ارزیابی ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی چهار رقم کلزا (*Brassica napus* L) زمستانه در شرایط قطع آبیاری و تأخیر کاشت

پیمان دوامی[۱]، مجتبی علوی فاضل*[۲]، شهرام لک[۳]، داوود حبیبی[۴] و افشین مظفری[۵]

۱- گروه مهندسی زراعت و اصلاح نباتات، پردیس علوم وتحقیقات خوزستان، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۲- دانشیار گروه مهندسی زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۳- استاد گروه مهندسی زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۴-دانشیارگروه مهندسی زراعت، واحدکرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران

۵-استادیارگروه مهندسی زراعت، واحد ایلام، دانشگاه آزاد اسلامی، ایلام، ایران

* ایمیل نویسنده مسئول: mojtaba_alavifazel@yahoo.com

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۵/۲۶- تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۶/۳۰)

چکیده

به منظور ارزیابی ویژگی های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ارقام کلزا در شرایط قطع آبیاری‌و تاخیرتاریخ‌کاشت،آزمایشی در دو سال زراعی به صورت اسپیلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در منطقه کرج اجرا گردید. در این پژوهش آبیاری به عنوان عامل اصلی در دوسطح شامل آبیاری معمول(۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A) و قطع آبیاری از مرحله خورجین دهی و تاریخ کاشت در دو سطح شامل پنجم مهرماه و پنجم آبان ماه و چهار رقم کلزا زمستانه شامل تاسیلو (Tassilo)، الویس (Elvise)، نپتون (Neptune) و اوکاپی (Okapi) به صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. براساس نتایج بدست آمده، بیشترین میزان کلروفیل در هر دو تاریخ کاشت (پنجم مهرماه و پنجم آبان ماه) به ترتیب با مقادیر ۱/۵۹ و ۱/۸۸ میلی‌گرم برگرم وزن تر برگ و تحت شرایط آبیاری معمول به رقم الویس اختصاص یافت. قطع آبیاری موجب کاهش محتوای نسبی آب برگ و افزایش میزان پرولین برگ، محتوی پروتئین محلول‌و میزان کربوهیدرات محلول شد. ارقام الویس و نپتون در شرایط آبیاری معمول به ترتیب با ۳۳۴۶ و۳۲۲۰ کیلوگرم در هکتار و در شرایط قطع آبیاری به ترتیب با میانگین ۳۲۱۱ و ۳۰۸۱ کیلوگرم در هکتار، بیشترین عملکرد دانه را داشتند. بر اساس شاخص تحمل به تنش (STI) رقم الویس به عنوان متحمل‌ترین رقم در شرایط تنش کم آبی در مرحله خورجین دهی به بعد شناخته شد.

واژه‌های کلیدی: **پرولین، عملکرد دانه، قطع آبیاری، کلروفیل، کلزا**

مقدمه

کلزا با نـام علمـی *Brassica napus L.* یکـی از مهـم ترین گونه های زراعی از جنس کلمیـان ومتعلـق بـه خانواده چلیپائیان است.تنش خشکی از جملـه تـنش های غیر زنده محیطی است که به عنوان مهـم تـرین عامل محدود کننده رشد و تولید گیاهـان زراعـی در اکثر نقاط جهان و ایران شناخته شده است (Mariani ,.2017 & Ferrante). نتـایج بررسـی اثـرات مخـرب تنش‌های غیر زیستی بـر کلـزا نشـان دهنـده کـاهش

کارایی فتوسنتز، کاهش هدایت روزنه‌ای، نقصان در کارایی کربوکسیلاسیون، تضعیف نرخ انتقال الکترون در سیستم‌های نوری و کاهش عملکرد دانه تا ۸۵/۳ درصد و آسیب به ترکیب روغن دانه (به ویژه تحت تنش گرمایی) بوده است (Soolanayakanahally & Elferjani, 2018). این شرایط نامطلوب از طریق افزایش تشکیل گونه‌های اکسیژن فعال مانند پراکسید هیدروژن، سوپراکسید و هیدروکسیل باعث افزایش نشت الکترون به اکسیژن مولکولی می‌شود.اما تولید بیش از حد اکسیژن فعال می‌تواند باعث تنش اکسیداتیو شود که به رنگدانه‌های فتوسنتزی، لیپید غشا، پروتئین‌ها واسیدهای نوکلئیک و متابولیسم های طبیعی خسارت وارد می‌کند Salehi Shanjani *et al.*, (2015). پرولین نقش جاروب کردن رادیکال های آزاد اکسیژن که به غشاء سلولی آسیب می زنند را به عهده دارد(Anjum *et al.*, 2015). انباشت قندهای محلول در شرایط تنش علاوه بر نقش های فیزیولوژیکی نظیر تامین انرژی وجلوگیری از مرگ گیاه باعث کاهش پتانسیل اسمزی شده و ازطریق تنظیم اسمزی موجب بالاتر نگاه داشتن میزان آب نسبی شده و به این ترتیب در سازوکار تحمل به خشکی نقش مهمی دارند(Sperdouli *et al.*, 2012).

میزان تغییر در کربوهیدرات ها به عنوان تنظیم کننده های اسمزی، یکی از شاخص های مهم در متابولیسم گیاه تحت تنش های کم آبی است. علت افزایش پروتئین در تنش خشکی نشان از بروز افزایش برخی ژن های وابسته به متابولیسم اولیه، تنظیم اسمزی، تغییر ساختمان وتجزیه پروتئین می باشد (Jiang & Zhang, 2002). گزارش های (kusravan, 2011) نشان داد که ارقام حساس به خشکی در کلزا، دارای هدایت روزنه ای کمتری نسبت به ارقام متحمل تربودند. تنش خشکی، افزایش دمای کانوپی را به همراه خواهد داشت که از طریق تأثیر بر مقاومت روزنه ای و ورود CO_2 به داخل برگ، بر مقدار فتوسنتز اثر می گذارد(Jensen *et al.*,1996). با بررسی (Fischer & Maurer, 1978) تأثیر عملکرد بالقوه بر روی عملکرد در شرایط تنش خشکی در گندم، شاخص حساسیت نسبی را ارائه نمودند.هر چه مقدار شاخص حساسیت به تنش برای یک ژنوتیپ در شرایط رطوبتی مناسب و شرایط رطوبتی محدود (تنش کم آبی)کمتر باشد، آن ژنوتیپ مقاومت بیشتری دارد. (Behmaram *et al.*, 2006) در یک مطالعه با بررسی مقاومت به خشکی کلزای بهاره مشخص کردند که شاخص تحمل تنش (STI) در مقایسه با شاخص حساسیت به تنش (SSI) معیار مناسب تری جهت ارزیابی مقاومت به خشکی است. ترکیب مناسبی از ژنوتیپ و تاریخ کاشت در گیاهان زراعی یکی از مهم ترین عوامل موثر برای رسیدن به عملکرد بالا و اقتصادی است.در تاریخ کاشت مناسب، مراحل رویشی و زایشی گیاه با شرایط مطلوب محیطی منطبق شده و بازدهی فتوسنتز، انتقال و ذخیره مواد فتوسنتزی در دانه ها و در نهایت عملکرد گیاه افزایش پیدا می کند(Safari *et al.*, 2010). (Neupane *et al.*, 2019) گزارش داد که از مرحله گلدهی به بعد، قطع آبیاری منجر به کاهش سطح محتوای نسبی آب برگ‌در گیاه دانه روغنی کاملینا (*camelina sativa L.*) شد، اما میزان این کاهش برای ارقام مختلف متفاوت بود. با تأخیر در تاریخ‌کاشت زمان گرده افشانی‌کلزا جلو می‌افتد و

سبب تسریع رشد رویشی و زایشی شده و نهایتاً باعث کوتاه شدن فاز زایشی و کاهش درصد عملکر دانه و روغن می شود (Rezayian *et al*., 2018).

به طور کلی تاثیر خشکی به عواملی مانند کارایی ژنوتیپ ها، شدت و طول مدت تنش، شرایط آب و هوایی، رشد و مرحله نموی کلزا بستگی دارد (Robertson & Holland, 2004) تأخیر در تاریخ کاشت مناسب کلزا باعث شد دوره رسیدگی گیاه با دمای بالای محیط برخورد کند و در نتیجه با افزایش در میزان تنفس خورجین ها، مواد فتوسنتزی کاهش می یابد و در نتیجه وزن دانه‌ها به طور معنی داری افت می‌کند که در نهایت با کاهش چشم‌گیر عملکرد بوته همراه خواهد بود (Gan *et al*., 2004). روی این اصل با الهام از یافته های فوق، هدف از انجام این پژوهش، ارزیابی ارقام کلزا در شرایط قطع آبیاری در مرحله انتهایی رشد زایشی(خورجین دهی تا رسیدن کامل) و تأخیر تاریخ کاشت به منظور گزینش ارقام برتر برای توصیه در کشت پاییزه کلزا بود.

مواد و روش ها

این پژوهش طی مدت دو سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵در مزرعه مهندسی زراعی آب و خاک پارس واقع در کرج با طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۷ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۶ دقیقه شمالی، با ارتفاع ۱۳۲۱ متر از سطح دریا به صورت آزمایش اسپیلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. میانگین بارندگی سالیانه منطقه، ۲۴۳ میلی متر و بارندگی به طور عمده در اواخر پاییز و اوایل بهار اتفاق می افتد. زمین انتخابی آزمایش در سال قبل تحت کشت گندم بود. قبل از انجام آزمایش، از خاک مزرعه در دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی متری برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، نمونه برداری گردید. نتایج حاصل از تجزیه خاک مزرعه در جدول ۱ درج گردیده است.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

عمق نمونه برداری (سانتی متر)	۰-۳۰	۳۰-۶۰
هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	۲/۲	۱/۷
اسیدیته خاک	۷/۷	۷/۸
درصد اشباع	۳۶	۳۹/۵
درصد کربن آلی	۰/۵۳	۰/۴۲
فسفر قابل جذب (پی پی ام)	۹/۷	۴/۵۲
پتاسیم قابل جذب (پی پی ام)	۱۶۸	۱۷۵
درصد نیتروژن کل	۰/۰۹	۰/۰۷
درصد رس	۲۹	۲۷
درصد سیلت	۴۵	۴۶
درصد شن	۲۶	۲۷
بافت خاک	لوم	لوم رسی

تیمار ها شامل آبیاری معمول و قطع آبیاری از مرحله خورجین دهی به بعد در کرت های اصلی و تاریخ کاشت در دو سطح شامل تاریخ کاشت پنجم مهرماه و پنجم آبان ماه و چهار رقم کلزا دارای تیپ رشد زمستانه شامل تاسیلو با مبدا کشور آلمان و الویس، نپتون و اوکاپی با مبداء کشور فرانسه به صورت فاکتوریل در کرت های فرعی قرار گرفتند. مشخصات ارقام مورد آزمایش در جدول۲ درج گردیده است

جدول ۲- مشخصات ارقام مورد آزمایش

ارقام	مبدأ	نوع رقم	مناطق کشت	تیپ رشد	میزان روغن (درصد)	کیفیت روغن
تاسیلو	آلمان	هیبرید	معتدل سرد و سرد	زمستانه	۴۵	دوصفر
الویس	فرانسه	هیبرید	معتدل سرد و سرد	زمستانه	۴۴	دوصفر
نپتون	فرانسه	هیبرید	معتدل سرد و سرد	زمستانه	۴۶	دوصفر
اوکاپی	فرانسه	op	معتدل سرد و سرد	زمستانه	۴۳	دوصفر

دور آبیاری بر اساس ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A صورت گرفت به طوری که در هر بار آبیاری،۸۰ درصد آب تبخیر شده یعنی برابر با ۶۴ میلی‌متر یا ۶۴۰ متر مکعب در هکتار توسط کنتور حجمی اندازه گیری و وارد کرت ها شد. آبیاری برای اعمال تیمار قطع آبیاری از مرحله خورجین دهی تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی به طور کامل قطع گردید. به عبارت دیگر تا قبل از این مرحله آبیاری برای تیمارهای قطع آبیاری، کاملا مشابه تیمار آبیاری معمول بود.برای تیمار آبیاری معمول در هشت مرحله و برای تیمار قطع آبیاری در شش مرحله (دو نوبت کمتراز شرایط آبیاری معمول) صورت گرفت.در کل، میزان آب مصرفی برای تیمارآبیاری معمول ۵۱۲۰ متر مکعب در هکتار و برای تیمار قطع آبیاری حدود ۳۸۴۰ متر مکعب در هکتار بود. مقادیر کود مورد نیاز براساس نتایج آنالیز خاک و توصیه کودی اعمال شد. کودهای فسفر و پتاسیم (قبل از تهیه بستر) و کود اوره به میزان ۲۰۰ کیلوگرم طی سه مرحله (۱۰۰ کیلوگرم به صورت پایه، ۵۰ کیلوگرم در مرحله ساقه دهی و ۵۰ کیلوگرم در مرحله گل دهی) به خاک اضافه شد. فاصله بین بلوک ها ۵ متر و فاصله بین کرت های اصلی، دو متر در نظر گرفته شد.هر کرت آزمایشی شامل شش خط کشت پنج متری با فاصله خطوط ۳۰ سانتی متر و فاصله بوته ها روی خطوط کاشت پنج سانتی متر بود که دوخط کناری به عنوان حاشیه منظور شد.کاشت در هر دو سال در تاریخ کاشت های پنجم مهرماه و پنجم آبان ماه انجام گرفت و کلیه عملیات های مربوط به داشت به جز آبیاری به صورت یکسان در کلیه کرت های آزمایشی انجام شد. از علف کش بوتیزان استار(۴۱/۶ درصد سوسپانسیون) بعد از کاشت و قبل از سبز شدن به میزان ۲/۵ لیتر در هکتار برای کنترل طیف وسیعی ازعلف های هرز نازک برگ و پهن برگ به ویژه علف های هرز هم خانواده

کلزا استفاده شد. به منظور افزایش قدرت رشد رویشی اولیه و حفظ یکنواختی در توسعه برگ های گیاه کلزا و غلبه بر سایه اندازی علف های هرز و دست یابی به تراکم بوته مورد نظر (۴۵ بوته در متر مربع) در مرحله ۴ تا ۶ برگی نسبت به تنک مزرعه اقدام شد.

اندازه گیری رنگیزه های فتوسنتزی

اندازه گیری کلروفیلa، کلروفیلb و کلروفیل کل (a + b) از روش Arnon (۱۹۶۷) و در مرحله خورجین دهی و پانزده روز پس از اعمال تنش پانزده روز پس از اعمال قطع آبیاری صورت گرفت، ۱۰۰ میلی گرم از بافت تر برگ های جوان و توسعه یافته بالای پوشش گیاهی بلافاصله توسط نیتروژن مایع فریز و به آزمایشگاه مرکز تحقیقات نهاده های کشاورزی کرج منتقل شد. با استفاده از اعداد به دست آمده دردستگاه اسپکتروفتومتر مقدار کلروفیل برحسب میلیگرم بر گرم وزن تازه ($mg\ g^{-1}FW$) و با استفاده از روابط ۱ تا ۳ محاسبه گردید. در این روابط، V حجم محلول صاف شده، W وزن تر نمونه استفاده شده برحسب گرم و A جذب نور در طول موج های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر است.

(رابطه ۱)

$$Chl\ a\ (mg\ g^{-1}FW) = (19.3 \times A_{663} - 0.86 \times A_{645}) \times V/\ 1000w$$

(رابطه ۲)

$$Chl\ b\ (mg\ g^{-1}FW) = (19.3 \times A_{645} - 3.6 \times A_{663}) \times V\ /\ 1000w$$

(رابطه۳)

$$Chl\ total\ (mg\ g^{-1}FW) = Chla + Chl$$

سنجش محتوای نسبی آب برگ

محتوای نسبی آب برگ از روش (Ritchie *et al.*, 2019) اندازه گیری شد. بدین منظور ۱۵روز بعد از اعمال تنش در مرحله خورجین دهی در ساعت هفت صبح سه برگ جوان و توسعه یافته از بالای پوشش گیاهی از سه ردیف میانی هر کرت برداشت و به آزمایشگاه منتقل شدند. بلافاصله وزن تر (FW)، وزن اشباع (SW) و وزن خشک آنها (DW) توزین و با استفاده از رابط۴ میزان محتوای نسبی آب برگ برحسب درصد بدست آمد.

(رابطه ۴)

$$RWC\ (\%) = (FW- DW/\ SW-DW) \times 100$$

استخراج پرولین برگ

مقدار پرولین برگ ها از طریق روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) اندازه گیری شد. در مرحله خورجین دهی وپانزده روز پس از اعمال قطع آبیاری، مقدار ۰/۵ گرم از ماده تر گیاهی (برگ) وزن شد و پس از انجام مراحل مختلف و عصاره گیری، مقدار پرولین در طول موج ۵۲۰ نانومتر در دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه گیری و بر حسب میلیگرم بر گرم وزن تر ($mg\ g^{-1}\ FW$) قرائت شد.

اندازه گیری محتوای پروتئین کل

برای سنجش محتوای پروتئین از روش برادفورد (۱۹۷۶) استفاده گردید. برای این منظور ۰/۱ گرم از بافت ریشه و برگ ها در ۱۰ میلی لیتر بافر فسفات ۵۰ میلی مولار ساییده و عصاره حاصل به مدت ۱۵ دقیقه در ۱۴۰۰۰ دور سانتریفیوژ گردید. مقدار ۱ میلی لیتر بافر برادفورد (۱۰ درصد معرف رنگی کوماسی بیرلیانت بلو G-250 با ۵ میلی لیتر اتانول ۹۵ درصد v/v) با ۰/۱ میلی لیتر عصاره پروتئینی مخلوط گردید. پس از ۵ دقیقه جذب نمونه توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۹۵ نانومتر خوانده شد. محتوای پروتئین کل با واحد میلیگرم بر گرم وزن تر ($mg.\ g^{-1}\ FW$) بیان گردید.

اندازه گیری میزان کربوهیدرات محلول

برای اندازه‌گیری میزان کربوهیدرات محلول از روش شلیگل(۱۹۸۶) استفاده گردید. از نمونه برگی تهیه شده از بخش های هوایی گیاهان در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک و آسیاب شدند. ۰/۱ گرم از نمونه آسیاب شده توزین و درون لوله آزمایش حاوی ۱۵ میلی لیتر اتانول ۸۰ درصد اضافه و توسط کاغذ واتمن صاف گردید .۴۵ دقیقه پس از آماده سازی محلول ها و تثبیت رنگ محلول ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر(با استفاده از نورعبوری) در طول موج ۴۸۵ نانومتر قرائت و محتوای کربوهیدرات با استفاده از محلول های استاندارد گلوکز و بر حسب میلیگرم بر گرم وزن خشک ($mg.\ g^{-1}\ DW$) محاسبه گردید.

اندازه‌گیری شاخص‌های مقاومت به تنش خشکی

شاخص حساسیت به تنش (SSI)

معیاری برای تعیین مقاومت یا تحمل به تنش است که بتواند ژنوتیپ ها را تشخیص دهد. شدت تنش (SI) و شاخص تحمل به تنش (STI)، به منظور شناسایی ژنوتیپ های با عملکرد بالا تحت هر دو شرایط تنش و غیر تنش را مورد ارزیابی قرار می‌دهد و مقادیر بالاتر شاخص STI نماینگر تحمل به تنش بالاتر و عملکرد بالقوه بیشتر آن ژنوتیپ می باشد. با استفاده از عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش رطوبتی (Ys) و عملکرد ژنوتیپ ها در شرایط بدون تنش (Yp) شاخص های کمی به تنش کم آبی(حساسیت) از روابط ۵ و۶ ارائه شده توسط فیشر و مائور (۱۹۷۸) و شاخص تحمل از رابطه ۷ فرناندز(۱۹۹۲) محاسبه شدند.

$$SSI = \left(1 - \cdot\left[Ys \div Yp\right]\right) / SI) \qquad \text{(رابطه ۵)}$$

$$SI \cdot = \cdot 1 - \cdot(\overline{Y}s \cdot \div \cdot \overline{Y}p) \qquad \text{(رابطه ۶)}$$

$$STI \cdot = \cdot(Yp \cdot \times \cdot Ys) / \cdot (\overline{Y}p)^2 \qquad \text{(رابطه۷)}$$

عملکرد دانه و وزن هزاردانه

پس از رسیدگی فیزیولوژیکی برای تعیین میزان عملکرد دانه از مساحت نه متر مربع ازهر کرت آزمایشی به طور جداگانه کف بر شده و جهت خشک شدن نهایی و رسیدن به رطوبت ۱۲ درصد،به مدت یک هفته در هوای آزاد نگهداری و پس از جداسازی دانه ها از خورجین، وزن دانه ها با ترازوی دقیق توزین و عملکرد دانه ها بر حسب کیلو گرم در هکتار محاسبه شد. برای تعیین وزن هزار دانه، مقداری از بذور هر کرت آزمایشی به طور تصادفی انتخاب و با دستگاه بذر شمار تعداد هزار دانه شمارش و پس از میانگین گیری طی سه مرحله با ترازوی دقیق آزمایشگاهی بر حسب گرم توزین شد.

تجزیه آماری

پس از انجام آزمون بارتلت جهت همگن بودن واریانس ها، تجزیه واریانس مرکب داده ها با استفاده از نرم افزار های SAS وMSTAT-C انجام گرفت. مقایسه میانگین ها نیز با استفاده ازآزمون LSD درسطح احتمال پنج درصد برآوردگردید. همبستگی بین صفات از روش پیرسون و تجزیه خوشه‌ای (دندروگرام) صفات مورد مطالعه ارقام کلزا تعیین گردید.

نتایج و بحث

کلروفیلa، کلروفیلb وکلروفیل کل

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثر آبیاری، تاریخ کاشت، رقم و برهم کنش تاریخ کاشت × رقم بر میزان کلروفیلa در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول۳). بررسی مقایسه میانگین برهم کنش

تاریخ کاشت × رقم نشان داد که تفاوت معنی داری بین ارقام مورد مطالعه در هر یک از تاریخ های تعیین شده (پنجم مهرماه و پنجم آبان ماه) مشاهده نگردید به طوری که بیشترین میزان کلروفیلa از رقم الویس (۱/۴۵ میلیگرم بر گرم وزن تر) در تاریخ کاشت پنجم مهرماه به دست آمد. اثر آبیاری، رقم، برهم کنش تاریخ کاشت × رقم و آبیاری × تاریخ کاشت × رقم بر میزان کلروفیلb در سطح احتمال یک درصد معنی داری بود (جدول۳). نتایج بدست آمده از برهم کنش آبیاری × تاریخ کاشت × رقم بر میزان کلروفیلb نشان داد رقم نپتون بیشترین مقدار کلروفیلb را در هر دو تاریخ کاشت (پنجم مهرماه و پنجم آبان ماه) به ترتیب با مقادیر ۰/۳۴ و ۰/۳۱ میلیگرم بر گرم وزن تر و تحت شرایط آبیاری معمول و قطع آبیاری به خود اختصاص داد(جدول ۴). از دلایل کاهش مقدار کلروفیل در شرایط تنش خشکی می توان به بازدارندگی بیوسنتز کلروفیل اشاره کرد (Chegeni *et al.*, 2016). نتایج این تحقیق با گزارش‌های (Din *et al.*, 2016) که تفاوت معنی‌داری را بین ارقام کلزا در ارتباط با محتوای کلروفیل a و b گزارش کردند مطابقت داشت. نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد میزان کلروفیل کل تحت تاثیر اثر آبیاری، تاریخ کاشت، رقم و بر هم کنش آبیاری × رقم، تاریخ کاشت × رقم و آبیاری × تاریخ کاشت × رقم در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت و اثر سال تنها درسطح پنج درصد معنی دار شد (جدول۳). با بررسی نتایج اثر متقابل ترکیبی آبیاری × تاریخ کاشت × رقم بر میزان کلروفیل کل، رقم الویس بیشترین کلروفیل کل را در هر دو تاریخ کاشت (پنجم مهرماه و پنجم آبان ماه) به ترتیب با مقادیر ۱/۵۹ و ۱/۸۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر و تحت شرایط آبیاری معمول و رقم تاسیلو در شرایط قطع آبیاری و تاریخ کاشت زودتر کمترین میزان کلروفیل کل را به مقدار ۰/۷۷ میلی گرم بر گرم وزن تر را به خود اختصاص داد (جدول۴). کاهش کلروفیل در گیاهان جنبه سازگاری داشته با این کار الکترون های بر انگیخته شده طی فرآیند فتوسنتز، کاهش و در نتیجه خسارت ناشی از تشکیل رادیکال های آزاد اکسیژن کمتر می شود (Kranner *et al.*, 2002). تداوم فرآیند فتوسنتز و حفظ ظرفیت کلروفیل برگ ها در شرایط تنش خشکی از جمله شاخص های فیزیولوژیک مقاومت به تنش بشمار می رود و به عنوان معیاری برای انتخاب ژنوتیپ های مقاوم پیشنهاد می شود (Pessarkli, 1999). به طور کلی مطالعه روند فتوسنتز و فلورسانس کلروفیل در کنار وضعیت آبی و پایداری غشاء در شرایط تنش خشکی در گیاه می تواند دیدگاه های فیزیولوژیک مناسبی را برای محققان در توجیه رفتار این گیاه در مواجهه با تنش خشکی فراهم سازد (Su *et al.*, 2015).

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب صفات مورد مطالعه ارقام کلزا در سطوح مختلف آبیاری و تاریخ کاشت طی دو سال زراعی

منابع تغییرات	درجات آزادی	میانگین مربعات										
		میزان کلروفیل a	میزان کلروفیل b	میزان کلروفیل کل	محتوای نسبی آب	میزان پرولین	پروتئین محلول	کربوهیدرات محلول	حساسیت خشکی	تحمل خشکی	وزن هزار دانه	عملکرد دانه
سال	۱	۰/۰۱ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۲ *	۳/۸۴ ns	۰/۰۲ns	۰/۱۶ns	۰/۵۸ **	۰/۰۰۰۰۲ ns	۰/۰۰۰۰۸ ns	۰/۰۰۳ns	۴۴۶۹۰۱/۰۴ns
تکرار(سال)	۴	۰/۰۳	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳	۰/۰۷	۰/۳	۰/۲۹	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۶	۰/۰۰۵	۷۲۹/۱۷
آبیاری	۱	۰/۷۶ **	۰/۰۳ **	۱/۰۶ **	۹۴۴۸/۶ **	/۶۹	۳۳/۲۵ **	۱۷/۹۷ **	۰/۲۹ **	۰/۴۲ **	۲/۵۹ **	۳۵۶۱۲۵۱/۰۴ **
سال × آبیاری	۱	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۰۰۰۰۹ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۲ ns	۰/۰۰۲ ns	۰/۴۴ **	۰/۰۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۰۰۱ ns	۰/۰۰۰۳	۸۴/۳۷ ns
اشتباه اصلی	۴	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۱	۲/۳۱	۱/۴۲	۰/۴۱	۰/۰۰۶	۰/۰۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۴۳۱۵/۲۳
تاریخ کاشت	۱	۰/۷۴ **	۰/۰۰۰۰۸ ns	۰/۷۶ **	۳/۴۸ ns	۲/۲۱ *	۱۹/۱۷ **	۰/۰۱ ns	۰/۰۰۰۱ ns	۰/۰۰۱ ns	۱/۲۵ **	۲۹۷۸۶۲۶/۰۴ **
سال× تاریخ کاشت	۱	۰/۰۰۰۲ ns	۰/۰۰۰۰۰۱ ns	۰/۰۰۰۲ ns	۰/۰۵ ns	۰/۰۹ ns	۰/۰۰۸ ns	۰/۰۰۸ ns	۰/۰۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۰۵ ns	۰/۰۰۰۳ ns	۷۵۹/۳۷ ns
آبیاری × تاریخ کاشت	۱	۰/۰۱ ns	۰/۰۰۰۰۵ ns	۰/۰۱ **	۱/۲۶ ns	۲/۲۶ *	۰/۱ ns	۰/۰۰۶ ns	۰/۰۰۰۱ ns	۰/۰۰۰۱ ns	۰/۰۳ **	۳۳۸۴/۳۷ ns
سال × آبیاری × تاریخ کاشت	۱	۰/۰۰۰۳ ns	۰/۰۰۰۰۰۱۵ ns	۰/۰۰۰۳ ns	۰/۰۰۰۴ ns	۰/۰۷ ns	۰/۱۵ ns	۰/۰۰۶ ns	۰/۰۰۰۰۲ ns	۰/۰۰۰۰۰۱ ns	۰/۰۰۰۰۷ ns	۵۵۱/۰۴ ns
رقم	۳	۱/۷۳ **	۰/۰۸ **	۱/۹۹ **	۱۱/۷۱ **	۱۹/۷۸	۵۲/۹۹ **	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۰۹ **	۰/۱۳ **	۱/۳۷ **	۴۸۹۷۸۹/۹۳ **
سال × رقم	۳	۰/۰۰۰۴ ns	۰/۰۰۰۰۸ ns	۰/۰۰۰۶ ns	۰/۰۵ ns	۰/۰۷ ns	۰/۲۳ ns	۰/۰۰۶ ns	۰/۰۰۰۰۱ ns	۰/۰۰۰۰۰۱ ns	۰/۰۰۰۱ ns	۲۰۱/۰۴ ns
آبیاری × رقم	۳	۰/۰۰۷ ns	۰/۰۰۰۰۲ ns	۰/۰۰۷ **	۲۳/۱۵ **	۱۵/۴۹	۲/۲۹ **	۰/۰۰۴ ns	۰/۰۰۹ **	۰/۰۲ **	۰/۰۸ **	۵۶۴۵/۴۹ ns
تاریخ کاشت × رقم	۳	۰/۰۴ **	۰/۰۰۸ **	۰/۰۲ **	۲۲/۶۸ **	۲/۵۵ **	۱/۴ *	۰/۰۰۷ ns	۰/۰۰۰۰۰۷	۰/۰۰۳ ns	۰/۰۱۹ *	۲۴۵۳/۸۲ ns
سال × آبیاری × رقم	۳	۰/۰۰۰۸ ns	۰/۰۰۰۰۵ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۴ ns	۰/۰۸ ns	۰/۲۶ ns	۰/۰۰۸ ns	۰/۰۰۰۰۰۷	۰/۰۰۰۰۲ ns	۰/۰۰۱۳ ns	۸۷/۱۵ ns
سال × تاریخ کاشت × رقم	۳	۰/۰۰۰۵ ns	۰/۰۰۰۰۰۴ ns	۰/۰۰۰۵ ns	۰/۰۵ ns	۰/۰۲ ns	۰/۱۹ ns	۰/۰۰۴ ns	۰/۰۰۰۰۰۱ ns	۰/۰۰۰۰۲ ns	۰/۰۰۰۷ ns	۸۹/۹۳ ns
آبیاری × تاریخ کاشت × رقم	۳	۰/۰۰۷ ns	۰/۰۰۰۴ **	۰/۰۰۸ **	۲۳/۷۳ **	۲/۱۲ **	۱/۷۶ **	۰/۰۰۸ ns	۰/۰۰۰۰۲ ns	۰/۰۰۰۹ ns	۰/۰۱۴ *	۱۸۰۳۹/۹۳ *
سال × آبیاری × تاریخ کاشت × رقم	۳	۰/۰۰۰۵ ns	۰/۰۰۰۰۲ ns	۰/۰۰۰۶ ns	۰/۰۴ ns	۰/۰۵ ns	۰/۱۶ ns	۰/۰۰۵ ns	۰/۰۰۰۰۰۶	۰/۰۰۰۰۱ ns	۰/۰۰۱ ns	۱۴۶۴۱/۱۵ ns
اشتباه فرعی	۵۶	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۸	۰/۹۵	۰/۳۱	۰/۳۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳ns	۱۷۱۶/۶۶
ضریب تغییرات (درصد)		۷/۶۲	۹/۷۲	۷/۲	۱/۲۳	۴/۷۷	۱۰/۲۵	۶/۲۵	۶/۳۹	۶/۳۷	۰/۰۰۵	۲/۲۸

** تفاوت معنی دار در سطح احتمال یک درصد. * تفاوت معنی دار در سطح احتمال پنج درصد. ns عدم وجود تفاوت معنی دارند.

محتوای نسبی آب برگ

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد کـه اثـر آبیـاری، رقم و برهم کنش آبیاری × رقم، تاریخ کاشت × رقـم و برهمکنش آبیاری × تاریخ کاشـت × رقـم بـر محتـوای نسبی آب برگ در سطح احتمال یک درصـد معنـی دار بود (جدول۳). بررسـی مقایسـه میـانگین بـر همکـنش آبیاری × تاریخ کاشت × رقم نشان داد که تحت شرایط آبیاری معمول وقطع آبیاری رقم تاسیلو در تاریخ کاشت پنجم مهرماه بیشترین وکمترین مقدار محتوی نسـبی آب برگ بترتیب به مقدار ۹۰/۹۹ درصد و۶۶/۰۶ درصـد بـه خود اختصاص داد در حالی که تحـت شـرایط آبیـاری معمول تفاوت معنـی داری بـین ارقـام در تـاریخ هـای کشـــت مختلـــف از لحـــاظ ایـــن صـــفت مشـــاهده نگردید(جدول۴). بالا بـودن محتـوای نسـبی آب بـرگ باعث حفظ آماس سلول های گیاه تحت شـرایط تـنش خشـکی و تـداوم رشـد گیـاه در ایـن شـرایط خواهـد بود(Shirani Rad *et al.*, 2010). اختلاف ارقـام از نظـر میزان محتوای نسبی آب برگ ناشـی از مکانیسـم هـای فیزیولوژیک و مورفولوژیک مانند بسته تر شـدن روزنـه ها، افزایش غلظت شـیره سـلولی، جـذب بیشـتر آب از طریق توسعه ریشه ایی و یا انـدازه و زاویـه بـرگ مـی باشد (Abdoli *et al.*, 2013). کاهش محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش کـم آبـی مـی توانـد بـدلیل عـدم دسترسی گیاه به درصـد رطوبـت خـاک کـه منجـر بـه کاهش پتانسیل آب برگ در اثر شـدت تـنش کـم آبـی باشد (Heidari *et al.*, 2015).

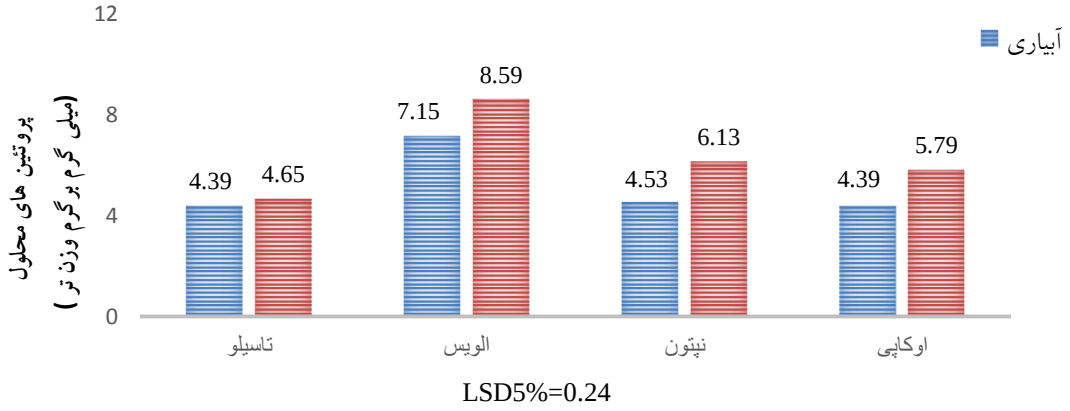
میزان تجمع پرولین

نتایج بدست آمده از تجزیه واریانس داده ها نشان داد میزان تجمع پرولین به طور معنی داری تحت تاثیر اثر آبیاری، رقم برهم کنش های آبیـاری × رقـم، تـاریخ کاشت × رقم و آبیـاری × تـاریخ کاشـت × رقـم در سطح احتمال یـک درصـد قـرار داشـت. اثـر تـاریخ کاشت و برهم کنش آبیاری × تاریخ کاشت نیز تنهـا درسطح پنج درصد معنی دار گردید (جدول۳).نتـایج مقایسه میانگین برهم کنش آبیاری × تاریخ کاشت × رقم بر میزان تجمع پرولین نشـان داد تحـت شـرایط قطع آبیاری بیشترین میزان تجمـع پـرولین بـا ۱۸/۸۸ میلیگرم بر گـرم وزن تـر بـه رقـم الـویس در تـاریخ کاشت زودتر اختصاص داشت، در صورتی کـه رقـم تاسیلو با اعمال شرایط قطع آبیاری در هـر دو تـاریخ کاشت میزان تجمع پایین تری از پـرولین را نمـایش داد (جدول۴).تجمع محلول های سازگار تحت تنش خشکی و شوری مکانیزم مهمـی بـرای حفـظ فشـار تورژسانس در سلول و سبب کاهش پتانسیل آبـی در گیاه است(Ashraf & Foolad, 2007). همـه گیاهـان در شرایط تنش، پرولین را در بافت های خود ذخیره می کنند و بستگی به نوع گیاه و شدت تنش بین ۲ تا ۱۰۰ برابـر مـی توانـد تغییـر کنـد (Jazi Zadeh & Mortezaie Nejad, 2017).

میزان پروتئین های محلول

نتایج تجزیه واریـانس داده هـا نشـان داد کـه میـزان پروتئین های محلول در کلزا به طور معنـی داری در سطح احتمال یک درصد تحـت اثـر آبیـاری، تـاریخ کاشت، رقم ، برهم کنش های آبیاری × رقم و آبیاری × تاریخ کاشت × رقم قـرار داشـت و بـرهم کـنش تاریخ کاشت × رقم بر میزان پـروتئین هـای محلـول تنها در سطح پنج درصد معنی دار گردید (جـدول۳). بررسی مقایسه میانگین بـرهم کـنش آبیـاری × رقـم نشان داد که رقم الویس در شـرایط قطـع آبیـاری بـا اختلاف معنی دار ۸/۵۹ میلی گـرم بـر گـرم وزن تـر نسبت به سایر ارقام میزان پروتئین محلول بیشتری را به خود اختصاص داد. این رقم تحت شرایط آبیـاری

معمول تفاوت معنی‌داری با سایر ارقام بـه جـز رقـم تاسـیلو کـه دارای کمتـرین میـزان پـروتئین بـود نداشت(شکل ۱). در خصوص میزان پروتئین دانه که یکی از اجزاء مهم کیفیت دانه است نتـایج متناقضـی وجود دارد. (Sinaki *et al.*, 2007) نیز گزارش کردند که در اثر قطع آبیاری دانه های خورجین‌های در حال رشد نیتروژن بالایی را برای ساخت پروتئین دریافت کردند. میزان پروتئین محلول تحت تاثیر برهم کـنش آبیاری × تاریخ کاشت × رقم قرار گرفت بـه طـوری که تحت شرایط قطع آبیاری بیشترین میزان پـروتئین های محلول با۹/۷۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه به رقم الویس در تاریخ کاشت زودتر اختصاص داشـت، در صورتی که رقم تاسیلو تحت اعمـال شـرایط آبیـاری معمول در تاریخ کاشت دیرتر میزان تجمع پایین‌تری از پروتئین‌های محلول با۳/۸۳ میلی‌گرم بر گـرم وزن تازه را نمایش داد (جدول ۴).



LSD5%=0.24

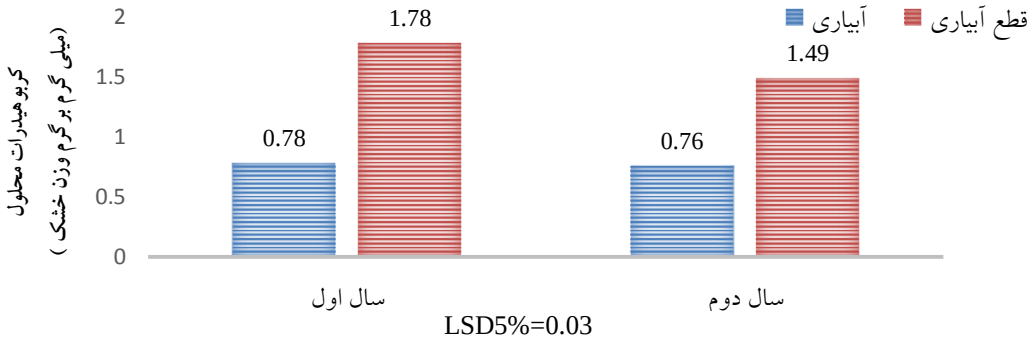
شکل ۱- برهم کنش آبیاری × رقم بر میزان پروتئین های محلول در برگ کلزا.

میانگین‌هایی که اختلاف شان از LSD بزرگتر است، در سطح پنج درصدبا هم اختلاف معنی دار دارند.

میزان کربوهیدرات‌های محلول

با بررسی نتایج بدست آمده از تجزیه واریانس داده ها مشخص شد اثرآبیاری و برهمکنش سال × آبیاری در سطح احتمال یک درصد میزان کربوهیدرات های محلول معنی دار گردیدند (جدول ۳). (Si *et al.*, 2003) بیان داشتند که افزایش در میزان کربوهیدرات های محلول ارتباط مستقیمی با مقاومت به شرایط تنش دارد.

نتایج حاصل از برهم کنش سـال × آبیـاری بـر میزان کربوهیدرات هـای محلـول نشـان داد تحـت شرایط قطع آبیاری بیشترین میزان کربوهیدرات هایی محلول با۱/۷۸ میلیگرم بر گرم وزن خشک در سال اول کاشت به دست آمد. کمترین میزان کربوهیدرات های محلول در سال دوم کاشـت و تحـت شـرایط آبیاری معمول حاصل گردید (شکل ۲).

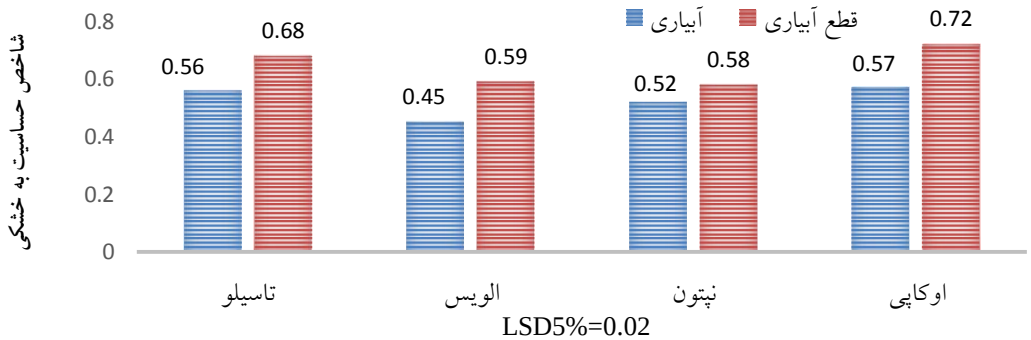


شکل ۲- برهم کنش سال× آبیاری بر میزان کربوهیدرات های محلول در برگ کلزا.

میانگین هایی که اختلاف شان از LSD بزرگتر است، در سطح پنج درصدبا هم اختلاف معنی دار دارند.

(Farooq *et al.*, 2009) گزارش کردند که میزان کربوهیدرات‌های محلول در اثر تنش خشکی کاهش پیدا می کند که با نتایج این تحقیق مغایرت دارد. این تناقض(افزایش میزان کربوهیدرات های محلول در اثر تنش خشکی) شاید بتوان به عنوان یک مکانیسم دفاعی در کلزا تحت شرایط خشکی دانست. همچنین کاهش میزان کربوهیدرات های محلول در اثر تنش های محیطی را می توان به افزایش تنفس غیر هوازی در اثر افزایش شدت تنش دانست زیرا در این شرایط گیاه با تنفس غیر هوازی گیاهان ترجیح می دهند با تبدیل مواد قندی بقای خود را حفظ کنند(Hosseini *et al.*, 2011). افزایش محتوای قند های محلول تحت تنش خشکی ممکن است به دلیل افزایش فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز هیدرولیز نشاسته به قند های ساده تر و کاهش انتقال قند ها از برگ به سایر قسمت های گیاه است (Zhang *et al.*, 2012).

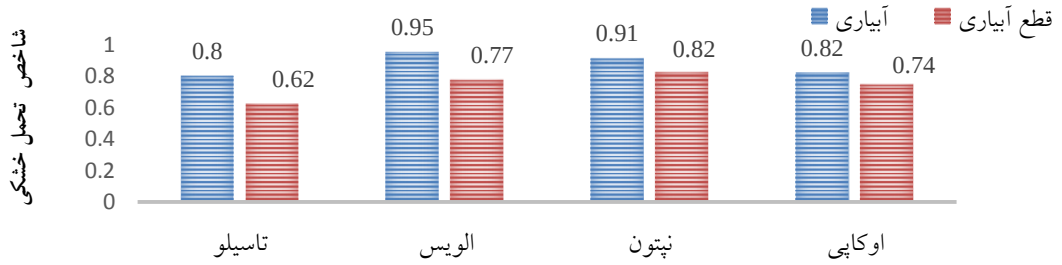
حساسیت خشکی: بررسی نتایج تجزیه واریانس داده ها سال نشان داد که شاخص حساسیت به خشکی در کلزا به طور معنی داری در سطح احتمال یک درصد تحت اثرات آبیاری، رقم و برهم کنش آبیاری × رقم قرار داشت (جدول۳). نتایج مقایسه میانگین برهم کنش آبیاری × رقم نشان داد کمترین حساسیت به خشکی در شرایط آبیاری معمول متعلق به رقم الویس بود و رقم اوکاپی با قرار گرفتن در شرایط قطع آبیاری بیشترین حساسیت را به خشکی نشان داد (شکل۳).



شکل۳ - برهم کنش آبیاری × رقم بر شاخص حساسیت به خشکی در کلزا. میانگین هایی که اختلاف شان از LSD بزرگتر است، در سطح پنج درصد با هم اختلاف معنی‌دار دارند.

تحمل خشکی

شاخص تحمل خشکی در ارقام کلزا مورد آزمایش به طور معنی داری در سطح احتمال یک درصد تحت تاثیر آبیاری، رقم و همچنین برهم کنش آبیاری × رقم قرار گرفت و اثر تاریخ کاشت بر میزان مقاومت در مقابل تنش خشکی در سطح پنج درصد معنی دار گردید (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین برهم کنش آبیاری × رقم نشان داد بیشترین مقاومت به خشکی در شرایط آبیاری معمول متعلق به رقم الویس بود و رقم اوکاپی با قرار گرفتن در شرایط قطع آبیاری کمترین مقاومت را به خشکی نشان داد (شکل ۴). با در نظر گرفتن عملکرد مطلوب در شرایط آبیاری بهینه وتنش خشکی و همچنین کمترین حساسیت به تنش خشکی رقم الویس می‌تواند به عنوان رقم مناسب برای شرایط تنش خشکی باشد. طبق نظریه Fernandez (۱۹۹۲) مناسب ترین شاخص آن است که در هردو شرایط آبیاری بهینه و تنش خشکی با عملکرد همبستگی نسبتا بالا و معنی داری داشته باشد. (Rashidi *et al.*, 2017) با بررسی معیارهای مختلف مربوط به تنش خشکی در کلزا گزارش کردند که استفاده از دو معیار مقاومت به خشکی و حساسیت به خشکی برای تشخیص لاین های مقاوم به خشکی معیار های مناسبی نیستند که نتایج مطالعه حاضر را تأیید می‌کند.



LSD5%=0.03

شکل ۴- برهم کنش آبیاری × رقم بر شاخص تحمل به خشکی در کلزا. میانگین هایی که اختلاف شان از LSD بزرگتر است، در سطح پنج درصدبا هم اختلاف معنی دار دارند.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل آبیاری × تاریخ کاشت × رقم بر صفات مورد مطالعه ارقام کلزا

آبیاری	تاریخ کاشت	رقم	میزان کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	میزان کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	محتوای نسبی آب برگ (درصد)	پرولین (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	پروتئین های محلول (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	وزن هزار دانه (گرم)	عملکرد دانه (کیلو گرم درهکتار)
آبیاری کامل	پنجم مهر ماه	تاسیلو	۰/۲۴	۰/۹۹	۹۰/۹۹	۸/۶۸	۴/۹۵	۴/۳۱	۳۰۳۶/۶۶
		الویس	۰/۲۸	۱/۵۹	۹۰/۲۸	۸/۸۱	۷/۵۱	۴/۹۸	۳۳۴۶/۶۷
		نپتون	۰/۳۴	۱/۴۱	۹۰/۰۴	۸/۰۷	۴/۹۶	۴/۶۳	۳۲۲۰/۰۰
		اوکاپی	۰/۲۸	۱/۲۱	۹۰/۳۶	۸/۶۸	۴/۷۰	۴/۳۷	۳۱۰۳/۳۳
	پنجم آبان ماه	تاسیلو	۰/۲۴	۱/۰۸	۹۰/۸۵	۸/۸۲	۳/۸۳	۴/۱۸	۲۶۸۳/۳۳
		الویس	۰/۲۸	۱/۸۸	۹۰/۳۰	۸/۷۴	۶/۷۹	۴/۷۷	۳۰۳۰/۰۰
		نپتون	۰/۳۰	۱/۶۶	۸۹/۸۶	۸/۰۹	۴/۱۱	۴/۶۰	۲۸۷۰/۰۰
		اوکاپی	۰/۳۲	۱/۳۸	۹۰/۰۶	۸/۵۹	۴/۰۷	۴/۲۷	۲۷۳۶/۶۷
قطع آبیاری	پنجم مهر ماه	تاسیلو	۰/۲۰	۰/۷۷	۶۶/۰۶	۱۳/۸۰	۴/۷۸	۴/۱۸	۲۹۱۳/۳۳
		الویس	۰/۲۴	۱/۳۸	۷۴/۵۵	۱۸/۸۸	۹/۷۴	۴/۵۶	۳۲۱۱/۶۷
		نپتون	۰/۳۱	۱/۲۳	۷۲/۲۶	۱۵/۰۸	۶/۷۱	۴/۳۹	۳۰۸۱/۶۱
		اوکاپی	۰/۲۵	۱/۰۶	۷۰/۳۶	۱۴/۴۸	۵/۸۵	۴/۲۹	۲۹۷۶/۶۷
	پنجم آبان ماه	تاسیلو	۰/۲۱	۰/۹۲	۷۰/۸۴	۱۴/۴۰	۴/۵۱	۳/۷۳	۲۵۴۰/۰۰
		الویس	۰/۲۵	۱/۵۷	۷۰/۳۰	۱۶/۶۲	۷/۴۴	۴/۲۶	۲۸۸۰/۰۰
		نپتون	۰/۲۵	۱/۴۲	۶۹/۶۴	۱۴/۲۸	۵/۵۶	۴/۱۱	۲۷۲۸/۳۳
		اوکاپی	۰/۲۹	۱/۱۵	۷۰/۰۱	۱۴/۵۰	۵/۷۴	۳/۹۷	۲۶۰۳/۳۳
LSD 5%			۰/۰۰۷	۰/۰۳۳	۱/۱۲	۰/۶۴	۰/۳۴	۰/۰۴	۳۸/۶۵

میانگین هایی که اختلاف شان از LSD بزرگتر است، در سطح ۵ درصد با هم اختلاف معنی دار دارند.

وزن هزار دانه

وزن هزار دانه بیان کننده اهمیت نمو دانه است و نقش مهمی را در میان اجزای عملکرد برای نشان دادن توان عملکرد یک رقم ایفا می‌کند. طبق نتایج بدست آمده در جدول تجزیه واریانس(جدول۳)، وزن هزار دانه کلزا به طور معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد تحت تاثیراثرات آبیاری، تاریخ کاشت، رقم و برهم کنش آبیاری × تاریخ کاشت و آبیاری × رقم و بر همکنش تاریخ کاشت × رقم و آبیاری × تاریخ کاشت × رقم در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید. مقایسه اثر متقابل آبیاری× تاریخ کاشت نشان داد که تاریخ کاشت پنجم مهرماه در شرایط آبیاری معمول با میانگین ۴/۵۷ گرم و پس ازآن تاریخ کاشت پنجم آبان تحت شرایط آبیاری نرمال با میانگین ۴/۴۶ گرم بالاترین وزن هزار دانه را به خود اختصاص دادند(جدول۴). برهم کنش آبیاری×رقم نشان داد که بیشترین میزان وزن هزار دانه مربوط به رقم الویس با میانگین ۴/۲۵ گرم در شرایط آبیاری معمول و کمترین آن مربوط به رقم تاسیلو با میانگین ۳/۹۵ گرم در شرایط قطع آبیاری تعلق گرفت. اثر متقابل تاریخ کاشت× رقم دلالت براین داشت که بیشترین میزان وزن هزار دانه با میانگین ۴/۷۷ گرم به تاریخ کاشت زود هنگام تر (پنجم مهر ماه) به رقم الویس و کمترین وزن هزار دانه با میانگین ۳/۹۶ گرم به تاریخ کاشت دیر تر (پنجم آبان ماه) به رقم تاسیلو اختصاص یافت. با توجه به اینکه رقم الویس دارای سرعت بالای رشد اولیه می باشد با دمای بالای آخر فصل برخورد نکرده و عوامل محیطی مناسب تر دردوره ی پرشدن دانه آنها، سبب افزایش وزن هزار دانه این رقم شد. یکی از عوامل مهم افزایش عملکرد، برخورد مراحل پرشدن دانه با آب و هوای خنکتر است که از طریق افزایش وزن هزار دانه، عملکرد افزایش می‌یابد (Shabani *et al.*, 2010). نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها در خصوص اثر متقابل آبیاری × تاریخ کاشت × رقم نیز نشان داد که با به تاخیر افتادن تاریخ کاشت و قطع آبیاری میزان کاهش وزن در ارقام مورد بررسی به طور معنی‌داری متفاوت بود به طوری که بیشترین وزن هزار دانه با میانگین ۴/۹۸ گرم به رقم الویس تحت شرایط آبیاری معمول و تاریخ کاشت زودتر (پنجم مهرماه) و کمترین وزن هزار دانه به رقم تاسیلو تحت شرایط قطع آبیاری و تاخیر در تاریخ کاشت (پنجم آبان ماه) اختصاص داشت(جدول۴). افزایش وزن هزار دانه را می‌توان به طول دوره یا سرعت پر شدن دانه نسبت داد که در این خصوص قدرت مخزن نقش کلیدی دارد. (Robertson & Holland, 2017) یکی از دلایل کاهش وزن هزار دانه دراثرتاخیر کاشت را افزایش دما در طول دوره پر شدن دانه عنوان کرد.

عملکرد دانه

نتایج تجزیه داده ها نشان داد اثر آبیاری، تاریخ کاشت و رقم بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود و اثر متقابل آبیاری × تاریخ کاشت × رقم بر عملکرد دانه کلزا در سطح احتمال پنج درصد معنی دار شد (جدول۳)، به طوری که رقم الویس بیشترین عملکرد دانه را در تاریخ پنجم مهرماه و تحت شرایط آبیاری معمول بامیانگین ۳۳۴۶/۶۷ کیلوگرم درهکتار به خود اختصاص داد .کمترین عملکرد دانه به رقم تاسیلو در شرایط قطع آبیاری آبیاری و در تاریخ کاشت دیرتر (پنجم آبان

ماه) به میزان ۲۵۴۰ کیلو گرم بدست آمد. به طور کلی رقم الویس در هردو تاریخ کاشت عملکرد دانه بیشتری داشت. با اعمال قطع آبیاری در تاریخ کاشت پنجم مهرماه ارقام الویس و نپتون بترتیب به مقدار۳۲۱۱/۶۷ و ۳۰۸۱/۶۱ کیلو گرم در هکتار را به خود اختصاص دادند (جدول۴. اعمال قطع آبیاری در مرحله گلدهی و رشد خورجین ها و مواجه شدن گیاه کلزا با کمبود آب بدلیل تاثیر منفی بر تشکیل خورجین و اندازه دانه، انتقال مواد غذایی به دانه ها کاهش یافته و عملکرد دانه کاهش می یابد(Ghasemian-Ardestani, 2019). در یک نتیجه گیری مشابه با این پژوهش، با تاخیر زمان کاشت کلزا به مدت یک ماه، عملکرد دانه ۱۰ تا ۵۰ درصد بسته به رقم ممکن است کاهش نشان دهد و تفاوت در ارقام کلزا از لحاظ عملکرد دانه را ممکن است به تفاوت این ارقام در صفات رشد از قبیل تعداد شاخه ها که انعکاسی از تعداد خورجین در بوته و وزن هزار دانه است نسبت داد (Sharghi *et al.*, 2011). اگرچه نمی توان اثر تاخیر کاشت را در کاهش عملکرد از نظر دور داشت، تاثیر رقم نیز بر عملکرد بسیار معنی دار است (Moradi aghdam *et al.*, 2018). که نتایج این تحقیق را بیشتر حمایت می‌کند.

همبستگی بین صفات

همبستگی بین صفات مختلف با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون انجام گرفت و نتایج آن درجدول ۵ درج شده است . عملکرد دانه درکلزا تابع تعداد خورجین، تعداد دانه در خورجین و وزن هزار دانه در گیاه است (Nasri *et al.*, 2006). عملکرد دانه با صفات فیزیولوژیکی از قبیل شاخص مقاومت خشکی (**r**=۰/۶۲**)، میزان کربوهیدرات ها(**r**=۰/۵۹**)و پروتئین ها (**r**=۰/۲۱**) همبستگی مثبت و معنی داری را نشان داد. در گزارش (Sinaki *et al.*, 2007). به افزایش میزان پروتئین ها تحت شرایط خشکی اشاره گردیده است .بین شاخص مقاومت خشکی وتجمع پرولین همبستگی مثبت ومعنی داری مشاهده گردید. (Rezayian *et al.*, 2018). افزایش میزان پرولین را در کلزا به عنوان یک معیار برای افزایش مقاومت به خشکی بیان کردند که نتایج تحقیق حاضر را در خصوص وجود همبستگی مثبت بین مقاومت به کم آبی و افزایش میزان پرولین تایید می کند. طی گزارشات مختلفی بیان شده ارقامی که دارای عملکرد بالا هستند، میزان پرولین بالایی داشته و به عنوان ارقام مقاوم معرفی شده اند. نتایج بدست آمده حاکی از این بود که بین شاخص مقاومت به خشکی و تجمع کربوهیدرات های محلول در برگ همبستگی منفی معنی داری (**r** = −۰/۶۲**) وجود داشت، در واقع بر اساس این نتایج هرچه مقاومت به خشکی درکلزا بیشتر باشد دانه ها ظرفیت بالاتری برای پذیرش کربوهیدرات ها دارند و در نتیجه میزان کربوهیدرات تجمع یافته در برگ ارقام مقاوم‌تر بیشتر کاهش نشان می دهد.

جدول ۵- ضرایب همبستگی پیرسون بین برخی از ویژگی های مهم فیزیولوژیک و عملکرد دانه ژنوتیپ‌های کلزا در تاریخ‌های کاشت متفاوت تحت رژیم‌های آبیاری

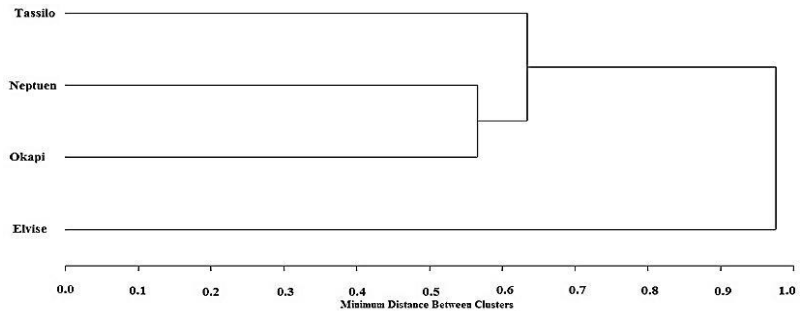
متغیرها	عملکرد دانه	مقاومت خشکی	پرولین	کربوهیدرات	پروتئین محلول
عملکرد دانه	۱	۰/۶۲**	-۰/۴۹**	۰/۵۹**	۰/۲۱**
مقاومت به خشکی		۱	۰/۵۶**	-۰/۶۲**	۰/۱۱ ns
پرولین			۱	۰/۸۹**	۰/۵۶**
کربوهیدرات محلول				۱	۰/۳۲**
پروتئین محلول					۱

** تفاوت معنی دار در سطح احتمال یک درصد. * تفاوت معنی دار در سطح احتمال پنج درصد. ns عدم وجود تفاوت معنی دارند.

گروه بندی ارقام کلزا

در شکل ۵ با استفاده از تجزیه خوشه ای نتایج به صورت دندوگرام نمایش داده شده است. در این مطالعه بر اساس نمودار دندوگرام رسم شده، سه خوشه تشکیل گردید. رقم Elvise بدلیل بالاترین عملکرد و مقاومت به شرایط قطع آبیاری در خوشه اول، ارقام Neptune و Okapi به لحاظ نزدیکی صفات فیزیولوژیکی در خوشه دوم و رقم Tassilo بدلیل کمترین عملکرد دانه در شرایط آبیاری و قطع آبیاری و همچنین در هر دو تاریخ کاشت از خود نشان داد ودر خوشه سوم قرارگرفت. نتایج این بررسی نشان داد که گروه بندی ارقام مورد مطالعه در شرایط قطع آبیاری و تأخیر تاریخ کاشت بر اساس میزان افت عملکرد دانه و شاخص های فیزیولوژیکی اندازه‌گیری شده تحت شرایط آبیاری معمول و قطع آبیاری و همچنین تاریخ کاشت های متنوع وجود دارد و پتانسیل ژنتیکی تحمل به خشکی در آنها متفاوت است. این ژنوتیپ‌ها به علت داشتن بعضی از صفات مورد بررسی در شرایط تنش خشکی ارزشمند هستند و با بهبود همزمان این صفات می‌توان عملکرد دانه در واحد سطح را افزایش داده و همچنین از آنها به عنوان معیارهایی جهت انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در شرایط کم‌آبی در برنامه‌های به نژادی استفاده کرد.

.



شکل ۵- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه ای صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی اندازه گیری شده در چهار رقم کلزا (نرم افزار SAS).

نتیجه‌گیری

اثر قطع آبیاری بر شاخص حساسیت و خصوصیات فیزیولوژیکی ارقام مورد مطالعه کلزا شامل محتوای نسبی آب برگ، پرولین ،کربوهیدرات محلول بیشتر از اثر تاریخ کاشت بر این صفات بود. همبستگی مثبت ومعنی داری بین شاخص مقاومت خشکی وتجمع پرولین به عنوان یک معیار برای افزایش مقاومت به خشکی بیانگر مقاوم بودن ارقامی که دارای عملکرد بالا هستند. از طرفی بین شاخص مقاومت به خشکی و تجمع کربوهیدرات‌های محلول در برگ همبستگی منفی معنی داری وجود داشت و نشانگر بالا بودن ظرفیت دانه برای پذیرش کربوهیدرات ها بیشتر است و در ارقام مقاوم تر میزان کربوهیدرات تجمع یافته در برگ کاهش بیشتری نشان می دهد.رقم الویس دارای بیشترین عملکرد دانه و سازگاری مناسبی نیز به شرایط تنش خشکی داشت و به عنوان رقم مناسب برای کاشت در مناطقی مشابه منطقه آزمایش(کرج) که احتمال وقوع تنش رطوبتی در مراحل انتهایی رشد وجود دارد توصیه نمود.

.

REFRENCES

Abdoli M, Saeedi M, Jalali Honarmand S, Mansourifar S, and Ghobadi ME. 2013. Evaluation of some physiological and biochemical traits and their relationship with yield and its components in bread wheat cultivars under post-pollination conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences* (1): 47-63. (In Farsi).

Anjum, N. A., Arena, c. and Singhgill, S. 2014. Reactive Oxygen species (ROS) and response of antioxidants as ROSscavengers during enviromental stress in plant. *Frontiers in Enviromental Science*.

Arnon A.N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agron.J* (23):112-121.

Ashraf, M. and M. R. Foolad. 2007. Improving plant abiotic stress resistance by exogenous application of osmoprotectants glycine betaine and proline. Env. *Exp. Bot.* (59):206-216.

Bates, L. S., Walderen, R. D. and Taere, I. D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil* (39): 205-207.

Behmaram R, Faraji A, Amiri Oghan H. 2006. Evaluation of water deficit tolerance in spring rapeseed cultivars: proceedings of the 9th Iranian crop science congress // *Aboureyhan Campus-University of Tehran. – Iran*, p. 494–496. 2006.

Bradford, M.M. (1976) A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry* (72): 248- 54.

Chegeni H, Goldani M, Shirani Rad AH, and Kafi M. 2016. Effects of terminal drought stress on some biochemical and agronomic characteristics in some rapeseed lines (*Brassica napus* L.). *Plant Ecophysiology* (27): 20-31. (In Farsi).

Din, J., Khan, S.U., Ali, I., Gurmani, A.R. 2011.Physiological and agronomic response of canola varieties to drought stress. *The Journal of Animal and Plant Sciences* (21):78-28.

Elferjani, R., Soolanayakanahally, R. 2018. Canola responses to drought, heat, and combined stress: shared and specific effects on carbon assimilation, seed yield, andoilcomposition. *PlantSci* (9):1224.

Farooq, M., A. Wahid, N. Kobayashi, D. Fujita, and S. M. A. Basra. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development* (29): 185–212. 2009.

Fernandez, G.C.J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Kuo, C.C. (Eds.) Proceedings of International Symposium on Adaptation of Food Crops to Temperature and Water Stress. *Shanhua, Taiwan,* pp. 257-270.

Fischer, R.A., Maurer, R.1978. Drought resistance in spring wheat. I: grain yield responses. *Aust. J. Agric*. Res. 29: 897-912.

Gan, Y., Angadi, S. V., Cutforth, H., Potts, D., Angadi, V.V., and Mc Donald, C. L. 2004. Canola and mustard response to short periods of temperature and water stress at different developmental stages. *Canadian Journal of Plant Science*, 84(3): 697-704.

Ghasemian-Ardestani, H. 2019. Evaluation of agro-ophysiological response of selected rapeseed cultivars to different temperature and humidity regimes for adaptation to climate change. Ph.D. *Thesis in Agroecology, Ferdowsi University of Mashhad.*

Heidari N, Pouryousef M, and Tavakoli A. 2015. Effects of drought stress on photosynthesis, its parameters and relative water content of anise (*Pimpinella anisum* L.). *Journal of Plant Research* (5): 829-839. (In Farsi).

Hosseini, S.M., Hassibi, P. 2011.Effects of Water Deficit Stress on Several Quantitative and Qualitative Characteristics of Canola (*Brassica napus L.*) Cultivars. *Notulae Scientia Biologicae*, 3 (3): 120-125.

Jazi Zadeh E, and Mortezaie Nejad F. 2017. Effects of water stress on morphological and physiological indices of Cichorium intybus L. for introduction in urban landscapes. *Journal of Plan Process and Function* (21): 279-290. (In Farsi).

Jensen, C. R., Mogensen, V. O., Mortensen, G., Fieldsend, J. K., Milford, G. F. J., Andersen, M. N. and hage, J. H. 1996. Seed glucosinolate, oil and protein contents of fieldgrown rape (*Brassica napus* L.) affected by soil drying evaporation demand. *Field Crop Research* (47): 93-105.

Jiang, M. and Zhang, J. 2002. Water stress-induced abscisic acid accumulation triggers the increased generation of reactive oxygen species and upregulates the activities of antioxidant enzymes in maize leaves. *Journal of Experimental Botany* (53): 2401-2410.

Kranner I, Beckett RP, Wornik S, Zorn M, and Pfeifhofer HW. 2002. Revival of a resurrection plant correlates with its antioxidant status. *The Plant Journal* (31): 13-24.

Kusvuran, S. 2011. Effects of drought and salt stresses on growth, stomatal conductance, leaf water and osmotic potentials of melon genotypes (*Cucumis melo L.*). *African Journal of Agricultural Research* (7): 775-781. 2011.

Lotfi R, Gharavi-Kuochebagh P, and Khoshvaghti H. 2015. Biochemical and physiological responses of Brassica napus plants to humic acid under water stress. *Russian Journal of Plant Physiology* (4): 480-486.

Mariani, L., Ferrante, A. 2017. Agronomic management for enhancing plant tolerance to abiotic stresses-drought, salinity, hypoxia, and lodging. *Horticulture*, 3(4):52.

Moradi aghdam A, Seyfzadeh. S, Sehrani rad A. H, Valadabadi S. A, Zakerin H .2018. The effect of irrigation cut on physiological characteristics and grain yield of rapeseed cultivars under different planting dates. *Journal of Crop Physiology*. 10(38):59-76.

Nasri M, Khalatbari M, Zahedi H, Paknejad F, Tohidi-Moghadam HR. 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.

Pessarkli M. 1999. Hand book of Plant and Crop Stress. Marcel Dekker Inc. 697 pp

Rashidi, F., Majidi, M.M., Pirboveiry, M. Response of different species of Brassica to water deficit. *International Journal of Plant Production*, 11(1): 1-16. 2017.

Rezayian, M., Niknam, V., Ebrahimzadeh, H. .2018. Effects of drought stress on the seedling growth, development, and metabolic activity in different cultivars of canola. *Soil Science and Plant Nutrition*.

Ritchie, S.W., Nyvgen, H.I. and Halady, A.S. 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Sci* (30): 105-111.

Robertson MJ, Holland JF. 2004. Production risk of canola in the semi-arid subtropics of Australia. *Australian Journal of Agricultural Research* (55): 525-538.

Safari, M., M. Agha Alikhany and A. S. M. Modarres Sanavy. 2010. Effect of sowing date on phenology and morphological traits of three grain sorghum (*Sorghum bicolor L.*) cultivars. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*. 12(4): 452-466.

Salehi Shanjani, Izadpanah, Ramezani Yeganeh, Rasoulzadeh, Kavandi, Sardabi, Pahlavani, Amirkhani and Seyedia. 2015. Comparison of the effect of drought stress on osmotic regulation, peroxidase, polyphenol peroxidazopigments in different seed samples of false chamomile and yellow chamomile *Anthemis tinctoria Tripleurospermum* servanes. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology*), 28 (1): 126-139.

Shabani, A., Kamgar Haghighi, A. A., Sepaskhah, AR, Imam, Y., and Honar, T. 2010. The effect of water stress on grain yield, yield components and quality of autumn rapeseed (*Brasica napus*. L.) cv. Licord. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 12 (4): 409- 421.

Sharghi, Y., Shirani Rad, A. H., Ayeneh Band, A., Noormohammadi, G., Zahedi, H. 2011 Yield and yield components of six canola (*Brassica napus* L.) cultivars affected by planting date and water deficit stress. *African Journal of Biotechnology*.10(46): 9309- 9313.

Sheligl, H.Q. 1986. Die verwertung orgngischer souren durch chlorella lincht. *Planta Journal*. 47-51. (With English abstract).

Shirani Rad, A. H, M. Naeemi and Sh. Nasr Esfahani, Sh. 2010. Evaluation of terminal drought tolerance in spring and autumn rapeseed cultivars. Iranian Journal of Crop Sciences. 2: 112-126.

Si, P., Mailer, R.J., Galwey, N. and Turner, D.W. 2003. Influence of genotype and environment on oil and protein concentrations of canola (*Brassica napus* L.) grown across southern Australia. *Aus. J. Ag. Res.* (54): 397-407.

Sinaki, M.J., Majidi Heravan, E., Shirani Rad, A.H., Noormohammadi, G., Zarei, G.H. 2007. The effects of water deficit during growth stages of canola (*Brassica napus* L.). Am-Euras. J. Agric. *Environ. Sci.* (2): 417- 422.

sperdouli, i., &moustakas, m. .2012. Interaction of prolin, sugars, and anthocyanins during photosynthetic acclimation of Arabidopsis to drought stress. *Journal of plant physiology*.169(6):577-585.

Su, L., Dai, Z., Li, S., Xin, H. 2015. A novel system for evaluating drought–cold tolerance of grapevines using chlorophyll fluorescence. *BMC Plant Biology*. (15):82.

Zhang, K. M., Yu, H. J., Shi, K., Zhou, Y. H., Yu, J. Q. and Xia, X. J. 2012. Photo protective roles of anthocyanin in Begonia semperflorens. *International Journal of Plant Science.* (179): 202-208.

Sustainable Agricultural Science Research /Vol. 1/No.2/Summer 2021/P: 1-21

https://www.sarj.iauk.ac.ir

Evaluation of Physiological and Biochemical Characteristics of Rapeseed (*Brassica napus* L.) Cultivars in Terms of Irrigation Interruption and Delay Planting Date

Peyman Davami [1], Mojtaba AlaviFazel [2*], Shahram Lak [3], Davood Habibi [4], Afshin Mozaffari [5]

[1] Department of Agronomy, Khuzestan Science and Research Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

[2] Associate Professor, Department of Agronomy, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

[3] Professor, Department of Agronomy, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

[4] Associate Professor, Department of Agronomy, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran

[5] Assistant Professor, Department of Agronomy, Ilam Branch, Islamic Azad University, Ilam, Iran

* Corresponding Author's Email: mojtaba_alavifazel@yahoo.com

(Received: August. 17, 2021 – Accepted: September. 21, 2021)

ABSTRACT

In order to evaluate the physiological and biochemical characteristics of rapeseed *(Brassica napus* L) cultivars in terms of irrigation interruption and delay planting date, an experiment was implemented in two crop years as a factorial split-plot in the form of a randomized complete block design with three replications in Karaj region. In the present study, irrigation in two levels including normal irrigation (80 mm evaporation from Class A evaporation pan) and irrigation cut-off from the stage of sowing and pod formation stages in two levels including Sep. 26 and Oct. 26 was placed in main plot and four winter rapeseed cultivars including Tassilo, Elvise, Neptune and Okapi were placed in subplots. According to the results, the highest content of chlorophyll in both planting dates (Sep. 26 and Oct. 26, respectively, with values of 1.59 and 1.88 mg. g^{-1} FW) and under normal irrigation conditions belonged to Elvise cultivar. The results showed that irrigation cut-off reduced the relative water content of leaves and increased leaf proline, soluble protein content and soluble carbohydrate content. Elvise and Neptune cultivars had the highest grain yield under normal irrigation conditions with 3346 and 3220 kg / ha, respectively, and under irrigation cut-off conditions, with a mean of 3211 and 3081 kg / ha, respectively. According to the Stress Tolerance Index (STI), Elvise cultivar was identified as the most tolerant cultivar under dehydration stress in the pod formation stage onwards.

Keywords: Proline, Grain yield, Irrigation cut-off, Chlorophyll, Rapeseed