

بررسی تغییرات کمی و کیفی ژنوتیپ‌های جدید کلزا تحت شرایط کم‌آبیاری و کشت تأخیری

سمیه دشت‌دار^۱، امیرحسین شیرانی‌راد^۲، فائزه رجب‌زاده^{۳*}، حمید مظفری^۲ و تورج رحیمی^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۰۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۵/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۰۴

چکیده

در راستای افزایش عملکرد کمی و کیفی ژنوتیپ‌های جدید کلزا (*Brassica napus* L.)، تحت شرایط کم‌آبیاری و کشت تأخیری، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل-اسپلت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در استان البرز (کرج) در دو سال زراعی (۱۳۹۹-۱۴۰۰ و ۱۳۹۸-۱۳۹۹) اجرا شد. عامل‌های آزمایشی شامل تاریخ کاشت در دو سطح (تاریخ کاشت معمول: ۱۰ مهرماه و تاریخ کاشت تأخیری: ۳۰ مهرماه) و آبیاری در دو سطح (آبیاری کامل و کم‌آبیاری به‌صورت قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی به بعد) به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های اصلی و عامل ژنوتیپ در شش سطح (WRL-96-05، WRL-96-04، WRL-96-05، WRL-96-19 و Nima) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. سپس، صفات ارتفاع بوته، طول خورجین، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، وزن هزاردانه، عملکرد دانه، درصد روغن دانه و عملکرد روغن دانه و میزان اسیدهای چرب اشباع‌نشده اولئیک، لینولئیک و لینولنیک و مقدار گلوکوزینولات دانه اندازه‌گیری شدند. مطابق نتایج آزمایش، تأخیر در کاشت و اعمال کم‌آبیاری سبب کاهش معنی‌دار همه صفات مورد آزمایش و افزایش مقدار گلوکوزینولات دانه ژنوتیپ‌های جدید کلزا شد. در شرایط آبیاری مطلوب، ژنوتیپ‌های WRL-96-05 و WRL-96-04 بالاترین عملکرد دانه (به‌ترتیب ۴۷۲۵/۶۶ و ۴۵۱۷/۲۵ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد روغن (به‌ترتیب ۲۰۶۶/۰۸ و ۱۹۶۹/۴۲ کیلوگرم در هکتار) را به خود اختصاص دادند. شرایط کم‌آبیاری به‌ترتیب موجب کاهش ۲۷ و ۳۰ درصدی عملکرد دانه و عملکرد روغن نسبت به آبیاری کامل شد. همچنین، کم‌آبیاری + کشت تأخیری موجب کاهش ۱۲ درصدی میزان روغن شد. بیشترین میزان گلوکوزینولات در کشت تأخیری در ژنوتیپ WRL-96-17 (۲۷/۴۵ میکرومول در گرم کنجاله) به‌دست آمد. بیش‌ترین میزان لینولئیک و لینولنیک اسید در تاریخ ۱۰ مهرماه (تاریخ کاشت معمول) و آبیاری کامل (به-ترتیب ۱۸/۸۵ و ۱۵/۶۰ درصد) به‌دست آمد. به‌طورکلی، توصیه می‌شود که در منطقه کرج، ژنوتیپ‌های WRL-96-05 و WRL-96-04 در شرایط آبیاری کامل و تاریخ کشت معمول (۱۰ مهرماه)، به‌علت عملکرد دانه و روغن بیش‌تر کشت شوند. کشت تأخیری و کم‌آبیاری در زراعت کلزا، به‌دلیل کاهش بیش از ۵۰ درصدی عملکرد دانه و روغن در شرایط اقلیمی مشابه منطقه کرج توصیه نمی‌شود.

واژگان کلیدی: اسید چرب، تاریخ کشت، عملکرد دانه، عملکرد روغن، کلزا، کم‌آبیاری.

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت، واحد شهرقدس، دانشگاه آزاد اسلامی، شهرقدس، ایران.

۲- استاد مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

۳- دانشیار، گروه زراعت، واحد شهرقدس، دانشگاه آزاد اسلامی، شهرقدس، ایران.

۴- استادیار، گروه زراعت، واحد شهرقدس، دانشگاه آزاد اسلامی، شهرقدس، ایران.

مقدمه

کلزا (*Brassica napus* L.) متعلق به تیره شب‌بو، یکی از مهم‌ترین دانه‌های روغنی است. دانه کلزا با تقریباً ۵۰-۴۰ درصد روغن، به‌عنوان منبع ارزشمندی برای تهیه روغن خوراکی در نظر گرفته می‌شود (Alipour and Mir Darikvand, 2020). ارزش تغذیه‌ای روغن کلزا، به دلیل اسیدهای چرب اشباع‌نشده و بدون کلسترول آن بالا است (Wynne et al., 2020). به‌منظور تولید موفق این گیاه ارزشمند در شرایط آب‌وهوایی مختلف، می‌توان با معرفی ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالاتر، از حداکثر ظرفیت ژنتیکی ژنوتیپ‌ها استفاده کرد (Sieling et al., 2017).

با توجه به این‌که کلزا در مراحل پایانی رشد یعنی مراحل گلدهی، تشکیل خورجین و پرشدن دانه حساسیت زیادی به تنش‌های محیطی دارد، لذا تاریخ کاشت یکی از ابزارهای مدیریتی برای به حداقل رساندن اثرات تنش در طی دوره‌های فنولوژیکی حساس گیاه است. زمان کاشت مناسب، از طریق کاهش آسیب‌پذیری بوته‌ها در برابر عوامل نامساعد محیطی، می‌تواند موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه و روغن در واحد سطح شود (Goharian et al., 2020). کشت تأخیری موجب کوتاهی مرحله رشد رویشی و در نهایت، گلدهی سریع گیاه می‌شود (Nazeri et al., 2019). به‌طور کلی، تاریخی برای کاشت مناسب است که در طول دوره رشد، گیاه تحت تنش‌های محیطی قرار نگیرد و شرایط مناسب برای رشد گیاه فراهم باشد. ارقام بهاره، به دلیل دوره رشد کوتاه‌تر، می‌توانند زودتر برداشت شوند، اما پتانسیل تولید کم‌تری دارند. هرچند در صورتی که تحت تأثیر تنش‌های محیطی قرار نگیرند، می‌توانند

تولید قابل قبولی را به‌دست آورند (Shirani Rad et al., 2014).

بیوسنتز اسیدهای چرب و درصد روغن دانه کلزا تحت تأثیر عوامل محیطی (مدیریتی و اکولوژیکی) و عوامل وراثتی (ژنوتیپ، رقم، زیرگونه و مرحله فنولوژیکی) و برهم‌کنش آن‌ها است. در مناطق خشک و نیمه‌خشکی مانند ایران، کمبود آب، نقش مهمی در رشد و کیفیت روغن کلزا و ترکیب اسیدهای چرب آن دارد (Zali et al., 2020). تحت تأثیر تنش خشکی در مرحله گلدهی، میزان روغن دانه کاهش یافته و ترکیب اسیدهای چرب روغن تغییر می‌کند. این عامل می‌تواند به‌دلیل اکسیداسیون برخی اسیدهای چرب غیراشباع چندگانه و کاهش قابلیت تبدیل هیدرات‌های کربن به روغن در شرایط تنش باشد (Kalantar Ahmadi and Shoushi Dezfouli, 2019). جباری و همکاران (Jabbari et al., 2017) گزارش کردند که قطع آبیاری طی مراحل نموی سبب افزایش معنی‌دار اسید اولئیک در مقایسه با تیمار شاهد شد، درحالی‌که مقدار اسید لینولئیک کاهش چشمگیری یافت. نتایج مرادبیگی و همکاران (Moradbeigi et al., 2019) نشان داد که با قطع آبیاری در مرحله خورجین-دهی، عملکرد دانه و روغن، تعداد دانه در خورجین، میزان اسید اولئیک و لینولئیک کاهش ولی، میزان اسید چرب اروسیک و پالمیتیک افزایش یافت.

به‌دلیل همزمانی آبیاری‌های اولیه زراعت-های بهاره از جمله گندم و آبیاری‌های نهایی زراعت کلزا در مراحل خورجین‌دهی و پرشدن دانه کلزا در منطقه کرج، کشاورزان عمده‌تاً در این مراحل نسبت به قطع آبیاری اقدام می‌کنند تا آب کافی جهت هر دو زراعت را مهیا نمایند. لذا،

(F6): WRL-96-06، ۱۵ (۹۹۶) * ۳ (۱۱۹۹)
 (F6): WRL-96-17، ۱۰ (۹۶۳) * ۱۸ (۱۱۴۸)
 (F6): WRL-96-19، ۲ (۱۲۲۱) * ۱۵ (۹۹۶)
 (F6): WRL-96-19، ۲ (۱۲۲۱) * ۱۵ (۹۹۶)
 Triangle * Nima و ۱۸ (۱۱۴۸) * ۱۶ (۱۰۸۹)
 Modena و تیپ رشدی ژنوتیپ‌های گفته شده
 زمستانه می‌باشد.

براساس آزمون خاک و توصیه‌های مؤسسه
 تحقیقات آب‌وخاک، کودهای فسفات آمونیوم،
 سولفات پتاسیم و اوره به ترتیب به میزان ۱۵۰،
 ۱۵۰ و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار (قسمتی از کود
 نیتروژنه و تمامی کود فسفره و پتاسه مورد نیاز)
 به طور یکنواخت در سطح مزرعه توزیع شد و به وسیله
 دیسک سبک، کود با خاک مخلوط گردید. در
 اوایل بهمن ماه پس از انجام عملیات تهیه زمین و
 بستر بذر، کرت‌های آماده شده باتوجه به تیمارها
 کشت شد. به منظور استفاده بهینه از نیتروژن،
 بقیه کود نیتروژنه مورد نیاز به صورت سرک در
 مرحله شروع ساقه‌رفتن و ظهور اولین غنچه‌های
 گل مصرف شد. آبیاری به صورت غرقابی انجام شد.
 در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، تعداد ۱۰ بوته از
 هر کرت به طور تصادفی انتخاب و صفات ارتفاع
 بوته، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در
 خورجین و طول خورجین اندازه‌گیری شدند. به-
 منظور تعیین عملکرد دانه، بوته‌های موجود در
 مساحت ۴/۸ مترمربع از هر کرت به طور جداگانه
 کف‌بر و به مدت یک هفته در هوای آزاد خشکانده
 و توزین شدند و عملکرد زیستی برحسب رطوبت
 ۱۲ درصد تعیین شد. سپس، دانه‌های خورجین‌ها
 با استفاده از کمباین مخصوص جدا و توزین شده و
 عملکرد دانه براساس رطوبت ۱۲ درصد محاسبه
 گردید. برای تعیین وزن هزاردانه، با استفاده از
 دستگاه بذرشمار به میزان هشت نمونه هزارتایی از
 هر کرت به طور تصادفی انتخاب و توزین شد و

تحقیق حاضر با هدف ارزیابی و بررسی واکنش
 ارقام مختلف کلزا (از لحاظ صفاتی نظیر عملکرد و
 اجزای عملکرد، برخی صفات فیزیولوژیک و
 همچنین محتوای روغن دانه و برخی اسیدهای
 چرب) به شرایط مختلف ایجاد شده در تاریخ‌های
 متفاوت کشت و شرایط کم‌آبیاری انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل اسپلت پلات
 در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در
 دو سال زراعی (۱۳۹۹-۱۴۰۰ و ۱۳۹۸-۱۳۹۹)
 در مزرعه تحقیقاتی ۴۰۰ هکتاری مؤسسه
 تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج با عرض
 شمالی جغرافیایی ۳۵ درجه ۷۲ دقیقه و ۱۹ ثانیه
 و طول شرقی جغرافیایی ۵۰ درجه ۷۸ دقیقه و
 ۸۳ ثانیه با ارتفاع ۱۱۴۰ متر از سطح دریا اجرا
 شد. آمار هواشناسی منطقه مورد مطالعه در طول
 دو سال زراعی در جدول ۱ ارائه شده است.

عامل‌های آزمایشی شامل تاریخ کاشت در
 دو سطح (۱۰ مهر و ۳۰ مهر) و عامل آبیاری در
 دو سطح، آبیاری کامل و قطع آبیاری از مرحله
 خورجین‌دهی به بعد، به صورت فاکتوریل در
 کرت‌های اصلی و عامل ژنوتیپ در شش سطح
 WRL-96-04، WRL-96-05، WRL-96-06،
 WRL-96-17، WRL-96-19 و Nima در کرت-
 های فرعی قرار گرفتند. ابعاد هر کرت ۶×۱/۸۰
 متر (شامل ۳ پشته با فاصله ۶۰ سانتی‌متری)
 در نظر گرفته شد. قبل از اجرای آزمایش، زمین
 مورد نظر به منظور گاوروشدن، آبیاری و سپس
 شخم زده شد. سپس، نسبت به دیسک و مال‌زدن
 سطح خاک و نمونه‌گیری از اعماق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰
 سانتی‌متر خاک اقدام شد (جدول ۲).

شجره ژنوتیپ‌های WRL-96-04: (F6)

(F6): WRL-96-05، ۱۴ (۱۳۲۶) * ۴ (۸۸۵)

استفاده از روش کروماتوگرافی اندازه‌گیری شد (Francois, 1994).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (Ver 9.4) و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن، در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. با توجه به انجام آزمون بارتلت و معنی‌دارنشدن و همگن بودن واریانس خطای آزمایشی در دو سال اجرای آزمایش، لذا تجزیه مرکب با شرط تصادفی بودن سال انجام گردید. جهت رسم نمودار از نرم‌افزار Excel 2010 و رسم جدول از نرم‌افزار Word 2010 استفاده گردید.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته: تجزیه مرکب داده‌های مندرج در جدول ۳ نشان داد، اثر ساده ژنوتیپ و سال ($p \leq 0.01$) و تاریخ کاشت ($p \leq 0.05$) و همچنین، اثر متقابل ژنوتیپ و آبیاری ($p \leq 0.05$) تاریخ کاشت و ژنوتیپ ($p \leq 0.05$) بر ارتفاع بوته معنی‌دار بود؛ به‌طوری‌که بیش‌ترین ارتفاع بوته در شرایط آبیاری مطلوب، مربوط به ژنوتیپ WRL-96-05 (۱۳۹/۰۶ سانتی‌متر) بود (شکل ۱). همچنین ژنوتیپ WRL-96-05 در تاریخ ۱۰ مهرماه (تاریخ کشت معمول) دارای بیش‌ترین ارتفاع بوته (۱۵۴/۳۱ سانتی‌متر) و ژنوتیپ WRL-96-17 در تاریخ ۳۰ مهرماه (تاریخ کشت تأخیری) دارای کم‌ترین ارتفاع بوته (۸۳/۳۲ سانتی‌متر) بود (شکل ۲).

مطابق نتایج، شرایط کم‌آبیاری و کشت تأخیری موجب کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته شدند (شکل‌های ۱ و ۲). افزایش ارتفاع بوته، یک مزیت برای رقابت با سایر بوته‌ها در جامعه گیاهی بوده و موجب تشکیل برگ‌های جدید و افزایش فتوسنتز می‌شود (Carvalho et al., 2018). در شرایط

میانگین وزن آن‌ها به‌عنوان وزن هزاردانه محاسبه شد. رطوبت دانه‌ها توسط دستگاه رطوبت‌سنج (Wile 55, Finland) اندازه‌گیری شد.

میزان روغن دانه با استفاده از دستگاه NMR (Nuclear Magnetic Resonance) (Mq20, Bruker, Germany)، از یک نمونه پنج گرمی دانه از هر کرت تعیین شد (Anonymus, 1992). سپس، عملکرد روغن دانه از حاصل ضرب میزان روغن دانه در عملکرد دانه تعیین شد.

برای اندازه‌گیری ترکیب اسیدهای چرب، پس از استخراج روغن دانه، ۰/۷۵ - ۰/۵ گرم روغن داخل بالن ۱۰۰ میلی‌لیتر ریخته‌شده و سنگ جوش و هشت میلی‌لیتر هیدروکسید سدیم متانولی به آن اضافه گردید. پس از اتصال مبرد، محتوی بالن جوشانیده شد تا قطرات چربی ناپدید شوند. سپس، نیتروژن از محلول عبور داده شد و نه میلی‌لیتر محلول تری‌فلورایدبور (BF_3) متانولی و هفت میلی‌لیتر هپتان از بالای مبرد به مایع جوشان اضافه شد و دو دقیقه دیگر جوشش ادامه یافت. پس از یک دقیقه اجاق را خاموش تا دمای محتویات بالن به دمای اتاق برسد. سپس مقداری محلول کلرید سدیم اشباع به مبرد اضافه و بالن چندین بار به‌صورت دورانی تکان داده شد. سپس کلرید سدیم اشباع بیشتری به آن اضافه شد تا سطح مایع به قسمت باریک بالای بالن برسد. از لایه بالایی، یک میلی‌لیتر برداشته و به لوله آزمایش منتقل شد و سولفات سدیم بدون آب به آن اضافه شد تا آب باقی‌مانده حذف شود. این محلول حاوی حدود ۱۰۰ میلی‌گرم در میلی‌لیتر استرهای متیل بوده که مستقیماً به دستگاه گاز کروماتوگراف تزریق شده و اسیدهای چرب اندازه‌گیری شدند. در ادامه، مقدار گلوکوزینولات با

یکی از اجزای مهم عملکرد دانه، تعداد خورجین در بوته است. به طوری که، با انجام فتوسنتز موجب پر شدن دانه شده و ظرفیت تشکیل دانه را فراهم می نماید (Shirani Rad et al., 2013). در تحقیق حاضر، کم آبیاری، کشت تأخیری و کم آبیاری + کشت تأخیری به ترتیب موجب کاهش ۱۴، ۲۸ و ۵۱ درصدی تعداد خورجین در بوته شد (جدول ۴). مشابه تحقیق حاضر، در پژوهش قربانیان و همکاران (Goharian et al., 2020) تعداد خورجین در بوته، به دلیل تأخیر در کاشت کلزا کاهش یافت. طول دوره زایشی کمتر کلزا در این شرایط، می تواند عامل کاهش تعداد خورجین در بوته باشد. از طرفی، تعداد خورجین در بوته در بین اجزای عملکرد به تنش کم آبی حساس تر است. تنش کم آبی عملکرد دانه را کاهش می دهد که این کاهش به علت اثرات منفی تنش بر سطح برگ و سرعت رشد محصول و عرضه کمتر مواد فتوسنتزی و ریزش گل ها و خورجین های در حال رشد می باشد (Farooq et al., 2016; Ezati et al., 2020). در مطالعه عزتی و همکاران (Ezati et al., 2020) کم ترین تعداد خورجین در بوته در تیمار قطع آبیاری در مرحله آغاز غلاف دهی به میزان ۱۶۶/۷ به دست آمد.

سطح خورجین، یک سطح فتوسنتزی فعال است که موجب تثبیت دوباره کربن حاصل از تنفس دیواره غلاف و انتقال آن به دانه در حال رشد می شود. معمولاً، فتوسنتز خورجین ها موجب تأمین یک سوم وزن دانه های کلزا می شود و بین تعداد دانه درخورجین و مساحت دیواره های خورجین همبستگی مثبت و معنی دار وجود دارد (Eyni-Nargeseh et al., 2019). مطابق نتایج، شرایط کم آبیاری و کشت تأخیری باعث کاهش ۶/۸۸ سانتی متری طول خورجین شد (جدول ۴).

تنش کم آبی، آماس سلول ها کاهش می یابد که این امر موجب کاهش رشد و تقسیم سلول ها و در نتیجه کاهش ارتفاع بوته می گردد. نتایج تحقیقات مقدم و همکاران (Moghadam et al., 2018) بیانگر تأثیر معنی داری تنش خشکی بر ارتفاع بوته کلزا است. همچنین، مشابه تحقیق حاضر مظفری و همکاران (Mozafari et al., 2023) گزارش کردند که در زمان تأخیر در کشت کلزا، ارتفاع بوته به دلیل کوتاه شدن دوره رویشی کاهش یافت.

تعداد خورجین در بوته و طول خورجین:

با توجه به نتایج تجزیه واریانس، اثر ساده سال ($p \leq 0.05$)، تاریخ کاشت، ژنوتیپ و آبیاری ($p \leq 0.01$) بر تعداد خورجین در بوته و اثر ساده تاریخ کاشت ($p \leq 0.05$)، سال، ژنوتیپ و آبیاری ($p \leq 0.01$) بر طول خورجین معنی دار بود (جدول ۳). همچنین، اثر متقابل آبیاری $\times$ تاریخ کاشت $\times$ ژنوتیپ بر تعداد خورجین در بوته ($p \leq 0.01$) و طول خورجین ($p \leq 0.05$) معنی دار بود (جدول ۳). بیشترین تعداد خورجین در بوته در تاریخ کشت اول در شرایط آبیاری مطلوب مربوط به ژنوتیپ WRL-96-05 (۲۴۱/۴۷) بود و کمترین خورجین در بوته در شرایط کم آبیاری در تاریخ کشت ۳۰ مهر در ژنوتیپ WRL-96-17 (۹۰/۷۵) مشاهده شد (جدول ۴). همچنین، در شرایط کشت تأخیری با آبیاری مطلوب، ژنوتیپ WRL-96-05 بالاترین تعداد خورجین در بوته (۱۷۲/۸۲) را داشت (جدول ۴). در بررسی مقایسه میانگین اثرات متقابل، بیشترین طول خورجین در تاریخ کشت اول و در شرایط آبیاری مطلوب در ژنوتیپ WRL-96-05 (۱۰/۰۸ سانتی متر) به دست آمد و کمترین میزان، در شرایط کم آبیاری در کشت تأخیری در ژنوتیپ WRL-96-17 (۳/۲۰ سانتی - متر) مشاهده شد (جدول ۴).

در زمان تنش خشکی و کاهش مواد فتوسنتزی، مساحت خورجین‌ها در هنگام پرشدن دانه و درنهایت عملکرد دانه کاهش می‌یابد (Farooq et al., 2016). همچنین، به‌نظر می‌رسد بیش‌تر بودن طول دوره رشد گیاه در تاریخ کشت اول، باعث رشد و آرایش مناسب و یکنواخت برگ‌ها در کل کانوپی و افزایش طول خورجین بوته شده است (Goharian et al., 2020).

تعداد دانه در خورجین و وزن هزاردانه:

ژنوتیپ‌های مورد آزمون، تفاوت معنی‌داری ($p \leq 0.01$) از نظر تعداد دانه در خورجین و وزن هزاردانه در تاریخ‌های کشت مختلف و تیمار آبیاری داشتند (جدول ۳). همچنین، اثر ساده سال و آبیاری ($p \leq 0.05$) و تاریخ کاشت و ژنوتیپ ($p \leq 0.01$) بر تعداد دانه در خورجین و اثر ساده سال، آبیاری و تاریخ کاشت ($p \leq 0.05$) و ژنوتیپ ($p \leq 0.01$) بر وزن هزاردانه معنی‌دار بود (جدول ۳). اثر ساده تیمارهای موردبررسی ($p \leq 0.01$) بر تعداد دانه در خورجین و وزن هزاردانه معنی‌دار بود. به‌طوری‌که در تاریخ کاشت ۱۰ مهرماه همراه با شرایط آبیاری مطلوب، ژنوتیپ‌های WRL-96-05 (۲۷/۷۷) و WRL-96-04 (۲۷/۳۲) بالاترین تعداد دانه در خورجین را به‌خود اختصاص دادند (جدول ۴). در کشت تأخیری همراه با آبیاری مطلوب، ژنوتیپ WRL-96-05 بالاترین تعداد دانه در خورجین (۱۸/۰۸) را داشت (جدول ۴). بیش‌ترین وزن هزاردانه نیز در تاریخ کشت اول با آبیاری مطلوب در ژنوتیپ‌های WRL-96-05 (۵/۳۹ گرم) و WRL-96-04 (۵/۲۵ گرم) و کم‌ترین میزان در شرایط کم‌آبیاری در کشت تأخیری در ژنوتیپ WRL-96-17 (۱/۴۱ گرم) مشاهده شد (جدول ۴).

مطابق نتایج، کشت تأخیری همراه با شرایط کم‌آبیاری موجب کاهش ۷۸ درصدی تعداد دانه در خورجین نسبت به کشت اول و آبیاری مطلوب شد (جدول ۴). توانایی تشکیل دانه در خورجین در ژنوتیپ‌های مختلف کلزا متفاوت بوده و این صفت از عوامل مهم و تأثیرگذار بر عملکرد نهایی دانه به‌شمار می‌رود (Seyed Ahmadi et al., 2015). بوته‌های کلزا در زمان تأخیر کاشت و تسریع در گل‌دهی، با سطح برگ کم‌تر و کاهش مواد فتوسنتزی وارد مرحله تشکیل خورجین و پرشدن دانه می‌شوند، در نتیجه تعداد دانه در خورجین کاهش می‌یابد (Gan et al., 2004; Samadzadeh-Ghale-Joughi et al., 2018). مشابه نتایج حاضر، مظفری و همکاران (Mozafari et al., 2023) گزارش کردند که تأخیر در کشت موجب کاهش تعداد دانه در خورجین شد. تحقیق عینی نرگسه و همکاران (Eyni-Nargeseh et al., 2019) کاهش ۳۰ درصدی تعداد دانه در خورجین در شرایط کم‌آبیاری نسبت به آبیاری نرمال را نشان داد.

در شرایطی که عوامل محیطی مانند دما، تغذیه، تاریخ کاشت مساعد باشد، ذخیره مواد فتوسنتزی در دانه افزایش‌یافته و دانه‌ی سنگین‌تری تولید می‌شود (Shirani Rad et al., 2014). در تحقیق حاضر، با تأخیر در کاشت و شرایط کم‌آبیاری، وزن هزاردانه حدود ۷۴ درصد کاهش یافت (جدول ۴). با تأخیر در کاشت، دوره رشد کلزا به‌خصوص دوره رشد زایشی کاهش یافته و موجب کاهش وزن هزاردانه شده است. دوری و همکاران (Doori et al., 2015) گزارش کردند که به‌دلیل افزایش دما در مرحله پرشدن دانه در زمان تأخیر در کاشت، وزن دانه کلزا کاهش یافت. به‌طورکلی وزن دانه وابسته به

غذایی به دلیل دوره رشد طولانی تر افزایش یافته و موجب افزایش رشد، فتوسنتز و شاخص سطح برگ گیاه و در نهایت باعث افزایش عملکرد دانه می شود.

درصد و عملکرد روغن: مطابق نتایج، اثر

ساده سال و ژنوتیپ ($p \leq 0.01$) و تاریخ کاشت و آبیاری ($p \leq 0.05$) بر درصد روغن و اثر ساده تاریخ کاشت ($p \leq 0.05$) و ژنوتیپ ($p \leq 0.01$) بر عملکرد روغن و اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ تاریخ کاشت $\times$ آبیاری ($p \leq 0.05$) بر درصد روغن و اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ آبیاری ($p \leq 0.05$) بر عملکرد روغن معنی دار بود (جدول ۳). بیشترین درصد روغن در تاریخ کشت اول در شرایط آبیاری مطلوب در ژنوتیپ WRL-96-05 (۴۴/۸۰ درصد) به دست آمد (جدول ۴). در شرایط کشت تأخیری نیز، ژنوتیپ WRL-96-05 در شرایط آبیاری مطلوب، بالاترین درصد روغن (۴۱/۶۵ درصد) را داشت (جدول ۴). بیشترین عملکرد روغن در شرایط آبیاری مطلوب در ژنوتیپ WRL-96-05 (۲۰۶۶/۰۸ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد (جدول ۵). همچنین، در شرایط کم آبیاری در ژنوتیپ WRL-96-19 کمترین عملکرد روغن (۸۰۶/۵۸ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد (جدول ۵). مشابه یافته های دوری و همکاران (Doori et al., 2015)، در تحقیق حاضر، کاشت تأخیری موجب کاهش درصد روغن کلزا شد. واکنش ژنوتیپ های مختلف کلزا، نسبت به تاریخ کاشت متفاوت است، به طوری که هر ژنوتیپ کلزا، در تاریخ کاشت خاصی دارای بالاترین پتانسیل تولید می باشد (Goharian et al., 2020). از عوامل کاهش درصد روغن در زمان کاشت تأخیری، می توان به کاهش فتوسنتز خالص و نیز تغییر درجه حرارت در مرحله پرشدن دانه ها اشاره کرد.

سرعت و طول دوره پرشدن دانه بوده و منبع تأمین آن، فتوسنتز و انتقال مجدد مواد ذخیره ای می باشد. از طرفی، می توان کاهش سرعت و دوره پرشدن دانه را دلیل کاهش وزن دانه در تیمار قطع آبیاری بیان کرد (Eyni-Nargeseh et al., 2019).

عملکرد دانه: با توجه به نتایج تجزیه

مرکب، اثر ساده سال ($p \leq 0.05$)، آبیاری و ژنوتیپ ($p \leq 0.01$) و همچنین، اثر متقابل آبیاری $\times$ ژنوتیپ ($p \leq 0.01$) بر عملکرد دانه معنی دار بود و تاریخ کاشت تأثیر معنی داری نشان نداد (جدول ۳). در شرایط آبیاری مطلوب، ژنوتیپ WRL-96-05 بالاترین عملکرد دانه (۴۷۲۵/۶۶ کیلوگرم در هکتار) را به خود اختصاص داد و کمترین میزان، در شرایط کم آبیاری به ترتیب در ژنوتیپ های WRL-96-19 (۲۰۱۸/۵۸ کیلوگرم در هکتار) و WRL-96-17 (۲۰۵۲/۱۶ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد (جدول ۵).

در تحقیق حاضر، کم آبیاری موجب کاهش ۲۷ درصدی عملکرد دانه شد (جدول ۵). کمبود آب در مرحله رشد خورجین ها موجب کاهش انتقال مواد غذایی به دانه ها شده و عملکرد کاهش می یابد که ناشی از کاهش تعداد و اندازه خورجین ها است. در طی مراحل گلدهی و نمو اولیه خورجین ها، زمانی که تعداد خورجین ها و دانه ها مشخص می شود، تأمین آب کافی نقش حیاتی دارد و کمبود آب در این مرحله موجب کاهش عملکرد دانه می شود (Eyni-Nargeseh et al., 2019). نتایج این پژوهش با یافته های مرادی بیگی و همکاران (Moradbeigi et al., 2019) مطابقت دارد. به نظر می رسد که دلیل بالا بودن عملکرد دانه در رقم WRL-96-05 بیش تر بودن تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین بوده است. به طوری که در این حالت، جذب عناصر

گلوکوزینولات دانه: مطابق نتایج تجزیه

مرکب، اثر ساده سال ($p \leq 0.05$) و ژنوتیپ ($p \leq 0.01$) و اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ تاریخ کاشت و ژنوتیپ $\times$ آبیاری ($p \leq 0.01$) بر میزان گلوکوزینولات دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). کم‌ترین میزان گلوکوزینولات در تاریخ کشت اول در ژنوتیپ WRL-96-05 (۱۰/۵۵ میکرومول در گرم کنجاله) به‌دست آمد (جدول ۶). همچنین، در شرایط کم‌آبیاری در ژنوتیپ WRL-96-17 بیشترین میزان (۲۲/۷۵ میکرومول در گرم کنجاله) مشاهده شد (جدول ۵).

کیفیت و ارزش غذایی کنجاله‌ی دانه‌ی کلزا، با افزایش گلوکوزینولات دانه کاهش می‌یابد. میزان گلوکوزینولات در ارقام مختلف بسته به ریخته ژنتیکی ژنوتیپ‌ها متغیر می‌باشد (Jabbari et al., 2017). مطابق نتایج، تأخیر در کاشت موجب افزایش معنی‌دار میزان گلوکوزینولات دانه شد (جدول ۶). نتایج حاصل با مطالعات ولی‌پور دستنایی و همکاران (Valipour dastenaie et al., 2020) و مظفری و همکاران (Mozafari et al., 2022) مطابقت دارد.

محتوای اولئیک اسید، لینولئیک اسید

و لینولنیک اسید: مطابق نتایج، اثر ساده تاریخ کاشت، آبیاری ($p \leq 0.05$) و ژنوتیپ ($p \leq 0.01$) بر میزان اولئیک‌اسید، اثر ساده سال، تاریخ کاشت، ژنوتیپ ($p \leq 0.01$) و آبیاری ($p \leq 0.05$) بر میزان لینولئیک اسید و اثر ساده تاریخ کاشت ($p \leq 0.05$) بر میزان لینولنیک‌اسید معنی‌دار بود (جدول ۳). همچنین، اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ آبیاری ($p \leq 0.01$) و اثر متقابل ژنوتیپ و تاریخ کاشت ($p \leq 0.05$) بر میزان اولئیک، لینولئیک و لینولنیک‌اسید و اثر متقابل آبیاری و تاریخ کاشت ($p \leq 0.05$) بر میزان لینولئیک‌اسید معنی‌دار بود

به‌طوری‌که، مواد کم‌تری ساخته‌شده و کربوهیدرات‌ها به روغن تبدیل می‌شوند. هرچه فاصله زمانی بین دوره گلدهی تا رسیدن بیش‌تر باشد، زمان بیش‌تری برای سنتز روغن و افزایش درصد آن وجود دارد (Gecgel et al., 2007).

براساس نتایج حاصل، در شرایط کم‌آبیاری، میزان روغن دانه کاهش یافت. بیش‌ترین کاهش درصد روغن در اثر تنش کم‌آبی در زمان تشکیل اولین قطه‌های روغن و ذخیره‌شدن آن‌ها حدوداً ۱۸ روز بعد از گرده‌افشانی اتفاق می‌افتد. میزان روغن در ارقام مختلف، در زمان رسیدگی فیزیولوژیکی به سطح تقریباً ثابتی می‌رسد و تا زمان رسیدن کامل بذر نوسانات ناچیزی دارد (Moradbeigi et al., 2019). کاهش درصد روغن دانه و عملکرد روغن کلزا در شرایط تنش خشکی در مرحله گلدهی گزارش شده است که می‌تواند به‌واسطه اکسیداسیون برخی اسیدهای چرب غیراشباع چندگانه و کاهش قابلیت تبدیل هیدرات‌های کربن به روغن در شرایط تنش باشد (Kalantar Ahmadi and Shoushi Dezfooli, 2019).

مطابق نتایج، کم‌آبیاری موجب کاهش ۳۰ درصدی عملکرد روغن شد (جدول ۵). مرادیگی و همکاران (Moradbeigi et al., 2019) گزارش کردند که شرایط کم‌آبیاری موجب افت عملکرد روغن دانه کلزا شده است. میزان و عملکرد روغن ژنوتیپ‌های مختلف کلزا به وارسته گیاهی، موقعیت مکان، حاصلخیزی خاک و دیگر عوامل بستگی دارد (Valipour dastenaie et al., 2020). براساس گزارش سلیمانی و همکاران (Soleymani et al., 2011)، تأثیر عملکرد دانه در تعیین عملکرد روغن کلزا، بسیار بیش‌تر از درصد روغن می‌باشد.

های مشابه کاهش میزان اولئیک اسید و لینولئیک اسید در کاشت تأخیری در ژنوتیپ‌های مختلف کلزا گزارش شده است (Valipour *et al.*, 2020; Mozafari *et al.*, 2022). با توجه به این که اسیدلینولئیک برای فعالیت فتوسنتزی و توسعه دانه کرده کلزا ضروری است (Mozafari *et al.*, 2022)، به نظر می‌رسد افزایش محتوای آن در زمان کاشت معمول (۱۰ مهر ماه)، دستیابی به حداکثر عملکرد دانه باشد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد، تأخیر در کاشت ژنوتیپ‌های جدید کلزا و اعمال کم‌آبیاری سبب کاهش معنی دار ارتفاع بوته، طول خورجین، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، وزن هزاردانه، عملکرد دانه، درصد و عملکرد روغن دانه و میزان اسیدهای چرب اشباع‌نشده اولئیک و لینولئیک و لینولئیک و افزایش گلوکوزینولات دانه شد. ژنوتیپ‌های WRL-96-05 و WRL-96-04 در شرایط آبیاری کامل و تاریخ کشت معمول (۱۰ مهر ماه)، بیش‌ترین عملکرد دانه و عملکرد روغن را داشتند. شرایط کم‌آبیاری به‌ترتیب موجب کاهش ۲۷ و ۳۰ درصدی عملکرد دانه و عملکرد روغن شد. همچنین، کم‌آبیاری + کشت تأخیری موجب کاهش ۱۲ درصدی میزان روغن شد. بیش‌ترین میزان لینولئیک و لینولئیک اسید در تاریخ کشت اول همراه با آبیاری کامل (به‌ترتیب ۱۸/۸۵ و ۱۵/۶۰ درصد) به‌دست آمد. به‌طور کلی این پژوهش نشان داد، ژنوتیپ‌های WRL-96-05 و WRL-96-04 به‌علت عملکرد دانه و روغن بیش‌تر در شرایط آبیاری کامل، کم‌آبیاری، تاریخ کشت معمول (۱۰ مهر ماه) و کشت تأخیری (۳۰ مهر ماه) برتر از سایر ژنوتیپ‌ها بودند.

(جدول ۳). بیش‌ترین میزان اولئیک، لینولئیک-اسید و لینولئیک اسید در ژنوتیپ‌های WRL-96-05 (به‌ترتیب ۶۵/۳۰، ۱۸/۷۳ و ۵/۵۲ درصد) و WRL-96-04 (به‌ترتیب ۶۵/۱۹، ۱۸/۶۸ و ۵/۴۳ درصد) در تاریخ کاشت اول مشاهده شد (جدول ۴). در شرایط آبیاری مطلوب نیز، بیش‌ترین میزان اولئیک، لینولئیک اسید و لینولئیک اسید در ژنوتیپ WRL-96-05 (به‌ترتیب ۶۴/۷۳، ۱۸/۵۶ و ۵/۱۱ درصد) به‌دست آمد (جدول ۵). همچنین، در شرایط کشت تأخیری، ژنوتیپ WRL-96-05 بالاترین میزان اولئیک، لینولئیک و لینولئیک (به-ترتیب ۶۳/۳۰، ۱۷/۶۲ و ۳/۸۸ درصد) را داشت (جدول ۶). براساس مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری و تاریخ کشت، بیش‌ترین میزان لینولئیک اسید در تاریخ کشت اول همراه با آبیاری مطلوب (۱۸/۸۵ درصد) به‌دست آمد (شکل ۳).

نوع و میزان اسیدهای چرب روغن، نشان‌دهنده کیفیت روغن ارقام مورد مطالعه است. کلزا منبع خوبی از اسیدهای چرب اشباع‌نشده اولئیک و لینولئیک و لینولئیک است که برای تولید روغن‌های گیاهی بسیار مفید می‌باشند (Wynne *et al.*, 2020). کیفیت روغن کلزا به شدت تحت تأثیر شرایط محیطی و نوع ژنوتیپ است (Ezati *et al.*, 2020). در مطالعه حاضر، شرایط کم‌آبیاری و کشت تأخیری موجب کاهش معنی‌دار میزان اسیدهای چرب اشباع‌نشده اولئیک و لینولئیک و لینولئیک شد که با نتایج مرادیگی و همکاران (Moradbeigi *et al.*, 2019) همخوانی دارد (جدول ۵ و ۶). با افزایش شدت تنش آبی، مقدار تنفس گیاه افزایش می‌یابد و از این طریق انرژی نگهداری پایه گیاه بیش‌تر شده و ذخایر چربی گیاه و در نتیجه، درصد روغن دانه کاهش می‌یابد (Moghadam *et al.*, 2018). در پژوهش-

جدول ۱- برخی پارامترهای هواشناسی منطقه آزمایش طی سال‌های ۱۳۹۸-۱۴۰۰

Table 1- Some of the meteorological parameters of the study area during 2019-2021

پارامتر parameters	سال Year	مهر Oct	آبان Nov	آذر Des	دی Jan	بهمن Feb	اسفند Mar
میانگین دما (درجه سلسیوس) Average temperature (°C)	2019-2020	16.8	7.4	6.2	2.3	5.2	10.5
	2020-2021	18.2	10.1	7.8	5.0	4.6	9.7
بارندگی (میلی‌متر) Average precipitation (mm)	2019-2020	67.9	21.0	39.9	39.5	110.7	36.7
	2020-2021	-	64.0	39.0	12.2	5.6	26.0
میانگین رطوبت نسبی (درصد) Relative humidity (%)	2019-2020	55.3	68.9	69.5	70.9	59.8	56.1
	2020-2021	47	68	63	58	54	51

ادامه جدول ۱-

Table 1- Continued

پارامتر parameters	سال Year	فروردین Apr	اردیبهشت May	خرداد June	تیر July	مرداد Aug	شهریور Sept	سالانه Annual
میانگین دما (درجه سلسیوس) Average temperature (°C)	2019-2020	12.3	21.0	26.1	27.8	24.5	23.1	15.3
	2020-2021	15.4	21.3	26.7	29.1	28.2	26.7	16.9
بارندگی (میلی‌متر) Average precipitation (mm)	2019-2020	95.3	31.9	0.01	0.32	-	0.2	40.3
	2020-2021	4.0	15.4	9.1	2.0	-	-	19.7
میانگین رطوبت نسبی (درصد) Relative humidity (%)	2019-2020	65.9	43.7	29.9	35.2	44.4	37.4	53.1
	2020-2021	37	44	32	32	39	32	46

جدول ۲- برخی پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

Table 2- Some physic-chemical properties of the soil of the study area

سال Year	عمق خاک Depth (cm)	بافت خاک Soil texture	کربن آلی Organic Carbon (%)	هدایت الکتریکی EC (ds/m ²)	واکنش pH
2019-2020	0-30	loamy clay	0.73	3.78	7.1
	30-60	loamy clay	0.79	1.28	7.2
2019-2020	0-30	loamy clay	0.81	3.64	7.3
	30-60	loamy clay	0.88	1.12	7.4

ادامه جدول ۲-

Table 2- Continued

سال Year	نیتروژن N (%)	فسفر P	پتاسیم K	روی Zn	منگنز Mn	آهن Fe	مس Cu	گوگرد S
					(mg.kg ⁻¹)			
2019-2020	0.06	10.1	241	0.59	3.52	1.79	0.59	12.1
	0.07	8.3	214	0.66	3.78	1.85	0.63	12.9
2019-2020	0.08	10.7	238	0.62	3.85	1.53	0.57	11.7
	0.09	9.5	212	0.68	3.96	1.71	0.61	12.5

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب اثرات عوامل آزمایش بر صفات کمی و کیفی کلزا

Table 3- Summary of combined F significance from analysis of variance

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS					
		ارتفاع بوته Bush height	تعداد خوارجین در بوته Number of pods per bush	طول خوارجین pods length	تعداد دانه در خوارجین Number of seeds pod	وزن هزار دانه weight of one thousand seeds	عملکرد دانه Yield Grain
سال (Year)	1	23862.5**	3178.1*	4.69**	49.58*	6.52*	3452164.0*
تکرار (سال) (Repetition)	4	767.64	234.67	0.08	3.57	0.42	232304.4
تاریخ کاشت (Planting date)	1	57524.0*	213328.5**	89.61*	4187.1**	122.91*	21119840.4 ^{ns}
تاریخ کاشت × سال (Planting date × Year)	1	207.12 *	274.73 *	0.27 *	1.46 ^{ns}	0.40 **	5491992.3 **
آبیاری (Irrigation)	1	5802.63 ^{ns}	64681.2**	37.01**	1571.7*	33.74*	57196448.0**
آبیاری × سال (Year × Irrigation)	1	90.72 ^{ns}	0.006 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.82 ^{ns}	0.08 ^{ns}	1792.1 ^{ns}
آبیاری × تاریخ کاشت (Planting date × Irrigation)	1	30.53 ^{ns}	3364.97*	3.48 ^{ns}	107.29*	2.04**	1336336.0 ^{ns}
آبیاری × تاریخ کاشت × سال (Planting date × Irrigation × Year)	1	4.03 ^{ns}	6.71 ^{ns}	0.05 ^{ns}	0.29 ^{ns}	0.0002 ^{ns}	12882.3 ^{ns}
خطای ۱ (Error 1)	12	25.19	35.62	0.05	0.35	0.018	490928.4
ژنوتیپ (Genotype)	5	3896.46**	3249.52**	12.10**	62.40**	3.98**	9446860.4**
ژنوتیپ × سال (Year × Genotype)	5	154.23 **	27.92 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.36 *	0.06 **	29980.0 ^{ns}
ژنوتیپ × تاریخ کاشت (Planting date × Genotype)	5	84.15*	210.01**	0.12**	3.02**	0.24**	730090.4 ^{ns}
ژنوتیپ × تاریخ کاشت × سال (Planting date × Genotype × Year)	5	16.53 ^{ns}	7.31 ^{ns}	0.005 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.01 ^{ns}	479985.6**
ژنوتیپ × آبیاری (Irrigation × Genotype)	5	198.62*	234.52**	0.16**	2.95**	0.20**	419489.4**
ژنوتیپ × آبیاری × سال (Year × Irrigation × Genotype)	5	35.01 ^{ns}	19.70 ^{ns}	0.006 ^{ns}	0.08 ^{ns}	0.01 ^{ns}	13505.0 ^{ns}
ژنوتیپ × آبیاری × تاریخ کاشت (Planting × Genotype × Irrigation)	5	34.43 ^{ns}	117.58**	0.04*	1.37**	0.14**	136760.1 ^{ns}
ژنوتیپ × آبیاری × تاریخ کاشت × سال (Planting × Irrigation × Genotype × Year)	5	12.89 ^{ns}	8.77 ^{ns}	0.004 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.01 ^{ns}	33060.4 ^{ns}
خطای ۲ (Error 2)	80	30.16	15.97	0.006	0.128	0.014	22881.7
ضریب تغییرات (C.V. (%))		10.7	12.4	11.6	12.1	8.4	12.5

^{ns} عدم تفاوت معنی دار، * و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.^{ns}: non-significant, * and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

ادامه جدول ۳
Table 3- Continued

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS					
		درصد روغن Oil percentage	عملکرد روغن Oil Yield	گلوکوزینولات دانه Glucosinolate	اولئیک اسید Oleic acid	لینولئیک اسید Linoleic acid	لینولنیک اسید Linolenic acid
سال (Year)	1	92.93**	40.11 ^{ns}	77.31*	0.21 ^{ns}	1.64**	0.01 ^{ns}
تکرار (سال) (Repetition)	4	8.39	36.79	4.14	0.07	0.01	0.43
تاریخ کاشت (Planting date)	1	405.69*	6850.3*	2911.4 ^{ns}	138.6*	44.37**	85.41*
تاریخ کاشت × سال (Planting date × Year)	1	0.61 ^{ns}	27.91*	25.71*	0.05*	0.00 ^{ns}	0.13 ^{ns}
آبیاری (Irrigation)	1	159.01*	245.97 ^{ns}	221.44 ^{ns}	29.00*	10.41*	20.52 ^{ns}
آبیاری × سال (Year × Irrigation)	1	0.17 ^{ns}	1.77 ^{ns}	9.09 ^{ns}	0.05*	0.02*	0.14 ^{ns}
آبیاری × تاریخ کاشت (Planting date × Irrigation)	1	0.03 ^{ns}	659.6 ^{ns}	7.88 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.80*	0.59 ^{ns}
آبیاری × تاریخ کاشت × سال (Planting date × Irrigation × Year)	1	0.42 ^{ns}	6.69 ^{ns}	6.86 ^{ns}	0.000 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.01 ^{ns}
خطای ۱ (Error 1)	12	1.19	4.03	3.47	0.01	0.003	0.11
ژنوتیپ (Genotype)	5	15.37**	216.63**	200.5**	1.58**	0.61**	1.34 ^{ns}
ژنوتیپ × سال (Year × Genotype)	5	0.15*	3.39**	0.18 ^{ns}	0.004 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.07**
ژنوتیپ × تاریخ کاشت (Planting date × Genotype)	5	0.58**	14.21 ^{ns}	26.47**	0.04*	0.07*	0.10*
ژنوتیپ × تاریخ کاشت × سال (Planting date × Genotype × Year)	5	0.05 ^{ns}	4.03**	0.29 ^{ns}	0.004 ^{ns}	0.007 ^{ns}	0.01 ^{ns}
ژنوتیپ × آبیاری (Irrigation × Genotype)	5	0.30**	4.84*	5.66**	0.06**	0.22**	0.07*
ژنوتیپ × آبیاری × سال (Year × Irrigation × Genotype)	5	0.01 ^{ns}	0.52 ^{ns}	0.09 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.01 ^{ns}
ژنوتیپ × آبیاری × تاریخ کاشت (Planting date × Irrigation × Genotype)	5	0.16*	0.43 ^{ns}	0.31 ^{ns}	0.005 ^{ns}	0.007 ^{ns}	0.03 ^{ns}
ژنوتیپ × آبیاری × تاریخ کاشت × سال (Planting date × Irrigation × Genotype × Year)	5	0.02 ^{ns}	3.91**	0.15 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.008 ^{ns}	0.008 ^{ns}
خطای ۲ (Error 2)	80	0.06	0.67	0.74	0.004	0.007	0.01
ضریب تغییرات (C.V. (%))		4.6	11.9	3.7	2.1	2.6	2.4

^{ns} عدم تفاوت معنی‌دار، * و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

^{ns}: non-significant, * and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۴- مقایسه میانگین برهم کنش تاریخ کاشت، آبیاری و ژنوتیپ بر برخی صفات مورد مطالعه

Table 4- The average of the planting date × irrigation × genotype treatment on the studied properties

تیمار Treatment			طول خورجین pods length (cm)	تعداد خورجین در بوته Number of pods per bush	تعداد دانه در خورجین Number of seeds pod	وزن هزار دانه weight of one thousand seeds (g)	درصد روغن Oil percentage (%)
تاریخ کاشت Planting date	آبیاری Irrigation	ژنوتیپ Genotype					
۱۰ مهر 2 Oct	آبیاری مطلوب Optimal irrigation	WRL-96-04	9.67 ^{ab}	229.80 ^{ab}	27.32 ^{ab}	5.25 ^{ab}	44.57 ^{ab}
		WRL-96-05	10.08 ^a	241.47 ^a	27.77 ^a	5.39 ^a	44.80 ^a
		WRL-96-06	9.45 ^b	226.47 ^{ab}	26.00 ^b	4.94 ^b	44.27 ^b
		WRL-96-17	8.95 ^{bc}	221.32 ^b	24.68 ^{bc}	4.59 ^b	43.62 ^{bc}
		WRL-96-19	8.63 ^{bc}	214.55 ^{bc}	23.80 ^{bc}	4.28 ^{bc}	43.39 ^{bc}
		Nima	8.32 ^{bc}	205.97 ^c	22.47 ^c	4.05 ^c	43.10 ^c
	قطع آبیاری از مرحله خورجین دهی Interruption of irrigation at silique formation stage	WRL-96-04	8.12 ^c	201.08 ^c	21.73 ^{cd}	4.30 ^{bc}	42.58 ^{cd}
		WRL-96-05	8.43 ^{bc}	206.95 ^c	22.53 ^{bc}	4.49 ^b	42.86 ^{cd}
		WRL-96-06	7.68 ^{cd}	196.10 ^{cd}	21.15 ^{cd}	4.16 ^{bc}	42.37 ^d
		WRL-96-17	7.23 ^d	178.88 ^d	19.07 ^{de}	3.70 ^{cd}	41.24 ^{de}
		WRL-96-19	6.90 ^{de}	174.25 ^d	18.57 ^{de}	3.59 ^{cd}	40.81 ^{ef}
		Nima	7.42 ^{cd}	115.98 ^f	19.71 ^d	3.90 ^c	41.45 ^{de}
		WRL-96-04	6.97 ^{de}	168.40 ^{de}	17.63 ^e	3.54 ^{cd}	41.53 ^{de}
		WRL-96-05	7.32 ^{cd}	172.82 ^d	18.08 ^{de}	3.63 ^{cd}	41.65 ^{de}
۳۰ مهر 22 Oct	آبیاری مطلوب Optimal irrigation	WRL-96-06	6.60 ^{de}	159.38 ^e	16.78 ^{ef}	3.40 ^d	41.12 ^e
		WRL-96-17	5.77 ^f	135.60 ^e	14.33 ^f	2.44 ^e	39.42 ^g
		WRL-96-19	6.25 ^e	155.40 ^e	15.82 ^{ef}	2.99 ^{de}	40.13 ^f
		Nima	6.08 ^{ef}	144.10 ^{ef}	15.05 ^{ef}	2.84 ^{de}	39.93 ^{fg}
	قطع آبیاری از مرحله خورجین دهی Interruption of irrigation at silique foration stage	WRL-96-04	4.13 ^g	111.53 ^f	9.32 ^{fg}	2.30 ^{ef}	39.34 ^g
		WRL-96-05	4.40 ^{fg}	119.43 ^f	10.28 ^{fg}	2.39 ^e	39.54 ^g
		WRL-96-06	3.88 ^{fg}	105.87 ^{fh}	8.20 ^h	2.06 ^f	38.79 ^{gh}
		WRL-96-17	3.20 ^h	90.75 ⁱ	6.00 ⁱ	1.41 ^g	37.50 ⁱ
		WRL-96-19	3.45 ^{fg}	94.35 ^h	6.65 ^{hi}	1.62 ^{fg}	37.77 ^{hi}
		Nima	3.75 ^{fg}	101.43 ^{fh}	7.28 ^{hi}	1.77 ^{fg}	38.04 ^h

میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار نیستند.

The averages with at least a common alphabet are not statistically significant at the 5% level.

جدول ۵- مقایسه میانگین برهم‌کنش آبیاری و ژنوتیپ بر برخی صفات مورد مطالعه

Table 5- The average of the irrigation×genotype treatment on the studied properties

آبیاری Irrigation	ژنوتیپ Genotype	عملکرد دانه Yield Grain (kg.ha ⁻¹)	عملکرد روغن Oil Yield (kg.ha ⁻¹)	گلوکوزینولات دانه Glucosinolate (μmol/g Meal)	اولئیک اسید Oleic acid (%)	لینولنیک اسید Linolenic acid (%)	لینولئیک اسید Linoleic acid (%)
آبیاری مطلوب Optimal irrigation	WRL-96-04	4517.25 ^{ab}	1969.42 ^{ab}	14.64 ^{fg}	64.61 ^{ab}	4.99 ^{ab}	18.45 ^{ab}
	WRL-96-05	4725.66 ^a	2066.08 ^a	12.96 ^h	64.73 ^a	5.11 ^a	18.56 ^a
	WRL-96-06	4393.75 ^b	1901.75 ^b	15.93 ^g	64.48 ^b	4.87 ^b	18.30 ^b
	WRL-96-17	3477.33 ^d	1476.25 ^{cd}	19.35 ^d	64.19 ^d	4.53 ^{cd}	18.10 ^c
	WRL-96-19	3506.58 ^c	1482.25 ^c	18.50 ^e	64.27 ^c	4.58 ^c	18.06 ^d
	Nima	3160.58 ^{fg}	1328.67 ^d	19.72 ^{cd}	64.17 ^d	4.49 ^d	17.89 ^e
قطع آبیاری از مرحله خوردگی Interruption of irrigation at silique formation	WRL-96-04	3261.16 ^f	1355.67 ^e	16.81 ^f	63.77 ^{ef}	4.19 ^{ef}	17.33 ^h
	WRL-96-05	3445.58 ^e	1438.50 ^f	14.98 ^d	63.87 ^e	4.29 ^e	17.80 ^{ef}
	WRL-96-06	3031.00 ^g	1253.92 ^{ef}	18.52 ^e	63.63 ^f	4.08 ^f	17.70 ^f
	WRL-96-17	2052.16 ⁱ	828.83 ^{gh}	22.75 ^a	63.20 ^h	3.78 ^{gh}	17.62 ^g
	WRL-96-19	2018.58 ⁱ	806.58 ^h	22.19 ^b	63.22 ^h	3.76 ^h	17.61 ^g
	Nima	2409.83 ^h	976.25 ^g	20.74 ^c	63.37 ^g	3.95 ^g	17.66 ^{fg}

میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار نیستند.

The averages with at least a common alphabet are not statistically significant at the 5% level.

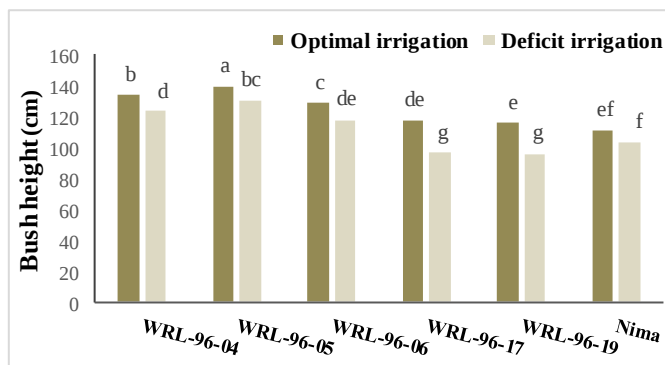
جدول ۶- مقایسه میانگین برهم‌کنش تاریخ کاشت و ژنوتیپ بر برخی صفات مورد مطالعه

Table 6- The average of the planting date × genotype treatment on the studied properties

تاریخ کاشت Planting date	ژنوتیپ Genotype	گلوکوزینولات دانه Glucosinolate (μmol /g Meal)	اولئیک اسید Oleic acid (%)	لینولنیک اسید Linolenic acid (%)	لینولئیک اسید Linoleic acid (%)
۱۰ مهر 2 Oct	WRL-96-04	11.98 ^{fg}	65.19 ^{ab}	5.43 ^{ab}	18.68 ^{ab}
	WRL-96-05	10.55 ^g	65.30 ^a	5.52 ^a	18.73 ^a
	WRL-96-06	13.01 ^f	65.04 ^b	5.28 ^b	18.60 ^b
	WRL-96-17	14.66 ^{ef}	64.74 ^c	4.92 ^c	18.46 ^c
	WRL-96-19	15.93 ^e	64.66 ^{cd}	4.84 ^d	18.35 ^{cd}
	Nima	15.43 ^e	64.71 ^d	4.93 ^c	18.23 ^d
۲۰ مهر 22 Oct	WRL-96-04	19.47 ^{cd}	63.19 ^{ef}	3.76 ^{ef}	17.50 ^{ef}
	WRL-96-05	17.38 ^d	63.30 ^e	3.88 ^e	17.62 ^e
	WRL-96-06	21.44 ^c	63.07 ^f	3.67 ^f	17.39 ^f
	WRL-96-17	27.45 ^a	62.66 ^h	3.38 ^h	17.27 ^h
	WRL-96-19	24.76 ^b	62.83 ^g	3.49 ^g	17.32 ^g
	Nima	25.03 ^b	62.82 ^g	3.51 ^g	17.31 ^g

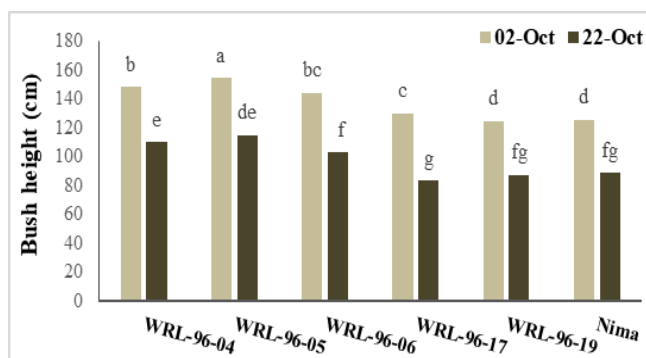
میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار نیستند.

The averages with at least a common alphabet are not statistically significant at the 5% level.



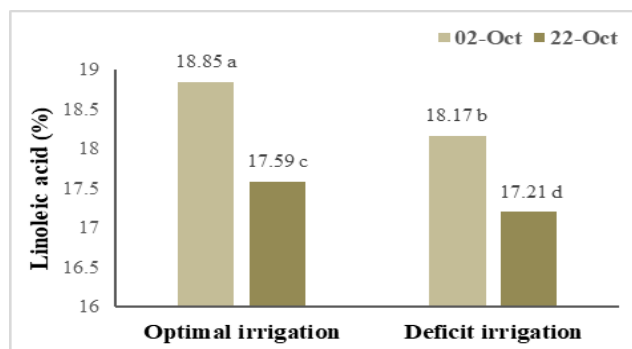
شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ و آبیاری بر ارتفاع بوته

Figure 1- The average of the genotype × irrigation treatment on the bush height



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ و تاریخ کاشت بر ارتفاع بوته

Figure 2- The average of the genotype × planting date treatment on the bush height



شکل ۳- اثر متقابل تاریخ کاشت و آبیاری بر میزان لینولئیک اسید

Figure 3- The average of the planting date × irrigation treatment on the linoleic acid amount

References

منابع مورد استفاده

- Alipour, Z.M., and B. Mir Darikvand. 2020. Evaluation of traits affecting yield and components of yield in different cultivars of canola under cold climate conditions. *International Journal of Pharmaceutical Research and Allied Sciences*. 9(3): 41-45.
- Anonymus. 1992. Oilseeds-determination of oil content-method using continuous-wave low-resolution nuclear magnetic resonance spectrometry (Rapid method). Geneva: International Organization for Standardization.
- Carvalho, M.E.A., P.R.C. Castro, S.A. Gaziola, and R.A. Azevedo. 2018. Is seaweed extract an elicitor compound? Changing proline content in drought-stressed bean plants. *Comunicata Scientiae*. 9(2): 292-297.
- Doori, S., M.R. Moradi-Telavat, S.A. Siadat, and A. Bakhshandeh. 2015. Effect of delayed planting and foliar application of nitrogen on canola seed and oil yield in Ahvaz conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 17(2): 128-138. (In Persian).
- Eyni-Nargeseh, H., M. Aghaalikhani, A.H. Shirani-Rad, A. Mokhtassi-Bidgoli, and S.A.M. Modares-Sanavy. 2019. Physiological and agronomic response of Rapeseed (*Brassica napus* L.) genotype to late-season drought stress under Karaj climatic condition. *Sustainable Agriculture and Production Science*. 29(2): 79-95. (In Persian).
- Ezati, N., A. Maleki, and A. Fathi. 2020. Effect of drought stress and spraying of gibberellic acid and salicylic acid on the quantitative and qualitative yield of canola (*Brassica napus*). *Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research*. 14(56): 94-109. (In Persian).
- Farooq, M., N. Gogoi, S., Barthakur, B., Baroowa, N., Bharadwaj, S.S. Alghamdi, and K.H.M. Siddique. 2016. Drought stress in grain legumes during reproduction and grain filling. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 203(2): 81-102.
- Francois, L.E. 1994. Growth, seed yield and oil content of canola grown under saline condition. *Agronomy Journal*. 86: 233-237.
- Gan, Y., S.V. Angadi, H. Cutforth, D. Potts, V.V. Angadi, and C.L. Mc Donald. 2004. Canola and mustard response to short periods of temperature and water stress at different developmental stages. *Canadian Journal of Plant Science*. 84: 697-704.
- Gecgel, U., M. Demirci, E. Esendal, and M. Tasan. 2007. Fatty acid composition of the oil from developing seeds of different cultivars of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 84: 47-54.
- Goharian, A., A.H. Shirani-Rad, P. Moaveni, H. Mozafari, and B. Sani. 2020. Foliar application of selenium and Zn to improve the yield and yield components of Rapeseed genotypes under conventional and delayed sowing dates. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*. 30(2):157-176. (In Persian).
- Jabbari, H., N.A. Khosh-Kholgh-Sima, and A.H. Shirani-Rad. 2017. Changes in the oil fatty acids composition of Rapeseed cultivars under drought stress conditions. *Applied Research in Field Crop*. 30: 66-81. (In Persian).
- Kalantar-Ahmadi, S.A., and A.A. Shoushi-Dezfouli. 2019. Effects of foliar application of micronutrients on seed yield and oil quality of canola (*Brassica napus* L. cv.

- Hyola401) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 21(3): 237-253. (In Persian).
- Moghadam, H.R.T., F. Ghooshchi, and H. Zahedi. 2018. Effect of UV radiation and elevated CO₂ on physiological attributes of canola (*Brassica napus* L.) grown under water stress| Efecto de la radiación UV y el CO₂ elevado sobre caracteres fisiológicos de canola (*Brassica napus* L.) cultivada bajo estrés hídrico. *UDO Agrícola*. 12(2): 353-368.
 - Moradbeigi, L., A. Gholami, A.H. Shirani-Rad, H. Abbasdokht, and H.R. Asghari. 2019. Effect of drought stress and delay cultivation on grain yield, oil yield and fatty acids composition in canola. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*. 29(2): 135-151. (In Persian).
 - Mozafari, H., A.H. Shirani-Rad, E. Jalili, B. Sani, and F. Rajabzadeh. 2022. Effect of winter planting date on oil yield and fatty acids of new spring canola (*Brassica napus* L.) cultivars under foliar zinc spray. *Gesunde Pflanzen*. 74(2): 435-446.
 - Mozafari, H., A.H. Shirani-Rad., E. Jalili., B. Sani, and F. Rajabzadeh. 2023. Investigation of agronomic traits of new spring rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars in response to the winter planting dates by use of zinc application. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*. 32(4). (In Persian).
 - Nazeri, P., A.H. Shirani-Rad., S.A. ValadAbadi, M. Mirakhori, and E. Hadidi-Masoule. 2019. The effect of planting date and late season drought stress on Eco-physiological characteristics of the new varieties of canola (*Brassica napus* L.). *Journal of Agroecology*. 11(1): 261-276. (In Persian).
 - Samadzadeh-Ghale-Joughi, E., E. Majidi-Hervan, A.H. Shirani-Rad, and G.H. Noormohamadi. 2018. Fatty acid composition of oilseed rapeseed genotype as affected by vermicompost application and different thermal regimes. *Agronomy Research*. 16(1): 230-242.
 - Seyed Ahmadi, A., A. Bakhshandeh, and M.H. Garineh. 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).
 - Shirani Rad, A.H., Z. Bitarafan, F. Rahmani, T. Taherkhani, A. Mordiaghdam, and S. Nasresfahani. 2014. Effects of plantind date on spring Rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars under different irrigation regimes. *Turkish Journal of Field Crops*. 19(2): 153-157.
 - Shirani-Rad, A.H., A. Abbasian, and H. Aminpanah. 2013. Evaluation of rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars for resistance against water deficit stress. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 19(2): 266-27.
 - Sieling, K., U. Böttcher, and H. Kage. 2017. Sowing date and N application effects on tape root and above-ground dry matter of winter oilseed rape in autumn. *European Journal of Agriculture*. 83: 40-46.
 - Soleymani, A., M. Moradi, and L. Naranjani. 2011. Effects of the irrigation cut-off time in different growth stages on grain and oil yield components of autumn's canola cultivars in Isfahan region. *Journal of Water and Soil*. 25(3): 426-435. (In Persian).

- Valipour dastenaie, M., A.H. Shirani-rad, S.A. Valadabadi, S. Seifzadeh, and H.R. Zakerin. 2020. Effect of winter planting date on qualitative traits and yield of spring Rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars by using zinc spray in Karaj region. *Journal of Crop Ecophysiology*. 13(4): 589-604. (In Persian).
- Wynne, K., C.B. Neely, C. Adams, E. Kimura, P.B. DeLaune, D. Hathcoat, and B. Gerrish. 2020. Testing row spacing and planting rate for fall-planted spring canola in the southern United States. *Agronomy Journal*. 112: 1952–1962.
- Zali, H., T. Hasanloo, O. Sofalian, and A. Asghari. 2020. Evaluation of drought stress effect on seed oil yield and fatty acid composition in canola (*Brassica napus* L.) cultivars. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 13(3): 735-747.

Research Article

DOI:

Evaluation of the Quantitative and Qualitative Changes of New Canola (*Brassica napus* L.) Genotypes under Deficit Irrigation and Delayed Planting Date

Somayeh Dashtdar¹, Amir Hosein Shirani-Rad², Faezeh Rajabzadeh^{3*}, Hamid Mozafari³ and Touraj Rahimi⁴

Received: February 2023, Revised: 28 July 2023, Accepted: 26 August 2023

Abstract

In order to increase the quantitative and qualitative yield of new canola (*Brassica napus* L.) genotypes, under deficit irrigation and delayed planting conditions, an experiment as a factorial split plot in a randomized complete block design with three replications was performed during two experimental years (2019-2021) in Alborz province (Karaj). The experimental factors including planting date in two levels (normal planting date: 2 October and delayed planting date: 22 October) and irrigation (complete irrigation and deficit irrigation in the form of interruption of irrigation at silique formation stage) were considered as factorial in the main plots and genotype factor were placed into six levels (WRL- 96-04, WRL-96-05, WRL-96-06, WRL-96-17, WRL-96-19 and Nima) in the subplot. Then, bush height, pods length, number of pods per bush, number of seeds pod, the weight of one thousand seeds, seed yield, oil percentage and yield, and the amount of oleic, linoleic and linolenic unsaturated fatty acids and seed glucosinolate were measured. According to the experiment results, delayed planting and the application of deficit irrigation caused a significant decrease in all tested traits and an increase in the amount of seed glucosinolates of new rapeseed genotypes. In complete irrigation conditions, genotypes WRL-96-05 and WRL-96-04 have the highest seed yield (4725.66 and 4517.25 kg.ha⁻¹ respectively) and oil yield (2066.08 and 1969.42 kg.ha⁻¹ respectively). Deficit irrigation conditions caused a 27 and 30% decrease in seed yield and oil yield, respectively, compared to complete irrigation. Also, deficit irrigation + delayed planting caused a 12% decrease in the oil content. The highest amount of glucosinolate in delayed planting was obtained in genotype WRL-96-17 (27.45 $\mu\text{mol.g}^{-1}$ meal). The highest amount of linoleic and linolenic acid was obtained in the normal planting date (2 October) with complete irrigation (18.85% and 15.60%, respectively). In general, it is recommended to cultivate WRL-96-05 and WRL-96-04 genotypes in Karaj region under complete irrigation conditions and the normal planting date (2 October) due to higher seed and oil yield. Delayed planting and deficit irrigation in canola cultivation is not recommended due to the reduction of more than 50% of seed and oil yield in climatic conditions similar to Karaj region.

Key words: Canola, Deficit irrigation, Fatty acid, Oil yield, Planting date, Seed yield.

¹ Ph.D. Student, Department of Agronomy, ShQ.C., Islamic Azad University, Shahr-e Qods, Iran.

²- Professor of Seed and Plant Improvement Institute, AREEO, Karaj, Iran.

³- Associate Professor, Department of Agronomy, ShQ.C., Islamic Azad University, Shahr-e Qods, Iran.

⁴- Assistant Professor, Department of Agronomy, ShQ.C., Islamic Azad University, Shahr-e Qods, Iran.

*Corresponding Authors: faezehrajabzadeh@yahoo.com