



به زراعی کشاورزی

دوره ۱۸ ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۳۹۵

صفحه‌های ۱۹-۱

بررسی رابطه سیستم ریشه‌ای با روابط آبی کلزا در شرایط تنش خشکی

حمید جبّاری^۱، نیراعظم خوش‌خلق سیما^۲، غلام‌عباس اکبری^{۳*}، ایرج اله‌دادی^۴، امیرحسین شیرانی‌راد^۴ و علی حامد^۵

۱. استادیار پژوهش، بخش تحقیقات دانه‌های روغنی، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، کرج، ایران.
۲. استادیار، پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، کرج، ایران.
۳. دانشیار، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران.
۴. استاد پژوهش، بخش تحقیقات دانه‌های روغنی، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، کرج، ایران.
۵. کارشناس ارشد زراعت، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۱۰/۰۴

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۳/۰۵/۲۰

چکیده

به منظور بررسی رابطه سیستم ریشه‌ای با روابط آبی گیاه کلزا در شرایط تنش خشکی، یک آزمایش گلدانی در گلخانه فیزیولوژی پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی ایران واقع در شهر کرج، در سال ۱۳۹۱ انجام شد. در این بررسی پنج رقم کلزای تجاری پاییزه در چهار تیمار آبیاری، به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که واکنش ارقام از نظر تغییرات هدایت روزنه‌ای، عدد اسپد، طول و قطر ریشه، صفات مورفولوژی، عملکرد و اجزای عملکرد به سطوح آبیاری متفاوت بود. در تیمار شاهد، بیشترین عملکرد دانه در رقم 'کوپر' و به واسطه تولید بالاترین تعداد خورجین در گیاه مشاهده شد، درحالی‌که در تیمارهای تنش خشکی رقم 'اپرا' از بالاترین عملکرد دانه برخوردار بود. این موضوع با بالاتر بودن طول و قطر ریشه در رقم 'اپرا' مرتبط بود که به موجب آن دوام سطح برگ بالا، بیشترین میزان هدایت روزنه‌ای، تعداد خورجین و تعداد دانه در خورجین نیز در همین رقم مشاهده شد. نتایج کلی پژوهش حاضر نشان داد که نقش خصوصیات مورفولوژی ریشه در افزایش تحمل به خشکی در گیاه کلزا بسیار پررنگ است و یک سیستم ریشه‌ای کارآمد به همراه هدایت روزنه‌ای بالا، دوام سطح برگ زیاد و تولید تعداد خورجین زیاد بیشترین نقش را در پایداری عملکرد دانه کلزا در شرایط تنش خشکی دارد.

کلیدواژه‌ها: تنش خشکی، خصوصیات ریشه، عملکرد دانه، کلزا، هدایت روزنه‌ای

۱. مقدمه

حدود ۴۰ درصد از اراضی کره زمین در مناطق خشک و نیمه خشک قرار دارد و متوسط کاهش عملکرد سالیانه به واسطه خشکی در جهان ۱۷ درصد بوده که می‌تواند تا بیش از ۷۰ درصد در هر سال افزایش یابد [۴۱]. در این مناطق آب محدودیت اصلی بوده و خشکی از جمله مهم‌ترین عوامل القاءکننده تنش در گیاهان زراعی به حساب می‌آید [۳۵].

کلزا (نام علمی؟) با دارا بودن ۴۴-۴۰ درصد روغن یکی از مهم‌ترین دانه‌های روغنی محسوب شده و پس از سویا و نخل روغنی سومین گیاه روغنی یکساله جهان است که به خاطر روغن خوراکی آن کشت می‌شود [۱۰]. یکی از عوامل مهم که توسعه و کشت موفقیت آمیز کلزا را در کشور به مخاطره می‌اندازد، تنش خشکی است [۲۹]. باتوجه به اینکه بخش وسیعی از زمین‌های زیرکشت ایران در شرایط آب و هوایی نیمه خشک قرار دارد، لزوم شناسایی ارقام متحمل به خشکی و همچنین سازوکارهای مناسب برای انتخاب این ارقام ضروری است.

یکی از عکس‌العمل‌های اولیه یک گیاه در موقع شروع تنش خشکی بسته شدن روزنه‌هاست [۱]. هدایت روزنه‌ای به وسیله میزان تبخیر تنظیم و توسط سیستم گیاهی و ذخیره آب موجود در خاک کنترل می‌گردد [۳۸]. همچنین، توسعه محیط ریشه در بین گیاهان زراعی که دارای ریشه عمیق می‌باشند، می‌تواند به طور مؤثری استفاده از رطوبت خاک را افزایش دهد [۳۲]. توسعه رو به جلوی ریشه و عمق ریشه از جمله عواملی هستند که به طور قابل ملاحظه‌ای در انتخاب گیاه برای استفاده مؤثر از رطوبت ذخیره شده در خاک مهم می‌باشد [۳۶]. ریشه اصلی عمده-ترین راه ارتباطی برای هدایت و انتقال آب موجود در اعماق خاک به اندام‌های هوایی می‌باشد [۳]، بنابراین، قطر

ریشه اصلی^۱ شاخصی برای اندازه‌گیری توانایی انتقال آب و مواد غذایی سیستم ریشه‌ای گیاه است [۲۷]. یکی از مهم‌ترین سازوکارهای تحمل به تنش خشکی در گیاهان، بالاتر بودن جذب آب توسط سیستم ریشه‌ای به منظور حفظ تعرق مطلوب ذکر شده است [۱۹]. کاهش تعرق گیاه و ثابت ماندن محتوی نسبی آب برگ تنها به واسطه بسته شدن روزنه‌ها و عدم افزایش جذب آب توسط سیستم ریشه‌ای سازوکارهای مناسبی برای تحمل به خشکی و پایداری عملکرد نیستند [۱۹].

عدد اسپد میزان سبزی برگ را بر اساس میزان عبور نور از برگ در یک طول موج به خصوص نشان می‌دهد و با این وسیله می‌توان به وضعیت کلروفیل گیاه پی برد. در شرایط کمبود رطوبت خاک، محتوی کلروفیل گیاه می‌تواند به منظور حفاظت در برابر خسارت نوری^۲ افزایش یابد [۲۰]. افزایش عدد اسپد (محتوای کلروفیل) در گونه‌های براسیکا در محیط‌های خشک مشاهده شده است [۳۴]. در بررسی مطالعات ترکیب زیست‌شناسی مولکولی و فیزیولوژی برای بهبود عملکرد کلزا در شرایط تنش خشکی نشان داد که میزان عدد اسپد می‌تواند شاخص مناسبی برای شناسایی ارقام متحمل به خشکی باشد [۱۶]. در بررسی اثر تیمارهای تنش خشکی در مراحل گل‌دهی و خورجین‌دهی بر رشد و عملکرد ارقام کلزا با استفاده از شاخص‌های فیزیولوژی گزارش شده است که تنش خشکی سبب افزایش معنی‌دار مقدار عدد اسپد از ۴۴ به ۶۶ شد [۲۰]. به‌طورکلی، وقوع تنش خشکی در مراحل انتهایی رشد موجب کاهش تعداد اندام‌های زایشی کلزا از جمله تعداد خورجین‌ها، تعداد دانه و همچنین وزن دانه‌ها می‌شود [۲۸]. کاهش عملکرد دانه کلزا در شرایط تنش خشکی توسط بسیاری از محققین گزارش شده است [۱۱ و ۳۹]. با این حال، تنوع فنوتیپی و ژنتیکی زیادی برای

1. Taproot

2. Photo damage

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت گلدانی در گلخانه فیزیولوژی پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، از بهار تا زمستان سال ۱۳۹۱ انجام شد. شرایط آب و هوایی گلخانه در جدول ۱ نمایش داده شده است. این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل پنج رقم کلزا و چهار سطح آبیاری شامل رشد گیاهان در رطوبت ۷۵ درصد ظرفیت مزرعه در تمامی دوره رشد (شاهد) و رشد گیاهان در رطوبت ۷۵ درصد ظرفیت زراعی خاک تا مراحل ۵۰ درصد ساقه‌دهی، گل‌دهی و خورجین‌دهی و کاهش رطوبت خاک به ۲۵ درصد ظرفیت زراعی خاک از این مراحل به بعد (تا رسیدگی فیزیولوژی) بود. محاسبه تیمارهای رطوبتی خاک از طریق وزنی انجام شد (جدول ۲).

عملکرد دانه گونه‌های جنس براسیکا در شرایط تنش خشکی گزارش شده است [۹].

کلزا در ایران، گیاه نسبتاً جدیدی است و اطلاعات کمی در زمینه عملکرد ارقام در شرایط مختلف محیطی وجود دارد [۲۴]. بنابراین 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 آزمایشاتی به منظور بررسی واکنش ارقام مختلف کلزا از نظر سازگاری و مقاومت به خشکی در یافتن راهکارهای مناسب در تولید محصول در محیط‌های خشک می‌تواند مفید واقع شود. لذا، هدف از انجام پژوهش حاضر، تعیین ارتباط بین خصوصیات سیستم ریشه‌ای ارقام کلزا با هدایت روزنه‌ای و میزان سبزینه‌ی برگ در شرایط تنش خشکی و تأثیر آن بر تحمل به تنش خشکی در پنج رقم کلزای پاییزه می‌باشد.

جدول ۱. مشخصات درونی گلخانه تحقیقاتی

منطقه	ارتفاع از سطح دریا (m)	دمای بیشینه گلخانه	دمای کمینه گلخانه	رطوبت نسبی هوا (%)
کرج	۱۳۲۱	34 ± 2	16 ± 2	30 ± 5

جدول ۲. اسامی، مبدأ و تیپ رشدی ژنوتیپ‌های مورد آزمایش

ردیف	ژنوتیپ	مبدأ	تیپ رشدی
۱	‘جی کی اچ ۲۰۰۵’ ^۱	مجارستان	زمستانه
۲	‘اپرا’ ^۲	سوئد	زمستانه
۳	‘اکاپی’ ^۳	فرانسه	زمستانه
۴	‘اس ال ام ۰۴۶’ ^۴	آلمان	زمستانه
۵	‘کوپر’ ^۵	فرانسه	زمستانه

1. GKH2005
2. Opera
3. Okapi
4. SLM046
5. Cooper

در ابتدای آزمایش به دلیل کوچک کردن حجم آزمایش و به منظور سهولت در امر جابه‌جایی و حمل گلدان‌ها به فیتوترون (به خاطر بهاره‌سازی^۱ و برطرف کردن نیاز سرمایی ارقام پاییزه کلزا)، کشت بذور در گلدان‌های کوچک پلاستیکی مشکی به قطر ۱۰ و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر و حاوی دو کیلوگرم گرم خاک خشک با مخلوط خاک رس و ماسه دو بار الک شده (۱:۲) انجام گرفت.

در هر گلدان دو تا سه بذر کشت شد. سپس به منظور جلوگیری از سله و حفظ رطوبت خاک، روی هر گلدان مقدار مساوی ماسه ریخته شد. پس از رسیدن گیاهان به مرحله چهار تا پنج‌برگی (مرحله رزت)، گلدان‌ها در اواسط تیرماه به فیتوترون جهت اعمال سرما و برطرف شدن نیاز سرمایی منتقل شدند. گلدان‌ها در شرایط فیتوترون به مدت دو ماه با شرایط روز (شش درجه سانتی‌گراد، به مدت ۱۲ ساعت)، شب (چهار درجه سانتی‌گراد، به مدت ۱۲ ساعت) و رطوبت $5 \pm 30\%$ درصد قرار داده شدند. پس از حدود ۶۰ روز اعمال سرمادهی، گیاهان مجدداً به گلخانه منتقل شدند. سپس گلدان‌های پلاستیکی با چاقو شکافته شدند و گیاهان موجود در دو گلدان پلاستیکی کوچک (چهار بوته) در یک گلدان ۱۲ کیلوگرمی (ارتفاع ۵۰ و قطر ۲۵ سانتی‌متر) حاوی مخلوط خاک رس و ماسه دو بار الک شده (۱:۲) جای گرفتند. پس از آن شرایط آب و هوایی گلخانه طبق شرایط دمایی و رطوبتی ذکر شده در جدول ۱ تنظیم گردید.

یک هفته پس از استقرار و رشد چهار بوته در هر گلدان، تنک کردن بوته‌ها در مرحله قبل از ساقه‌دهی انجام شد و در هر گلدان دو بوته کوچکتر و ضعیف‌تر حذف شدند. به منظور تأمین عناصر غذایی گیاه یک هفته پس از کاشت، زمانی که گیاهچه‌ها به مرحله یک برگی رسیدند، آبیاری گلدان‌ها با محلول هوگلند یک سوم - جهت وارد

نیامدن شوک به گیاهچه‌ها - آغاز شد. سپس در مرحله رزت این مقدار به یک دوم و از مرحله انتقال مجدد به گلخانه و قرار گرفتن در گلدان‌های بزرگ تا پایان دوره رشد، غلظت کامل هوگلند در اختیار گیاهان قرار گرفت.

تراکم علف‌های هرز در گلدان‌ها در طول دوره رشد کم بود و کنترل آن‌ها به صورت وجین دستی صورت گرفت. تراکم آفت شب پره پشت الماسی^۲ بعد از اعمال تیمارهای تنش خشکی حالت طغیانی پیدا کرد و برای کاهش خسارت آفت از نصب تله‌های چسبی زرد رنگ، افزایش رطوبت نسبی و کاهش دمای شب هنگام گلخانه، جمع‌آوری لاروها و شفیره‌ها از پشت برگ‌های گیاه و سم‌پاشی با سم دیازینون به میزان یک لیتر در هکتار استفاده شد.

پس از اعمال تنش خشکی و رسیدن رطوبت خاک به ۲۵ درصد ظرفیت زراعی در تیمارهای مورد نظر، صفات فیزیولوژی مورد بررسی نظیر هدایت روزنه‌ای و قرائت عدد اسپد هر سه روز در میان تا پایان دوره رشد گیاه اندازه‌گیری شد. میزان هدایت روزنه‌ای در فواصل نمونه‌برداری (سه روز در میان)، برای هر تکرار و در هر سطح تیماری در ۸ تا ۱۰ صبح توسط دستگاه پورومتر^۳ از قسمت میانی چند برگ جوان و توسعه یافته اندازه‌گیری شد. همچنین به منظور بررسی تغییرات میزان سبزیگی برگ در فواصل نمونه‌برداری (سه روز در میان)، عدد اسپد با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر^۴ اندازه‌گیری شد. در زمان رسیدگی فیزیولوژی، تمام بوته‌ها در هر تکرار از محل طوقه برداشت شدند و جهت بررسی صفات مورفولوژی، عملکرد و صفات وابسته به آن مورد ارزیابی قرار گرفتند. همچنین در این مرحله، ریشه کلیه بوته‌ها از خاک خارج

2. *Lutella xylostella* L.

3. Porometer (Delta-T AP4, Delta-T Devices, Cambridge, UK)

4. SPAD (MINOLTA-502, Japan)

1. Vernalization

شد و پس از شستشو، طول ریشه و قطر ۵، ۱۰ و ۱۵ سانتی‌متری ریشه اصلی از شش بوته با استفاده از خط‌کش و کولیس ورنیه ارزیابی شد. با ورود بوته‌ها به مرحله رسیدگی فیزیولوژی، تعداد کل خورجین‌های پر در گیاه در ۶ بوته انتخاب شده به صورت تصادفی به‌دست آمد. با احتساب مجموع خورجین‌های دارای دانه و باز نشده، تعداد دانه در خورجین‌های بوته‌های منتخب برای تعیین تعداد دانه در خورجین شمارش شدند. برای اندازه‌گیری وزن هزار دانه دانه، پنج تکرار صدتایی از هر تیمار جدا و پس از توزین با ترازوی دقیق میانگین آن‌ها به عنوان وزن هزاردانه تعیین گردید. عملکرد دانه براساس وزن دانه‌های تولیدی در هر بوته برحسب گرم در بوته محاسبه شد. میزان روغن دانه‌ها نیز با استفاده از دستگاه سوکسله استخراج گردید.

در پایان پس از اطمینان از مفروضات آزمایشی، داده‌های حاصل با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۱) تجزیه واریانس ساده شدند و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از رویه برش‌دهی^۱ و به روش آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار^۲ در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت. ضرایب همبستگی ساده بین صفات نیز با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۱) محاسبه شد و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

۳. نتایج و بحث

تغییرات عدد اسپد در طول دوره رشد

در تیمار شاهد، واکنش ارقام از نظر عدد اسپد مشابهت داشت، درحالی‌که در تیمارهای تنش خشکی، میزان تنوع در واکنش ارقام بسیار چشمگیر بود (شکل ۱). در شرایط شاهد رقم اس ال ام^۳ به دلیل برگ‌های سبز کم‌رنگ

از کمترین مقدار عدد اسپد برخوردار بود و برگ‌ها در این رقم به دلیل زودرسی، سریع‌تر از سایر ارقام زرد و خشک گردید (شکل ۱). این در حالی است که در تیمار شاهد، بیشترین مقدار عدد اسپد در اکثر مراحل اندازه‌گیری در رقم اپرا^۴ مشاهده شد (شکل ۱).

در تیمار تنش خشکی از ساقه‌دهی کمترین مقدار عدد اسپد در رقم اپرا^۴ مشاهده شد. تنش خشکی از گل‌دهی سبب القای تنش شدیدی در برخی از ارقام مورد بررسی شد، به‌طوری‌که در رقم جی کی اچ^۵ سبزی‌نگی برگ‌ها سریعاً کاهش یافت و ۱۸ روز پس از اعمال تنش خشکی، برگ‌ها کاملاً خشک شدند (شکل ۱). در مقابل، رقم اپرا^۴ با وجود کمترین مقدار عدد اسپد از دوام سطح برگ مناسبی نیز برخوردار بود، هرچند در رقم اکاپی^۶ با وجود بیشترین دوام سطح برگ، بالاترین مقدار عدد اسپد نیز مشاهده شد (شکل ۱). با تنش خشکی از خورجین‌دهی در اکثر ارقام مورد بررسی، به‌خصوص در رقم کوپر^۴ مکانیسم فرار از تنش خشکی مشاهده شد و تنها رقم اپرا^۴ با حفظ مناسب سبزی‌نگی برگ از دوام سطح برگ بالایی برخوردار بود (شکل ۱).

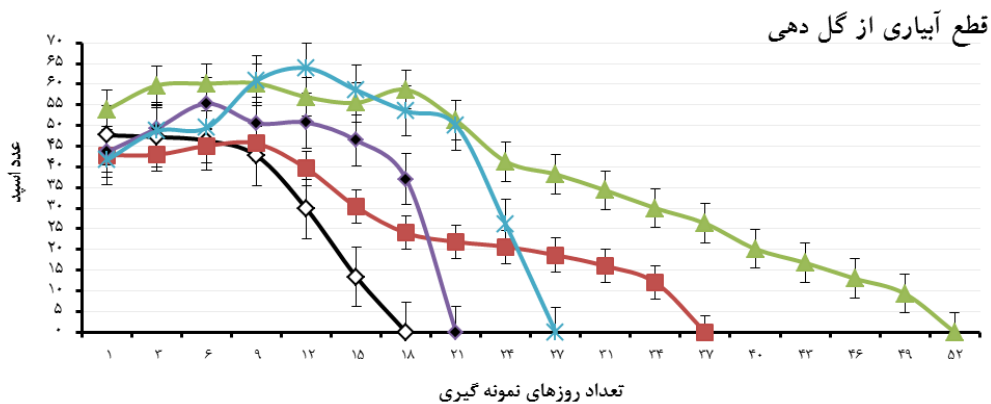
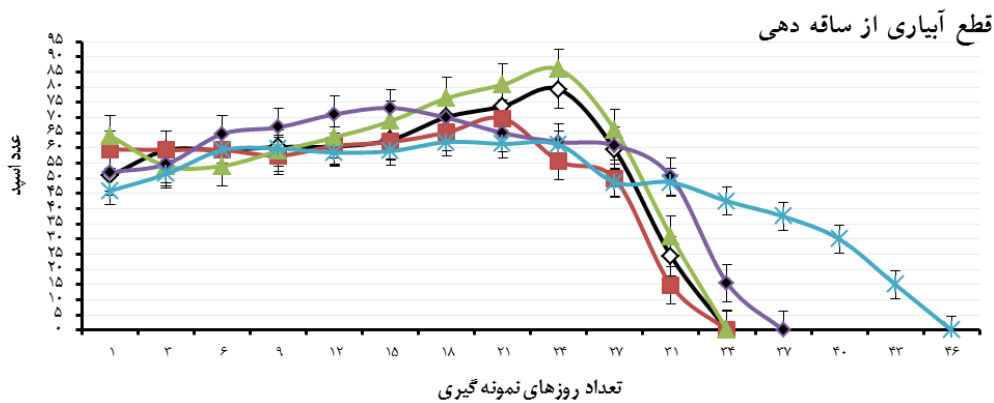
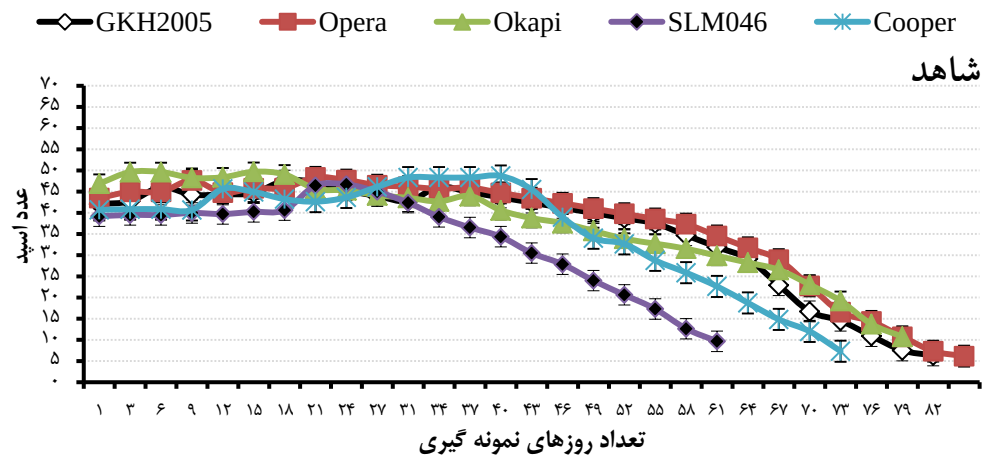
افزایش عدد اسپد (محتوای کلروفیل) در محیط‌های خشک به منظور حفاظت در برابر خسارت نوری در گونه‌های براسیکا گزارش شده است که با نتایج این بررسی نیز مطابقت داشت [۲۰ و ۳۴]. در بررسی اثر پتانسیل‌های مختلف ماتریک خاک بر عدد اسپد گیاه کلزا گزارش شده است که با افزایش مکش ماتریک خاک بر مقدار عدد اسپد به میزان ۱۰ درصد افزوده شد [۲۶]. همچنین در بررسی تأثیر تنش خشکی (قطع آبیاری از ۱۴ تا ۱۹ روز) بر میزان سبزی‌نگی کل برگ در دو گونه مختلف از جنس براسیکا

4. Cooper
5. GKH2005
6. Okapi

1. Slicing
2. LSD
3. SLM046

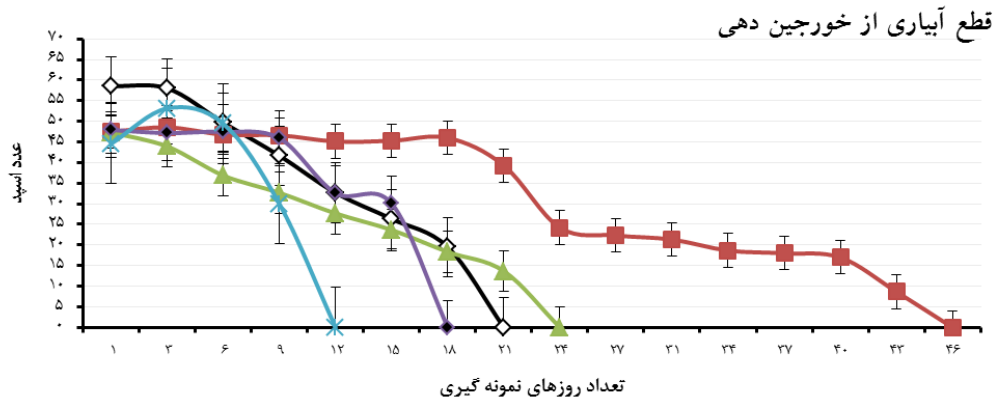
از مراحل مختلف نمو افزایش محسوسی نسبت به شرایط بدون تنش (شاهد) کرد، اما این میزان در هر رقم متفاوت بود (شکل ۱).

گزارش شده است که عدد اسپد از ۳۹ در تیمار شاهد به ۵۸ تا ۶۰ در تیمار تنش خشکی افزایش یافت [۱۷]. در بررسی حاضر نیز عدد اسپد به واسطه اعمال تنش خشکی



به زراعی کشاورزی

دوره ۱۸ ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۳۹۵



شکل ۱. روند تغییرات عدد اسپید در طول دوره رشد پنج رقم کلزا در تیمارهای آبیاری به تفکیک (خطوط رسم شده در بالای نقاط، خطای استاندارد محاسبه شده برای داده‌ها را نشان می‌دهد).

تغییرات هدایت روزنه‌ای در طول دوره رشد

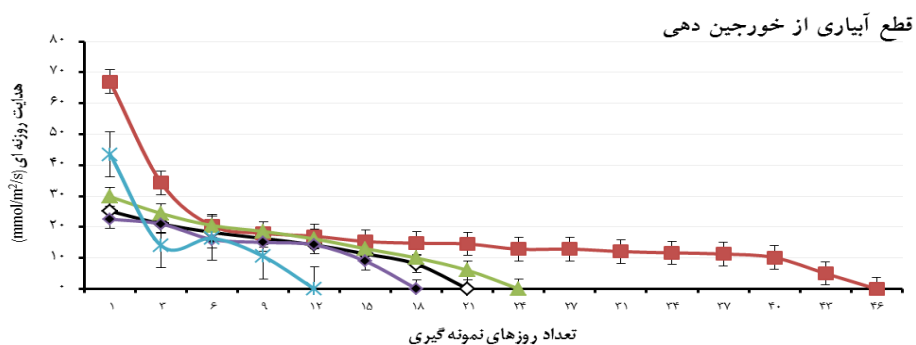
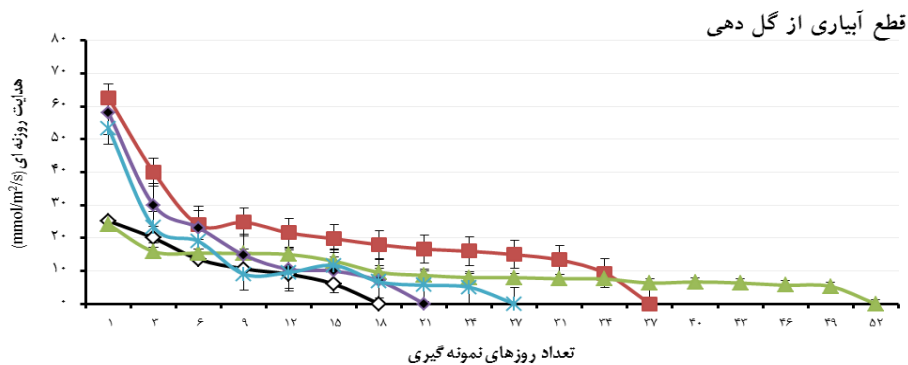
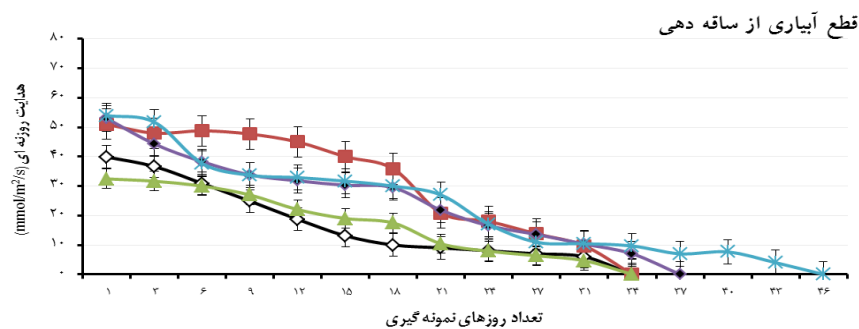
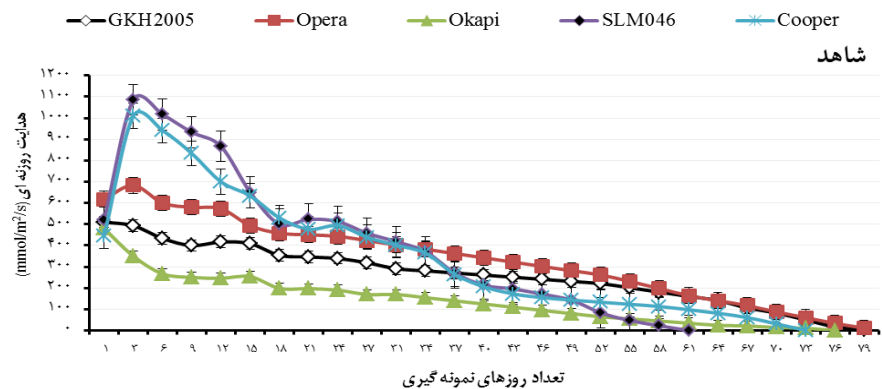
بررسی تغییرات هدایت روزنه‌ای در این آزمایش شباهت زیادی به نتایج تغییرات عدد اسپید داشت. در تیمار شاهد، در ابتدای مراحل نمونه‌گیری میزان هدایت روزنه‌ای در ارقام 'اس ال ام ۰۴۶' و 'کوپر' بیش از ۱۰۰۰ میلی‌مول بر متر مربع در ثانیه بود و از این حیث برتری قابل توجهی نسبت به سه رقم دیگر داشتند (شکل ۲). با این حال پس از مدتی، میزان هدایت روزنه‌ای در ارقام 'اس ال ام ۰۴۶' و 'کوپر' با شیب زیادی کاهش پیدا کرد، به‌طوری‌که از اواسط مراحل ارزیابی (روز ۳۴ و ۳۷)، هدایت روزنه‌ای در دو رقم مذکور کمتر از دو رقم 'اپرا' و 'جی کی اچ ۲۰۰۵' بود (شکل ۲). این موضوع می‌تواند به‌واسطه پیری سریع‌تر برگ‌ها و زودرس‌تر بودن دو رقم 'اس ال ام ۰۴۶' و 'کوپر' باشد.

در اوایل مراحل نمونه‌گیری، پس از دو رقم 'اس ال ام ۰۴۶' و 'کوپر'، رقم 'اپرا' با هدایت روزنه‌ای برابر با ۶۰۰ تا ۶۸۰ میلی‌مول بر مترمربع در ثانیه در رتبه بعدی قرار داشت (شکل ۲). با اعمال تنش خشکی از ساقه‌دهی هدایت روزنه‌ای در اکثر ارقام مورد بررسی به میزان بسیار زیادی کاهش یافت، درحالی‌که در رقم 'اپرا' تا ۱۸ روز

پس از آغاز تنش خشکی میزان هدایت روزنه‌ای حدوداً ثابت بود که سازوکار مطلوبی به حساب می‌رود زیرا افزایش در ماده خشک گیاه به طور اساسی بوسیله روزنه‌ها کنترل می‌شود [۲۶]. با شروع دوره خشکی، تا مدتی گیاه تعرق و هدایت روزنه‌ای خود را در سطح حداکثر نگه می‌دارد، ولی با تداوم تنش خشکی، اقدام به بستن روزنه‌های خود می‌نماید. در تیمارهای تنش خشکی از گل‌دهی و خورجین‌دهی، رقم 'اپرا' با برخورداری از بیشترین میزان هدایت روزنه‌ای و دوام زیاد برگ‌ها در تبادلات گازی به‌واسطه طولانی‌تر بودن دوام سطح برگ برتر از سایر ارقام بود (شکل‌های ۱ و ۲).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر آبیاری و اثر رقم بر کلیه صفات مورد مطالعه معنی‌دار بود، درحالی‌که پنج رقم مورد بررسی تنها از نظر تعداد خورجین در ساقه اصلی و شاخه فرعی، تعداد دانه در خورجین در ساقه اصلی و شاخه فرعی، عملکرد دانه واکنش متفاوتی به سطوح آبیاری نشان دادند. بررسی سطوح اثرات متقابل نشان می‌دهد که در تیمارهای شاهد، تنش خشکی از ساقه‌دهی و خورجین‌دهی رقم 'اپرا' و در تیمار تنش خشکی از گل‌دهی رقم 'جی کی اچ ۲۰۰۵' بیشترین ارتفاع گیاه را در مقایسه با سایر ارقام داشتند.

1. SLM046
2. Cooper
3. Opera



شکل ۲. روند تغییرات هدایت روزانه ای در طول دوره رشد پنج رقم کلزرا در تیمارهای آبیاری به تفکیک (خطوط رسم شده در بالای نقاط، خطای استاندارد محاسبه شده برای داده ها را نشان می دهد).

بررسی رابطه سیستم ریشه‌ای با روابط آبی کلزا در شرایط تنش خشکی

جدول ۳. نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل تنش × رقم بر برخی صفات مورد مطالعه به روش برش‌دهی

ارقام	ارتفاع گیاه (cm)				طول ریشه (cm)			
	شاهد	تنش خشکی از ساقه‌دهی	تنش خشکی گل‌دهی	تنش خشکی از خورجین‌دهی	شاهد	تنش خشکی از ساقه‌دهی	تنش خشکی گل‌دهی	تنش خشکی از خورجین‌دهی
GKH2005	۱۷۹ ^{ab†}	۵۵ ^{bc}	۱۴۹ ^a	۱۷۲ ^b	۲۴/۲ ^c	۲۰/۹ ^{ab}	۲۲/۵ ^c	۲۳/۸ ^c
Opera	۱۹۱ ^a	۸۸ ^a	۱۳۵ ^b	۱۸۳ ^a	۵۱/۲ ^a	۲۴/۰ ^a	۴۹/۳ ^a	۵۱/۶ ^a
Okapi	۱۴۱ ^c	۳۶ ^d	۱۲۲ ^d	۱۳۵ ^d	۲۴/۶ ^c	۱۷/۱ ^b	۲۴/۷ ^{bc}	۲۴/۲ ^c
SLM046	۱۱۴ ^d	۴۶ ^c	۹۳ ^e	۱۰۷ ^e	۳۲/۶ ^d	۲۲/۱ ^a	۳۰/۳ ^d	۳۱/۹ ^d
Cooper	۱۶۶ ^d	۵۷ ^d	۱۲۷ ^c	۱۵۷ ^c	۲۸/۰ ^{dc}	۲۳/۹ ^a	۲۷/۸ ^{dc}	۲۷/۳ ^{dc}
LSD (%۵)	۱۵/۵	۱۰/۰	۴/۷	۸/۵	۵/۷	۴/۵	۵/۷	۶/۴
ارقام	قطر ۵ سانتیمتری ریشه (cm)				قطر ۱۰ سانتیمتری ریشه (cm)			
	شاهد	تنش خشکی از ساقه‌دهی	تنش خشکی گل‌دهی	تنش خشکی از خورجین‌دهی	شاهد	تنش خشکی از ساقه‌دهی	تنش خشکی گل‌دهی	تنش خشکی از خورجین‌دهی
GKH2005	۰/۷۷ ^b	۰/۳۵ ^b	۰/۷۹ ^b	۰/۷۸ ^b	۰/۶۴ ^a	۰/۲۸ ^b	۰/۴۷ ^{bc}	۰/۶۴ ^a
Opera	۱/۰۵ ^a	۰/۴۷ ^a	۰/۹۱ ^a	۱/۰۵ ^a	۰/۷۸ ^a	۰/۳۸ ^a	۰/۶۵ ^a	۰/۷۸ ^a
Okapi	۰/۸۱ ^b	۰/۳۶ ^b	۰/۶۰ ^c	۰/۸۰ ^b	۰/۴۴ ^b	۰/۳۲ ^{ab}	۰/۴۲ ^c	۰/۴۴ ^b
SLM046	۰/۶۱ ^c	۰/۳۹ ^{ab}	۰/۸۰ ^b	۰/۶۰ ^c	۰/۴۵ ^b	۰/۲۷ ^b	۰/۵۵ ^b	۰/۴۵ ^b
Cooper	۰/۸۶ ^b	۰/۴۱ ^{ab}	۰/۷۵ ^b	۰/۸۶ ^b	۰/۶۶ ^a	۰/۲۷ ^b	۰/۴۸ ^{bc}	۰/۶۶ ^a
LSD (%۵)	۰/۱۱۷	۰/۰۹۵	۰/۰۹۵	۰/۱۱۸	۰/۱۴۸	۰/۰۷۷	۰/۰۷۹	۰/۱۴۸
ارقام	قطر ۱۵ سانتیمتری ریشه (cm)				تعداد خورجین پر در گیاه			
	شاهد	تنش خشکی از ساقه‌دهی	تنش خشکی گل‌دهی	تنش خشکی از خورجین‌دهی	شاهد	تنش خشکی از ساقه‌دهی	تنش خشکی گل‌دهی	تنش خشکی از خورجین‌دهی
GKH2005	۰/۱۷ ^{bc}	۰/۰۹ ^b	۰/۱۵ ^b	۰/۱۷ ^{bc}	۴۸ ^e	۰ ^b	۱۳ ^b	۱۲ ^c
Opera	۰/۱۸ ^b	۰/۱۷ ^a	۰/۲۵ ^a	۰/۱۸ ^b	۹۱ ^b	۲۰ ^a	۲۶ ^a	۳۷ ^a
Okapi	۰/۱۹ ^{ab}	۰/۱۱ ^{ab}	۰/۱۲ ^b	۰/۱۹ ^{ab}	۵۷ ^d	۳ ^b	۶ ^b	۳۵ ^a
SLM046	۰/۱۵ ^c	۰/۱۴ ^{ab}	۰/۱۸ ^{ab}	۰/۱۵ ^c	۶۹ ^c	۸ ^b	۱۵ ^b	۲۰ ^b
Cooper	۰/۲۱ ^a	۰/۱۵ ^a	۰/۱۵ ^b	۰/۲۲ ^a	۱۱۹ ^a	۷ ^b	۹ ^b	۱۵ ^c
LSD (%۵)	۰/۰۳۰	۰/۰۵۷	۰/۰۹۲	۰/۰۲۹	۸/۶	۹/۱	۹/۴	۴/۸
ارقام	تعداد دانه در خورجین				وزن هزاردانه (g)			
	شاهد	تنش خشکی از ساقه‌دهی	تنش خشکی گل‌دهی	تنش خشکی از خورجین‌دهی	شاهد	تنش خشکی از ساقه‌دهی	تنش خشکی گل‌دهی	تنش خشکی از خورجین‌دهی
GKH2005	۲۵/۰ ^a	۰/۰ ^d	۱۶/۰ ^b	۲۴/۰ ^{ab}	۳/۵ ^b	۰/۰ ^c	۲/۹ ^a	۳/۱ ^b
Opera	۲۶/۲ ^a	۲۲/۰ ^a	۲۳/۷ ^a	۲۵/۳ ^a	۴/۱ ^a	۲/۵ ^a	۳/۲ ^a	۳/۵ ^a
Okapi	۲۵/۷ ^a	۱۳/۸ ^c	۱۰/۰ ^c	۲۲/۰ ^b	۳/۸ ^{ab}	۱/۰ ^b	۲/۸ ^a	۳/۳ ^{ab}
SLM046	۲۴/۳ ^a	۱۴/۰ ^c	۲۰/۰ ^a	۲۲/۰ ^b	۳/۸ ^{ab}	۲/۰ ^a	۳/۰ ^a	۳/۳ ^{ab}
Cooper	۲۶/۶ ^a	۱۷/۴ ^b	۲۰/۰ ^a	۲۳/۳ ^{ab}	۴/۰ ^{ab}	۲/۵ ^a	۲/۷ ^a	۳/۱ ^b
LSD (%۵)	۳/۲	۱/۷	۳/۰	۲/۷	۰/۴۴	۰/۵۷	۰/۴۲	۰/۳۴
عملکرد دانه تک گیاه (g/plant)								

† میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار آماری در سطح احتمال پنج درصد هستند.

به‌زراعی کشاورزی

دوره ۱۸ ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۳۹۵

ادامه جدول ۳. نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل تنش × رقم بر برخی صفات مورد مطالعه به روش برش‌دهی

ارقام	عملکرد دانه تک گیاه (g/plant)				وزن خشک اندام هوایی در تک گیاه (g)			
	شاهد	تنش خشکی از ساقه‌دهی	تنش خشکی گل‌دهی	تنش خشکی از خورجین‌دهی	شاهد	تنش خشکی از ساقه‌دهی	تنش خشکی گل‌دهی	تنش خشکی از خورجین‌دهی
GKH2005	۴/۲ ^d	۰/۰۰ ^b	۰/۶۳ ^{bc}	۰/۸۹ ^d	۱۷/۳ ^c	۷/۲ ^{ab}	۱۲/۲ ^{bc}	۱۴/۹ ^{bc}
Opera	۹/۷ ^b	۱/۲۷ ^a	۱/۷۹ ^a	۳/۳۱ ^a	۳۱/۶ ^b	۹/۱ ^a	۱۴/۱ ^a	۲۶/۴ ^a
Okapi	۵/۵ ^c	۰/۰۳ ^b	۰/۱۶ ^c	۲/۵۶ ^b	۱۹/۲ ^c	۵/۶ ^{bc}	۱۲/۳ ^{bc}	۱۷/۵ ^b
SLM046	۶/۴ ^c	۰/۲۳ ^b	۰/۹۰ ^b	۱/۴۶ ^c	۱۸/۴ ^c	۴/۱ ^c	۱۰/۹ ^c	۱۱/۲ ^c
Cooper	۱۲/۷ ^a	۰/۳۱ ^b	۰/۵۰ ^{bc}	۱/۰۷ ^{cd}	۳۳/۷ ^a	۴/۳ ^c	۱۲/۶ ^b	۱۶/۰ ^b
LSD (%۵)	۱/۰۹	۰/۷۳	۰/۵۲	۰/۵۳	۲/۰۹	۲/۷۰	۱/۴۵	۳/۸۹

ارقام	وزن خشک ریشه (g)			
	شاهد	تنش خشکی از ساقه‌دهی	تنش خشکی از گل‌دهی	تنش خشکی از خورجین‌دهی
GKH2005	۳/۴۶ ^c	۰/۳۴ ^c	۲/۰۱ ^{bc}	۲/۹۵ ^b
Opera	۶/۶۵ ^a	۰/۸۷ ^a	۳/۸۳ ^a	۵/۴۵ ^a
Okapi	۲/۹۸ ^d	۰/۳۵ ^c	۱/۳۶ ^c	۲/۶۳ ^b
SLM046	۳/۶۵ ^c	۰/۴۵ ^b	۲/۵۸ ^b	۲/۹۶ ^b
Cooper	۵/۳۸ ^b	۰/۴۸ ^b	۲/۴۳ ^b	۴/۴۲ ^a
LSD (%۵)	۰/۳۹	۰/۰۴	۰/۹۲	۱/۲۳

† میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار آماری در سطح احتمال پنج درصد هستند.

در گیاه کلزا از مرحله ساقه‌دهی تا گل‌دهی، میانگره‌ها متمایز شده و رشد طولی بین میانگره‌ها صورت می‌گیرد که نقش اساسی در تعیین ارتفاع گیاه دارد. کاهش ارتفاع گیاه کلزا به موازات تنش خشکی توسط دیگر محققین گزارش شده است [۳۱]. در آزمایش حاضر، با وجود کاهش ارتفاع گیاه در تمام ارقام مورد بررسی در واکنش به سطوح تنش خشکی، کمترین میزان کاهش در رقم 'اپرا' مشاهده شد و این رقم از بیشترین ارتفاع گیاه در تیمارهای تنش خشکی از ساقه‌دهی و خورجین‌دهی برخوردار بود (جدول ۳). رقم 'اس ال ام ۰۴۶' نیز همانند رقم 'اپرا' از پایداری مطلوبی از نظر ارتفاع گیاه در شرایط تنش خشکی

این در حالی است که در تیمارهای شاهد، تنش خشکی از گل‌دهی و خورجین‌دهی رقم 'اس ال ام ۰۴۶' و در تیمار تنش خشکی از ساقه‌دهی رقم 'اکاپی' کمترین ارتفاع گیاه را داشتند (جدول ۳). در این آزمایش، تنش خشکی از ساقه‌دهی بیشترین اثر مخرب را بر ارتفاع گیاه داشت و به نظر می‌رسد، احتمالاً کاهش تولید مواد فتوسنتزی به دلیل کاهش فتوسنتز ناشی از تأثیر محدودیت آب از مرحله ساقه‌دهی تا رسیدگی فیزیولوژی جهت ارائه به بخش‌های هوایی و در حال رشد گیاه، به همراه کاهش تعداد میانگره‌ها و طولیل شدن فاصله آن‌ها منجر به کاهش ارتفاع گیاه در تیمار مذکور گردیده است.

توجه گیاه بیشتر به رشد اندام‌های زایشی و تا حدودی اندام‌های رویشی معطوف می‌شود. این درحالی است که رشد ریشه گیاه کلزا از مرحله ساقه‌دهی تا گل‌دهی چشم‌گیر بوده و در صورت تنش خشکی از مرحله ساقه‌دهی به بعد، رشد طولی ریشه کاهش محسوسی خواهد یافت.

در بین ارقام مورد بررسی در این آزمایش تفاوت در واکنش ارقام به سطوح آبیاری وجود داشت (جدول ۳). در شرایط شاهد، رقم 'اپرا' با داشتن بیشترین ارتفاع گیاه، از طول ریشه زیادی نیز برخوردار بود و نسبت به سایر ارقام برتری محسوسی داشت (جدول ۳). در این تیمار، رقم 'اس ال ام ۲۰۴۶' با وجود کمترین ارتفاع گیاه پس از رقم 'اپرا' از بیشترین طول ریشه برخوردار بود (جدول ۳). همچنین در تیمارهای تنش خشکی بیشترین طول ریشه در رقم 'اپرا' مشاهده شد (جدول ۳). توسعه رو به جلوی ریشه و عمق ریشه عواملی هستند که به طور قابل ملاحظه‌ای در انتخاب گیاه برای استفاده مؤثر از رطوبت ذخیره شده در خاک مهم می‌باشند (۳۶). در بررسی ارتباط بین صفات مورفولوژی کلزا با عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی نیز گزارش شده است که طول ریشه ارتباط مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه دارد [۷]. همچنین در این‌باره اظهار شده است که ریشه عمیق گیاه نه تنها در خاک‌های خشک، بلکه در رطوبت زیاد نیز ارزشمند است [۲۱].

بالا بودن محتوای نسبی آب برگ در ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی می‌تواند به دلیل وجود برخی عوامل کاهش تلفات آب، از طریق بستن روزنه‌ها و یا به واسطه جذب بیشتر آب از طریق گسترش و توسعه ریشه باشد [۱۸]. یکی از مهم‌ترین سازوکارهای تحمل به تنش خشکی بالاتر بودن جذب آب توسط سیستم ریشه‌ای گیاه به منظور

برخوردار بود اما به دلیل زودرسی و احتمالاً پتانسیل ژنتیکی، کمترین ارتفاع گیاه در تمام سطوح آبیاری متعلق به این رقم بود (جدول ۳). اصولاً ژنوتیپ‌هایی که دارای طول دوره رشد طولانی می‌باشند، از نظر ارتفاع، بلندتر از سایر ژنوتیپ‌ها هستند، زیرا که طولی شدن بوته‌ها بیشتر تا زمان گلدهی ادامه می‌یابد، هرچند در این زمینه پتانسیل ژنتیکی ارقام نیز باید در نظر گرفته شود [۶].

بررسی مقایسه میانگین تعداد شاخه‌های فرعی در سطوح آبیاری نشان داد که بیشترین میزان این صفت از تیمار شاهد به دست آمد و تنش خشکی سبب کاهش معنی‌دار تعداد شاخه‌های فرعی شد (جدول ۳). بیشترین میزان کاهش تعداد شاخه‌های فرعی به تنش خشکی از ساقه‌دهی تعلق داشت، به طوری که تعداد شاخه‌های فرعی از ۵/۴ عدد در تیمار شاهد به ۱/۹ عدد در تیمار تنش خشکی از ساقه‌دهی کاهش یافت (جدول ۳). به نظر می‌رسد که تعداد مطلوب شاخه در واحد سطح، با رژیم رطوبتی خاک در طی دوره رشد گیاه ارتباط نزدیکی دارد [۴]. کلزا گیاهی با توانایی رشد نامحدود می‌باشد و به همین دلیل تولید و رشد شاخه‌های فرعی می‌تواند در تمام طول دوره رشد تداوم داشته باشد، اما بیشترین تشکیل و شکل‌گیری تعداد شاخه فرعی در مراحل رشد رویشی کلزا، قبل از ساقه‌دهی است که در زمان ساقه‌دهی رشد و تکامل می‌یابد [۲۳].

بیشترین طول ریشه از تیمار شاهد و به میزان ۳۲/۱ سانتی‌متر حاصل شد و تیمارهای تنش خشکی از گل‌دهی و خورجین‌دهی نیز بدون تفاوت معنی‌دار با تیمار شاهد در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۳). این امر در حالی است که تنش خشکی از مرحله ساقه‌دهی سبب کاهش معنی‌دار طول ریشه به ۲۱/۶ سانتی‌متر شد (جدول ۳). نتایج این بررسی حاکی از این موضوع است که ریشه گیاه کلزا از مرحله گل‌دهی به بعد رشد چشم‌گیری نداشته و

این اساس به نظر می‌رسد ارتباط خوبی بین طول و قطر ریشه با هدایت روزنه‌ای گیاه کلزا وجود داشته باشد و این امر با افزایش جذب آب توسط سیستم ریشه‌ای برای باز نگه داشتن روزنه‌های هوایی به عنوان یکی از مهم‌ترین مکانیسم‌های تحمل به تنش خشکی در ارتباط است [۱۹]. سیستم ریشه‌ای که به طور مناسب در خاک پخش شود، موجب افزایش عملکرد می‌شود [۲۲ و ۴۰].

بررسی واکنش ارقام از نظر تعداد خورجین پر در گیاه به هر سطح آبیاری نشان داد که در تیمار شاهد رقم 'کوپر' با ۱۱۹ و رقم 'جی کی اچ ۲۰۰۵' با ۴۸ خورجین به ترتیب بیشترین و کمترین تعداد خورجین پر در گیاه را داشتند (جدول ۳). در تیمار تنش خشکی از ساقه‌دهی ارقام 'اپرا' و 'جی کی اچ ۲۰۰۵' به ترتیب با ۲۰ و صفر عدد (در رقم 'جی کی اچ ۲۰۰۵' در تیمار تنش خشکی از ساقه‌دهی با وجود وارد شدن به مرحله گل‌دهی، هیچ گونه خورجینی تولید نشد) و در تیمار تنش خشکی از گل‌دهی ارقام 'اپرا' و 'اکاپی' به ترتیب با ۲۶ و شش عدد بیشترین و کمترین تعداد خورجین پر در گیاه را دارا بودند (جدول ۳). همچنین در تیمار تنش خشکی از خورجین‌دهی ارقام 'اپرا' و 'اکاپی' به ترتیب با ۳۷ و ۳۵ عدد بیشترین و رقم 'جی کی اچ ۲۰۰۵' با ۱۲ عدد کمترین تعداد خورجین پر در گیاه را داشتند (جدول ۳). با توجه به نتایج حاصله، از بین تیمارهای تنش خشکی، تنش خشکی از ساقه‌دهی و پس از آن تنش خشکی از گل‌دهی دارای کمترین تعداد خورجین پر در گیاه بودند (جدول ۳). به نظر می‌رسد که این امر ناشی از تأثیر تنش خشکی بر کاهش تولید مواد فتوسنتزی قبل از گل‌دهی، تولید گل‌های کمتر در گل‌آذین، نسبت پایین در باروری گل‌ها و ریزش آن‌ها قبل از گل‌دهی در تیمار تنش خشکی از ساقه‌دهی بوده است.

حفظ تعرق مطلوب می‌باشد [۱۹]. نتایج این آزمایش نیز نشان‌دهنده این امر است که رقم 'اپرا' به واسطه ریشه عمیق در شرایط تنش خشکی، از بیشترین میزان هدایت روزنه‌ای برخوردار بود که نشان‌دهنده افزایش جذب آب توسط سیستم ریشه‌ای گیاه برای باز نگه‌داشتن روزنه‌های هوایی و دریافت دی اکسید کربن و در نتیجه فتوسنتز بیشتر می‌باشد (شکل ۲ و جدول ۳).

نتایج مقایسه میانگین قطر ریشه‌نشان می‌دهد که بیشترین قطر پنج و ۱۰ سانتی‌متری ریشه از هر دو تیمار شاهد و تنش خشکی از خورجین‌دهی حاصل شد (جدول ۳). این در حالی است که بیشترین قطر ۱۵ سانتی‌متری ریشه در تیمارهای شاهد، تنش خشکی از گل‌دهی و خورجین‌دهی (بدون تفاوت معنی‌دار با هم) مشاهده شد. کمترین قطر پنج، ۱۰ و ۱۵ سانتی‌متری ریشه نیز در تیمار تنش خشکی از ساقه‌دهی مشاهده شد (جدول ۳).

واکنش ارقام به سطوح آبیاری از نظر قطر پنج و ۱۰ سانتی‌متری ریشه نشان می‌دهد که رقم 'اپرا' در تمامی تیمارهای آبیاری بیشترین میزان قطر پنج و ۱۰ سانتی‌متری ریشه را دارا بود (جدول ۳). از نظر قطر ۱۵ سانتی‌متری ریشه واکنش ارقام به سطوح آبیاری متفاوت‌تر بود، به طوری که در تیمارهای شاهد رقم 'کوپر'، تنش خشکی از ساقه‌دهی ارقام 'اپرا' و 'کوپر'، تنش خشکی از گل‌دهی رقم 'اپرا' و در تنش خشکی از خورجین‌دهی رقم 'کوپر' برتر بودند (جدول ۳). نتایج این آزمایش نشان داد که رقم 'اپرا' با توجه به ریشه عمیق، از بیشترین قطر ریشه در شرایط تنش خشکی برخوردار بود. همچنین رقم 'اپرا' با برخورداری از بیشترین قطر و طول ریشه، از نظر میزان هدایت روزنه‌ای در طول دوره رشد نیز در شرایط تنش خشکی برتر از سایر ارقام بود (شکل ۲ و جدول ۳). بر

دلیل کاهش تعداد خورجین پر در تیمار تنش خشکی از گل‌دهی، تأثیر تنش خشکی بر گرده‌افشانی گل‌های کلزا بوده است که سبب کاهش باروری گل‌ها و خشک شدن آن‌ها شده است. کاهش فتوسنتز جاری و میزان دسترسی مخازن خورجین‌ها و دانه‌ها به فرآورده‌های فتوسنتزی از دیگر عوامل اصلی سقط خورجین‌ها در اثر تنش خشکی ذکر شده است. در گیاه کلزا قسمت عمده کاهش شدید تعداد خورجین در شرایط تنش، از ریزش گل و خورجین ناشی می‌شود تا کاهش در تعداد گل‌هایی که به‌وجود آمده‌اند [۱۱]. در این آزمایش با وجود برتری محسوس رقم 'کوپر' در شرایط شاهد از نظر تعداد خورجین پر در مقایسه با سایر ارقام، در تیمارهای تنش خشکی از ساقه‌دهی، گل‌دهی و خورجین‌دهی رقم 'اپرا' بیشترین تعداد خورجین پر در گیاه را تولید نمود که این موضوع بیشتر می‌تواند ناشی از طول و قطر ریشه زیاد به همراه هدایت روزنه‌ای بالاتر در رقم 'اپرا' باشد (شکل ۲ و جدول ۳). در شرایط تنش خشکی تعداد خورجین در ساقه اصلی و تعداد دانه در خورجین لاین‌های کلزای حساس به خشکی کاهش شدیدی یافت، درحالی‌که در لاین‌های متحمل به خشکی کاهش یاد شده اندک بود [۴۱].

از نظر تعداد دانه در خورجین واکنش ارقام به سطوح آبیاری متفاوت بود، به‌طوری‌که در تیمار شاهد ارقام اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند و در یک گروه آماری قرار گرفتند اما در تیمارهای تنش خشکی از ساقه‌دهی، گل‌دهی و خورجین‌دهی رقم 'اپرا' در مقایسه با دیگر ارقام برتری قابل توجهی از نظر تولید دانه داشت که می‌تواند مرتبط با هدایت روزنه‌ای بالا، ریشه عمیق و در نتیجه توانایی گیاه در جذب بیشتر آب و حفظ آماس سلولی در شرایط تنش خشکی باشد (جدول ۳). قبلاً نیز بر نقش

اساسی تعداد دانه در خورجین در افزایش عملکرد دانه ارقام متحمل به شرایط سخت آب و هوایی تأکید شده است [۱۳].

در این آزمایش، کلیه تیمارهای تنش خشکی سبب کاهش معنی‌دار وزن هزار دانه در مقایسه با تیمار شاهد شد، اما بیشترین و کمترین میزان کاهش در ارقام مورد بررسی به‌ترتیب در تیمارهای تنش خشکی از ساقه‌دهی و خورجین‌دهی مشاهده شد (جدول ۳). اصولاً کمبود آب در مراحل زایشی گیاه کلزا سبب کاهش طول دوره گل‌دهی تا رسیدگی گیاه شده و بدین سبب با کاهش طول دوره پر شدن دانه کاهش وزن دانه‌ها نیز رخ می‌دهد [۱۲].

نتایج مقایسه میانگین‌های وزن هزار دانه از نظر واکنش ارقام به سطوح آبیاری متفاوت بود، به‌طوری‌که در تیمار شاهد رقم 'اپرا'، در تیمار تنش خشکی از گل‌دهی ارقام بدون اختلاف معنی‌داری و در تیمار تنش خشکی از خورجین‌دهی رقم 'اپرا' از بیشترین وزن هزار دانه برخوردار بود (جدول ۳). به نظر می‌رسد که در بین ارقام مورد بررسی، رقم 'اپرا' با وجود تولید بیشترین دانه در خورجین توانسته در تولید مواد فتوسنتزی بوسیله منابع و تخصیص آن به مخازن بسیار کارآمد عمل نماید و در شرایط تنش خشکی نیز از وزن هزار دانه بالایی برخوردار باشد. همچنین بالاتر بودن میزان هدایت روزنه‌ای می‌تواند یکی از دلایل بیشتر بودن وزن دانه در رقم 'اپرا' در شرایط خشکی باشد زیرا رابطه قوی بین باز بودن روزنه‌های هوایی با وزن هزار دانه گیاه کلزا گزارش شده است [۲۶].

بیشترین عملکرد دانه تک گیاه از تیمار شاهد بدست آمد و تنش خشکی از مراحل ساقه‌دهی و گل‌دهی سبب بیشترین کاهش این صفت در مقایسه با تیمار شاهد شد (جدول ۳). کاهش عملکرد دانه کلزا در شرایط تنش خشکی توسط بسیاری از محققین گزارش شده است که با نتایج این آزمایش همخوانی دارد [۱۱ و ۳۹]. نتایج این

روزنه‌ای نیز برخوردار بود که سبب تولید بالاترین عملکرد دانه شد (شکل ۲ و جدول ۳).

واکنش ارقام از نظر وزن خشک اندام هوایی در تک گیاه به سطوح آبیاری نشان داد که در تیمار شاهد رقم 'کوپر'، از بالاترین وزن خشک تک گیاه به میزان ۳۳/۷ گرم برخوردار بود (جدول ۳). همچنین در تیمار شاهد پس از رقم 'کوپر'، رقم 'اپرا' نیز وزن خشک اندام هوایی بالایی را به میزان ۳۱/۶ گرم تولید کرد (جدول ۳). در تیمارهای تنش خشکی از ساقه‌دهی، گل‌دهی و خورجین‌دهی ماده خشک تولیدی در تمامی ارقام مورد بررسی شدت کاهش یافت، اما با این حال رقم 'اپرا' بیشترین وزن خشک اندام هوایی در تک گیاه را داشت (جدول ۳). کاهش محسوس وزن خشک اندام هوایی به واسطه تنش خشکی از مرحله ساقه‌دهی می‌تواند بیشتر به دلیل کاهش محسوس رشد و کوچک ماندن اندام‌های رویشی مانند برگ و ساقه و همچنین اندام‌های زایشی باشد. این درحالی است که در تیمارهای تنش خشکی از مراحل گل‌دهی و خورجین‌دهی، کاهش مشاهده شده در وزن خشک می‌تواند بیشتر به واسطه تسریع در پیری برگ‌ها، خشک شدن آن‌ها و ریزش برگ و خورجین باشد. کاهش محسوس وزن خشک گیاه کلزا در رقم 'لیکورد' از ۱۶۳۸ گرم در مترمربع در تیمار آبیاری ۴۵۰۰ مترمکعب در هکتار به ۸۸۴ گرم در مترمربع در میزان آبیاری ۳۰۰۰ متر مکعب در هکتار مشاهده شده است [۱۵].

در میان اثرات اصلی و متقابل تنها اثر اصلی تنش خشکی بر درصد روغن دانه در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در بین سطوح آبیاری، بیشترین درصد روغن دانه به میزان ۴۴/۵ درصد از تیمار شاهد به دست آمد و تیمارهای تنش خشکی از مراحل گل‌دهی و خورجین‌دهی تأثیر

آزمایش بیانگر وجود تنوع زیاد در بین سطوح آبیاری از نظر واکنش عملکرد دانه ارقام مورد بررسی بود (جدول ۳)، به‌طوری‌که در شرایط بدون تنش (شاهد) رقم 'کوپر' به دلیل تولید تعداد خورجین پر بسیار زیاد در مقایسه با سایر ارقام، بیشترین عملکرد دانه را تولید نمود (جدول ۳). این درحالی است که با اعمال تیمارهای تنش خشکی رقم 'کوپر' حساسیت نسبتاً زیادی به تنش خشکی نشان داد و با کاهش زیاد عملکرد دانه مواجه شد. در تیمارهای تنش خشکی، رقم 'اپرا' با تولید بیشترین تعداد خورجین پر و تعداد دانه در خورجین زیاد به همراه وزن هزاردانه بالا عملکرد دانه بیشتری نسبت به سایر ارقام تولید کرد (جدول ۳).

بالا بودن عملکرد دانه در برخی ژنوتیپ‌های کلزا با خصوصیات نظیر تعداد بیشتر خورجین‌ها، دانه در خورجین و وزن هزار دانه زیاد مرتبط است [۳۷]. همچنین برخورداری از خصوصیات ممتاز در مورفولوژی ریشه نظیر طول و قطر زیاد آن، از عوامل مهم برتری ارقام 'کوپر' و 'اپرا' در شرایط بدون تنش و تنش خشکی از نظر عملکرد دانه بوده است (جدول ۳). در این زمینه گزارش شده است که در شرایط تنش خشکی طول ریشه گیاه کلزا ارتباط مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه دارد و ریشه عمیق نه تنها در خاک‌های خشک، بلکه در رطوبت زیاد نیز ارزشمند است [۷ و ۲۱]. همچنین در شرایط بدون تنش، بالاتر بودن میزان هدایت روزنه‌ای بخصوص در اوائل ساقه‌دهی تا گل‌دهی (شکل ۲) در رقم 'کوپر' می‌تواند یکی دیگر از دلایل برتری این رقم از نظر عملکرد دانه باشد (جدول ۳). در مقابل در تیمارهای تنش خشکی، رقم 'اپرا' علاوه بر ریشه عمیق از بیشترین میزان هدایت

1. Cooper
2. Opera

معنی‌داری بر این صفت در مقایسه با شاهد نداشتند (جدول ۳). در مقابل، تنش خشکی از مرحله ساقه‌دهی سبب کاهش ۷/۸ درصدی این صفت در مقایسه با تیمار شاهد شد (جدول ۳). به نظر می‌رسد که در شرایط تنش خشکی از ساقه‌دهی به دلیل شدت و مدت زمان زیاد تنش خشکی، درصد روغن کاهش معنی‌داری یافته است. تنش خشکی از مراحل گل‌دهی و خورجین‌دهی اثر معنی‌داری بر درصد روغن دانه دو رقم کلزای 'زرفام' و 'اکاپی' نداشت [۲]. در مقابل نتایج دیگر تحقیقات نیز بر کاهش درصد روغن دانه و عملکرد روغن ارقام کلزا در شرایط تنش خشکی در محله گل‌دهی اذعان داشته‌اند که این امر می‌تواند به واسطه اکسیداسیون برخی اسیدهای چرب غیراشباع چندانگانه و کاهش قابلیت تبدیل هیدرات‌های کربن به روغن باشد [۳۳ و ۳۹].

ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه نشان داد که همبستگی منفی و معنی‌داری بین عدد اسپد با اکثر صفات مورد مطالعه وجود داشت، به‌طوری‌که به ترتیب قطر پنج سانتی‌متری ریشه ($r = -0.74$) و وزن خشک ریشه ($r = -0.64$) در سطح یک درصد رابطه منفی و معنی‌داری با عدد اسپد داشتند (جدول ۴). همچنین همبستگی منفی و معنی‌داری بین طول ریشه و عدد اسپد مشاهده شد (جدول ۴). در شرایط تنش خشکی عدد اسپد در گیاه کلزا افزایش و سطح برگ کاهش می‌یابد که در این حالت افزایش در محتوی کلروفیل گیاه در واحد سطح برگ به منظور حفاظت در برابر خسارت نوری روی داده است [۸، ۲۰ و ۳۴].

در تحقیق حاضر، بین عدد اسپد و عملکرد دانه همبستگی معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴). قبلاً نیز عدم وجود رابطه بین عدد اسپد و عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی آخر فصل گزارش شده است [۲۵]. میزان هدایت

روزنه‌ای همبستگی مثبت و معنی‌داری با خصوصیات مورفولوژی ریشه، وزن خشک ریشه و اندام هوایی، اجزای عملکرد و عملکرد دانه داشت (جدول ۴). قبلاً نیز بر وجود رابطه مثبت و معنی‌دار بین باز بودن روزنه‌ها با ماده خشک تولیدی و اجزای عملکرد گیاه کلزا تأکید شده است [۲۶]. در این آزمایش، همبستگی مثبت و بالاتری میان قطر پنج و ۱۰ سانتی‌متری ریشه اصلی با اجزای عملکرد و عملکرد دانه در مقایسه با قطر ۱۵ سانتی‌متری ریشه اصلی و طول ریشه مشاهده شد (جدول ۴). در گیاهان مختلف ارتباط قوی بین هدایت روزنه‌ای و سیستم ریشه‌ای و عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی گزارش شده است [۱۴ و ۳۰] و یکی از مهم‌ترین سازوکارهای تحمل به تنش خشکی بالاتر بودن جذب آب توسط سیستم ریشه‌ای گیاه همراه با باز نگه داشتن نسبی روزنه‌ها ذکر شده است که با افزایش عملکرد دانه در ارتباط می‌باشد [۱۹]. در بین اجزای عملکرد، تعداد خورجین پر در گیاه همبستگی بسیار بالا و معنی‌داری با عملکرد دانه داشت.

نتایج کلی نشان داد که نقش خصوصیات مورفولوژی ریشه نظیر قطر و طول ریشه در بالاتر بودن هدایت روزنه‌ای و افزایش تحمل به خشکی بسیار پررنگ بوده و 'اپرا' به عنوان رقم کلزای متحمل به خشکی به سبب برخورداری از قطر ریشه اصلی زیاد، ریشه عمیق‌تر و به سبب آن هدایت روزنه‌ای بالاتر از بیشترین تعداد خورجین پر، تعداد دانه در خورجین و وزن هزاردانه برخوردار بوده و بیشترین عملکرد دانه را نیز تولید کرد. همچنین نتایج ضرایب همبستگی بین صفات نشان داد که در بین اجزای عملکرد، تعداد خورجین پر در گیاه بیشترین نقش را در افزایش عملکرد دانه گیاه کلزا دارد.

جدول ۴. جدول ضرایب همبستگی ساده بین برخی از صفات مورد مطالعه

صفات	هدایت	عدد اسپد	طول ریشه	سانتی متری ریشه	قطر ۵	سانتی متری ریشه	قطر ۱۰	سانتی متری ریشه	قطر ۱۵	سانتی متری ریشه	وزن خشک	تعداد خورجین پر گیاه	تعداد دانه در خورجین	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	وزن خشک اندام هوایی
هدایت روزنای	†۱															
عدد اسپد	IS۰/۱۲	۱														
طول ریشه	**۰/۷۹	*-۰/۵۵	۱													
قطر ۵ سانتی متری ریشه	**۰/۸۱	**۰/۷۴	**۰/۶۶	۱												
قطر ۱۰ سانتی متری ریشه	**۰/۷۴	**۰/۶۳	**۰/۶۶	**۰/۸۶	۱											
قطر ۱۵ سانتی متری ریشه	**۰/۶۹	*-۰/۵۲	۰/۴۲	*۰/۵۹	*۰/۵۹	۱										
وزن خشک ریشه	**۰/۶۲	**۰/۶۴	**۰/۷۰	**۰/۷۰	**۰/۸۰	**۰/۸۵	۱									
تعداد خورجین پر در گیاه	**۰/۷۸	IS-۰/۲۹	IS۰/۳۹	*۰/۵۱	*۰/۵۱	IS۰/۳۷	**۰/۷۲	۱								
تعداد دانه در خورجین	**۰/۷۳	IS۰/۰۶	IS۰/۴۱	**۰/۶۴	**۰/۶۴	*۰/۵۸	**۰/۶۹	*۰/۶۱	۱							
وزن هزار دانه	**۰/۶۶	IS۰/۴۸	**۰/۷۳	*۰/۶۰	*۰/۵۴	*۰/۵۱	**۰/۷۵	**۰/۷۲	*۰/۶۶	**۰/۸۳	۱					
عملکرد دانه	**۰/۸۵	IS۰/۳۷	**۰/۷۸	**۰/۷۳	**۰/۶۵	*۰/۶۱	**۰/۷۲	**۰/۹۹	**۰/۹۹	*۰/۵۸	**۰/۶۳	۱				
وزن خشک اندام هوایی	**۰/۸۹	IS۰/۲۱	*۰/۷۵	**۰/۷۶	**۰/۷۴	IS۰/۴۴	**۰/۸۸	**۰/۸۶	**۰/۶۳	**۰/۶۹	**۰/۶۹	**۰/۸۵	۱			

† IS: غیر معنی دار، * و ** - به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

منابع

9. Enjalbert JN, Zheng S, Johnson JJ, Mullen JL, Byrne PF and McKay JK (2013) Brassicaceae germplasm diversity for agronomic and seed quality traits under drought stress. *Industrial Crops and Products*. 47: 176-185.
10. FAO (2013) Food outlook. Global Market Analysis [Online]. Available at: <http://www.fao.foodoutlook.com>. (accessed 15 May 2014; verified 03 July 2014). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy.
11. Faraji A, Lattifi N, Solatni A and Shirani Rad AH (2009) Seed yield and water use efficiency of canola as affected by high temperature stress and supplemental irrigation. *Agricultural Water Management*. 96: 132-140.
12. Gan Y, Angadi SV, Cutforth HW, Potts D, Angadi VV and Mc Donald CL (2004) Canola and mustard response to short period of high temperature and water stress at different developmental stages. *Canadian Journal of Plant Science*. 84: 697-704.
13. Gunasekera CP, Martin LD, Siddique KHM and Walton GH (2006) Genotype by environment interactions of Indian mustard (*Brassica juncea* L.) and canola (*B. napus* L.) in Mediterranean-type environments. 1. Crop growth and seed yield. *European Journal of Agronomy*. 25: 1-12.
14. Gupta NK, Gupta S and Kumar A (2001) Effect of Water Stress on physiological attributes and their relationship with growth and yield of wheat cultivars at different stages. *Agronomy and Crop Science*. 186: 55-62.
15. Hamzei J and Soltani J (2012) Deficit irrigation of rapeseed for water-saving: Effects on biomass accumulation, light interception and radiation use efficiency under different N rates. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 155: 153-160.
1. موسوی‌نیک س م و مبصر ح ر (۱۳۸۶) تنش‌ها در گیاهان زراعی و مقابله با آن‌ها (ترجمه). انتشارات شعرا، مشهد. ۳۶۸ ص.
۲. سلیمانی ع، مرادی م و نارنجانی ل (۱۳۹۰) بررسی اثرات قطع آبیاری در مراحل مختلف رشد بر عملکرد دانه و روغن ارقام کلزای پاییزه. آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۵(۳): ۴۳۵-۴۲۶.
3. Angadi SV and Entz MH (2002) Root system and water use patterns of different height sunflower cultivars. *Agronomy*. 94: 136-145.
4. Ardell DH, Brian JW and Alfred LB (2001) Tillage and nitrogen fertilization influence on grain and soil nitrogen in an annual cropping system. *Agronomy*. 93: 836-841.
5. Bayat M, Rabiei B, Rabiee M and Moumeni A (2008) Assessment of relationship between grain yield and important agronomic traits of rapeseed as culture in paddy fields. *Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*. 12: 475-486.
6. Bert PF, Jouan I, Tourvieille D, De Labrouhe F, Serre Philippon J, Nicolas P and Vear F (2003) Comparative genetic analysis of quantitative traits in sunflower (*Helianthus annuus* L.). 2. Characterization of QTL involved in developmental and agronomic traits. *Theoretical and Applied Genetics*. 107: 181-189.
7. Cheema KL and Sadaqat HA (2004) Potential and genetic basis of drought tolerance in canola (*Brassica napus*). Correlation studies between seedling and morphological traits under drought. *Agricultural Research*. 42(2): 137-152.
8. Delkhosh B, Shirani Rad AH, Noor-Mohammadi G and Darvish F (2005) Study of drought stress effects on yield and some agronomic and physiological characteristic in rapeseed. *Agricultural Science*. 11(2): 165-176.

16. Hossain S (2010) Combining physiology and molecular biology to improve drought performance of canola (*Brassica napus*). The University of Queensland, Ph.D. Dissertation.
17. Issarakraisila M, Ma Q and Turner DW (2007) Photosynthetic and growth responses of juvenile Chinese kale (*Brassica oleracea* var. *alboglabra*) and Caisin (*Brassica rapa* subsp. *parachinensis*) to water logging and water deficit. *Scientia Horticulturae*. 111: 107-113.
18. Jiang Y and Huang B (2001) Osmotic adjustment and root growth associated with drought preconditioning- enhanced heat tolerance in Kentucky bluegrass. *Crop Science*. 41: 1168-1173.
19. Jongrunklang N, Toomsan B, Vorasoot N, Jogloy S, Boote KJ, Hoogenboom G and Patanothai A (2013) Drought tolerance mechanisms for yield responses to pre-flowering drought stress of peanut genotypes with different drought tolerant levels. *Field Crops Research*. 144: 34-42.
20. Khan MA, Ashraf MY, Mujtaba SM, Shirazi MU, Khan MA, Shereen A, Mumtaz S, Siddiqui MA and Kaler GM (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.
21. Lilley J and Kirkegaard JA (2007) Seasonal variation in the value of subsoil water to wheat-simulation studies in southern NSW. *Australian Journal of Agricultural Research*. 58: 1115-1128.
22. Manschadi AM, Christopher J, Voil P and Hammer GL (2006) The role of root architectural traits in adaptation of wheat to water-limited environments. *Functional Plant Biology*. 33: 823-837.
23. Meier U (2001) Growth stages of mono-and dicotyledonous plants (BBCH-scale). BBCH Publications, Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry, Berlin, 158 p.
24. Moghaddam MJ and Pourdad SS (2011) Genotype $\times$ environment interactions and simultaneous selection for high oil yield and stability in rainfed warm areas rapeseed (*Brassica napus* L.) from Iran. *Euphytica*. 180: 321-335.
25. Mohammadi R, Heidari B and Haghparast R (2013) Traits associated with drought tolerance in spring durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) breeding lines from international germplasm. *Crop Breeding*. 3(2): 87-98.
26. Mujdeci M, Senol H, Cakmakci T and Celikok P (2011) The effects of different soil water matrix suctions on stomatal resistance. *Food, Agriculture and Environment*. 9(3&4): 1027-1029.
27. O'Toole JC and Bland WL (1987) Genotypic variation in crop plant root systems. *Advances in Agronomy*. 41: 91-145.
28. Poma I, Giacomini V and Gricina L (1999) Rapeseed (*Brassica napus* L. Var. *Oleifera*) Ecophysiological and agronomical aspects as affected by soil water availability. *Proceeding 10th International Rapeseed Congress*. Canberra, Australia. Pp. 201-205.
29. Rashidi S, Shirani Rad AH, Ayene Band A, Javidfar F and Lak S (2012) Study of relationship between drought stress tolerances with some physiological parameters in canola genotypes (*B. napus* L.). *Annals of Biological Research*. 3(1): 564-569.
30. Roudbari Z, Saba J and Shekari F (2012) Use of Physiological Parameters as Tools to Screen Drought Tolerant Safflower Genotypes. *International Research of Applied and Basic Sciences*. 3(12): 2374-2380.
31. Sharghi Y, Shirani Rad AH, Ayene Band A, Noormohammadi Gh and 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.
32. Sharpley A, Meisinger JJ, Breeuwsma A, Sims JT, Daniel TC and Schepers JS (1998) Impacts of animal manure management on ground and surface water quality. In: Hatfield JL and Stewart BA (Eds.), *Animal waste utilization: Effective use of manure as a soil resource*. Ann Arbor Press, Chelsea, MI. Pp. 173-242.
33. Siddique ZS, Ajmal Khan M, Gikim B and Hunag JS (2008) Physiological Responses of *Brassica napus* Genotypes to combines Drought and salt stress. *Plant Stress*. 2(1): 78-83.
34. Singh MP, Pandey UN, Lal RK and Chaturvedi GS (2002) Response of *Brassica* species to different irrigation regimes. *Indian Journal of Plant Physiology*. 1(7): 66-69.
35. Sloan RJ, Patterson RP and Carter TE (1990) Field drought tolerance of soybean plant introduction. *Crop Science*. 30: 118-123.
36. Stone LR, Goodrum DE, Jaafar MN and Khan AH (2001) Rooting front and water depletion depths in grain sorghum and sunflower. *Agronomy*. 93: 1105-1110.
37. Svensk H (1979) Breeding for increased yield in double-row spring rapeseed. *Proceeding 5th International Rapeseed Conference*. Pp. 84-86.
38. Tardieu F and Simonneau T (1998) Variability among species of stomatal control under fluctuating soil water status and evaporative demand: Modeling isohydric behaviors. *Experimental Botany*. 49: 419-432.
39. Tohidi-Moghaddam HR, Zahedi H and 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.
40. Watt M, Magee LG and McCully ME (2008) Types, structure and potential for axial water flow in the deepest roots of field-grown cereals. *New Phytologist*. 178: 135-146.
41. Zakirullah Z, Swati ZA, Ahamd A and Raziuddin R (2000) Morpho-physiological response of selected brassica line to moisture stress. *Pakistan Journal of Biological Science*. 3(1): 130-132.