6 ^a	158.9 ^a	Lauren
0.65 ^{cde}	1230 ^{cd}	2932.3 ^{cde}	11818 ^d	2.2 ^f	11.5 ^{gh}	119.7 ^{ef}	151.5 ^{bcd}	Darko
0.84 ^a	1622 ^a	3776.3 ^a	14568.3 ^{ab}	3.28 ^{ab}	17.3 ^{ab}	156.7 ^a	155.7 ^{ab}	Alonso
0.64 ^{de}	1220 ^{cd}	2877.7 ^{de}	12795 ^{cd}	2.5 ^{def}	13 ^{d-h}	128.3 ^{de}	153.1 ^{abc}	Hydromel
0.68 ^{b-e}	1311.3 ^{bcd}	3045.7 ^{b-e}	13041 ^{bcd}	2.7 ^{c-f}	13.2 ^{d-h}	132.8 ^{cd}	153.2 ^{abc}	Rohan
0.74 ^{a-e}	1435.7 ^{abc}	3326 ^{a-e}	14144.7 ^{abc}	2.81 ^{b-e}	14.1 ^{c-f}	136.6 ^{bcd}	152.8 ^{abc}	Garou
0.76 ^{a-d}	1457.7 ^{abc}	3401.7 ^{a-d}	12948.7 ^{bcd}	2.48 ^{def}	12.6 ^{e-h}	127.3 ^{def}	151.7 ^{bcd}	SW102
0.60 ^e	1157 ^d	2696.3 ^e	11932.7 ^d	2.26 ^f	11.5 ^{gh}	117.6 ^{ef}	148.3 ^{cd}	HL2012
0.79 ^{a-d}	1540 ^{ab}	3522.3 ^{a-d}	14022.3 ^{abc}	2.9 ^{b-e}	15.1 ^{b-e}	143.8 ^{bc}	155.7 ^{ab}	L72
0.82 ^{ab}	1592.3 ^a	3670.3 ^{ab}	14243.3 ^{abc}	3.08 ^{abc}	16.2 ^{abc}	156.3 ^a	154.3 ^{abc}	HL3721
0.65 ^{de}	1229.3 ^{cd}	2890.7 ^{de}	11672.7 ^d	2.26 ^f	10.7 ^h	115.9 ^f	145.7 ^d	Ahmadi
0.78 ^{a-d}	1518.3 ^{ab}	3489 ^{a-d}	14189.7 ^{abc}	2.97 ^{a-d}	15.5 ^{bcd}	147 ^{ab}	154.7 ^{ab}	Okapi

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

Means followed by similar letters in columns are not significantly different at 5% probability level.

قبولی دست می‌یابند (Kalantar Ahmadi and Fathi, 2014). نتایج مطالعه حاضر با نتایج Naeemi *et al.* (2010) مطابقت داشت.

به نظر می‌رسد ارقامی که در شرایط قطع آبیاری بتوانند تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و وزن هزار دانه بالایی داشته باشند به عملکرد دانه قابل

جدول ۳- همبستگی بین صفات مختلف در شرایط آبیاری نرمال و قطع آبیاری

Table 3. Correlation between different traits under normal irrigation and withholding irrigation

درصد روغن Oil Percentage	عملکرد دانه Grain Yield	عملکرد بیولوژیک Biological Yield	وزن هزار دانه 1000 Grain Weight	تعداد دانه در خورجین Grain per Silique	تعداد خورجین در بوته Silique per Plant	ارتفاع بوته Plant Height	صفات Traits
						0.91**	تعداد خورجین در بوته Silique per plant
					0.96**	0.94**	تعداد دانه در خورجین Grain per silique
				0.98**	0.96**	0.93**	وزن هزار دانه 1000 Grain weight
			0.09 ^{ns}	0.07 ^{ns}	0.05 ^{ns}	0.22 ^{ns}	عملکرد بیولوژیک Biological yield
		0.009 ^{ns}	0.84**	0.88**	0.86**	0.84**	عملکرد دانه Grain yield
	0.76**	0.20 ^{ns}	0.78**	0.78**	0.86**	0.72**	درصد روغن Oil percentage
0.81**	0.99**	0.03 ^{ns}	0.85**	0.89**	0.88**	0.85**	عملکرد روغن Oil yield
						0.87**	تعداد خورجین در بوته Silique per plant
						0.97**	تعداد دانه در خورجین Grain per silique
				0.98**	0.96**	0.84**	وزن هزار دانه 1000 Grain weight
			0.94**	0.95**	0.94**	0.86**	عملکرد بیولوژیک Biological yield
		0.85**	0.84**	0.85**	0.87**	0.73**	عملکرد دانه Grain yield
	0.46 ^{ns}	0.65**	0.55*	0.56*	0.61**	0.53*	درصد روغن Oil percentage
0.54*	0.99**	0.87**	0.85**	0.87**	0.88**	0.75**	عملکرد روغن Oil yield

1% levels of probability, respectively. ns: not significant, * and ** Significant at the 5% and

ns: عدم اختلاف معنی دار * و **: اختلاف معنی دار در سطح احتمال یک و پنج درصد.

درصد و عملکرد روغن

بیشینه درصد روغن در یک رقم عمدتاً یک صفتی ژنتیکی است (Sana et al., 2003). بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی در این مطالعه نیز از نظر درصد روغن دانه اختلاف زیادی مشاهده نشد. با وجود این هیبرید فرانسوی Rohan در شرایط آبیاری نرمال و قطع آبیاری بیشترین درصد روغن (۴۴/۱۴ درصد) را به خود اختصاص داد و کمترین درصد روغن (۴۲/۶۴ درصد) نیز مربوط به هیبرید Darko بود. به طور کلی درصد روغن کلزا در شرایط آبیاری نرمال (۴۴/۲۲ درصد) بالاتر از مقدار متناظر در تیمار قطع آبیاری (۴۲/۸۸ درصد) بود.

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی و برهمکنش ژنوتیپ و قطع آبیاری بر عملکرد روغن در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). اثر اصلی عوامل بر درصد روغن نیز معنی‌دار بود. در شرایط آبیاری کامل بیشترین و کمترین عملکرد روغن به ترتیب ۲۴۰۹/۹ و ۱۶۱۷/۵ کیلوگرم در هکتار متعلق به ژنوتیپ‌های Zorica و Hydromel بود. در شرایط قطع آبیاری ژنوتیپ‌های Lauren و HL2012 به ترتیب بیشترین و کمترین عملکرد روغن برابر با ۱۶۶۸/۳ و ۱۱۵۷ کیلوگرم در هکتار را به خود اختصاص دادند (جدول ۲). بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار ($r = +0/99$) بین عملکرد دانه و عملکرد روغن مشاهده شد (جدول ۳). این رابطه مثبت و معنی‌دار توسط محققین دیگر (Mostafavi rad et al., 2014) نیز گزارش شده است. میانگین عملکرد روغن در ارقام مختلف کلزا در تیمار آبیاری کامل (۱۹۴۷/۳۱ کیلوگرم در هکتار) برتری معنی‌داری در مقایسه با قطع آبیاری (۱۴۲۶/۶۴ کیلوگرم در هکتار) داشت. دلیل کاهش عملکرد روغن در ارقام مختلف تحت تیمار قطع آبیاری را می‌توان به همزمانی اعمال تنش با زمان تشکیل نخستین قطره‌های روغن (حدوداً ۱۸ روز پس از گرده‌افشانی) و ذخیره شدن آن نسبت داد. میزان روغن در ارقام مختلف در زمان رسیدگی فیزیولوژیکی به سطح تقریباً ثابتی می‌رسد و تا زمان رسیدن کامل بذر نوسانات

ناچیزی دارد (Nezami Ranjbar et al., 2006). از دلایل دیگر کاهش عملکرد روغن در تیمار قطع آبیاری نیز می‌توان به پایین تر بودن عملکرد و اجزای عملکرد دانه اشاره کرد.

شاخص‌های تحمل به تنش

کمتر بودن مقدار شاخص حساسیت به تنش (SSI) در هر ژنوتیپ نشان‌دهنده تفاوت اندک عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش و معرف تحمل به تنش در آن ژنوتیپ است (Fischer and Maurer, 1978). بر این اساس ژنوتیپ‌های Kamilo (۰/۳۱)، Alonso (۰/۵۵)، Garou (۰/۵۲) و HL3721 (۰/۵۶) با کمترین مقدار شاخص مذکور (جدول ۴) جزو ارقام متحمل به تنش محسوب می‌شوند.

مقادیر کم شاخص تحمل (TOL) نیز نشان‌دهنده تحمل بالای ژنوتیپ‌ها به شرایط تنش است. گزینش بر اساس این معیار در نهایت منجر به انتخاب ژنوتیپ‌هایی می‌شود که عملکرد دانه آن‌ها تحت شرایط نرمال کم و تحت شرایط تنش زیاد می‌باشد (Fernandez, 1992). در تحقیق حاضر ژنوتیپ‌های Kamilo (۳۱۵/۲)، Garou (۴۱۸/۳)، Alonso (۵۹۹/۴) و HL3721 (۶۴۱/۱) کمترین مقدار شاخص مذکور را داشتند (جدول ۵) و به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش شناخته می‌شوند.

شاخص‌های حساسیت به تنش (SSI) و تحمل (TOL) قادر نیستند ژنوتیپ‌هایی که عملکرد بالایی در هر دو شرایط تنش و بدون تنش دارند و ژنوتیپ‌هایی که فقط عملکرد بالایی در شرایط تنش دارند را از یکدیگر تفکیک کنند، اما شاخص‌های تحمل به تنش (STI) و میانگین هندسی تولید (GMP) در مطالعات مختلف به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها برای گزینش ژنوتیپ‌های برتر شناسایی شده‌اند (Dorostkar et al., 2014; Kamrani et al., 2017). نتایج تجزیه همبستگی نیز نشان‌دهنده رابطه مثبت و معنی‌دار بین شاخص‌های STI و GMP با عملکرد دانه تحت شرایط نرمال (Yp) و قطع آبیاری (Ys) بود (جدول ۵).

جدول 4- عملکرد دانه و شاخص‌های تحمل به تنش ژنوتیپ‌های کلزا تحت شرایط آبیاری نرمال و قطع آبیاری
 Table 4. Mean of grain yield and drought tolerance indices of rapeseed genotypes under normal irrigation and withholding irrigation conditions

میانگین هندسی تولید Geometric Mean Productivity	شاخص تحمل Tolerance	شاخص تحمل به تنش Stress Tolerance Index	شاخص حساسیت به تنش Stress Susceptibility Index	عملکرد تنش Yield _s	عملکرد نرمال Yield _p	ژنوتیپ Genotype
4374.6 ^{ab}	1717.1 ^{abc}	0.98 ^a	1.29 ^{ab}	3607.1 ^{ab}	5324.2 ^a	Zorica
4053.6 ^{abc}	1040.6 ^{a-e}	0.84 ^{ab}	0.91 ^{abc}	3574.5 ^{abc}	4615.1 ^{bc}	Zlanta
3899.7 ^{cde}	2027.0 ^a	0.78 ^{bcd}	1.62 ^a	3022.4 ^{b-e}	5049.4 ^{ab}	Artist
3865.3 ^{cde}	1107.9 ^{a-e}	0.77 ^{b-e}	0.99 ^{abc}	3366.1 ^{a-d}	4474.1 ^{bcd}	Mercure
3661.4 ^{c-g}	315.2 ^e	0.69 ^{b-f}	0.31 ^c	3519.0 ^{a-d}	3834.9 ^{de}	Kamilo
4397.3 ^a	1201.3 ^{a-e}	1.00 ^a	0.95 ^{abc}	3854.3 ^a	5055.6 ^{ab}	Lauren
3434.2 ^{fg}	1117.7 ^{a-e}	0.61 ^{ef}	1.11 ^{abc}	2932.2 ^{de}	4049.8 ^{cde}	Darko
4063.3 ^{abc}	599.4 ^d	0.85 ^{ab}	0.55 ^{bc}	3776.3 ^a	4375.7 ^{b-e}	Alonso
3268.4 ^g	855.4 ^{b-e}	0.55 ^f	0.93 ^{abc}	2877.3 ^{de}	3732.7 ^e	Hydromel
3718.5 ^{c-f}	1510.9 ^{a-d}	0.71 ^{b-f}	1.31 ^{ab}	3045.3 ^{b-e}	4556.2 ^{bc}	Rohan
3553.8 ^{d-g}	481.3 ^{de}	0.65 ^{c-f}	0.52 ^{bc}	3326.0 ^{a-e}	3807.3 ^{de}	Garou
3940.6 ^{cd}	1197.2 ^{a-e}	0.80 ^{bc}	1.01 ^{abc}	3401.5 ^{a-d}	4598.8 ^{bc}	SW102
3487.5 ^{efg}	1857.8 ^{ab}	0.63 ^{def}	1.60 ^a	2695.9 ^e	4553.7 ^{bc}	HL2012
3882.3 ^{cde}	768.6 ^{cde}	0.77 ^{b-e}	0.70 ^{bc}	3522.5 ^{a-d}	4291.1 ^{cde}	L72
3963.3 ^{bcd}	641.1 ^{de}	0.81 ^{bc}	0.56 ^{bc}	3670.4 ^{ab}	4311.5 ^{cde}	HL3721
3317.6 ^{fg}	944.7 ^{b-e}	0.56 ^f	0.95 ^{abc}	2890.2 ^{de}	3834.9 ^{de}	Ahmadi
3908.1 ^{cde}	893.3 ^{b-e}	0.79 ^{bcd}	0.81 ^{abc}	3489.0 ^{a-d}	4382.3 ^{b-e}	Okapi

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

Means followed by similar letters in columns are not significantly different at 5% probability level.

جدول 5- ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های کلزا و شاخص‌های تحمل به تنش تحت شرایط آبیاری نرمال (Yp) و قطع آبیاری (Ys)

Table 5. Correlation coefficients between grain yield of rapeseed genotypes and drought tolerance indices under normal irrigation (Yp) and withholding irrigation (Ys) conditions

6	5	4	3	2	1	صفات Traits
						1
				1	0.32 ^{ns}	2
			1	-0.57 [*]	0.57 [*]	3
		1	-0.006	0.81 ^{**}	0.80 ^{**}	4
	1	0.18 ^{ns}	0.97 ^{**}	-0.41 ^{ns}	0.72 ^{**}	5
1	0.17 ^{ns}	0.99 ^{**}	-0.01 ^{ns}	0.82 ^{**}	0.80 ^{**}	6

(1) عملکرد نرمال (Yield_p) (2) عملکرد تنش (Yield_s) (3) شاخص حساسیت به تنش (Stress Susceptibility Index) (4) شاخص تحمل به تنش (Stress tolerance index) (5) شاخص تحمل (Tolerance) (6) میانگین هندسی تولید (Geometric Mean Productivity)

ns: عدم اختلاف معنی‌دار * و **: اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد.

ns: not significant, * and ** Significant at the 5% and 1% levels of probability, respectively.

است. نتایج بررسی حاضر نشان داد که بر اساس شاخص تحمل به تنش ژنوتیپ‌های Lauren (1)، Zorica (0/98)، Alonso (0/85) و Zlanta (0/84) بیشترین تحمل به تنش را داشتند (جدول 4).

شاخص میانگین هندسی تولید اغلب مورد استفاده به‌نژاد گران گیاهان زراعی است. مقادیر بالاتر این

مبنای استفاده از شاخص تحمل به تنش (STI) بر اساس عملکرد گیاه زراعی در دو شرایط بدون تنش و تنش و مربع میانگین عملکرد تمامی گیاهان مورد آزمایش در شرایط مطلوب است. دامنه تغییر این شاخص بین صفر و یک می‌باشد. بنابراین مقدار شاخص مذکور همواره مثبت بوده و مقادیر بیشتر نشانه مقاومت بیشتر گیاه به تنش

آب مربوط به ژنوتیپ‌های HL2012 (۰/۶) و Hydromel (۰/۶۴) بود (جدول ۳). بنا به گزارش Sadeghinejad *et al.* (2014) کارایی مصرف آب در همه تیمارهای تنش کم آبی در مقایسه با تیمار شاهد کاهش یافت. در این بررسی رقم هایولا ۴۰۱ بیشترین کارایی مصرف آب را داشت.

نتیجه‌گیری

در شرایط تیمار آبیاری کامل رقم Zorica به دلیل برتری نسبی در صفات مهمی چون ارتفاع بوته، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و وزن هزار دانه، از نظر عملکرد دانه و روغن (به ترتیب ۵۳۲۴/۲ و ۲۴۰۹/۹ کیلوگرم در هکتار) رقم برتر بود. در حالی که در شرایط تیمار قطع آبیاری هیبرید Lauren با حفظ حد بالایی از اجزای عملکرد توانست به سطح قابل قبولی از عملکرد دانه و روغن (به ترتیب ۳۸۵۴/۳ و ۱۶۶۸/۳ کیلوگرم در هکتار) دست یافته و به‌عنوان ژنوتیپ برتر شناخته شود. گفتنی است عملکرد دانه هیبرید مذکور در شرایط آبیاری نرمال (۵۰۵۵/۶ کیلوگرم در هکتار) تفاوت آماری معنی داری با رقم Zorica نداشت. همچنین هیبرید Alonso بعد از Lauren بیشترین عملکرد دانه و روغن (به ترتیب ۳۷۷۶/۳ و ۱۶۲۲ کیلوگرم در هکتار) را تحت شرایط قطع آبیاری داشت. بر اساس نتایج تجزیه همبستگی متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش هیبریدهای Lauren، Zorica، Alonso و Zlanta بودند.

شاخص نشان‌دهنده تحمل بالاتر ژنوتیپ‌ها به تنش است. بر اساس شاخص مذکور، ژنوتیپ‌های Lauren (۴۳۹۷/۳)، Zorica (۴۳۷۶/۶) و Alonso (۴۰۶۳/۳) و Zlanta (۴۰۵۳/۶) بیشترین تحمل به تنش را نشان دادند (جدول ۴). در مطالعات مختلف نیز این شاخص‌ها برای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش مورد استفاده قرار گرفته‌اند. Rashidi *et al.* (2017) نشان دادند که بر اساس نتایج تجزیه همبستگی مناسب‌ترین شاخص‌ها GMP، STI و MP بودند. آن‌ها بیان کردند که *B. carinata* و *B. napus* مقاوم‌ترین گونه‌ها به تنش کم آبی بودند. بر اساس گزارش Dorostkar *et al.* (2014) ژنوتیپ‌های برتر را می‌توان بر اساس مقادیر بالای STI، MP و GMP و مقادیر کم SSI انتخاب کرد.

کارایی مصرف آب زراعی

بیشترین مقدار کارایی مصرف آب زراعی (بر حسب کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر) در شرایط آبیاری نرمال مربوط به هیبریدهای Zorica (۰/۹۲)، Artist و Lauren (۰/۸۸) بود. ژنوتیپ‌های Hydromel و Garou نیز به ترتیب با ۰/۶۵ و ۰/۶۶ کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر کمترین مقدار کارایی مصرف آب زراعی را به خود اختصاص دادند (جدول ۲). در شرایط قطع آبیاری ژنوتیپ‌های Lauren (۰/۸۶)، Alonso (۰/۸۴) و HL3721 (۰/۸۲) بیشترین کارایی مصرف آب زراعی را داشتند در حالی که کمترین کارایی مصرف

References

- Diepenbrock, W. (2000). Yield analysis of winter oilseed rape: a review. *Field Crops Research*, 67(1), 35-49.
- Din, J., Khan, S. U., Ali, I. and Gurmani, A. R. (2011). Physiological and agronomic response of canola varieties to drought stress. *The Journal of Animal and Plant Sciences*, 21(1), 78-82.
- Dorostkar, S., Dadkhodaie, A. and Heidari, B. (2014). Evaluation of grain yield indices in hexaploid wheat genotypes in response to drought stress. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 61(3), 397-413.
- Fernandez, G. C. J. (1992). Effective selection criteria for assessing stress tolerance. In C.G. Kuo (Ed.), *Proceedings of the international symposium on adaptation of vegetables and other food crops in temperature and water stress*. Tainan, Taiwan: AVRDC Publication.
- Fischer, R. A. and Maurer, R. (1978). Drought resistance in spring wheat cultivars: I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*, 29(4), 897-912.

- Geng, Y. J., Chen, L., Yang, C., Jiao, D. Y., Zhang, Y. H. and Cai, Z. Q. (2017). Dry-season deficit irrigation increases agricultural water use efficiency at the expense of yield and agronomic nutrient use efficiency of Sacha Inchi plants in a tropical humid monsoon area. *Industrial Crops & Products*, 109, 570-578.
- Hall, A. E. (1992). Breeding for heat tolerance. In J. Janick (Ed.), *Plant breeding reviews* (pp. 129-168). New York: John Wiley and Sons.
- Hossain, A. B. S., Sears, A. G., Cox, T. S. and Paulsen, G. M. (1990). Desiccation tolerance and its relationship to assimilate partitioning in winter wheat. *Crop Science*, 30(3), 622-627.
- Jashni, R., Fateh, E. and Aynehband, A. (2017). Effect of thiobacillus and nitrocarra biological fertilizers and foliar application of zinc and iron on some qualitative characteristic and remobilization of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Journal of Plant Production (Scientific Journal of Agriculture)*, 40(1), 1-14. [In Farsi]
- Kahrizi, D. and Allahvarand, T. (2012). Estimation and Interrelationships of Genetic Variability Parameters of Some Morpho-phenological Traits in Spring Rapeseed (*Brassica napus* L.). *Asian Journal of Biological Sciences*, 5(7), 358-364.
- Kalantar Ahmadi, S. A. and Fathi, GH. (2014). Determination of Stopping Irrigation Time for Canola Genotypes in North Khuzestan Conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 45(3), 355-365. [In Farsi]
- Kamrani, M., Hoseini, Y. and Ebadollahi, A. (2017). Evaluation for heat stress tolerance in durum wheat genotypes using stress tolerance indices. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 64(1), 1-8.
- Kramer, P. J. and Boyer, J. S. (1995). *Water relations of plants and soils*. San Diego: Academic Press.
- Mostafavi rad, M., Jadidi, E. and Babaie, T. (2014). Effect of micronutrient elements on seed yield, qualitative traits and oil in winter rapeseed varieties. *Agricultural Crop Management*, 16(3), 627-639. [In Farsi]
- Murat, T. and Ciftci, V. (2007). Relationships between yield and some yield components in rapeseed (*Brassica napus* L.). *Pakistan Journal of Botany*, 39(1), 81-84.
- Naeemi, M., Akbari, GH. A., Shirani Rad, A. H., Modares Sanavi, S. A. M. and Saadat Noori, S. A. (2010). Evaluation of drought stress effect at terminal growth stage on quantitative and qualitative yield of rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. *Journal of Crops Improvement*, 12(2), 63-71. [In Farsi]
- Nemoto, H., Suga, R., Ishihara, M. and Okutsu, Y. (1998). Deep rooted rice varieties detected through the observation of root characteristics using the trench method. *Breeding Science*, 48(3), 321-324.
- Nezami Ranjbar, H., Shirani Rad, A. H., Madani, H. and Kkalarastaghi, K. (2006). The effect of deficit irrigation at silique formation and grain filling on yield and yield components of winter rapeseed cultivar in Karaj. *New Finding in Agriculture*, 1(1), 33-44. [In Farsi]
- Rao, G. and Mendham, N. J. (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, Cambridge*, 117(2), 177-187.
- Rashidi, F., Majidi, M. M. and Pirboveiry, M. 2017. Response of different species of Brassica to water deficit. *International Journal of Plant Production*, 11(1), 1-16.
- Rezaie zadeh, A., Mohamadi, V., Zali, A., Zeynali, H. and Mardi, M. (2012). Study of important agronomic traits and their relationships under normal and drought stress conditions in doubled haploid lines of oilseed rape. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 42(4), 683-694. [In Farsi]
- Sadeghinejad, A. A., Modarres Sanavi, S. A. M., Tabatabaei, S. A. and Modares Vameghi, S. M. (2014). Effect of water deficit stress at various growth stages on yield, yield components and water use

- efficiency of five rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. *Water and Soil Science*, 24(2), 53-64. [In Farsi]
- Sana, M., Ali, A., Asghar Malik, M., Farrukh Saleem, M. and Rafiq, M. (2003). Comparative yieldpotential and oil contents of different canola cultivars (*Brassica napus* L.). *Pakistan Journal of Agronomy*, 2(1), 1-7.
- Shirani Rad, A. H., 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.
- Sinaki, J., Majidi Heravan, M. E., Shirani Rad, A. H., 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(4), 417-422.
- Stoker, R. and Carter, K. E. (1984). Effect of irrigation and nitrogen on yield and quality of oilseed rape. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture*, 12(3), 219-224.
- Tayo, T. O. and Morgan, D. G. (1979). Factor influencing flower and pod development in oilseed rape. *Journal of Agricultural Science*, 92(2), 363-373.
- Tofang-Saz-Poor, R., Roshanfekar, H., Meskarbashee, M. and Bromand-Nasab, S. (2015). Effect of irrigation deficit and cultivation method on some quantitative and qualitative characteristics of potato cultivars. *Journal of Plant Production (Scientific Journal of Agriculture)*, 38(2), 1-12. [In Farsi]
- Zirgoli, M. H. 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.