

## بررسی ویژگی‌های زراعی، فیزیولوژیک و کیفی کلزا تحت تنش آبی

حمید جباری<sup>۱\*</sup>، غلامعباس اکبری<sup>۲</sup>، نیر اعظم خوش خلق سیما<sup>۳</sup>، امیرحسین شیرانی راد<sup>۴</sup>، ایرج اله دادی<sup>۵</sup>، فائزه تاجدینی<sup>۵</sup>

۱. استادیار پژوهشی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج، بخش تحقیقات دانه‌های روغنی، کرج، البرز، ایران؛
۲. دانشیار دانشگاه تهران، پردیس ابوریحان، گروه زراعت و اصلاح نباتات، پاکدشت، تهران؛
۳. استادیار پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی، بخش تحقیقات فیزیولوژی و مولکولی، کرج، البرز، ایران؛
۴. استاد پژوهشی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج، بخش تحقیقات دانه‌های روغنی، کرج، البرز، ایران؛
۵. دانشجوی کارشناسی رشته زراعت دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر قدس، دانشکده کشاورزی، گروه زراعت، شهر قدس، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۰/۱۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۶/۱۷

### چکیده

به منظور بررسی ویژگی‌های زراعی، فیزیولوژیک و کیفی کلزا تحت تنش آبیاری، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر قدس در سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ اجرا شد. در این آزمایش تیمار آبیاری در سه سطح شامل آبیاری مطلوب در طول دوره رشد بر اساس ۸۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر کلاس A به عنوان شاهد، قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی تا رسیدگی فیزیولوژیک، و قطع آبیاری از خورجین‌دهی تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک بود. نتایج حاصل نشان داد که اثر آبیاری بر ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد شاخه فرعی، محتوای آب نسبی برگ، کمبود اشیاع آب، میزان کلروفیل a و کارتنوئیدها، طول خورجین، تعداد خورجین در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، درصد روغن، عملکرد روغن، شاخص برداشت و تلاش بازآوری معنی‌دار بود. قطع آبیاری از مراحل گل‌دهی و خورجین‌دهی به بعد به ترتیب سبب کاهش ۴۳/۱ و ۲۹/۵ درصد محتوای نسبی آب برگ، ۳۲/۷ و ۲۶/۵ درصد میزان کلروفیل a و ۴۹/۶ و ۳۱/۸ درصد میزان کارتنوئید در مقایسه با آبیاری مطلوب (شاهد) گردید. در این بررسی بیشترین عملکرد دانه در تیمار آبیاری مطلوب مشاهده شد و در شرایط قطع آبیاری از مراحل گل‌دهی و خورجین‌دهی به بعد به ترتیب عملکرد دانه از ۲۵۷۷ کیلوگرم در هکتار در تیمار شاهد به ۱۴۸۳ و ۱۹۰۷ کیلوگرم در هکتار کاهش یافت. بین عملکرد دانه با اجزاء عملکرد به جز تعداد دانه در خورجین همبستگی مثبت و معنی‌داری مشاهده شد و بیشترین همبستگی عملکرد دانه به ترتیب با وزن هزار دانه و تعداد خورجین در بوته بود. نتایج کلی این بررسی نشان داد که قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی تا رسیدگی فیزیولوژیک اثرات منفی شدیدتری بر ویژگی‌های فیزیولوژیک، مورفولوژیک، عملکرد دانه و صفات وابسته به آن در مقایسه با قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی در گیاه کلزا داشت.

واژه‌های کلیدی: تلاش بازآوری، تنش خشکی، عملکرد دانه، کلروفیل، محتوای نسبی آب برگ.

### مقدمه

ایران تحت تأثیر خشکی و کمبود آب قرار دارند. هر سال در الگوی بارندگی بسیاری از نواحی دنیا از جمله ایران تغییراتی رخ می‌دهد و با افزایش در محدودیت آب گیاهان بیشتر تحت تأثیر خشکی قرار می‌گیرند (Naumburg et al., 2006; Qaderi et al., 2004). کلزا سومین منبع مهم تولید روغن خوراکی بعد از سویا و نخل روغنی در جهان به شمار می‌آید (FAOSTAT, 2011). بارندگی‌های فصول

در شرایط طبیعی، گیاهان در معرض انواع تنش‌های زنده و غیرزنده قرار گرفته و رشد، متابولیسم و عملکرد آن‌ها به شدت تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Morsy et al., 2007). در بین تنش‌های غیرزنده، خشکی به‌طور جدی مهم‌ترین عامل محدودکننده رشد و تولید کلزا (*Brassica napus* L.) در ایران به شمار می‌رود (Moradshahi et al., 2004). بر اساس میزان بارندگی سالیانه، بسیاری از نواحی

کلروفیل a و b در ارقام مختلف کلزا در مقایسه با تیمار آبیاری مطلوب شد (Din et al., 2011). کاهش میزان کلروفیل می‌تواند به‌واسطه کاهش سنتز کمپلکس پروتئینی محافظت‌کننده دستگاه فتوسنتزی و صدمه اکسیداتیو لیبیدها، رنگدانه و پروتئین‌های کلروپلاست به همراه افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز در شرایط تنش خشکی باشد (Allakhverdiev et al., 2000; Tambussi et al., 2000).

بالا بودن محتوای نسبی آب برگ<sup>۱</sup> یکی از ویژگی‌های مؤثر در تداوم رشد کلزا تحت شرایط کمبود آب می‌باشد (Kumar and Singh, 1998). در آزمایشی مشخص شد که تنش کم‌آبی در کلزا موجب کاهش میزان محتوای نسبی آب برگ از ۸۰/۶۰ درصد در شرایط آبیاری معمول به ۷۰/۶۰ درصد گردید (Nasri et al., 2006). در ارزیابی ژنوتیپ‌هایی با پتانسیل عملکرد بالا در شرایط تنش خشکی با استفاده از شاخص‌های فیزیولوژیک نظیر محتوای نسبی آب برگ، پتانسیل اسمزی، میزان پرولین و سبزیگی کل<sup>۲</sup> نشان داده شد که تیمارهای کم‌آبیاری در مراحل گل‌دهی و خورجین‌دهی سبب کاهش چشمگیر محتوای نسبی آب برگ ارقام کلزا گردید (Khan et al., 2010).

با توجه به اینکه خشک‌سالی و تنش ناشی از آن مهم‌ترین و رایج‌ترین تنش‌های محیطی در ایران است و دوره رشد زایشی کلزا در اکثر مناطق ایران با تنش خشکی مواجه می‌گردد، لزوم انجام آزمایش‌هایی به‌منظور تعیین مراحل بحرانی رشد کلزا به تنش خشکی از اهمیت خاصی برخوردار است. بنابراین هدف از انجام این پژوهش، تشخیص و شناسایی صفات مهم و مؤثر بر عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی (قطع آبیاری از مراحل گل‌دهی و خورجین‌دهی) و شناسایی پاسخ‌ها و واکنش‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک و بررسی ویژگی‌های کمی و کیفی دانه کلزا در رقم RGS003 کلزا بوده است.

#### مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثرات قطع آبیاری بر ویژگی‌های زراعی، فیزیولوژیک و کیفی کلزا، آزمایشی طی سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر قدس شهریار با موقعیت طول

پاییز، زمستان و اوایل بهار نیاز آبی کلزا را در طی فصل رویشی تأمین اما، در بسیاری از مناطق کشور بحرانی‌ترین مراحل رشد یعنی گل‌دهی و خورجین‌دهی ممکن است هیچ‌گونه نزولات آسمانی وجود نداشته باشد، لذا میزان خسارت ناشی از تنش خشکی در مراحل مختلف رشد متفاوت خواهد بود. شناسایی و تعیین حساسیت مراحل رشدی گیاه نسبت به تأثیرات خشکی در مدیریت زراعی از اهمیت بالایی برخوردار است. کمبود آب در بسیاری از مراحل نمو عملکرد کلزا را کاهش می‌دهد ولی اثرات منفی تنش در طی مرحله گل‌دهی بسیار بارزتر است (Sinaki et al., 2007). بررسی‌ها نشان داده است که حساس‌ترین مرحله نمو گیاه کلزا به کمبود آب، مرحله گل‌دهی تا دو هفته پس از گل‌دهی بوده و بیشترین کاهش در عملکرد دانه و درصد روغن در شرایط تنش در زمان گل-دهی تا رسیدگی گیاه رخ می‌دهد (Champolivier and Merrien, 1996). مطالعات نشان داده است که رشد گیاه کلزا در نقطه پژمردگی خاک در مرحله رشد رویشی سبب کاهش معنی‌دار ارتفاع ساقه، قطر ساقه، تعداد برگ، سطح برگ، وزن خشک ریشه، برگ و ساقه و میزان کلروفیل a می‌گردد (Qaderi et al., 2006; Sangtarash et al., 2009). گزارش شده است که تنش خشکی سبب کاهش ۱۲ درصدی تعداد خورجین در بوته، ۱۵ درصدی وزن هزار دانه و ۲۱ درصدی عملکرد دانه در دور آبیاری ۱۴ روز در مقایسه با دور آبیاری هفت روز گردید، اما تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد دانه در خورجین و درصد روغن دانه نداشت (Zarei et al., 2010). نتایج یک آزمایش دیگر نشان داد که تیمار دیم (بدون آبیاری) به ترتیب باعث کاهش ۲۱ و ۱۸ درصدی ماده خشک و عملکرد دانه ارقام کلزا در مقایسه با تیمار آبیاری مطلوب گردید و عملکرد بیولوژیک از ۵۸۰۹ و ۵۳۳۸ کیلوگرم در هکتار در شرایط آبیاری مطلوب به ۳۱۹۲ و ۴۸۱۷ کیلوگرم در هکتار در شرایط دیم تقلیل یافت (Faraji et al., 2009). تنش کم‌آبی در طی مراحل گل‌دهی تا رسیدگی موجب کاهش عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و تعداد خورجین در بوته کلزا می‌گردد، اما تعداد دانه در خورجین تحت تأثیر تنش قرار نمی‌گیرد (Sinaki et al., 2007). مطالعه ویژگی‌های فیزیولوژیک و زراعی کلزا به تنش خشکی نشان داد که کمبود رطوبت خاک در مراحل گل-دهی و خورجین‌دهی سبب کاهش ۱۳ تا ۴۵ درصدی میزان

1- Relative water content (RWC)

2- Total greenness (SPAD value)

بوته در مترمربع بود. کاشت در تاریخ ۱ آبان ماه انجام گرفت و عملیات داشت شامل کنترل آفات به‌ویژه شته مومی با استفاده از سم متاسیستوکس (۱/۵ لیتر در هکتار) صورت گرفت.

با ورود بوته‌ها به مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، تعداد ۱۰ بوته از هر کرت به‌طور تصادفی انتخاب و صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین آن‌ها اندازه‌گیری شدند. به‌منظور تعیین عملکرد دانه، بوته‌های موجود در مساحت ۴/۸ مترمربع از هر کرت آزمایشی به‌طور جداگانه کفبر شده و جهت خشک شدن نهایی و رسیدن رطوبت دانه‌ها به ۱۲ درصد، به مدت یک هفته در هوای آزاد نگهداری و پس از جداسازی دانه‌ها از خورجین، وزن دانه‌ها با ترازوی دقیق توزین و عملکرد دانه برحسب کیلوگرم در هکتار محاسبه شد. برای تعیین وزن هزار دانه، ۵ نمونه ۱۰۰ تایی از بذره‌های هر کرت آزمایشی به‌طور تصادفی انتخاب و با میانگین‌گیری وزن آن‌ها، وزن هزار دانه محاسبه شد. همچنین از تقسیم عملکرد دانه بر وزن خشک کل گیاه، شاخص برداشت به دست آمد و تلاش بازآوری به‌عنوان یک معیار فیزیولوژیک، از تقسیم وزن خشک کل اندام زایشی (وزن خشک خورجین‌ها) بر وزن خشک کل گیاه حاصل شد (Jabbari et al., 2007).

میزان روغن دانه‌های هر کرت آزمایشی با استفاده از دستگاه سوکسله مدل SER۱۴۸/۶ ساخت کشور ایتالیا اندازه‌گیری و از حاصل‌ضرب میزان روغن دانه در عملکرد دانه، عملکرد روغن محاسبه شد و برای محاسبه درصد نیتروژن و درصد پروتئین دانه از معادله ۱ و ۲ استفاده گردید (Andersen et al., 1997):

$$Q_c = 63.3 - 7.37 N_g + 3.93 \quad (1)$$

$$P = N_g \times 6.25 \quad (2)$$

در این فرمول  $Q_c$  درصد روغن دانه،  $P$  درصد پروتئین و  $N_g$  درصد نیتروژن دانه می‌باشند

به‌منظور اندازه‌گیری محتوی نسبی آب برگ و کمبود اشباع آب در مرحله خورجین‌دهی، در ساعت ۸ صبح از برگ‌های جوان و توسعه‌یافته بالای پوشش گیاهی<sup>۱</sup> از سه ردیف میانی هر کرت، به‌وسیله یک چوب‌پنبه سوراخ‌کن تیز تعداد هشت دیسک، به قطر ۱۲ میلی‌متر از وسط پهنک و

جغرافیایی ۲۷° و ۳۸° شمالی و عرض جغرافیایی ۴۰° و ۲۱° شرقی و ارتفاع ۱۴۱۷ متر از سطح دریا انجام شد. بر اساس میانگین داده‌های سی‌ساله هواشناسی شهر قدس، متوسط بارندگی سالانه منطقه ۲۱۵ میلی‌متر و میانگین درجه حرارت سالانه ۳۱ درجه سانتی‌گراد بوده و بارندگی‌ها عمدتاً در اواخر پاییز و اوایل بهار روی می‌دهد. بافت خاک مزرعه آزمایش، لومی رسی با ۰/۴۴ درصد کربن آلی، اسیدیته ۷/۸ و هدایت الکتریکی ۱/۷۰ میلی موس بر سانتی‌متر و میزان فسفر و پتاسیم به ترتیب ۳/۳ و ۱۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. در این آزمایش تیمار آبیاری موردبررسی در سه سطح شامل آبیاری مطلوب در طول دوره رشد بر اساس ۸۰ میلی-متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر کلاس A به‌عنوان شاهد، قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی (از مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی، به شماره ۴/۵) تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک (کد ۶/۹) و قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی (از مرحله ۵۰ درصد خورجین‌دهی، به شماره ۵/۵) تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک (کد ۶/۹) بود (Sylvester-Bradley and RGS003, 1984). در این آزمایش رقم کلزای Makepeac، مورد استفاده قرار گرفت که یک رقم کلزای بهاره با متوسط طول دوره رشد ۲۳۰ روز بوده و مبدأ آن کشور آلمان است. همچنین متوسط درصد روغن دانه در این رقم ۴۳ درصد بوده و جزء ارقام نیمه حساس به خشکی طبقه‌بندی می‌شود.

به‌منظور آماده‌سازی زمین، خاک مزرعه به‌وسیله گاوآهن برگردان دار شخم و جهت خرد شدن کلوخه‌ها و همچنین یکنواخت شدن وضعیت خاک مزرعه، زمین مذکور دیسک و ماله زده شد. سپس اقدام به نمونه‌گیری از خاک مزرعه در دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متر گردید. بر اساس نتایج تجزیه خاک و توصیه کودی، اقدام به کودپاشی (کود اوره ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار در سه نوبت: یک‌سوم به‌صورت پایه، دوسوم در مراحل ساقه‌دهی و شروع گل‌دهی، کود سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم به ترتیب ۲۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار به‌صورت پایه) و پخش علف‌کش ترفلان به میزان ۲/۵ لیتر در هکتار به‌طور یکنواخت در سطح مزرعه شد و به‌وسیله دیسک سبک، کود و علف‌کش با خاک مخلوط گردیدند. هر کرت آزمایشی شامل شش خط به طول پنج متر و فاصله خطوط ۳۰ سانتی‌متر از هم بود که دو خط کناری به‌عنوان حاشیه در نظر گرفته شدند. فاصله بوته‌ها روی خطوط کاشت ۴ سانتی‌متر و تراکم بوته‌ها ۸۳

در این معادله‌ها Chl.a، Chl.b و Car به ترتیب میزان غلظت کلروفیل a، b و کارتنوئیدها برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تازه برگ و  $A_{663}$ ،  $A_{645}$  و  $A_{470}$  به ترتیب مقدار جذب خوانده‌شده در طول موج ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر می‌باشند.

در پایان داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (V.9.1) تجزیه واریانس شدند و در صورت معنی‌دار بودن اثر تیمار آزمایشی، از آزمون FLSD در سطح احتمال پنج درصد برای مقایسه میانگین داده‌ها استفاده شد. همچنین ضرایب همبستگی ساده بین صفات محاسبه شد.

### نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس کلیه صفات مورد مطالعه به تفکیک و بر اساس صفات مورفولوژیک و زراعی، خصوصیات کمی و کیفی دانه و صفات فیزیولوژیک به ترتیب در جداول ۱، ۲ و ۳ ارائه شده است. تیمار آبیاری اثر معنی‌داری بر قطر ساقه، تعداد شاخه فرعی، تعداد خورجین در بوته، عملکرد دانه، عملکرد روغن و شاخص برداشت، محتوای نسبی آب برگ (RWC)، کمبود اشباع آب (WSD) و میزان کارتنوئید در سطح یک درصد و بر ارتفاع بوته، طول خورجین، وزن هزار دانه، تلاش بازآوری، درصد روغن، درصد نیتروژن دانه، درصد پروتئین دانه و میزان کلروفیل a در سطح پنج درصد داشت (جدول ۱، ۲ و ۳). اما تعداد دانه در خورجین و میزان کلروفیل b در سطح آماری تحت تأثیر تیمار آبیاری قرار نگرفت (جدول ۱ و ۲).

### صفات مورفولوژیک و زراعی

در اغلب گیاهان ارتفاع بوته با تغییر شرایط محیطی تغییر می‌یابد. در این آزمایش بیشترین ارتفاع بوته در تیمار آبیاری مطلوب (شاهد) به میزان ۹۸/۶ سانتیمتر مشاهده شد و قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی سبب کاهش ۱۷/۵ درصدی نسبت به تیمار شاهد گردید (جدول ۴). به نظر می‌رسد کاهش تولید مواد فتوسنتزی به دلیل کاهش فتوسنتز ناشی از تأثیر محدودیت آب در طی مرحله گل‌دهی تا رسیدگی فیزیولوژیک جهت ارائه به بخش‌های هوایی و در حال رشد گیاه منجر به کاهش ارتفاع بوته گردیده است. محققان نیز در تحقیقات خود کاهش معنی‌دار ارتفاع ساقه کلزا را در شرایط تنش رطوبتی گزارش کرده‌اند (Sadaqat et al., 2003; Qaderi et al., 2006; Khan et al., 2010).

نزدیک به رگبرگ تهیه و در کیسه‌های پلی‌اتیلنی و در ظرف محتوی یخ با دمای ۲- درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل گردیدند. ابتدا با ترازوی دقیق وزن تازه دیسک‌های مربوط به هر کرت آزمایشی تعیین و یادداشت گردید. سپس دیسک‌ها پس از توزین، در ظروف پتری درب دار حاوی آب مقطر منتقل و به مدت ۱۸ ساعت نگهداری شدند. پس از خشک کردن آب روی دیسک‌ها توسط کاغذ صافی، وزن آماس دیسک‌ها اندازه‌گیری شد. در ادامه، دیسک‌ها به آون با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد منتقل و پس از گذشت ۲۴ ساعت، وزن خشک دیسک‌ها توسط ترازوی دقیق به دست آمد. محتوی نسبی آب برگ و کمبود اشباع آب<sup>۱</sup> برحسب درصد و به ترتیب از طریق معادله‌های ۳ و ۴ محاسبه شد (Nasri et al., 2006; Omae et al., 2007):

$$RWC \% = [(F_w - D_w) / (T_w - D_w)] \times 100 \quad (3)$$

$$WSD \% = RWC - 100 \quad (4)$$

در این معادله‌ها،  $F_w$  وزن تازه،  $T_w$  وزن آماس و  $D_w$  وزن خشک دیسک‌ها برحسب گرم می‌باشند.

همزمان با نمونه‌برداری برای محتوی نسبی آب برگ، نمونه‌برداری برای سنجش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی در مرحله خورجین‌دهی صورت گرفت. بدین منظور ۱۰۰ میلی‌گرم از بافت تر برگ‌های جوان و توسعه‌یافته بالای پوشش گیاهی بلافاصله توسط ازت مایع فریز گردید. سپس مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی در هر نمونه با استفاده از استن ۸۰ درصد استخراج شد و اندازه‌گیری غلظت کلروفیل a، b و کارتنوئیدها با دستگاه اسپکتروفتومتر به ترتیب در طول موج‌های ۶۴۵، ۶۶۳ و ۴۷۰ نانومتر انجام و با استفاده از معادله‌های ۵، ۶ و ۷ محاسبه گردید (Daneshmand et al., 2008):

$$Chl.a (mg g^{-1} FW) = 12.21 (A_{663}) - 2.81 (A_{646}) \quad (5)$$

$$Chl.b (mg g^{-1} FW) = 20.13 (A_{646}) - 5.03 (A_{663}) \quad (6)$$

$$3.27 - Car (mg g^{-1} FW) = (1000 A_{470} [Chl.b]) / 227 [Chl.a] - 104 \quad (7)$$

1- Water saturation deficiency (WSD)

این آزمایش ارتفاع بوته در تیمار قطع آبیاری از مرحله کاهش محسوس روند افزایش ارتفاع گیاه کلزا: خورجین دهی تفاوت معنی داری با تیمار شاهد نداشت (علی‌الخصوص در ارقام بهاره) از مرحله خورجین دهی تا (جدول ۴) که می‌تواند به واسطه کند شدن رشد رویشی و مرحله رسیدگی فیزیولوژیک باشد.

جدول ۱. میانگین مربعات صفات مورفولوژیک و زراعی کلزای رقم RGS003 در تیمارهای مختلف آبیاری

Table 1. Mean squares of morphological and agronomic characteristics in *B. napus* cv. RGS003 under different irrigation treatments.

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع بوته Plant height	قطر ساقه Stem diameter	تعداد شاخه فرعی secondary branches no.	تعداد خورجین در بوته Siliques no. per plant	تعداد دانه در خورجین Seed number per silique
Replication	بلوک	2	4.94	0.0014	0.777 **	52.48	21.0
Irrigation	آبیاری	2	225.04 *	0.0302 **	1.361 **	857.68 **	26.3 <sup>ns</sup>
Error	خطا	4	15.27	0.0015	0.027	19.86	5.8
C.V (%)	ضریب تغییرات (درصد)		4.3	6.3	6.3	6.6	12.7

Table 1. continued

جدول ۱. ادامه

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی	طول خورجین Silique length	وزن هزار دانه 1000 seed weight	عملکرد دانه Seed yield	شاخص برداشت Harvest index	تلاش بازآوری Productivity effort
Replication	بلوک	2	0.083	0.014	25411.1	2.40 *	15.0
Irrigation	آبیاری	2	2.333 *	0.474 *	911744.4 **	31.30 **	269.4 *
Error	خطا	4	0.166	0.034	23744.4	0.186	30.7
C.V (%)	ضریب تغییرات (درصد)		9.1	5.5	7.7	2.1	9.1

<sup>ns</sup>, \* و \*\* به ترتیب نشانگر عدم معنی داری و معنی داری اثر عامل آزمایشی در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشند. ns, \* and \*\* are non-significant, and significant at the 0.05 and 0.01 level of probability, respectively.

جدول ۲. میانگین مربعات ویژگی‌های کمی و کیفی دانه کلزای رقم RGS003 در تیمارهای مختلف آبیاری

Table 2. Mean squares of quantitative and qualitative seed characteristics in *B. napus* cv. RGS003 under different irrigation treatments.

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی	درصد روغن دانه Seed oil percentage	عملکرد روغن Oil yield	درصد نیتروژن دانه Seed nitrogen percentage	درصد پروتئین دانه Seed protein percentage
Replication	بلوک	2	0.48	4343.7	0.008	0.340
Irrigation	آبیاری	2	4.69 *	170274.3 **	0.086 *	3.365 *
Error	خطا	4	0.59	2677.8	0.011	0.431
C.V (%)	ضریب تغییرات (درصد)		2.0	6.7	2.6	2.6

<sup>ns</sup>, \* و \*\* به ترتیب نشانگر عدم معنی داری و معنی داری اثر عامل آزمایشی در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشند. ns, \* and \*\* are non-significant, and significant at the 0.05 and 0.01 level of probability, respectively.

جدول ۳. میانگین مربعات صفات فیزیولوژیک کلزای رقم RGS003 در تیمارهای مختلف آبیاری

Table 3. Mean squares of physiological characteristics in *B. napus* cv. RGS003 under different irrigation treatments.

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	محتوی نسبی	کمبود اشباع	میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی		
			آب برگ	آب	Photosynthesis pigments content		
			Relative water content (RWC)	Water saturation deficiency (WSD)	کلروفیل a	کلروفیل b	کارنوئید
				Chlorophyll a	Chlorophyll b	Carotenoid	
Replication	بلوک	2	0.38	0.38	0.0151	0.0448	0.0103
Irrigation	آبیاری	2	469.80 **	469.80 **	0.1253 *	0.2847 <sup>ns</sup>	0.3420 **
Error	خطا	4	17.70	17.70	0.0200	0.0573	0.0068
C.V (%)			9.7	7.4	15.0	21.8	8.4
	ضریب تغییرات (درصد)						

ns, \* و \*\* به ترتیب نشانگر عدم معنی‌داری و معنی‌داری اثر عامل آزمایشی در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشند. ns, \* and \*\* are non-significant, and significant at the 0.05 and 0.01 level of probability, respectively.

شاخه‌های فرعی کلزا داشته است. این موضوع در مورد قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی به بعد کمتر مشاهده شد که علت آن را می‌توان به کاهش چشمگیر قدرت تولید شاخه‌های فرعی در کلزا از مرحله خورجین‌دهی تا رسیدگی نسبت داد. نتایج سایر تحقیقات نیز بر کاهش تعداد شاخه فرعی در گیاه کلزا در شرایط کمبود رطوبت خاک دلالت دارد ( Sadaqat et al., 2003; Moradshahi et al., 2004).

تعداد خورجین در گیاه از مهم‌ترین اجزاء عملکرد در کلزا به حساب می‌رود (Angadi et al., 2003). در این بررسی بیشترین تعداد خورجین در بوته از تیمار شاهد، به میزان ۷۹ خورجین در بوته به دست آمد و قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی سبب کاهش ۳۹ درصدی صفت مذکور در مقایسه با تیمار آبیاری مطلوب شد (جدول ۴). پیش‌ازاین نیز گزارش‌هایی در خصوص کاهش تعداد خورجین در اثر تنش خشکی ارائه گردیده که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد (Daneshmand et al., 2008; Gan et al., 2009). اصولاً تعداد خورجین در بوته در میان اجزاء عملکرد کلزا بیشترین حساسیت را به تنش خشکی دارا است. تنش خشکی در مرحله گل‌دهی گیاه کلزا به واسطه ریزش شدیدتر گل سبب کاهش قابل‌توجه تعداد خورجین می‌گردد (Sinaki et al., 2007). تنش خشکی در این مرحله، با کوتاه نمودن دوره گل‌دهی، عدم باروری تعدادی از گل‌ها، ریزش آن‌ها، کاهش تولید مواد فتوسنتزی جهت انتقال به خورجین‌های تازه تشکیل‌شده و در حال رشد گیاه کاهش

قطر ساقه یکی از صفات ارزیابی شدت تنش خشکی در گیاهان است (Sadras et al., 1993). با اعمال قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی تا پایان رسیدگی فیزیولوژیک در مقایسه با تیمار شاهد، قطر ساقه به میزان ۲۸/۱ درصد کاهش یافت، درحالی‌که میانگین قطر ساقه در تیمار شاهد با تیمار قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۴). به نظر می‌رسد که این موضوع ناشی از کاهش محسوس رشد رویشی در رقم بهاره RGS003، غلبه رشد زایشی بر رشد رویشی و کاهش تخصیص مواد فتوسنتزی به ساقه از مرحله خورجین‌دهی به بعد بوده است. در آزمایش‌های دیگری نیز کاهش قطر ساقه گیاه کلزا در شرایط تنش خشکی در مراحل رشد رویشی و گل‌دهی گزارش شده است که با نتایج این آزمایش همخوانی دارد (Sadaqat et al., 2003; Sangtarash et al., 2009).

کلزا گیاهی رشد نامحدود است، به همین دلیل تولید و رشد شاخه‌های فرعی در تمام طول دوره رشد می‌تواند تداوم داشته باشد. در این آزمایش کاهش رطوبت خاک سبب کاهش معنی‌دار تعداد شاخه فرعی از ۳/۳ در تیمار شاهد به ۲/۰ شاخه در تیمار قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی تا پایان رسیدگی فیزیولوژیک شد، درحالی‌که کاهش تعداد شاخه فرعی در تیمار قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی معنی‌دار نبود (جدول ۴). به نظر می‌رسد که تعداد مطلوب شاخه در واحد سطح، با رژیم رطوبتی خاک در طی دوره رشد گیاه ارتباط نزدیکی دارد (Ardell et al., 2001) و قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی به بعد تأثیر منفی چشمگیری بر رشد

در این بررسی بیشترین و کمترین وزن هزار دانه به- ترتیب به تیمارهای آبیاری مطلوب (۳/۸ گرم) و قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی تا رسیدگی فیزیولوژیک (۳/۰ گرم) تعلق داشت. وزن هزار دانه در تیمار قطع آبیاری از مرحله گل-دهی تا رسیدگی فیزیولوژیک با تیمار قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی تا رسیدگی فیزیولوژیک تفاوت معنی‌داری نداشتند (جدول ۴). صداقت و همکاران ( Sadaqat et al., 2003) گزارش کردند که در شرایط تنش خشکی بسته شدن روزنه‌ها و کاهش سرعت فتوسنتز منجر به تولید دانه-های کوچک‌تر و در نتیجه کاهش وزن هزار دانه کلزا خواهد شد. به نظر می‌رسد که تنش خشکی در مراحل گل‌دهی و خورجین‌دهی از طریق اختلال در فتوسنتز و کاهش سنتز مواد آسمیلاتی، چروکیدگی و کاهش وزن دانه‌ها را موجب شده است. در این بررسی بین وزن هزار دانه و تعداد دانه در خورجین همبستگی منفی و معنی‌دار مشاهده شد (جدول ۵).

سطح خورجین‌ها به‌عنوان یک سطح فتوسنتزی فعال از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، به‌طوری‌که وزن دانه‌های کلزا بیشتر از طریق فتوسنتز خورجین‌ها تأمین می‌گردد ( Sirin Vasa and Morgan, 1996; Ma et al., 2001). مقایسه میانگین طول خورجین در جدول ۴ نشان می‌دهد که بیشترین و کمترین طول خورجین به ترتیب از تیمارهای آبیاری مطلوب (۵/۵ سانتی‌متر) و قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی (۳/۸ سانتی‌متر) به دست آمد. اعمال تنش کم‌آبی در مرحله رسیدن دانه و تیمار دیم (عدم آبیاری) سبب کاهش معنی‌دار طول خورجین در مقایسه با تیمار آبیاری مطلوب شده است (Shabani et al., 2010). در مطالعه‌ای نیز مشخص شد که تنش خشکی در مرحله گل‌دهی ارقام بهاره کلزا موجب کاهش تعداد و طول خورجین می‌گردد (Sheikh et al., 2005).

عملکرد دانه در کلزا تابع تعداد خورجین، تعداد دانه در خورجین و وزن دانه در گیاه است ( Angadi et al., 2003). در این بررسی بیشترین عملکرد دانه در تیمار آبیاری مطلوب مشاهده شد. در تیمارهای قطع آبیاری از مراحل گل‌دهی و خورجین‌دهی به‌ترتیب عملکرد دانه از ۲۵۷۷ کیلوگرم در هکتار در تیمار شاهد به ۱۴۸۳ و ۱۹۰۷ کیلوگرم در هکتار کاهش یافت (جدول ۴). نتایج این تحقیق با گزارش‌های دیگر محققان نیز همخوانی دارد ( Zakirullah et al., 2000; Nasri et al., 2006; )

تعداد خورجین در بوته را به دنبال خواهد داشت. در این آزمایش تعداد خورجین در بوته در تیمار قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد نداشت (جدول ۴). به نظر می‌رسد که چون تعداد خورجین که حاصل تلقیح مناسب گل‌هاست بیشتر تحت تأثیر تنش در دوره گرده‌افشانی (گل‌دهی) قرار می‌گیرد، بنابراین در اثر اعمال تنش در مرحله خورجین‌دهی کاهش چشمگیری در تعداد خورجین حاصل نشده است (جدول ۴).

تعداد دانه در خورجین و وزن دانه‌ها از اجزای تشکیل‌دهنده عملکرد در کلزا می‌باشند ( Angadi et al., 2003). نتایج مقایسه میانگین صفت تعداد دانه در خورجین در جدول ۴ نشان می‌دهد که تیمار آبیاری مطلوب با ۲۲/۳ دانه بیشترین تعداد دانه در خورجین را تولید کرد و اعمال قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی باعث کاهش ۳۰ درصدی این صفت گردید. نتایج حاصله از این آزمایش در تطابق با نتایج بیطرفان و شیرانی‌راد (Bitarafan et al., 2003) است. ما و همکاران (Ma et al., 2006) نیز اظهار داشتند که تعداد دانه در خورجین گیاه کلزا در اثر تنش کم‌آبی کاهش می‌یابد. توحیدی مقدم و همکاران ( Tohidi-Moghaddam et al., 2011) نیز کاهش محسوس تعداد دانه در خورجین را در شش رقم کلزا از ۲۷/۸ عدد در تیمار شاهد به ۲۳/۴ عدد در شرایط تنش کم‌آبی در مراحل گل‌دهی و خورجین‌دهی گزارش کرده‌اند. تفاوت بین تعداد دانه در خورجین در تیمارهای آبیاری مطلوب و قطع آبیاری از مرحله خورجین-دهی معنی‌دار نبود (جدول ۴). به نظر می‌رسد که وقوع تنش در مرحله گل‌دهی به‌واسطه عدم تلقیح مناسب و سقط آن‌ها باعث افزایش پوکی خورجین‌ها و در نتیجه کاهش تعداد دانه در آن‌ها شده است. نتایج این آزمایش نشان داد که باوجود عدم تفاوت معنی‌دار بین تیمار شاهد و قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی از لحاظ صفات تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین، تنش خشکی از مرحله خورجین‌دهی تأثیر بیشتر و چشمگیرتری بر تعداد دانه در خورجین در مقایسه با تعداد خورجین در بوته داشته است (جدول ۴). دلیل این موضوع می‌تواند تولید تعداد شاخه فرعی بیشتر در تیمار قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی باشد که در نتیجه خورجین‌های بیشتری در تک بوته تولیدشده ولی از تعداد دانه پر کمتری برخوردار بوده‌اند (جدول ۴).

داشت. در مطالعه دیگری نیز ارتباط معنی‌داری بین شاخص برداشت و عملکرد دانه گیاه کلزا مشاهده شده است (Sadaqat et al., 2003).

تلاش بازآوری نیز به‌عنوان یک شاخص فیزیولوژیک، معیاری از کارایی انتقال مواد فتوسنتزی تولیدشده در گیاه به اندام‌زایشی (خورجین‌ها) است (Jabbari et al., 2007). بیشترین میانگین تلاش بازآوری از تیمار آبیاری مطلوب (۷۰/۳ درصد) حاصل شد و قطع آبیاری از مراحل گل‌دهی و خورجین‌دهی به ترتیب سبب کاهش ۲۷ و ۱۵ درصدی تلاش بازآوری گردید که این تغییرات همسو با تغییرات شاخص برداشت تحت تأثیر محدودیت آبیاری بود (جدول ۴). بین تلاش بازآوری و شاخص برداشت همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت (جدول ۵). بر اساس نتایج حاصل می‌توان نتیجه گرفت که تأثیر تیمارهای تنش خشکی بر میزان رشد و وزن خورجین‌ها بیشتر از تأثیر آن بر زیست‌توده گیاهی (وزن خشک کل گیاه) بوده است.

#### ویژگی‌های کیفی دانه

در این بررسی قطع آبیاری از مراحل گل‌دهی و خورجین‌دهی به ترتیب سبب کاهش ۶ و ۳ درصدی روغن دانه و کاهش ۴۶ و ۲۸ عملکرد روغن در مقایسه با تیمار آبیاری مطلوب شد (جدول ۴). در این زمینه گزارش شده است که تنش خشکی در طی گرده‌افشانی و پس‌از آن به واسطه کاهش در اندازه دانه سبب کاهش درصد روغن دانه و علی‌الخصوص عملکرد روغن کلزا می‌شود (Walton et al., 1998). در بررسی زارعی و همکاران (Zarei et al., 2010) تنش خشکی کاهش چشمگیری بر درصد روغن دانه نداشت. نتایج نشان داد که عملکرد روغن در مقایسه با درصد روغن دانه بیشتر، تحت تأثیر کمبود رطوبت خاک قرار گرفته است. به نظر می‌رسد که دلیل این امر ناشی از کنترل بیشتر درصد روغن دانه توسط عوامل ژنتیکی و تأثیرپذیری بالای عملکرد روغن از تغییرات عملکرد دانه نسبت به درصد روغن بوده است. بررسی نتایج همبستگی موجود بین عملکرد روغن با درصد روغن و عملکرد دانه در جدول ۵ نشان می‌دهد که عملکرد روغن با عملکرد دانه (۰/۹۹) همبستگی بسیار بالاتری در مقایسه با درصد روغن دانه (۰/۷۶) دارد که نتایج به‌دست‌آمده در این زمینه را تأیید می‌کند.

(Sinaki et al., 2007; Faraji et al., 2009). نتایج مقایسه میانگین صفات عملکرد و اجزاء عملکرد در جدول ۴ نشان می‌دهد که قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی با کاهش ۳۹ درصدی تعداد خورجین در بوته، ۳۰ درصدی تعداد دانه در خورجین و ۲۱ درصدی وزن هزار دانه در مقایسه با شاهد سبب کاهش بیشتر عملکرد دانه در مقایسه با تیمار قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی شد (جدول ۴). این در حالی است که مقادیر کاهش تعداد خورجین، تعداد دانه در خورجین و وزن هزار دانه در تیمار قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی در مقایسه با شاهد به ترتیب ۵، ۱۹ و ۱۶ درصد بود (جدول ۴). بین عملکرد دانه با اجزاء عملکرد به جز تعداد دانه در خورجین همبستگی مثبت و معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۵). بیشترین همبستگی عملکرد دانه به ترتیب با وزن هزار دانه و تعداد خورجین در بوته بود (جدول ۵). صداقت و همکاران (Sadaqat et al., 2003) نیز بر همبستگی بالای تعداد خورجین و وزن هزار دانه با عملکرد دانه کلزا در شرایط تنش خشکی و بدون تنش تأکید داشته‌اند. همچنین همبستگی بین عملکرد دانه و طول خورجین (۰/۷۹) قابل‌توجه بود (جدول ۵). عملکرد دانه همبستگی مثبت و بالایی با قطر ساقه و ارتفاع بوته داشت (جدول ۵). قطر ساقه از جمله صفاتی است که تحت شرایط تنش خشکی، همبستگی بالایی با عملکرد دانه دارد (Sadras et al., 1993). قبلاً نیز همبستگی مثبت و قوی بین ارتفاع بوته و تعداد شاخه فرعی با عملکرد دانه در کلزا گزارش شده است (Hassan-Zade et al., 2005).

شاخص برداشت معیاری از کارایی انتقال مواد فتوسنتزی تولیدشده در گیاه به دانه‌ها است. در این مطالعه میانگین شاخص برداشت با قطع آبیاری از مراحل گل‌دهی و خورجین‌دهی به ترتیب ۲۷ و ۱۶ درصد در مقایسه با تیمار آبیاری شاهد کاهش نشان داد (جدول ۴). بر اساس نتایج حاصل در جدول ۴، تیمارهای قطع آبیاری از مراحل گل‌دهی و خورجین‌دهی به بعد به علت کاهش عملکرد در اثر تنش خشکی، دارای شاخص برداشت کمتری بوده‌اند. کاهش شاخص برداشت گیاه کلزا به موازات افزایش شدت تنش خشکی در بررسی‌های متعددی به اثبات رسیده است (Sinaki et al., 2007; Faraji et al., 2009; Sangtarash et al., 2009). بر اساس نتایج همبستگی موجود بین صفات در جدول ۵، شاخص برداشت با طول خورجین، عملکرد دانه و وزن هزار دانه همبستگی بالایی



جدول ۴. مقایسه میانگین اثر سطوح آبیاری بر صفات مورفولوژی در رقم RGS003  
 Table 4. Mean comparison of effect irrigation levels on characteristics of *B. napus* cv. RGS003

تیمار	ارتفاع پونه (سانتی متر)	قطر ساقه (میلی متر)	تعداد شاخه فرعی	تعداد خورچین در پونه	تعداد دانه خورچین	طول خورچین (سانتی متر)	وزن هزار دانه (گرم)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	شاخص برداشت (درصد)	تلاش با آوری (درصد)
Treatment	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	Number of secondary branches	Number of silique per plant	Seed number per silique	Silique length (cm)	1000 seed weight (g)	Seed yield (kg.ha <sup>-1</sup> )	Harvest index (%)	Productivity effort (%)
آبیاری کامل (شاهد)	98.6 a	7.13 a	3.3 a	79 a	22.3 a	5.5 a	3.8 a	2577 a	23.6 a	70.3 a
قطع آبیاری از مرحله گل دهی	81.3 b	5.13 b	2.0 b	48 b	16.6 b	3.8 b	3.0 b	1483 c	17.2 c	51.3 b
قطع آبیاری از مرحله خورچین دهی	91.2 a	6.30 a	2.5 ab	75 a	18.0 ab	4.2 b	3.2 b	1907 b	19.9 b	60.0 ab

تیمار	درصد روغن دانه	عملکرد روغن (کیلوگرم در هکتار)	درصد نیتروژن دانه	درصد پروتئین دانه	محتوی نسبی آب برگ (درصد)	کمبود اشباع آب (درصد)	کلروفیل a	کلروفیل b	کاروتنوئید
Treatment	Seed oil percentage	Oil yield (kg.ha <sup>-1</sup> )	Seed nitrogen percentage	Seed protein percentage	Relative water content (%)	Water saturation deficiency (%)	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Carotenoid
آبیاری کامل (شاهد)	39.7 a	1024.4 a	3.72 b	23.29 b	56.9 a	43.1 b	1.175 a	1.360 a	1.343 a
قطع آبیاری از مرحله گل دهی	37.2 b	c 552.3	4.06 a	25.40 a	32.4 b	67.6 a	0.790 b	0.756 b	0.676 c
قطع آبیاری از مرحله خورچین دهی	38.4 ab	732.5 b	3.90 ab	24.42 ab	40.1 b	59.9 a	0.863 ab	1.166 ab	0.916 b

۱. مقایسه میانگین با استفاده از آزمون FLSD در سطح ۵ درصد انجام شده است (P>0.05).  
 ۲. مقایسه میانگین دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی دار آماری در سطح ۵٪ هستند (P>0.05).  
 1. Mean comparison has done by FLSD Test (P=0.05).  
 2. Means in the same column by similar letters do not differ significantly according to the FLSD Test (P>0.05).

جدول ۵. ضرایب همبستگی موجود بین عملکرد، اجزاء عملکرد دانه و صفات مورفوفیزیولوژیک

Parameters	تعداد خورچین در بوته	تعداد خورچین در بوته	تعداد دانه در خورچین	تعداد خورچین	طول خورچین	وزن هزار دانه	Seed yield	شاخص برداشت	محتوی نسبی آب برگ	کمبود اشباع آب	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Carotenoid
مشخصه‌ها	Number of silique per plant	Seed number per silique	1000 seed weight	Silique length	1000 seed weight	Seed yield	Harvest index	Relative water content	Water saturation deficiency	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Carotenoid	
تعداد خورچین در بوته	1	0.52 <sup>ns</sup>	0.69 *	0.64 <sup>ns</sup>	0.77 *	0.76 *	0.68 *	-0.76 *	0.69 *	0.79 *			
تعداد دانه در خورچین	1	0.70 *	-0.67 *	0.54 <sup>ns</sup>	0.65 <sup>ns</sup>	0.80 **	-0.66 <sup>ns</sup>	0.29 <sup>ns</sup>	0.75 *	0.75 *			
طول خورچین	1	0.80 **	0.89 **	0.79 *	0.82 **	0.79 *	-0.96 **	0.53 <sup>ns</sup>	0.90 **	0.93 **			
وزن هزار دانه	1	0.91 **	0.86 **	1	0.86 **	0.71 *	-0.91 **	0.66 <sup>ns</sup>	0.90 **	0.92 **			
عملکرد دانه	1	0.92 **	0.89 **	1	0.89 **	0.78 *	-0.89 **	0.79 *	0.89 **	0.89 **			
شاخص برداشت	1	0.92 **	0.89 **	1	0.92 **	0.85 **	-0.92 **	0.73 *	0.89 **	0.96 **			
محتوی نسبی آب برگ	1	0.92 **	0.89 **	1	0.92 **	0.85 **	-1.00 **	0.73 *	0.96 **	0.96 **			
کمبود اشباع آب	1	0.92 **	0.89 **	1	0.92 **	0.85 **	-1.00 **	0.73 *	0.96 **	0.96 **			
Chlorophyll a	1	0.92 **	0.89 **	1	0.92 **	0.85 **	-1.00 **	0.73 *	0.96 **	0.96 **			
Chlorophyll b	1	0.92 **	0.89 **	1	0.92 **	0.85 **	-1.00 **	0.73 *	0.96 **	0.96 **			
Carotenoid	1	0.92 **	0.89 **	1	0.92 **	0.85 **	-1.00 **	0.73 *	0.96 **	0.96 **			

ns, \* and \*\* are non-significant, and significant at the 0.05 and 0.01 level of probability, respectively. \*\*و\* به ترتیب نشانگر عدم معنی‌داری و معنی‌داری اثر عامل آزمایشی در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشند.

ادامه جدول ۵. ضرایب همبستگی موجود بین عملکرد، اجزاء عملکرد دانه و صفات مورفوفیزیولوژیک

Parameters	ارتفاع بوته	ارتفاع	قطر ساقه	تعداد شاخه فرعی	عملکرد دانه	شاخص برداشت	تلاش بارآوری	درصد روغن دانه	عملکرد روغن	درصد نیتروژن دانه	Seed nitrogen percentage	Seed protein percentage
Plant height	1	0.81 **	0.72 *	0.87 **	0.85 **	0.93 **	0.80 **	0.88 **	-0.80 **	-0.80 **	-0.80 **	
Stem diameter		1	0.57 ns	0.94 **	0.84 **	0.75 *	0.80 **	0.95 **	-0.80 **	-0.80 **	-0.80 **	
Number of secondary branches			1	0.69 *	0.75 *	0.82 **	0.50 ns	0.69 *	-0.51 ns	-0.51 ns	-0.51 ns	
Seed yield				1	0.86 **	0.84 **	0.76 *	0.99 **	-0.76 *	-0.76 *	-0.76 *	
Harvest index					1	0.82 **	0.88 **	0.88 **	-0.88 **	-0.88 **	-0.88 **	
Productivity effort						1	0.67 *	0.84 **	-0.67 *	-0.67 *	-0.67 *	
Seed oil percentage							1	0.80 **	-1.00 **	-1.00 **	-1.00 **	
Oil yield								1	-0.80 **	-0.80 **	-0.80 **	
Seed nitrogen percentage									1	1.00 **	1.00 **	
Seed protein percentage										1	1	

ns, \* and \*\* are non-significant, and significant at the 0.05 and 0.01 level of probability, respectively. ns, \* and \*\* are non-significant, and significant at the 0.05 and 0.01 level of probability, respectively.

مختلف رطوبتی است. با افزایش شدت تنش میزان این صفت افزایش خواهد یافت. در این آزمایش بیشترین میزان کمبود اشباع آب از تیمار قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی (۶۷/۶ درصد) حاصل شد که در مقایسه با تیمار شاهد ۵۷ درصد بیشتر بود. میانگین کمبود اشباع آب در تیمار قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی با افزایش ۳۹ درصدی در مقایسه با تیمار شاهد از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با میانگین کمبود اشباع آب در تیمار قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی نداشت (جدول ۴). نتایج نشان می‌دهد که شدت تنش خشکی در تیمار قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی در مقایسه با تیمار قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی بیشتر بوده است (جدول ۴). در مطالعه نصری و همکاران (Nasri et al., 2006) افزایش معنی‌دار کمبود اشباع آب در شرایط تنش خشکی گزارش شده است که با نتایج این آزمایش همخوانی داشت. در این آزمایش همبستگی منفی و معنی‌داری بین کمبود اشباع آب و محتوی نسبی آب برگ و عملکرد دانه مشاهده شد که همسو با نتایج نصری و همکاران (Nasri et al., 2006) می‌باشد (جدول ۵).

رنگیزه‌های فتوسنتزی نقش مهمی را از نظر جذب نور و تولید توان احیایی (انرژی) در گیاهان ایفا می‌کنند و شامل طیف وسیعی از رنگ‌دانه‌های مختلف می‌باشند که به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم در فتوسنتز نقش داشته و از جمله مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به کلروفیل a، کلروفیل b و کارتنوئیدها اشاره کرد (Jaleel et al., 2009). در این آزمایش تیمار آبیاری مطلوب (شاهد) بیشترین میزان کلروفیل a و b را دارا بود (به ترتیب ۱/۱۷۵ و ۱/۳۶۰ میلی-گرم بر گرم وزن تر) و قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی به-ترتیب سبب کاهش ۳۳ و ۴۴ درصدی این رنگیزه‌ها در مقایسه با تیمار شاهد گردید (جدول ۴). دلیل بالاتر بودن میزان کلروفیل b در مقایسه با کلروفیل a در تیمار آبیاری شاهد می‌تواند به‌واسطه اندازه‌گیری این صفات در اواسط مرحله خورجین‌دهی باشد، زیرا در این مرحله نموی برگ‌ها پیر شده و در حال از دست دادن سبزیگی خود هستند و در این حالت کلروفیل a تجزیه‌شده و غلظت کلروفیل b و کارتنوئیدها بیشتر از کلروفیل a خواهد شد. در ارقام کلزا، تنش رطوبتی سبب کاهش ۳۸ درصدی میزان کلروفیل a و b در مقایسه با شرایط آبیاری مطلوب شده است (Paclik et al., 2006; Qaderi et al., 1996). در بررسی ویژگی‌های فیزیولوژیک کلزا به تنش خشکی مشخص گردید

در مورد درصد پروتئین به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های مهم کیفیت دانه، نتایج متناقضی گزارش گردیده است. گان و همکاران (Gan et al., 2009) عدم تأثیرپذیری میزان پروتئین دانه کلزا از تنش خشکی را گزارش کردند. در حالی که برخی گزارش‌ها افزایش درصد پروتئین تحت شرایط تنش خشکی را اعلام داشتند (Bouchereru et al., 1996; Sinaki et al., 2007). در نتایج به‌دست‌آمده از این آزمایش در هر دو شرایط قطع آبیاری از مراحل گل‌دهی و خورجین‌دهی، دانه‌های خورجین‌دهی در حال رشد توانستند نیتروژن بالایی برای ساخت پروتئین دریافت کنند (Kajdi, 1994) و درصد نیتروژن و پروتئین دانه به میزان ۹ و ۵ درصد بیشتر از شرایط آبیاری مطلوب بود (جدول ۴).

#### صفات فیزیولوژیک

محتوی نسبی آب برگ (RWC) شاخصی است که اغلب برای ارزیابی وضعیت آبی گیاه استفاده می‌شود. در این بررسی در تیمارهای قطع آبیاری (تنش خشکی)، محتوی نسبی آب برگ کاهش قابل‌ملاحظه‌ای نشان داد و از ۵۶/۹ درصد در تیمار آبیاری مطلوب به ۳۲/۴ و ۴۰/۱ درصد در تیمارهای قطع آبیاری از مراحل گل‌دهی و خورجین‌دهی کاهش یافت (جدول ۴). محتوی نسبی آب برگ در مرحله زایشی نسبت به مرحله رویشی کاهش یافته و با ادامه تنش، در طول فصل رشد به‌طور مداوم کاهش می‌یابد (Kumar and Singh, 1998). در آزمایش حاضر نیز به‌واسطه ارزیابی این شاخص فیزیولوژیک در اواسط مرحله خورجین‌دهی، محتوی نسبی آب برگ حتی در شرایط آبیاری مطلوب بالا نبود (جدول ۴). گزارش‌های متعددی در زمینه کاهش محتوی نسبی آب برگ در شرایط تنش خشکی وجود دارد که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد (Daneshmand et al., 2008; Khan et al., 2010; Sheikh et al., 2005; Nasri et al., 2006). نتایج نشان داد که محتوی نسبی آب برگ بیشترین همبستگی را به ترتیب با طول خورجین، شاخص برداشت و عملکرد دانه داشت (جدول ۵). نتایج آزمایش نصری و همکاران (Nasri et al., 2006) نیز ارتباط مثبت و بسیار بالایی را بین محتوی نسبی آب برگ و عملکرد دانه کلزا نشان داد.

کمبود اشباع آب (WSD) نیز نشان‌دهنده میزان رطوبت موردنیاز برای ایجاد حالت اشباع در برگ در شرایط

نتایج کلی این بررسی نشان داد که قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی به بعد اثرات منفی شدیدتری بر ویژگی‌های فیزیولوژیک، مورفولوژیک، عملکرد دانه و صفات وابسته به آن در مقایسه با قطع آبیاری از مرحله خورجین-دهی در گیاه کلزا داشت. در شرایط قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی، محتوی نسبی آب برگ، میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی، قطر ساقه و تعداد شاخه فرعی در اثر تنش خشکی کاهش معنی‌داری پیدا کرد و در نتیجه کاهش تعداد خورجین و تعداد دانه در آن به همراه تولید دانه‌های کوچک‌تر سبب دستیابی به عملکرد دانه و روغن کمتری شد. اما افزایش معنی‌دار کمبود اشباع آب و درصد نیتروژن و پروتئین دانه در شرایط قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی به بعد چشمگیر بود. میزان کاهش در ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در شرایط قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی تا رسیدگی فیزیولوژیک بسیار کمتر از قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی بود و حتی در برخی موارد نیز تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت. در بین اجزاء عملکرد، بیشترین همبستگی عملکرد دانه به ترتیب با وزن هزار دانه و تعداد خورجین در بوته بود. همچنین همبستگی مثبت و قوی بین عملکرد دانه با محتوی نسبی آب برگ، کلروفیل a، کارتنوئیدها، قطر ساقه و شاخص برداشت مشاهده شد.

که کمبود رطوبت خاک در مراحل رشد رویشی، گل‌دهی و خورجین‌دهی سبب کاهش چشمگیر میزان کلروفیل a، b و کارتنوئیدها در ارقام مختلف کلزا در مقایسه با تیمار آبیاری مطلوب شده است (Sangtarash et al., 2011; Din et al., 2008; al., 2009; Daneshmand et al., 2008; al., 2009; al., 2009). کارتنوئیدهای مختلف نظیر لیکوپن، بتاکاروتن و گزانتوفیل‌ها علاوه بر نقش رنگیزه کمکی در فتوسنتز نقش مهمی را به‌عنوان سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدان در گیاه ایفا می‌کنند (Jaleel et al., 2007). لذا کارتنوئیدها در مقایسه با کلروفیل a و b نقش کمکی در پایداری گیاه در برابر شرایط مخرب تنش خشکی دارند. در این آزمایش بیشترین میزان کارتنوئیدها از تیمار آبیاری مطلوب و به میزان ۱/۳۴۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر حاصل شد و قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی و خورجین‌دهی به ترتیب سبب کاهش ۵۰ و ۳۲ درصدی در مقایسه با تیمار شاهد گردید (جدول ۴). کارتنوئیدها به‌عنوان سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی گیاه حساسیت زیادی به تخریب اکسیداتیو دارند و تنش خشکی به سبب تولید گونه‌های فعال اکسیژن در تایلکونوئیدها باعث کاهش غلظت کلروفیل‌ها و کارتنوئیدها در گیاهان می‌گردد (Farooq et al., 2009; Jaleel et al., 2009; Sadaqat et al., 2003; al., 2009). نتایج همبستگی ساده بین صفات در جدول ۵ نشان داد که عملکرد دانه با کارتنوئیدها و کلروفیل a همبستگی بالایی داشت.

#### منابع

- Allakhverdiev, S.I., Sakamoto, A., Nishiyama, Y., Murata, N., 2000. Inactivation of photosystems I and II in response to osmotic stress in *Synechococcus*. Contribution of water channels. *Plant Physiology*. 122, 1201-120.
- Andersen, M.N., Heidman, T., Plauborg, F., 1996. The effects of drought and nitrogen on light interception, growth and yield of winter oilseed rape. *Soil and Plant Science*. 46, 55-67.
- Angadi, S.V., Cutforth, H.W., McConkey, B.G., Gan, Y., 2003. Yield adjustment by canola grown at different plant populations under semiarid conditions. *Crop Science*. 43, 1358-1366.
- Ardell, D.H., Brian, J.W., Alfred, L.B., 2001. Tillage and nitrogen fertilization influence on grain and soil nitrogen in an annual cropping system. *Agronomy Journal*. 93, 836-841.
- Bitarafan, Z., Shirani Rad, A.H., 2012. Water stress effect on spring rapeseed cultivars yield and yield components in winter planting. *International Journal of Physical Sciences*. 7(19), 2755-2767.
- Boucheru, A., Clossais-Besnard, N., Bansaoud, A., Leport, L., Renard, M., 1996. Water stress effects on rapeseed quality. *European Journal of Agronomy*. 5(1-2), 19-30.
- Champolivier, L., Merrien, A., 1996. Effects of water stress applied at different growth stages to *Brassica napus* L. var. *oleifera* on

- yield, yield components and seed quality. *European Journal of Agronomy*. 5, 153-160.
- Daneshmand, A.R., Shirani Rad, A.H., Ardakani, M.R., Poorfazel, S., 2008. Physiological evaluation of spring rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes tolerance to water deficit stress. *Journal of Agricultural Science*. 13(1), 249-262. [In Persian with English Summary].
- Din, J., Khan, S.U., Ali, I., Gurmani, A.R., 2011. Physiological and agronomic response of canola varieties to drought stress. *Journal of Animal and Plant Sciences*. 21(1), 78-82.
- FAOSTAT, 2011. *Brassica napus*. Retrieved April 5, 2012, from <http://www.faostat.fao.org>.
- Faraji, A., Latifi, N., Soltani, A., Shirani Rad, A.H., 2009. Seed yield and water use efficiency of canola (*Brassica napus* L.) as affected by high temperature stress and supplemental irrigation. *Agricultural Water Management*. 96, 132-140.
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., Basra, S.M.A., 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*. 29, 185-212.
- Gan, Y., Campbell, C.A., Liu, L., Basnyat, P., McDonald, C.L., 2009. Water use and distribution profile under pulse and oilseed crops in semiarid northern high latitude areas. *Agricultural Water Management*. 96, 337-348.
- Hassan-Zade, M., Naderi Darbaghshahi, M.R., Shirani Rad, A.H., 2005. Evaluation of drought stress effects on yield and yield components of autumn rapeseed varieties in Isfahan region. *Iranian Journal of Research in Agriculture*. 2, 51-62. [In Persian with English Summary].
- Jabbari, H., Akbari, G.H.A., Daneshian, J., Alahdadi, I., Shahbazian, N., 2007. Effect of water deficit stress on agronomic characteristics of sunflower hybrids. *Journal of Agriculture*. 9, 13-22. [In Persian with English Summary].
- Jaleel, C.A., Manivannan, P., Kishorekumar, A., Sankar, B., Gopi, R., Somasundaram, R., Panneerselvam, R., 2007. Alterations in osmoregulation, antioxidant enzymes and indole alkaloid levels in *Catharanthus roseus* exposed to water deficit. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 59, 150-157.
- Jaleel, C.A., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Al-Juburi, H.J., Somasundaram, R., Panneerselvam, R., 2009. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. *International Journal of Agriculture and Biology*. 11, 100-105.
- Kajdi, F., 1994. Effect of irrigation on the protein and oil content of seed varieties. *Acta Agronomica*. 36(12), 44-50.
- Khan, M.A., Ashraf, M.Y., Mujtaba, S.M., Shirazi, M.U., Khan, M.A., Shereen, A., Mumtaz, S., Siddiqui, M.A., Kaler, G.M., 2010. Evaluation of high yielding canola type *brassica* Genotypes/ mutants for drought tolerance using Physiological indices as screening tool. *Pakistan Journal of Botany*. 42(6), 3807-3816.
- Kumar, A., Singh, D.P., 1998. Use of physiological indices as a screening technique for drought tolerance in oilseed *Brassica* species. *Annals of Botany*. 81, 413-420.
- Ma, Q., Bhuboudian, M.H., Turner, N.C., Palta, J.A., 2001. Gas exchange by pods and subtending leaves and internal recycling of CO<sub>2</sub> by pods of chickpea (*Cicer arietinum* L.) subjected to water deficits. *Journal of Experimental Botany*. 52, 123-131.
- Ma, Q., Niknam, S.R., Turner, D.W., 2006. Response of osmotic adjustment and *B. juncea* to soil water deficit at different growth stages. *Australian Journal of Agricultural Research*. 57(2), 221-226.
- Moradshahi, A., Salehi Eskandari, B., Kholdebarin, B., 2004. Some physiological responses of canola (*Brassica napus* L.) to water deficit stress under laboratory conditions. *Iranian Journal of Science and Technology*. 28, 43-50.
- Morsy, M.R., Jouve, L., Hausman, J.F.O., Hoffmann, L., Stewart, M.C., 2007. Alteration of oxidative and carbohydrate metabolism under abiotic stress in two rice (*Oryza sativa* L.) genotypes contrasting in chilling tolerance. *Journal of Plant Physiology*. 164, 157-167.
- Nasri, M., Heidari Sharif Abad, H., Shirani Rad, A.H., Majidi Hervean, E., Zamanizadeh, H.R., 2006. Performance of the effect water stress on physiological characters of rapeseed cultivars. *Journal of Agricultural Science*. 12, 127-134. [In Persian with English Summary].

- Nasri, M., Khalatbari, M., Zahedi, H., Paknejad, F., Tohidi Moghadam, H.R., 2008. Evaluation of micro and macro elements in drought stress condition in cultivars of rapeseed (*Brassica napus* L.). American Journal of Agricultural and Biological Sciences. 3 (3), 579-583.
- Naumburg, E., Loik, M.E., Smith, S.D., 2004. Photosynthetic responses of *Larrea tridentata* to seasonal temperature extremes under elevated CO<sub>2</sub>. New Phytologist. 162, 323-330.
- Omae, H., Kumar, A., Kashiviba, K., Shono, M., 2007. Assessing drought tolerance of Snap bean (*Phaseolus vulgaris*) from genotypic differences in leaf water relations, shoot growth and photosynthetic parameters. Plant Production Science. 10(1), 28-35.
- Paclik, R., Sakova, L., Curn, V., 1996. Reaction of different cultivars of *Brassica napus* subsp. *oleifera* to water stress. Fytotechnicka-Rada. 1, 55-62.
- Qaderi, M.M., Kurepin, L.V., Reid, D.M., 2006. Growth and physiological responses of canola (*Brassica napus*) to three components of global climate change: temperature, carbon dioxide and drought. Physiologia Plantarum. 128, 710-721.
- Sadaqat, H.A., Tahir, M.H.N., Hussain, M.T., 2003. Physiogenetic Aspects of Drought Tolerance in Canola (*Brassica napus*). International Journal of Agriculture and Biology. 5 (4), 611-614.
- Sadras, V.O., Connor, D.J., Whitfield, D.M., 1993. Yield, yield components and source-sink relationships in water-stressed sunflower. Field Crops Research. 31, 27-39.
- Sangtarash, M.H., Qaderi, M.M., Chinnappa, C.C., Reid, D.M., 2009. Differential sensitivity of canola (*Brassica napus*) seedlings to ultraviolet-B radiation, water stress and abscisic acid. Environ. Journal of Experimental Botany. 66, 212-219.
- Sinaki, J.M., Majidi Heravan, E., Shirani Rad, A.H., Noormohamadi, G., Zarei, G., 2007. The effects of water deficit during growth stages of canola (*B. napus* L.). American-Eurasian. American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences. 2(4), 417-422.
- Sirin Vasa, A., Morgan, D.G., 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.
- Shabani, A., Kamkar Haghighi, A.A., Sepaskhah, A.R., Emam, Y., Honar, T., 2010. Effect of water stress on grain yield, yield components and quality of rapeseed (*Brassica napus* L.) cv. Licord. Iranian Journal of Crop Science. 12 (4), 409-421. [In Persian with English Summary].
- Sheykh, F., Turchi, M., Valizadeh, M., Shakiba, M.R., Pasban Eslam, B., 2005. Drought resistance evaluation in spring rapeseed cultivars. Journal of Agricultural Science. 15(1), 163-174. [In Persian with English Summary].
- Sylvester-Bradley, R., Makepeac, R.J., 1984. A code for stages of development in oilseed rape (*Brassica napus* L.). Aspects of Applied Biology. 6, 398-419.
- Tambussi, E.A., Bartoli, C.G., Bettran, J., Guiamet, J.J., Araus, J.C., 2000. Oxidative damage to thylakoids proteins in water stressed leaves of wheat (*Triticum aestivum* L.) Physiologia Plantarum. 108, 398-404.
- Tohidi-Moghaddam, H.R., Zahedi, H., Ghooshchi, F., 2011. Oil quality of canola cultivars in response to water stress and super absorbent polymer application. Pesquisa Agropecuária Tropical (Agricultural Research in the Tropics). 41(4), 579-586.
- Walton, G.H., 1998. Variety and environmental impact on canola quality. Department of Agriculture, Western Australia News Letter. 11, 3-4.
- Zakirullah, Z., Swati, Z.A., Ahamd, A., Raziuddin, R., 2000. Morpho-physiological response of selected *brassica* line to moisture stress. Pakistan Journal of Biological Science. 3 (1), 130-132.
- Zarei, G., Shamsi, H., Dehghani, S.M., 2010. The effect of drought stress on yield, yield components and seed oil content of three autumnal rapeseed cultivars (*Brassica napus* L.). Journal of Research in Agricultural Science. 6, 29-37.

