

بررسی برخی شاخص‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی ارقام کلزا تحت تأثیر تنش خشکی

معصومه حاتموند^۱، طاهره حسنلو^{۱*}، فاطمه دهقان نیبری^۲، امیرحسین شیرانی‌راد^۳، سید علی طباطبایی^۴، سید محمد حسینی^۱

۱. بخش فیزیولوژی مولکولی، پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، کرج، ایران؛

۲. گروه بیوتکنولوژی کشاورزی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران؛

۳. بخش دانه‌های روغنی، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، کرج، ایران؛

۴. مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی یزد.

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۲/۰۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۲/۲۶

چکیده

خشکی یکی از عوامل محیطی مهم محدود کننده تولید محصولات زراعی در دنیا است. به منظور ارزیابی برخی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ارقام کلزا تحت تأثیر تنش خشکی، آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار، از زمان انتهایی گلدهی تا پر شدن دانه (مدت ۲۶ روز) انجام شد. فاکتور اصلی تنش خشکی در دو سطح تنش و شاهد (به ترتیب با ۱۶۰ و ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) و فاکتور فرعی سه رقم کلزا *Adriana*، *Billy* و *Tassilo* بودند. صفات محتوای نسبی آب، هدایت روزه‌ای، پرولین و قند کل ۷، ۱۲ و ۲۶ روز پس از قطع آبیاری اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که تنش در زمان گلدهی (۷ روز پس از تنش) باعث کاهش محتوای نسبی آب، هدایت روزه‌ای و قند کل و افزایش پرولین شد. تنش در مرحله خورجین‌دهی (۱۲ روز پس از تنش) و پر شدن دانه (۲۶ روز پس از تنش) باعث کاهش محتوای نسبی آب و هدایت روزه‌ای و افزایش پرولین و قند کل شد. عملکرد دانه و اجزای آن پس از رسیدگی کامل گیاه اندازه‌گیری شدند. تنش از مرحله گلدهی باعث کاهش عملکرد دانه و اجزای آن شد اما کاهش در وزن هزار دانه معنی‌دار نبود. بیشترین و کمترین عملکرد دانه به ترتیب در ارقام *Adriana* با ۲۸۱۴ در شرایط شاهد و *Tassilo* با ۹۹۴/۴ کیلوگرم در هکتار در شرایط تنش بود. با توجه به نتایج، رقم *Adriana* عملکرد بهتری در شرایط تنش از خود نشان داد و کاشت این رقم در مناطق خشک توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: گیاه روغنی، هدایت روزه‌ای، پرولین، قند کل محلول، عملکرد.

مقدمه

گیاهان در طی دوران رشدی خود با تنش‌های متعدد محیطی مواجه می‌شوند، که بسته به مرحله رشدی گیاه، اثرات متفاوتی بر متابولیسم و عملکرد آن‌ها می‌تواند داشته باشند (Heidari, 2006). خشکی مهمترین تنش محیطی غیر زنده است که باعث خساراتی جدی در گیاهان می‌شود (Yarnia et al., 2011). یک سوم کل اراضی دنیا در مناطق خشک و نیمه خشک واقع شده‌اند که با محدودیت آب روبه‌رو می‌باشند (Tunturk and Ciftci, 2007). تحت تنش خشکی جذب مواد غذایی از طریق ریشه، به دلیل کاهش حجم آب خاک و همچنین کاهش توزیع عناصر غذایی در بافت خاک کاهش می‌یابد؛ علاوه بر این، انتقال مواد غذایی از ریشه‌ها به شاخه کاهش می‌یابد (Hu et al., 2007). کلزا با نام علمی (*Brassica napus* L.) از تیره شنبو یا چلیپانیان (*Brassicaceae*; *cruciferea*) یکی از مهم‌ترین گیاهان روغنی یکساله است که در تأمین انرژی و امنیت غذایی در سطح جهان نقش به‌سزایی دارد و برخلاف بیشتر گیاهان روغنی، در فصل پاییز قابل کشت بوده و از عملکرد بالایی برخوردار است (Eilkae and Emam, 2007).

گیاهان در طی دوران رشدی خود با تنش‌های متعدد محیطی مواجه می‌شوند، که بسته به مرحله رشدی گیاه، اثرات متفاوتی بر متابولیسم و عملکرد آن‌ها می‌تواند داشته باشند (Heidari, 2006). خشکی مهمترین تنش محیطی غیر زنده است که باعث خساراتی جدی در گیاهان می‌شود (Yarnia et al., 2011). یک سوم کل اراضی دنیا در مناطق خشک و نیمه خشک واقع شده‌اند که با محدودیت آب روبه‌رو می‌باشند (Tunturk and Ciftci, 2007). تحت تنش خشکی جذب مواد غذایی از طریق ریشه، به دلیل

آنزیم‌های آن در سیتوپلاسم قرار دارند و مسیر اورنیتین که آنزیم‌های آن در میتوکندری واقع هستند که گلوتمات در گیاهان عالی اهمیت بیشتری دارد (Delaney, 1993). افزایش میزان پرولین در شرایط تنش یکی از معیارهای ایجاد تحمل در گیاه به شمار می‌رود و پرولین می‌تواند نقش حفاظتی را برای پروتئین‌ها و آنزیم‌ها در شرایط وقوع تنش داشته باشد (Vendruscolo et al., 2007). افزایش در مقدار پرولین آزاد یکی از مکانیسم‌های دفاعی گیاهان و حفاظت از آنزیم‌ها در طول مقابله با تنش خشکی است (Liu et al., 2008). کربوهیدرات‌های محلول به عنوان واکنش میان مدت به خشکی شاخسی برای تنظیم اسمزی در شرایط تنش می‌باشد (Ahmadi and Niazi, 2006). در آزمایشی پژوهشگران در بررسی تأثیر تنش خشکی بر ارقام دیپلوئید و آمفی‌دیپلوئید کلزا نتیجه گرفتند که در تنش کمبود آب میزان قندهای محلول برگ در ارقام متحمل بالاتر است اما در تنش بسیار شدید به دلیل کاهش میزان آب خارج سلولی میزان قندهای محلول در ارقام حساس بالاتر می‌باشد (Ashraf et al., 2001). در آزمایشی نشان داده شد که تنش خشکی باعث کاهش عملکرد دانه، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه در پنج رقم کلزا شد (Nasri et al., 2008). در آزمایش دیگری که روی ۹ رقم کلزا انجام شد تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه، تعداد دانه در خورجین، تعداد شاخه فرعی، تعداد خورجین معنی‌دار شد اما در وزن هزار دانه معنی‌دار نشد (Youssefi et al., 2011). کمبود آب باعث کاهش عملکرد دانه و اجزای آن می‌شود اما در صورت برطرف نمودن نیاز آبی در گیاه در دوره گلدهی تعداد خورجین و تعداد دانه در گیاه افزایش می‌یابد که مربوط به وجود سطح برگ بیشتر در دوره گلدهی است (Mendham and Salisbury, 1995).

با توجه به اهمیت کشت کلزا به عنوان یک گیاه روغنی متحمل به خشکی و قرار گرفتن ایران در مناطق خشک، شناسایی سازوکارهای تحمل به خشکی و ارقام جدید متحمل‌تر با عملکرد بالا در شرایط تنش خشکی از اهمیت خاصی برخوردار است. هدف از این پژوهش بررسی اثر تنش خشکی بر برخی از صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی و همچنین عملکرد دانه و اجزای آن روی سه رقم کلزی پاییزه در مزرعه و معرفی رقم متحمل در پاسخ به تنش خشکی

(2006). این گیاه روز بلند و سرمدوست در مناطقی با زمستان سرد کشت می‌شود و احتیاج به بهاره شدن دارد. همچنین روغن کلزا به سبب داشتن کمترین اسیدهای چرب اشباع، میزان متعادلی از اسیدهای چرب غیراشباع و فقدان کلسترول، از کیفیت غذایی بالایی برخوردار است (Starnner et al., 2002).

تنش خشکی یکی از عوامل اصلی محدود کننده رشد و تولید کلزا در ایران است (Moradshahi et al., 2004). گیاهان با روش‌های گوناگون در برابر تنش آبی مقاومت می‌کنند. به دلیل اهمیت فشار تورژسانس بالای سلولی در انجام فعالیت‌های مهم فیزیولوژیکی (Turner, 1986)، گیاهان با استفاده از سازوکارهای متفاوت، فشار تورژسانس سلول‌های خود را بالا نگه می‌دارند که از جمله آن‌ها تنظیم اسمزی در شرایط تنش خشکی است (Morgan, 1984). کلزا از نظر حساسیت به تنش آب در مرحله گلدهی بیش‌ترین حساسیت را دارد (Faraji et al., 2009). محتوای رطوبت نسبی نقش مهمی در تنظیم هدایت روزنه‌ای و در نتیجه سرعت فتوسنتزی گیاه دارد (Mitchell et al., 2001). نتایج برخی پژوهش‌ها روی کلزا نشان داد که محتوای نسبی آب^۱ (RWC) برگ در تیمارهای آبیاری شده نسبت به تیمارهای تحت تنش بالاتر بود اما در شرایط تنش خشکی RWC کاهش یافت (Ghaffari et al., 1999; Palomo et al., 2011). در آزمایشی که روی دو رقم کلزا انجام شد این نتیجه به دست آمد که تنش خشکی در مرحله گلدهی باعث کاهش هدایت روزنه‌ای شد (Fanaei et al., 2009). نتایج آزمایش جنسن و همکاران (Jensen et al., 1996) در کلزا نشان داد که کمبود آب در سلول‌های برگ با کاهش در میزان هدایت روزنه‌ای (انتشار دی‌اکسیدکربن به فضای بین سلولی) و کلروفیل میزان فتوسنتز را کاهش می‌دهد. در آزمایش دیگری مشخص شد که هدایت روزنه‌ای در ژنوتیپ‌های حساس به خشکی تحت شرایط تنش، از ارقام متحمل کمتر بود (Kusvuran, 2011).

پرولین اسیدآمینه ذخیره شده در سیتوپلاسم است و احتمالاً در حفاظت از ساختمان ماکرومولکول‌های درون سلول در طی تنش خشکی، نقش مؤثری دارد. به طور کلی پرولین از دو مسیر عمده ساخته می‌شود: مسیر گلوتمات که

1 - Relative Water Content

می باشد که موجب مصرف بهینه آب و افزایش بهره‌وری در گیاهان خواهد شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی یزد با طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۱۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۵۵ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۲۳۶ متر از سطح دریا و با متوسط بارندگی سالانه ۶۵ میلی‌متر، میانگین دمای سالانه ۱۸/۹ سانتی‌گراد، با اقلیمی خشک در سال زراعی ۹۰-۹۱ به اجرا درآمد. در این تحقیق از آزمایش کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار استفاده شد. فاکتور اصلی تنش خشکی، در دو سطح شامل آبیاری پس از ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر (تنش) و ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر (شاهد) و فاکتور فرعی ارقام، در ۳ سطح شامل Billy، Adriana و Tassilo در نظر گرفته شد. منشأ ارقام Billy و Adriana فرانسه و منشأ Tassilo کشور آلمان بود. این ارقام که عملکرد مناسبی در سال‌های گذشته در شرایط تنش خشکی در این کشورها داشته‌اند از موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه شدند. کاشت به صورت دستی و در تاریخ ۲ آبان سال ۱۳۹۰ انجام شد. تیمارهای کودی و آبی، تراکم کشت و دیگر خصوصیات کشت بر اساس آزمایش خاک (جدول و همچنین روش‌های مورد استفاده در منطقه انجام شد. طول و عرض هر کرت به ترتیب ۲ و ۱ متر بود. از دو طرف طول و عرض مزرعه به ترتیب ۲۰ و ۱۰ سانتی‌متر به عنوان حاشیه (جهت جلوگیری از تأثیر دیگر عوامل محیطی) در نظر گرفته شد. فاصله دو کرت اصلی ۵ متر و فاصله کرت‌های فرعی از هم ۵۰ سانتی‌متر بود. هر کرت فرعی دارای ۴ خط کشت که فاصله خطوط کشت از هم ۴۰ سانتی‌متر بود. فاصله بذرها در هر خط ۵ سانتی‌متر و عمق کاشت بذور نیز ۳-۲ سانتی‌متر بود. قبل از کاشت، ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفات آمونیوم و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژنه در سه نوبت (۱۰۰ کیلوگرم به صورت پایه، ۱۰۰ کیلوگرم در مرحله ساقه‌دهی و ۵۰ کیلوگرم در مرحله شروع گل‌دهی) داده شد. صفات محتوای نسبی آب، هدایت روزنه‌ای، پرولین و قند کل ۷ روز پس از قطع آبیاری (انتهای مرحله گلدهی)، ۱۲ روز پس از قطع آبیاری (مرحله خورجین‌دهی) و ۲۶ روز

پس از قطع آبیاری (ابتدای مرحله پر شدن دانه) اندازه‌گیری شدند. ۱۳ بار آبیاری در تیمار شاهد و به صورت غرقاب انجام شد و تیمار تنش به صورت قطع آبیاری از گلدهی صورت گرفت. از آنجاییکه تنش خشکی یک تنش پیشرونده محسوب می‌شود اندازه‌گیری‌ها در این زمان‌ها انجام شد تا در نهایت ۲۶ روز پس از قطع آبیاری (آخرین مرحله اندازه‌گیری صفات) با اندازه‌گیری سطح تبخیر از تشتک تبخیر به ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر رسیدیم. نمونه‌گیری‌ها ۹ صبح انجام گرفت. جهت تعیین RWC از هر کرت نمونه‌ها از برگ پرچم (بالا ترین برگ توسعه یافته) جدا و بلافاصله وزن شدند (وزن تر). سپس به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر غوطه‌ور شدند و پس از گرفتن آب آن‌ها وزن اشباع آن‌ها گرفته شد. نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند و وزن خشک آن‌ها گرفته شد و سپس مقدار RWC با استفاده از رابطه [۱] محاسبه شد (Ritchie et al., 1990).

$$RWC = \frac{\text{وزن خشک} - \text{وزن تر}}{\text{وزن خشک}} \quad [1]$$

هدایت روزنه‌ای نیز همزمان با RWC با استفاده از دستگاه پرومتر مدل ELE اندازه‌گیری شد. جهت تعیین پرولین ابتدا ۰/۵ گرم از برگ فریز شده وزن و در هاون چینی کوبیده شد. سپس نمونه‌ها درون یک تیوب (فالكون ۱۵ میلی‌لیتری) ریخته و ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوسالیسیلیک ۳ درصد به آن‌ها اضافه شد و به مدت ۱۰ دقیقه درون حمام آب یخ قرار داده شدند و به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شدند. سپس مقدار ۲ میلی‌لیتر از روشناور ناشی از سانتریفیوژ درون تیوب ۱۵ میلی‌لیتر جدید ریخته و ۲ میلی‌لیتر اسید ناین هایدیرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال به آن افزوده و سپس خوب مخلوط شدند و نمونه‌ها در حمام آب گرم در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت یک ساعت قرار داده شدند و سپس درون حمام آب یخ قرار گرفتند تا واکنش متوقف شود. در نهایت ۴ میلی‌لیتر تولوئن به محلول اضافه و سپس مقدار پرولین در طول موج ۵۲۰ نانومتر در دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد (Bates et al., 1983). جهت تعیین قند کل محلول برگ با استفاده از فنل و اسید سولفوریک به ۰/۲ گرم از هر نمونه خرد شده گیاهی ۱/۵ میلی‌لیتر اتانول ۸۰٪ اضافه شد. پس از سانتریفیوژ در ۳۰۰۰ دور در ده

2001) انجام داد این نتیجه به دست آمد که با اعمال تنش خشکی RWC کاهش یافت که با نتایج ما مطابقت دارد. در واقع در زمان بروز تنش به دلیل کاهش آب درون سلول و کاهش فشار آماس میزان RWC کاهش می‌یابد (Yadav and Bhushan, 2001). روند تغییرات RWC در طول آزمایش نشان داد که بیشترین مقدار RWC در رقم Adriana ۱۲ روز پس از تنش (مرحله خورجین‌دهی)، در شرایط شاهد و کمترین مقدار در رقم Tassilo، ۷ روز پس از تنش (مرحله گلدهی)، در شرایط تنش به دست آمد. با توجه به این مطلب، در اولین مرحله پس از اعمال تنش (۷ روز پس از تنش) مقدار RWC و در واقع آب درون سلول در رقم Tassilo نسبت به دو رقم دیگر کاهش بیشتری یافت و تا پایان آزمایش نیز این کاهش را حفظ کرد که این کاهش می‌تواند دلیلی بر حساس بودن رقم Tassilo نسبت به دو رقم دیگر باشد. افزایشی که ۱۲ روز پس از تنش در RWC در رقم Adriana و در شرایط تنش دیده می‌شود می‌تواند دلیلی بر تحمل بیشتر رقم Adriana نسبت به تنش خشکی و توانایی بیشتر در تنظیم اسمزی باشد (شکل ۱). بنابراین ژنوتیپ‌هایی که در شرایط تنش کمترین کاهش را در RWC دارند توانایی بیشتری در تنظیم اسمزی تحت تنش دارند (Pasban Eslam et al., 2000)، که با نتایج ما مطابقت دارد.

هدایت روزه‌ای: نتایج این آزمایش نشان داد که ۷ روز پس از قطع آبیاری خشکی اثر معنی‌داری بر هدایت روزه‌ای داشت و باعث کاهش هدایت روزه‌ای در مقایسه با تیمار شاهد شد یعنی انتشار دی‌اکسیدکربن به فضای بین سلولی کم و فعالیت فتوسنتزی کم و یا متوقف شد. اختلاف معنی‌داری هم بین ارقام مشاهده شد که نشان دهنده عکس‌العمل‌های متفاوت ارقام در شرایط تنش خشکی می‌باشد. اثر متقابل خشکی و رقم هم بر هدایت روزه‌ای معنی‌دار شد که نشان دهنده حساسیت بیشتر مرحله گلدهی در تنظیم اسمزی با اعمال تنش خشکی است (جداول ۱ و ۴). ۱۲ روز پس از تنش، خشکی اثر معنی‌داری بر هدایت روزه‌ای داشت. همچنین اختلاف معنی‌داری بین ارقام در هدایت روزه‌ای وجود داشت. اما اثر متقابل خشکی و رقم معنی‌دار نشد (جداول ۲ و ۴). نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین در آخرین مرحله اعمال تنش (۲۶ روز پس از تنش) نشان داد که خشکی و همچنین ارقام اثر معنی‌داری بر هدایت روزه‌ای داشتند. اثر متقابل خشکی و رقم هم بر

دقیقه محلول رویی جدا و درون لوله آزمایش مناسب ریخته شد پس از تبخیر کامل الکل، ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر روی نمونه خشک شده اضافه شد در مرحله بعد ۰/۴۷ میلی‌لیتر هیدروکسید باریم ۰/۳ نرمال و سپس ۰/۵ میلی‌لیتر سولفات روی ۵٪ به محلول اضافه شد در نهایت یک میلی‌لیتر محلول فنل ۵٪ و سپس ۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۹۸٪ به محلول مرحله قبل اضافه و مقدار قند کل با اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد (Schlegel, 1956). جهت تعیین عملکرد دانه، در هنگام رسیدن محصول پس از حذف خطوط حاشیه، از خطوط هر کرت بوته‌ها برداشت و عملکرد دانه تعیین شد. جهت تعیین اجزای عملکرد تعداد ۵ بوته از هر کرت به صورت تصادفی در خطوط داخل هر کرت انتخاب و شمارش اجزای عملکرد صورت گرفت. برای تجزیه و تحلیل اطلاعات از نرم افزار SAS، برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال $P > 0.05$ و برای رسم نمودارها از نرم افزار EXCEL استفاده شد.

نتایج و بحث

محتوی نسبی آب (RWC): نتایج آزمایش‌های ما نشان داد که ۷ روز پس از قطع آبیاری (همزمان با مرحله گلدهی)، تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار RWC شد. اختلاف معنی‌داری هم بین ارقام مشاهده شد که نشان دهنده تنوع ژنتیکی بالا در شرایط تنش خشکی می‌باشد. همچنین اثر متقابل خشکی و رقم بر RWC معنی‌دار شد یعنی ارقام در شرایط محیطی مختلف عکس‌العمل‌های متفاوتی از خود نشان دادند که می‌توان گلدهی را مرحله حساسی در محتوای نسبی آب برگ‌ها دانست (جداول ۱ و ۴). با پیشرفت تنش خشکی (۱۲ روز پس از قطع آبیاری و همزمان با خورجین‌دهی) دوباره RWC اندازه‌گیری شد که در این مرحله نیز اثر خشکی و همچنین ارقام بر RWC معنی‌دار شد و RWC کاهش یافت، اما اثر متقابل خشکی و رقم معنی‌دار نشد (جداول ۲ و ۴). در آخرین مرحله اندازه‌گیری (۲۶ روز پس از تنش) که با پر شدن دانه‌ها همراه بود نیز خشکی اثر معنی‌داری بر RWC داشت. همچنین بین ارقام در مقدار RWC اختلاف معنی‌داری مشاهده شد، اما اثر متقابل خشکی و رقم در RWC معنی‌دار نشد یعنی با در نظر گرفتن شرایط تنش و شاهد بین ارقام تفاوت معنی‌داری در میزان RWC دیده نشد (جداول ۳ و ۴). در آزمایش دیگری که آتیا (Atteya,

یعنی رقم Tassilo در انتهای آزمایش دارای کمترین مقدار هدایت روزنه‌ای بود که نشان می‌دهد تا انتهای آزمایش نیز توانایی تنظیم اسمزی را در سلول‌های خود نداشته است. به‌طور کلی نتایج حاصل از آزمایش‌های ما کاهش هدایت روزنه‌ای تحت تنش خشکی را نشان داد. همچنین توجه به این نکته حائز اهمیت است که کاهش هدایت روزنه‌ای ۲۶ روز پس از تنش (پایان آزمایش و با پیری گیاه) نسبت به شاهد در رقم Adriana ۲۸/۱۳٪ در مقایسه با رقم Tassilo (رقم با تحمل کمتر) کمتر اتفاق افتاده است و این نتیجه می‌تواند نشان دهنده متحمل‌تر بودن این رقم و توانایی بالاتر تنظیم اسمزی در شرایط تنش خشکی در رقم Adriana نسبت به دو رقم Billy و Tassilo باشد (شکل ۱).

هدایت روزنه‌ای معنی‌دار شد (جدول ۳ و ۴). در آزمایشی مشخص شد که تحت تنش خشکی هدایت روزنه‌ای به‌طور معنی‌داری کاهش یافت که ژنوتیپ‌های با بالاترین توانایی تنظیم اسمزی تحت تنش، کمترین کاهش را در هدایت روزنه‌ای داشتند (Pasban Eslam et al., 2000)؛ یعنی گیاه در برابر خشکی روزنه‌های خود را کمتر بسته است و در برابر شرایط نامساعد محیطی به‌خصوص خشکی متحمل‌تر است. در آزمایش دیگری نیز مشخص شد که هدایت روزنه‌ای در ژنوتیپ‌های حساس به خشکی تحت شرایط تنش، از ارقام متحمل کمتر بود (Kusvuran, 2011). در آزمایش ما بیشترین مقدار هدایت روزنه‌ای، در رقم Adriana ۷ روز پس از تنش، در شرایط شاهد و کمترین مقدار در رقم Tassilo، ۲۶ روز پس از تنش، در شرایط تنش مشاهده شد.

جدول ۱. تجزیه واریانس RWC، هدایت روزنه‌ای (gs)، پرولین، قند کل محلول برگ در ارقام کلزا (Billy، Adriana و Tassilo) (۷ روز بعد از تنش).

Table 1. Analysis variance of RWC, stomatal conductance (gs), proline, total soluble sugar in rapeseed cultivars (Billy, Adriana and Tassilo) (7 days after drought stress)

S.O.V	منبع تغییرات	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (Mean Squares)			
			محتوی نسبی آب %RWC	هدایت روزنه‌ای gs	پرولین Proline	قند کل محلول total soluble sugar
Replication	تکرار	2	4.17 ^{ns}	504.4 ^{ns}	12.64 ^{ns}	368*
Drought	خشکی	1	723.3**	31000**	1639**	798.6**
Drought*Replication	تکرار × خشکی	2	7.9 ^{ns}	746.2 ^{ns}	27.17 ^{ns}	38.81 ^{ns}
Cultivars	ارقام	2	10.9*	1784.4*	508.7**	245.15 ^{ns}
Drought*Cultivar	خشکی × رقم	2	13.65*	1520.2*	533**	212.33 ^{ns}
Error	خطا	8	6.88	286.4	15.36	87.23
CV	ضریب تغییرات		3.25	8.515	18.37	15.97

* و ** به ترتیب نشان دهنده معنی دار بودن در سطح ۵٪ و ۱٪ و ^{ns} فاقد اختلاف معنی دار

*and** significant at the 5% and 1% of probability levels, respectively and ns non significant

خشکی گزارش شد (Gibon, 2000). در آزمایش ما بیشترین مقدار پرولین برگ، در رقم Billy 26 روز پس از تنش، در شرایط تنش و کمترین مقدار در رقم Adriana، 26 روز پس از تنش، در شرایط شاهد به دست آمد. به نظر می‌رسد افزایش پرولین در هر مرحله از تنش نسبت به شاهد در رقم متحمل (رقم Adriana در این آزمایش) بیشتر باشد (شکل ۱). طبق نظر وندرسکولو و همکاران (Vendruscolo et al., 2007) افزایش میزان پرولین در

پرولین: نتایج نشان داد که در هر سه مرحله اندازه‌گیری پرولین (۷، ۱۲ و ۲۶ روز پس از قطع آبیاری)، خشکی باعث افزایش معنی‌داری در میزان پرولین شد. بین ارقام اختلاف معنی‌داری در مقدار پرولین مشاهده شد. اثر متقابل خشکی و رقم نیز معنی‌دار شد، یعنی در شرایط مختلف محیطی، ارقام مختلف عکس‌العمل‌های متفاوتی از خود نشان دادند (جدول ۱، ۲، ۳ و ۴). در آزمایش دیگری که روی کلزا انجام شد افزایش میزان پرولین تحت تنش

هزینه‌بر است (Good and Zaplachinski, 1994). با توجه به این نکته، کاهشی که در میزان پرولین با افزایش شدت تنش در ۲۶ روز پس از تنش (نسبت به ۱۲ روز) در هر سه رقم دیده می‌شود، می‌تواند نشان دهنده هزینه‌بر بودن تولید پرولین در گیاه باشد و تا جایی ساخته می‌شود که خطری گیاه را تهدید نکند (شکل ۱).

شرایط تنش یکی از معیارهای ایجاد تحمل در گیاه به شمار می‌رود که با نتایج آزمایش ما مطابقت داشت. طبق نظر دیگری تجمع پرولین و اسیدهای آمینه در بافت سبز کلزا تحت تنش خشکی می‌تواند تا حدودی شرایط لازم برای ادامه جذب آب از محیط ریشه را برای گیاه فراهم آورد اما اتکای گیاهان به این ترکیبات آلی برای تنظیم اسمزی

جدول ۲: تجزیه واریانس RWC، هدایت روزنه‌ای (gs)، پرولین، قند کل محلول برگ در ارقام کلزا (Adriana, Billy و Tassilo) (۱۲ روز بعد از تنش)

Table 2: Analysis variance of RWC, stomatal conductance (gs), proline, total soluble sugar in rapeseed cultivars (Billy, Adriana and Tassilo) (12 days after drought stress)

S.O.V	منبع تغییرات	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (Mean Squares)			قند کل محلول total soluble sugar
			محتوی نسبی آب %RWC	هدایت روزنه‌ای gs	پرولین Proline	
Replication	تکرار	2	7.7 ^{ns}	470.16 ^{ns}	79.48 ^{ns}	658.7*
Drought	خشکی	1	754.1**	73472.22**	4205.2**	444.53 ^{ns}
Drought*Replication	تکرار × خشکی	2	4.24 ^{ns}	511.72	15.05	29.52 ^{ns}
Cultivars	ارقام	2	60.9**	3305.16*	931.4**	461.7 ^{ns}
Drought*Cultivar	خشکی × رقم	2	9.9	1149.05	843**	95.87 ^{ns}
Error	خطا	8	3.53	808.69	74.40	149.23
CV	ضریب تغییرات		2.3	19.70	35.65	19.65

* و ** به ترتیب نشان دهنده معنی دار بودن در سطح ۵٪ و ۱٪ و ^{ns} فاقد اختلاف معنی دار
*and** significant at the 5% and 1% of probability levels, respectively and ns non significant

جدول ۳: تجزیه واریانس RWC، هدایت روزنه‌ای (gs)، پرولین، قند کل محلول برگ در ارقام کلزا (Adriana, Billy و Tassilo) (۲۶ روز بعد از تنش)

Table 3: Analysis variance of RWC, stomatal conductance (gs), proline, total soluble sugar in rapeseed cultivars (Billy, Adriana and Tassilo) (26 days after drought stress)

S.O.V	منبع تغییرات	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (Mean Squares)			قند کل محلول total soluble sugar
			محتوی نسبی آب %RWC	هدایت روزنه‌ای gs	پرولین Proline	
Replication	تکرار	2	7.7 ^{ns}	470.16 ^{ns}	79.48 ^{ns}	658.7*
Drought	خشکی	1	754.1**	73472.22**	4205.2**	444.53 ^{ns}
Drought*Replication	تکرار × خشکی	2	4.24 ^{ns}	511.72	15.05 ^{ns}	29.52 ^{ns}
Cultivars	ارقام	2	60.9**	3305.16*	931.4**	461.7 ^{ns}
Drought*Cultivar	خشکی × رقم	2	9.9 ^{ns}	1149.05 ^{ns}	843**	95.87 ^{ns}
Error	خطا	8	3.53	808.69	74.40	149.23
CV	ضریب تغییرات		2.3	19.70	35.65	19.65

* و ** به ترتیب نشان دهنده معنی دار بودن در سطح ۵٪ و ۱٪ و ^{ns} فاقد اختلاف معنی دار
*and** significant at the 5% and 1% of probability levels, respectively and ns non significant.

است (Fututoku, Y., Yamada, 1981). طبق نظر برخی پژوهشگران یکی از وظایف اصلی قندها شرکت در متابولیسم گیاه است، بعلاوه قندها می‌توانند به عنوان یک سیستم دفاعی در زمان وقوع تنش، فشار آماس را در سطح بالایی نگه دارند (Kishor et al., 2005). در این آزمایش بیشترین مقدار قند کل محلول برگ، در رقم Tassilo 26 روز پس از تنش، در شرایط تنش و کمترین مقدار در رقم Billy، 26 روز پس از تنش، در شرایط شاهد به دست آمد این نتایج نشان می‌دهد که رقم Tassilo که تحت تنش خشکی کمترین مقدار RWC و هدایت روزنه‌ای را در مقایسه با دو رقم Adriana و Billy به خود اختصاص داد و در واقع آب بیشتری را از دست داده در جهت جبران کاهش فشار آماس سلول اقدام به افزایش بیشتر غلظت قند در برگ‌های خود کرده است (شکل ۱) که می‌تواند نشان دهنده توانایی کمتر این رقم در تنظیم اسمزی سلول‌های خود و در نتیجه تحمل کمتر در مواجهه شدن با خشکی باشد. پژوهشگران در آزمایشی که با نتایج ما مطابقت دارد بیان داشتند که در تنش کمبود آب میزان قندهای محلول برگ در ارقام متحمل بالاتر است اما در تنش بسیار شدید به دلیل کاهش میزان آب خارج سلولی میزان قندهای محلول در ارقام حساس بالاتر می‌باشد (Ashraf et al., 2001).

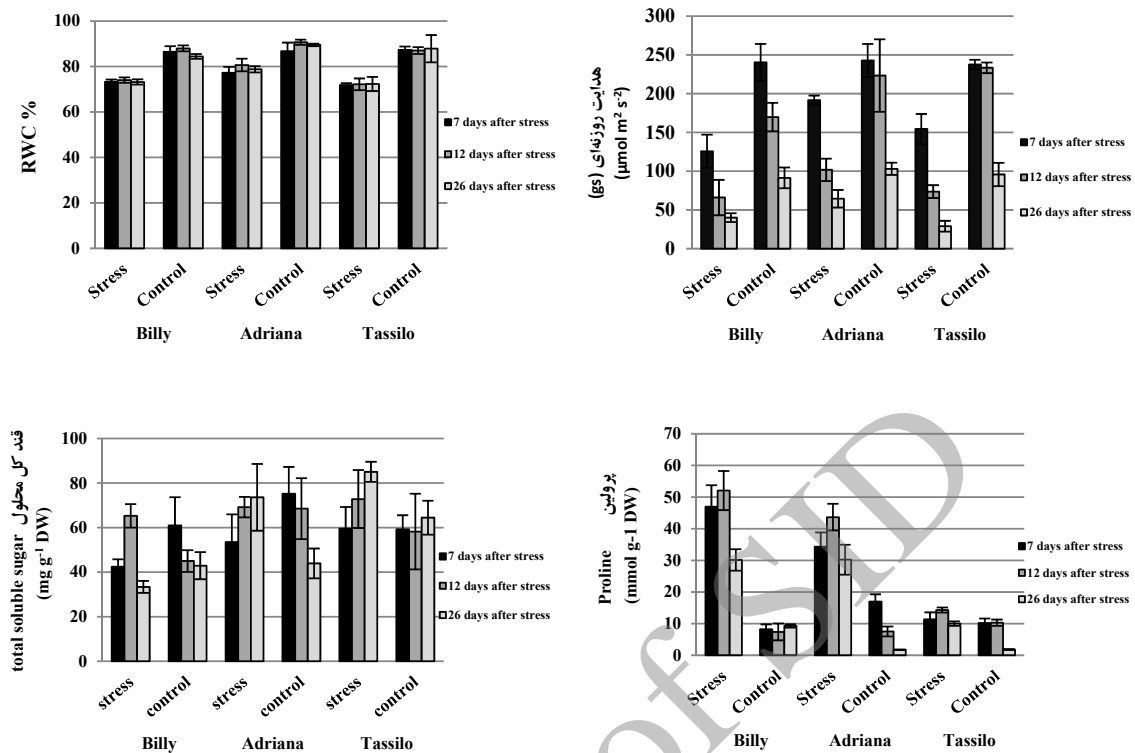
قند کل محلول: نتایج آزمایش‌های ما نشان داد که ۷ روز پس از اعمال تنش (زمان گلدهی) خشکی اثر معنی‌داری بر قند کل محلول داشت و باعث کاهش میزان قند کل محلول شد که ممکن است این کاهش به دلیل همزمانی تنش با مرحله گلدهی و مصرف قند توسط این مرحله فیزیولوژیکی باشد که گیاه در آن قرار گرفته است. اختلاف معنی‌داری بین ارقام در میزان قند کل دیده نشد. اثر متقابل خشکی و رقم هم برای صفت قند کل محلول معنی‌دار نشد (جداول ۱ و ۴). ۱۲ روز پس از تنش، خشکی اثر معنی‌داری بر قند کل داشت و باعث افزایش میزان آن شد، اما اختلاف معنی‌داری بین ارقام دیده نشد. اثر متقابل خشکی و رقم هم در قند کل محلول معنی‌دار نشد یعنی در محیط‌های مختلف ارقام تفاوت معنی‌داری از خود نشان ندادند (جداول ۲ و ۴). با پیشرفت تنش (۲۶ روز پس از تنش) نتایج خشکی باعث افزایش معنی‌داری در قند کل محلول شد. بین ارقام نیز تفاوت معنی‌داری در میزان قند کل دیده نشد. اثر متقابل خشکی و رقم نیز بر قند کل محلول معنی‌دار نشد. در آزمایشی این نتیجه به دست آمد که در شرایط تنش میزان تجمع قندهای محلول در برگ افزایش می‌یابد (Cechin et al., 2006). نتایج بدست آمده از این آزمایش نشان داد که با افزایش شدت تنش قند کل محلول برگ نیز افزایش یافت که در آزمایش‌های دیگر نیز نتایج مشابهی به دست آمده

جدول ۴. مقایسه میانگین صفات RWC، هدایت روزنه‌ای، پرولین، قند کل برگ کلزا در سطوح مختلف تنش کمبود آب در ارقام کلزا (Tassilo و Adriana، Billy).

Table 4. Comparison of traits % RWC, stomatal conductance (gs), proline, total sugar levels in water deficit stress of canola leaves in rapeseed cultivars (Billy, Adriana and Tassilo).

زمان اندازه‌گیری	سطوح تنش	محتوی نسبی آب	هدایت روزنه‌ای	پروولین	قند کل محلول	
Measuring time	Levels of stress	%RWC	gs	Proline	total soluble sugar	
		%	($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-2}$)	($\text{mmol g}^{-1} \text{DW}$)	($\text{mg g}^{-1} \text{DW}$)	
۷ روز پس از تنش 7 days after drought stress	Stress	تنش	74.13b	157.2b	30.87a	51.8b
	Control	شاهد	86.81a	240.2a	11.79b	65.12a
۱۲ روز پس از تنش 12 days after drought stress	Stress	تنش	75.6b	80.44b	36.66a	69.05a
	Control	شاهد	88.5a	208.2a	8.4b	57.19b
۲۶ روز پس از تنش 26 days after drought stress	Stress	تنش	74.76b	44.48b	23.48a	63.97a
	Control	شاهد	87.25a	96.66a	4.28b	50.4b

دانکن در سطح ۵٪. حروف مشابه در هر ستون به لحاظ آماری در سطح ۵٪ معنی‌داری نمی‌باشند
Duncan at 5% level. Similar words in every column non significant statistical at 5% level.



شکل ۱. اثرات متقابل تیمارهای خشکی (تنش و شاهد) و ارقام کلزا (Billy, Adriana و Tassilo) در صفات RWC، هدایت روزنه‌ای، پرولین، قند کل ۷، ۱۲ و ۲۶ روز پس از اعمال تنش خشکی

Fig. 1. Interaction between drought treatments (control and stress) and rapeseed cultivars (Billy, Adriana and Tassilo) for % RWC, stomatal conductance, proline, total sugar 7, 12 and 26 days after drought stress.

شروع گلدهی اتفاق می‌افتد و در زمان رشد خورجین‌ها ادامه می‌یابد (Sinaki et al., 2007) که با نتایج آزمایش‌های ما مطابقت دارند. وزن هزار دانه: در این آزمایش خشکی اثر معنی‌داری بر وزن هزار دانه نداشت که علت آن بازتاب جبرانی گیاه در برابر کاهش تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین می‌تواند باشد (Jensen et al. 1996). اما اختلاف معنی‌داری بین ارقام مشاهده شد. اثر متقابل خشکی و رقم هم بر وزن هزار دانه معنی‌دار شد که بیشترین مقدار وزن هزار دانه در رقم Adriana در شرایط تنش و کمترین مقدار وزن هزار دانه در رقم Billy و در شرایط تنش مشاهده شد (جدول ۵ و شکل ۲).

عملکرد دانه و اجزای عملکرد

عملکرد دانه: نتایج تجزیه واریانس عملکرد دانه و اجزای آن نشان داد که خشکی اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه داشت و باعث کاهش آن شد. همچنین اختلاف معنی‌داری بین ارقام در عملکرد دانه مشاهده شد یعنی ارقام در این صفت اختلاف معنی‌داری با هم نشان دادند که بیشترین و کمترین عملکرد دانه به ترتیب در رقم Adriana و رقم Tassilo مشاهده شد. اثر متقابل خشکی و رقم بر عملکرد دانه معنی‌دار نشد (جدول ۵ و ۶). در آزمایشی که در شرایط تنش خشکی انجام شد عملکرد کلزا کاهش یافت (Gunasekera et al., 2006) نتایج یک آزمایش روی کلزا نشان داد که خشکی در مرحله گلدهی باعث کاهش عملکرد دانه و اجزای آن شد (Hasanzadeh et al., 2005) بیشترین کاهش عملکرد کلزا موقعی است که تنش آب در

تعداد خورجین در بوته: اثر خشکی بر تعداد خورجین در بوته کاهش معنی‌داری را نشان داد. یعنی در کلزا دوره گلدهی و مراحل نمو خورجین ها و پر شدن دانه از نظر نیاز به آب مراحل بحرانی بوده و در صورت عدم تأمین آب کافی تعداد خورجین در بوته کاهش می یابد. اما اختلاف معنی‌داری بین ارقام در تعداد خورجین در بوته دیده نشد. اثر متقابل خشکی و رقم هم بر تعداد خورجین در بوته معنی‌دار شد بیشترین تعداد خورجین در بوته در رقم Tassilo و در شرایط شاهد و کمترین تعداد خورجین در بوته در رقم Billy و در شرایط تنش به دست آمد (جدول ۵ و ۶). کاهش عملکرد دانه توسط دوره کوتاهی از تنش آب در موقع طویل شدن ساقه، گلدهی و رشد خورجین‌ها به علت کاهش تعداد خورجین‌ها در بوته است (Sinaki et al., 2007).

در دو رقم Billy و Tassilo تعداد شاخه فرعی و تعداد خورجین در بوته و در نتیجه وزن هزار دانه نسبت به شرایط شاهد کاهش یافته است اما در رقم Adriana مقدار این سه صفت در شرایط تنش نسبت به شاهد افزایش جزئی یافته است (جدول ۶) که احتمالاً می‌توان ارتباط وزن هزار دانه با تعداد شاخه فرعی و تعداد خورجین در بوته را توجیه کرد.

وزن دانه در خورجین: نتایج نشان داد که خشکی باعث کاهش معنی‌دار وزن دانه در خورجین شد (کاهش ۰/۰۳۳ گرم نسبت به شاهد) که با نتایج دیگران منطبق است (Youssefi et al., 2011). همچنین اختلاف معنی‌داری بین ارقام در وزن دانه در خورجین مشاهده شد که بیشترین و کمترین وزن دانه در خورجین به ترتیب در Adriana و Billy به دست آمد اما بین دو رقم Billy و Tassilo تفاوت معنی‌داری دیده نشد. اثر متقابل خشکی و رقم بر وزن دانه در خورجین معنی‌دار نشد (جدول ۵ و ۶).

تعداد شاخه فرعی: خشکی باعث کاهش معنی‌دار تعداد شاخه فرعی در بوته شد. اما اختلاف معنی‌داری بین ارقام در تعداد شاخه فرعی دیده نشد یعنی ارقام در این صفت اختلاف معنی‌داری با هم نشان ندادند. اثر متقابل خشکی و رقم بر تعداد شاخه فرعی معنی‌دار شد که بیشترین تعداد شاخه فرعی در بوته در رقم Billy و در شرایط شاهد و کمترین تعداد شاخه فرعی در بوته در رقم Tassilo و در شرایط تنش به دست آمد (جدول ۵ و ۶ و شکل ۲) که با نتایج آزمایش‌های دیگران مطابقت دارد (Youssefi et al., 2011).

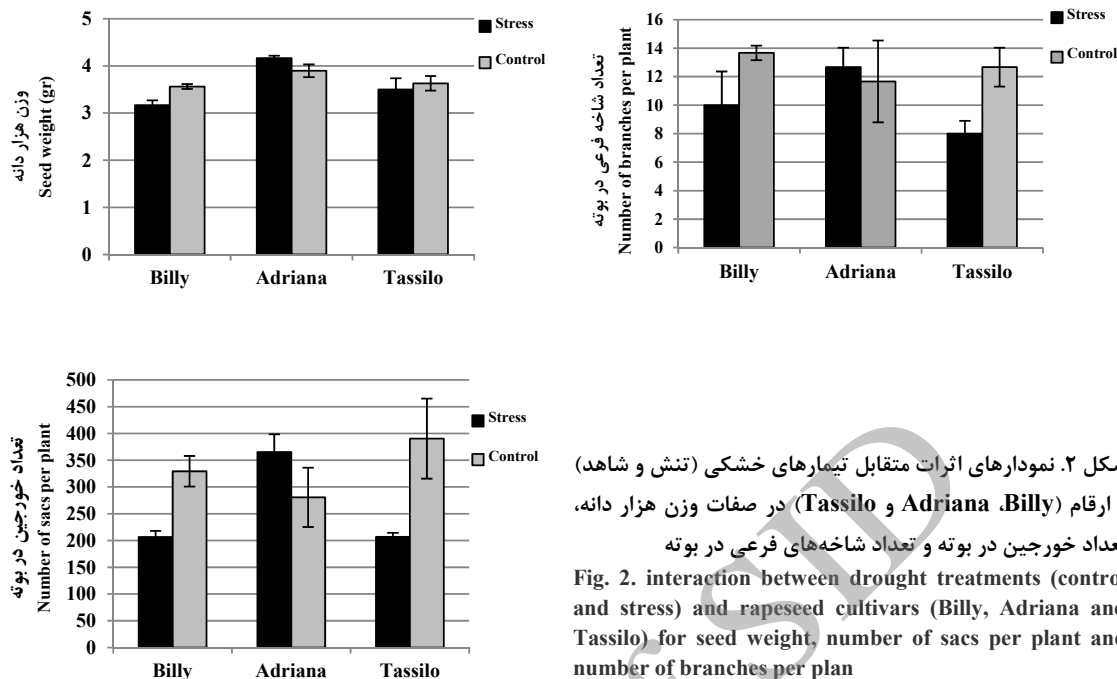
جدول ۵. تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد ۳ رقم کلزا (Billy, Adriana و Tassilo) پس از برداشت.

Table 5. Analysis variance of yield and its components of three cultivars of rapeseed (Billy, Adriana and Tassilo) after harvesting

S.O.V	منبع تغییرات	df	عملکرد درجه آزادی Seed yield	وزن هزار دانه Seed weight	وزن دانه در خورجین Weight of seeds per sac	تعداد شاخه فرعی Number of branches	تعداد خورجین در بوته Number of sacs per plant	تعداد دانه در خورجین Number of seeds per sac	ارتفاع بوته Plant height
Replication	تکرار	2	17301 ^{ns}	0.071*	0.01 ^{ns}	1.2 ^{ns}	2170 ^{ns}	1687.4**	12.2 ^{ns}
Drought	خشکی	1	5834072**	0.033 ^{ns}	0.52*	40.5**	24642**	55444.5**	1963.5**
Drought*Replication	تکرار × خشکی	2	83181 ^{ns}	0.011 ^{ns}	0.014 ^{ns}	8.2*	2824 ^{ns}	1383.5**	76.1 ^{ns}
Cultivars	ارقام	2	865428**	0.7**	0.1*	5.2 ^{ns}	4584 ^{ns}	3747.4**	448.7**
Drought*Cultivar	خشکی × رقم	2	62917 ^{ns}	0.2**	0.01 ^{ns}	18.2**	29702**	402.2 ^{ns}	66.9 ^{ns}
Error	خطا	8	33067	0.02	0.0043	1.83	2113.4	148.7	606
CV	ضریب تغییرات		9.5	3.41	7.84	12.12	15.51	5.35	6.35

* و ** به ترتیب معنی‌دار بودن در سطح ۵٪ و ۱٪ و ^{ns} فاقد اختلاف معنی‌دار.

*and** significant at the 5% and 1% of probability levels, respectively and ns non significant



شکل ۲. نمودارهای اثرات متقابل تیمارهای خشکی (تنش و شاهد) و ارقام (Billy, Adriana و Tassilo) در صفات وزن هزار دانه، تعداد خورجین در بوته و تعداد شاخه‌های فرعی در بوته

Fig. 2. interaction between drought treatments (control and stress) and rapeseed cultivars (Billy, Adriana and Tassilo) for seed weight, number of sacs per plant and number of branches per plan

اختلاف معنی‌داری بین ارقام در ارتفاع بوته مشاهده شد. بیشترین مقدار ارتفاع بوته در رقم Adriana و کمترین مقدار در رقم Billy مشاهده شد. البته بین دو رقم Billy و Tassilo اختلاف معنی‌دار نبود. اثر متقابل خشکی و رقم هم بر ارتفاع بوته معنی‌دار نشد (جدول ۵ و ۶).

نتیجه‌گیری

به طور کلی نتایج نشان داد که تنش کمبود آب در مرحله گلدهی، خورجین‌دهی و پر شدن دانه اثر معنی‌داری بر صفات RWC، هدایت روزنه‌ای، پرولین، قند کل محلول برگ داشت. در مرحله اول اعمال تنش (۷ روز پس از تنش) باعث کاهش مقدار محتوای نسبی آب، هدایت روزنه‌ای و قند کل و افزایش پرولین شد. در مرحله دوم (۱۲ روز پس از تنش) و مرحله سوم (۲۶ روز پس از تنش) تنش باعث کاهش RWC و هدایت روزنه‌ای و افزایش پرولین و قند کل محلول شد (جدول ۵ و ۶). صفات RWC، هدایت روزنه‌ای و پرولین شاخص‌های مناسبی برای تحمل به تنش خشکی هستند. همچنین خشکی باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه، وزن دانه در خورجین، تعداد شاخه فرعی،

تعداد دانه در خورجین: اثر خشکی بر تعداد دانه در خورجین معنی‌دار و باعث کاهش در تعداد آن‌ها شد که در نتایج دیگران نیز نتیجه مشابهی دیده می‌شود (BiranAra et al., 2011). کمبود آب در مرحله گلدهی کاهش گرده افشانی و عمل تلقیح در گیاه می‌شود و سبب کاهش تعداد دانه در خورجین می‌شود. محدودیت تأمین مواد فتوسنتزی و دیگر عوامل محیطی (خشکی) نیز بر تعداد دانه در خورجین در گیاه کلزا مؤثر است. همچنین اختلاف معنی‌داری هم بین ارقام در تعداد دانه در خورجین مشاهده شد یعنی تعداد دانه در غلاف تحت تأثیر عوامل ژنتیکی نیز قرار می‌گیرد که بیشترین و کمترین تعداد به ترتیب در رقم Adriana و Billy مشاهده شد. اما بین دو رقم Billy و Tassilo اختلاف معنی‌دار نبود (جدول ۵ و ۶). اثر متقابل خشکی و رقم هم بر تعداد دانه در خورجین معنی‌دار نشد.

ارتفاع بوته: خشکی باعث کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته شد (کاهش ۲۰/۹ سانتی‌متری نسبت به شاهد) که با نتایج آزمایشی که روی رقم کلزا در پاسخ به تنش خشکی انجام شد مطابقت دارد (Youssefi et al., 2011). همچنین

کلزا می‌باشند. همچنین توصیه می‌شود پژوهش‌های دیگری در رابطه با تحمل به شوری، سرما، آلاینده‌های زیست‌محیطی روی ۳ رقم آزمایش شده انجام شود.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از همکاران بخش فیزیولوژی مولکولی پژوهشکده بیوتکنولوژی کرج و همچنین اساتید محترم دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) قزوین که اینجانب را در انجام این مهم یاری رساندند تشکر و قدردانی می‌نمایم.

تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و ارتفاع بوته شد اما اثر خشکی بر وزن هزاردانه معنی‌دار نشد. البته میزان کاهش یا افزایش صفات بسته به شدت تنش و نوع رقم متفاوت است. اثر متقابل خشکی و رقم فقط بر صفات وزن هزار دانه، تعداد شاخه فرعی و تعداد خورجین در بوته معنی‌دار شد و در نهایت رقم Adriana نسبت به دو رقم دیگر سازوکار بهتری در شرایط خشکی از خود نشان داد و در نتیجه کشت آن به عنوان رقم متحمل در مناطق خشک توصیه می‌شود. به‌طور کلی مراحل گلدهی، خورجین‌دهی و پر شدن دانه مراحل حساسی در پاسخ به تنش خشکی در

جدول ۶: مقایسه میانگین صفات عملکرد و اجزای آن در سطوح مختلف تنش کمبود آب در ارقام کلزا (Billy, Adriana و Tassilo)

Table 6: Comparison of mean yield and its components at different levels of water deficit stress in rapeseed cultivars (Billy, Adriana and Tassilo)

تیمار	عملکرد Seed yield (kg/h)	وزن هزار دانه Seed weight (g)	وزن دانه در خورجین Weight of seeds per sac (g)	تعداد شاخه فرعی Number of branches	تعداد خورجین در بوته Number of sacs per plant	تعداد دانه در خورجین Number of seeds per sac	ارتفاع
							بوته Plant height (cm)
تنش	1345b	3.61a	0.0668b	9.667b	259.4b	17.24b	112.2b
شاهد	2384a	3.69a	0.1a	12.667a	333.4a	28.34a	133.1a

حروف مشابه در هر ستون به لحاظ آماری در سطح ۵٪ معنی‌داری نمی‌باشند. کانکن در سطح ۵٪
Duncan at 5% level. Similar words in every column non significant statistical at 5% level

جدول ۷. نتایج آزمون فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 7. Physical and chemical soil test results

عمق نمونه برداری	شن	سیلت	رس	بافت خاک	هدایت الکتریکی	pH	نیترژن کل	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب	وزن مخصوص ظاهری	ظرفیت زراعی	نقطه پژمردگی
Sampling Depth	Sand	Silt	Clay	Soil issue	EC		Total Nitrogen	Absorbable Phosphorus	Absorbable Potassium	Bulk density	Field capacity	Wilting point
cm	Percent				ds/m ²		Percent	ppm	ppm	g/cm ³	Percent	Percent
0-40	64.2	10.8	25	لوم شنی رسی clay Sandy loam	3.88	7.8	0.014	5.02	107.9	1.39	16.7	4.1

منابع

- Ahmadi, S.H., Niazi Ardekani, J., 2006. The effect of water salinity on growth and physiological stages of eight Canola (*Brassica napus*) cultivars. *Irrigation Science*. 25, 11–20.
- Ashraf, M., Nazir, N.Mc., Neilly, T., 2001. Comparative salt tolerance of amphidiploid and diploid Brassica species. *Plant Science*. 160, 683-689.
- Atteya, A.M., 2003. Alteration of water relations and yield of corn genotypes in response to drought stress. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*. 29, 63-76.
- Bates, L.S., Waldern, R.P., Teave, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water stress standies. *Plant and Soil*. 39, 205-107.
- BirunAra, A., Shekari, F., Hassanpouraghdam M.B., Khorshidi M.B., Esfandiyari E., 2011. Effects of water deficit stress on yield, yield components and phenology of canola (*Brassica napus* L.) at different growth stages. *Journal of Food, Agriculture & Environment*. 9, 506-509.
- Cechin, I., Rossi, S., Oliveira, V., Fumis, T., 2006. Photosynthetic responses and proline content of mature and young leaves of sunflower plants underwater deficit. *Photosynthetica*. 44, 143-146.
- Delaney, A.J., Hu, C.A.A., Kishor, K.P.B., Verma, D.P.S., 1993. Cloning ornithine aminotransferase cDNA from *Vigna anconitifolia* by trans-complementation in *Escherichia coiland* regulation of proline biosynthesis. *Journal of Biological Chemistry*. 268, 18673-18678.
- Eilkaee, M.N., Emam, Y., 2006. Effect of plant density on yield and yield components in two winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) cultivars. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*. 34, 509-515. [In Persian with English Summary].
- Fanaei, H.R., Galavi, M., Kafi, M., Ghanbari Bonjar, A., 2009. Amelioration of water stress by potassium fertilizer in two oilseed species. *International Journal of Plant Production*. 3, 41-54
- Faraji, A., Lattifi, 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.
- Fututoku, Y., Yamada, Y., 1981. Diurnal changes in water-stressed and non-stressed soybean plants. *Soil Science*. 27, 195-204
- Ghaffari, G., Toorchi, M., Aharizad, S., Shakiba, M.R., 2011. Evaluation of traits related to water deficit stress in winter rapeseed cultivars. *Journal of Environmental Research and Technology*. 1, 338-350.
- Gibon, Y., Sulpice, R., Larher, F., 2000. Proline accumulation in canola leaf discs subjected to osmotic stress is related to the loss of chlorophylls and to the decrease of mitochondrial activity. *Plant Physiology*. 4, 469-476.
- Gunasekera, M., Santakumari, Z. Glinka., Berkowitz, G.A., 1994. Wild and cultivated genotypes demonstrate varying ability to plant water deficits. *Plant Science*. 99, 125-134.
- Good, A., Zaplachinski, S., 1994. The effects of drought on free amino acid accumulation and protein syntesis in *Brassica napus* L. *Physiologia Plantarum*. 90, 9–14.
- Hasanzadeh, M., Shirani Rad, A.H., Nadery Darbaghshahi, M.R., Majd Nasiri B., Madani, H., 2005. Effect of drought stress on yield and yield components of autumn rapeseed varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 7, 17-24. [In Persian with Summary].
- Heidari, M., 2006. Response of Plants to Environmental Stress. Arass Rayaneh Press. (In Persian).
- Hu, Y., Burucs, Z., Von Tucher, S., Schmidhalter, U., 2007. Short-term effects of drought and salinity on mineral nutrient distribution along growing leaves maize seedlings. *Environmental and Experimental Botany*. 60, 268-275.
- Jensen, C.R., Mogensen, V.O., Mortensen, G., Fieldsend, J.K., Milford, G.F.J., Anderson, M.N., Thage, J. H., 1996. Seed glucosinolate, oil and protein content of field-grown rape (*Brassica napus* L.) affected by soil drying and evaporative demand. *Field Crops Research*. 47, 93-105.
- Kishor, P.B.K., Sangama, S., Amrutha, R.N., Laxmi, P.S., Naidu, K.R., Rao, K.S., 2005. Regulation of praline in higher plants: its

- implications in plant growth and abiotic stress tolerance. *Current Science*. 88, 424-438.
- 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.
- Liu, Y.Q., Chen, Z.X., Yang, W.Q., 2008. Effect of high temperature and drought stress on the physiological characteristics of *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis* Seedlings. *Acta Horticulturae Sinica*. 35, 761-764.
- Mendham, N.J., Salisbury, P.A., 1995. Physiology. Crop development, Growth and yield in: Kimber, D. and M.c Greagor. D.I. (eds.). CAB international. 11-67.
- Mitchell, R. A., Mitchell, V. J., Lawlor, D. W., 2001. Response of wheat canopy CO₂ and water gas-exchange to soil water content under ambient and elevated CO₂. *Global Change Biology*. 7, 599-611.
- Moradshahi, A., Salehi Eskandari, B., Kholdebarin, B., 2004. Some physiological responses of canola (*Brassica napus* L.). *Iranian Journal of Science and Technology Transaction A-Science*. 28, 43-50 [in Persian].
- Morgan, J.M., 1984. Osmoregulation and water stress in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology*. 35, 335-339.
- 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, 579-583.
- Pasban Eslam, B., Shakiba, M.R., Neyshabori, M.R., Moghaddam M., Ahmadi, M.R., 2000. Evaluation of physiological indices as a screening technique for drought resistance in oilseed rape. *Pakistan Academy of Sciences*. 37, 143-152.
- Palomo, I.R., Baioni S.S., Fioretti, M.N., Bredan, R.E., 1999. Canola under water deficiency in Southern Argentina. In: Potter, T.D, McDonald, G., Salisbury, P.A., Green A.G. (eds). *Canola in Australia. The First Thirty Years. Proceeding of 10th International Rapeseed Congress, Canberra, Australia*.
- Ritchie, S.W., Nguyen, H.T., Haloday, A.S., 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science*. 30, 105-111
- Schlegel, H.G., 1956. Die verwertung organischer sauren durch chlorella in lincht. *Plata*. 47, 510-515.
- Sinaki, M.J., Majidi Heravan, E., Shiranirad, H., Noormohammadi, G., Zarei, G.H., 2007. The effects of water deficit during growth stages of canola (*Brassica napus* L.). *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science*. 2, 417-422.
- Starner, D. E., Hamama, A. A., Bhardwaj, H. L., 2002. Prospects of canola as an alternative winter crop in Virginia. *ASHS Press. Alexandria, VA*.
- Tunturk, M., Ciftci, V., 2007. Relationships between yield and some yield components in rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars by using correlation and path analysis. *Pakistan Journal of Botany*. 39, 81-84
- Turner, N.C., 1986. Adaptation to water deficits: A changing perspective. *Australian Journal of Plant Physiology*. 13, 175-190
- Vendruscolo, E.C.G., Schuster, I., Pilegg, M., Scapim, C.A., Molinari, H.B.C., Marur, C.J., Vieira, L.G. E., 2007. Stress-induced synthesis of proline confers tolerance to water deficit in transgenic wheat. *Journal of Plant Physiology*. 164, 1367-1376.
- Yadav, R.S., Bhushan, C., 2001. Effect of moisture stress on growth and yield in rice genotypes. *Indian Journal of Agriculture Research*. 2, 104-107.
- Yarnia, M., Arabifard, N., Rahimzadeh Khoei, F., Zandi P., 2011. Evaluation of drought tolerance indices among some winter rapeseed cultivars. *African Journal of Biotechnology*. 10, 10914-10922.
- Youssefi, A., Nshanian, A., Azizi, M., 2011. Evaluation of influences of drought stress in terminal growth duration on yield and yield components of different spring *Brassica oilseed* species. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*. 11, 406-410.