

اثر تنش خشکی آخر فصل بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه برخی ژنوتیپ‌های کلزا

Effect of Terminal Drought Stress on Yield and Yield Components of some Oilseed rape Genotypes

اسداله زارعی سیاه‌بیدی^۱، عباس رضائی‌زاد^۲ و علی شیر نیازی‌فرد^۳

۱، ۲ و ۳- به ترتیب محقق، استادیار و محقق، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۳/۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۸/۲۲

چکیده

زارعی سیاه‌بیدی، ا.، رضائی‌زاد، ع. و نیازی‌فرد، ع. ش. ۱۳۹۳. اثر تنش خشکی آخر فصل بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه برخی ژنوتیپ‌های کلزا. مجله به‌زراعی نهال و بذر ۲-۳۰ (۳): ۲۹۷-۳۱۸.

به منظور بررسی اثر تنش خشکی آخر فصل بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزا و همچنین شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی و دارای پتانسیل عملکرد بالا تعداد سیزده ژنوتیپ کلزا شامل کرج ۱، کرج ۲، کرج ۳، طلایه، زرفام، اوکاپی، لیکورد، SIm046، مودنا، WPN5، اپرا، WPN2 و G.KH305 در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی آخر فصل (قطع آبیاری از مرحله گلدهی) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی اسلام‌آباد غرب به مدت دو سال زراعی (۱۳۹۱-۱۳۸۹) مورد ارزیابی قرار گرفتند. تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر تنش خشکی آخر فصل بر همه صفات به جز درصد روغن دانه، تعداد شاخه‌های فرعی و وزن هزار دانه معنی‌دار بود. عملکرد دانه در اثر تنش خشکی به میزان ۲۰ درصد کاهش یافت. میانگین عملکرد دانه ارقام کلزا در شرایط آبیاری کامل ۴۵۸۶ کیلوگرم در هکتار و در شرایط تنش ۳۷۳۶ کیلوگرم در هکتار بود. این کاهش حاصل تاثیر پذیری اجزای عملکرد دانه یعنی تعداد خورجین در گیاه و تعداد دانه در خورجین از تنش خشکی بود. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که عملکرد و اجزای عملکرد دانه در سال اول برتر از سال دوم بودند. دلیل آن شرایط مساعدتر زراعی و آب و هوایی در سال اول اجرای پژوهش بود. ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر کلیه صفات به استثنای درصد روغن دانه تفاوت معنی‌داری داشتند. بیشترین عملکرد دانه در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی متعلق به ژنوتیپ G.KH305 به ترتیب با ۵۲۳۰ و ۳۹۴۱ کیلوگرم در هکتار بود.

واژه‌های کلیدی: کلزا، کمبود آب، کاهش عملکرد، درصد روغن.

مقدمه

بررسی‌ها نشان داده است که بروز کمبود آب در مراحل مختلف رشدی به ویژه دوره رشد زایشی کمیت و کیفیت روغن تولید شده در کلزا را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Angadi and Cutforth, 2003).

حساس‌ترین زمان برای آبیاری، مرحله گلدهی و اوایل خورجین‌بندی است (Richards and Thurling, 1978)؛ (Pouzet, 1995)؛ (Richards, 1978).

بر اساس منابع علمی موجود، تنوع ژنتیکی از نظر عملکرد و اجزای آن در بین و درون گونه‌های براسیکا برای تنش خشکی وجود دارد (Richards and Thurling, 1978).

نتایج تحقیقات جنسن و همکاران (Jensen *et al.*, 1996) در کلزا نشان داده است که تنش خشکی در زمان پر شدن دانه بیشترین تاثیر منفی را روی عملکرد دارد.

در مطالعه دلخوش و همکاران (Delkhosh *et al.*, 2012) تنش خشکی در مرحله زایشی باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه شد، با این حال تاثیر منفی تنش خشکی بر عملکرد دانه کمتر از تاخیر در کاشت بود.

سینگ (Sing, 1989) نشان داد که برای اصلاح ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی گونه‌های براسیکا، صفات عملکرد دانه، وزن هزار دانه و تعداد شاخه‌های فرعی باید مد نظر قرار گیرند.

دادی‌شور و خودشناس (Dadivar and Khodshenas, 2006) در بررسی اثر تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزا نشان دادند که تفاوت عملکرد دانه در اثر تنش

گیاه کلزا با ویژگی‌های خاص زراعی از جمله سازگاری به اقلیم‌ها و شرایط آب و هوایی مختلف و دارا بودن دو تیپ پاییزه و بهاره می‌تواند در برنامه تناوب زراعی در مناطق مختلف مورد استفاده قرار گرفته و امکان استفاده بهینه از منابع آبی و خاکی را فراهم کند. نیاز روزافزون و وابستگی شدید کشور به روغن خوراکی سبب توجه خاص به توسعه کشت دانه‌های روغنی و از جمله کلزا شده، به طوری که سطح زیر کشت و تولید آن در اوایل دهه هشتاد از رشد قابل ملاحظه‌ای برخوردار بود و هم اکنون نیز توسعه کشت کلزا به عنوان یکی از اولویت‌های وزارت جهاد کشاورزی قرار گرفته است.

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده کشاورزی و از عوامل بسیار تاثیرگذار در پراکنش گونه‌های گیاهی در جهان است (Jenks and Hasegawa, 2005).

اصلاح ارقام کلزای متحمل به خشکی نیز یکی از اولویت‌های تحقیقاتی کشور است. گیاه کلزا که همانند گندم در هر دو شرایط آبی و دیم کشت می‌شود عموماً در مراحل از چرخه زندگی خود تنش خشکی را تجربه می‌کند. در اراضی آبی و مناطقی که در آنها از آب‌های سطحی برای آبیاری استفاده می‌شود در اواخر فصل رشد به دلیل کاهش بارندگی و همچنین استفاده از منابع آبی برای زراعت‌های پرسود بهاره در میزان آب افت شدیدی ایجاد می‌شود، در نتیجه فواصل بین آبیاری طولانی شده و گیاه در دوره بحرانی رشد یعنی مرحله پر شدن دانه با تنش آبی مواجه می‌شود.

خشکی آخر فصل شناسایی شوند.

مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر به مدت دو سال زراعی ۹۱-۱۳۸۹ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی اسلام‌آباد غرب انجام شد که در عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۸ دقیقه شرقی و طول ۴۷ درجه و ۲۶ دقیقه شمالی در دامنه سلسله جبال زاگرس با ارتفاع ۱۳۴۶ متر از سطح دریا قرار گرفته است. میانگین بارندگی سالانه ۵۳۸ میلی‌متر، میانگین درجه حرارت سالانه ۱۳+ درجه سانتی‌گراد که متأثر از شرایط مدیترانه‌ای نیمه خشک و فاقد باران تابستانه است و اکثر نزولات آسمانی در فصول پائیز، زمستان و بهار حادث می‌شود.

عملیات تهیه زمین شامل شخم، دیسک، ماله کشی روی زمین مورد آزمایش در شهریور ماه انجام و براساس نتایج آزمون خاک نیاز کودی گیاه تعیین شد. مقدار ۱۰۰ کیلوگرم کود پتاسیم و ۷۵ کیلوگرم کود فسفر و ۱۰۰ کیلوگرم از کود نیتروژن توصیه شده در زمان کاشت در خلال عملیات تهیه زمین مصرف شد و در مرحله شروع ساقه رفتن قسط دیگر کود نیتروژن مصرف شد. علف کش ترفلان به طور یکنواخت روی خاک پخش و با دیسک سبک با خاک مخلوط شد. سیزده ژنوتیپ کلزا شامل کرج ۱، کرج ۲، کرج ۳، طلایه، زرفام، اوکاپی، لیکورد، SLM46، مودنا، اپرا، WPN5، WPN2 و جی.کا.اچ. ۳۰۵ GK.H.305 GI در دو شرایط نرمال (آبیاری کامل) و تنش خشکی (قطع آبیاری از ابتدای گلدهی) به صورت دو آزمایش جداگانه در قالب طرح

خشکی به علت تغییر در تعداد خورجین در گیاه و تعداد دانه در خورجین بود و بر وزن هزار دانه تأثیری نداشت.

و فـاـبـخـش و همکاران (Vafabakhsh *et al.*, 2009) نشان دادند که در شرایط تنش خشکی کارایی مصرف آب برای تولید ماده خشک افزایش و برای تولید روغن کاهش یافت.

هنر و همکاران (Honar *et al.*, 2013) در بررسی اثر تنش در مراحل مختلف رشد کلزا نشان دادند که تیمار دیم کامل و تنش در مرحله رسیدگی به ترتیب بیشترین و کمترین اثر را بر کاهش عملکرد دانه داشت در حالی که بیشترین حساسیت کلزا مربوط به تنش در بین دو مرحله رشد رویشی در بهار و شروع گلدهی بود.

نتایج مطالعه پاسبان‌اسلام (Paseban Eslam, 2009) در تبریز نشان داد که ژنوتیپ‌های اوکاپی و اس.ال.ام. ۰۴۶ برای نواحی با تنش خشکی آخر فصل مناسب هستند.

کشاورزان کلزا کار در استان کرمانشاه برای از دست ندادن تاریخ کاشت ذرت و نیز اهمیت آبیاری گندم در اردیبهشت ماه، از آبیاری کلزا صرف نظر کرده و به آبیاری گندم و ذرت می‌پردازند. قطع آبیاری کلزا در زمان گلدهی و دانه‌بندی باعث ایجاد تنش و کاهش محصول کلزا می‌شود، بنابراین شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی آخر فصل در کلزا از اهمیت زیادی برخوردار است. در مطالعه حاضر سعی شد علاوه بر بررسی اثر تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزا، متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش

ویژه عملکرد دانه در دو سال اجرای آزمایش به تفاوت شرایط آب و هوایی این دو سال بر می‌گردد. وقوع سرمای زودرس در ابتدای پاییز ۱۳۹۰ و ادامه آن تا پایان پاییز باعث شد که ژنوتیپ‌های مورد بررسی روزت مناسبی قبل از زمستان نداشته باشند و این امر باعث شد که عملکرد دانه به صورت معنی‌داری کاهش یابد و سایر صفات زراعی نیز تحت تاثیر چنین شرایطی قرار گرفتند.

ژنوتیپ‌های مورد بررسی از تنوع زیادی برخوردار بودند و از نظر همه صفات مورد بررسی به استثنای درصد روغن دانه دارای اختلاف معنی‌دار بودند (جدول ۳). اثر متقابل ژنوتیپ × سال برای درصد روغن دانه، عملکرد دانه، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، ارتفاع گیاه و تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک معنی‌دار بود (جدول ۳).

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که تاثیر تنش خشکی بر همه صفات مورد ارزیابی به استثنای وزن هزار دانه، تعداد شاخه‌های فرعی و درصد روغن دانه معنی‌دار بود. از طرفی اثر متقابل ژنوتیپ × تنش خشکی برای درصد روغن دانه، عملکرد دانه، تعداد خورجین در گیاه و تعداد دانه در خورجین معنی‌دار بود.

ارتفاع گیاه

ارتفاع گیاه به صورت معنی‌دار تحت تاثیر تنش خشکی قرار گرفت و کاهش یافت (جدول ۳). میانگین ارتفاع گیاه در شرایط نرمال و تنش خشکی به ترتیب ۱۶۲ و ۱۵۶ سانتی‌متر بود.

بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفتند. کاشت به وسیله بذرکار غلات (وینتر اشتایگر) انجام شد به طوری که فاصله خطوط کشت ۲۵ سانتی‌متر، طول خطوط کرت ۵ متر و هر کرت شامل چهار خط بود. آبیاری تا مرحله گلدهی انجام و سپس در تیمارهای مورد نظر قطع آبیاری انجام شد. برای مبارزه با شته مومی از آفت‌کش سیستمیک متاسیتوکس (۱ لیتر در هکتار) استفاده شد. برای کنترل علف‌های هرز باریک برگ از علفکش گالانت سوپر استفاده شد و علف‌های هرز پهن برگ نیز به صورت وجین دستی کنترل شدند. در طول فصل زراعی از صفاتی مانند شروع و خاتمه گلدهی، ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های جانبی، تعداد خورجین در گیاه و تعداد دانه در خورجین یادداشت برداری شد. پس از حذف نیم متر از دو انتهای کرت، چهار مترمربع را برداشت و سپس عملکرد و وزن هزار دانه تعیین شد. برای اندازه‌گیری درصد روغن از روش تشدید مغناطیسی هسته‌ای (NMR) استفاده شد. از نرم‌افزار SAS برای تجزیه آماری داده‌ها استفاده شد.

نتایج و بحث

خصوصیات شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ و شرایط آب و هوایی ایستگاه اسلام‌آباد غرب در سال‌های انجام آزمایش در جدول ۲ نشان داده شده‌اند.

تجزیه واریانس مرکب داده‌های دو ساله نشان داد که اثر سال بر همه صفات مورد بررسی به استثنای وزن هزاردانه و تعداد شاخه فرعی معنی‌دار بود (جدول ۳). تفاوت صفات اندازه‌گیری شده و به

جدول ۱- خصوصیات شیمیایی خاک محل آزمایش
Table 1. Chemical properties of soil at experimental site

Chemical composition	ترکیب شیمیایی	Cropping season	
		2010-2011	2011-2012
Organic carbon (%)	درصد کربن آلی خاک	1.03	1.08
Phosphorous (ppm)	فسفر	28.2	37.0
Potassium (ppm)	پتاسیم	718	744

کم آبی و کاهش تولید مواد فتوسنتزی جهت ارائه به بخش‌های در حال رشد گیاه و نهایتاً عدم دستیابی به پتانسیل ژنتیکی از نظر ارتفاع بوته نسبت داد.

تعداد خورجین در گیاه

تنش خشکی باعث کاهش ۳۶ درصدی تعداد خورجین در گیاه شد به طوری که در شرایط نرمال تعداد خورجین در گیاه ۱۷۳ و در شرایط تنش خشکی به ۱۱۱ عدد کاهش یافت (جدول ۴). کاهش شدید این صفت در شرایط تنش خشکی تاثیر زیادی بر کاهش عملکرد دانه داشت. تعداد خورجین در گیاه در کلزا یکی از اجزای عملکرد مهم در کلزا بوده و از جمله صفاتی است که به شدت تحت تاثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد. در برخی مطالعات به وراثت‌پذیری پایین تعداد خورجین در گیاه اشاره شده است (Richards and Thurling, 1978)؛

(Richards, 1978؛ Diepenbrock, 2000).

کاهش شدید تعداد خورجین در گیاه در شرایط تنش می‌تواند به دلیل ریزش گل‌ها و سقط خورجین‌ها در شرایط تنش باشد. به نظر می‌رسد کمبود عرضه مواد فتوسنتزی در شرایط تنش باعث

به نظر می‌رسد با توجه به این که کلزا گیاهی رشد نامحدود است، وقوع تنش خشکی در مرحله گلدهی باعث توقف رشد رویشی و تسریع در رشد زایشی شده و در نتیجه افزایش ارتفاع کلزا متوقف شده است، در حالی که در شرایط آبیاری معمول (شاهد) در کنار رشد زایشی، رشد رویشی نیز ادامه یافته و ارتفاع گیاه افزایش یافته که این می‌تواند دلیل فیزیولوژیکی کاهش معنی‌دار ارتفاع گیاه در شرایط قطع آبیاری در مرحله گلدهی باشد. در مطالعه شعبانی و همکاران (Shaabani et al., 2009) تنش خشکی در مرحله گلدهی و تشکیل خورجین باعث کاهش ارتفاع گیاه شد اما اعمال تنش خشکی در مرحله رسیدگی دانه تاثیری بر ارتفاع گیاه نداشت. در مطالعه شیرانی‌راد و همکاران (Shirani Rad et al., 2010) نیز ارتفاع گیاه به طور معنی‌داری تحت تاثیر تنش خشکی حاصل از قطع آبیاری در مرحله گلدهی قرار گرفت و به میزان ۱۲ درصد کاهش یافت. در مطالعه تنویر و همکاران (Tanveer et al., 2014) تنش خشکی در مرحله رشد زایشی تاثیر معنی‌داری بر کاهش ارتفاع گیاه داشت. کاهش ارتفاع گیاه در اثر تنش خشکی را می‌توان به اختلال در فتوسنتز به واسطه

جدول ۲- شرایط آب و هوایی ایستگاه تحقیقات اسلام‌آباد غرب در سال‌های زراعی ۱۳۸۹-۹۰ و ۱۳۹۰-۹۱

Table 2. Weather conditions of Islamabad-e-Gharb Research Station in 2010-2011 and 2011-2012 cropping seasons

Month	2010-2011				2011-2012				
	درجه حرارت			بارندگی	درجه حرارت			بارندگی	
	Temperature(°C)				Temperature(°C)				
	میانگین	حداکثر	حداقل	Precipitation (mm)	میانگین	حداکثر	حداقل	Precipitation (mm)	
Average	Maximum	Minimum		Average	Maximum	Minimum			
21 September- 20 October	مهر	19.3	29.5	9.9	1.4	16.7	26.8	6.5	0.3
21 October - 20 November	آبان	12.1	21.7	3.2	23.1	9.2	15.7	2.8	175.8
21 November-20 December	آذر	6.6	17.0	-2.1	38.5	2.9	11.4	-5.3	1.2
21 December- 20 January	دی	1.7	8.9	-4.1	33.0	2.6	9.8	-4.0	21.0
21 January-20 February	بهمن	0.2	6.4	24.9	68.3	1.4	7.6	-3.7	91.7
21 February-20 March	اسفند	6.1	13.9	-1.4	21.2	2.6	8.9	-3.6	188.6
21 March-20 April	فروردین	10.6	18.5	3.1	59.2	10.0	18.1	2.5	59.1
21 April-20 May	اردیبهشت	14.5	21.5	7.9	76.1	17.1	26.5	7.5	3.0
21 May -20 June	خرداد	21.5	31.5	10.5	0.0	22.7	32.1	12.3	0.4

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات زراعی و عملکرد دانه ژنوتیپ‌های کلزا در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی در سال زراعی ۱۳۸۹-۱۳۹۱

Table 3. Analysis of variance for agronomic traits and seed yield of oilseed rape genotypes under optimum irrigation and drought stress conditions in 2010-2012 cropping seasons

S.O.V.	منابع تغییرات	درجه آزادی df.	میانگین مربعات MS								
			تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی	ارتفاع گیاه	تعداد شاخه‌های فرعی	تعداد خورجین در گیاه	تعداد دانه در خورجین	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	درصد روغن دانه	شاخص برداشت
			Days to physiological maturity	Plant height	Number of axillary branch	Pods per plant	Seed per pod	1000 Seed weight	Seed yield	Seed oil content	Harvest index
Year (Y)	سال	1	259.0 ^{**}	2330.8 ^{**}	110.5 ^{ns}	53799 ^{**}	168.6 ^{**}	4.53 ^{ns}	11385904 ^{**}	403.8 [*]	938.5 ^{**}
Drought Stress (DS)	تنش خشکی	1	506.2 [*]	1386.0 ^{**}	148.2 ^{ns}	153220 [*]	181.7 [*]	2.93 ^{ns}	52305702 ^{**}	0.1 ^{ns}	1607.4 [*]
Y × DS	سال × تنش خشکی	1	0.8 ^{ns}	0.01 ^{ns}	4.9 ^{**}	48 ^{ns}	0.1 ^{ns}	0.02 ^{ns}	28674 ^{ns}	17.3 ^{**}	5.4 ^{ns}
Replication (Y × DS)	تکرار (سال × تنش خشکی)	8	0.3	14.0	0.01	46	0.2	0.02	44848	0.9	17.7
Genotype (G)	ژنوتیپ	12	56.9 ^{**}	1967.2 ^{**}	3.7 ^{**}	1942 ^{**}	8.7 ^{**}	0.34 ^{**}	1376024 ^{**}	10.8 ^{ns}	78.3 [*]
Y × G	سال × ژنوتیپ	12	1.1 ^{**}	421.5 ^{**}	0.4 ^{ns}	541 ^{**}	1.4 ^{**}	0.02 ^{ns}	83149 ^{**}	19.8 ^{**}	29.5 ^{ns}
DS × G	تنش خشکی × ژنوتیپ	12	5.8 ^{**}	11.2 ^{ns}	0.7 ^{ns}	1057 ^{**}	1.8 ^{**}	0.03 ^{ns}	841931 ^{**}	11.0 ^{**}	27.1 ^{ns}
Y × DS × G	سال × تنش خشکی × ژنوتیپ	12	1.0 ^{**}	6.5 ^{ns}	0.2 ^{ns}	688 ^{**}	0.8 ^{ns}	0.01 ^{ns}	67331 ^{**}	4.8 ^{**}	29.3 ^{ns}
Error	اشتباه آزمایشی	96	0.2	19.9	0.01	47	0.5	0.03	17676	2.6	20.3
C.V. (%)	درصد ضریب تغییرات		0.2	2.8	1.4	5	2.6	5.30	13	3.6	17.1

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.
ns: غیر معنی‌دار.

* and **: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.
ns: Not significant.

جدول ۴- میانگین صفات مختلف ژنوتیپ‌های کلزا در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی در سال‌های زراعی ۱۳۸۹-۹۰ و ۱۳۹۰-۹۱
 Table 4. Mean of different traits of oilseed rape genotypes under optimum and drought stress conditions in 2010-2011 and 2011-2012 crop seasons

Treatment	تیمار	تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی Days to physiologic maturity	ارتفاع گیاه Plant height (cm)	تعداد شاخه‌های فرعی Number of axillary branch	تعداد دانه در خورجین Seed per pod	تعداد خورجین در گیاه Pods per plant	وزن هزار دانه 1000 Seed weight (g)	عملکرد دانه Seed Yield (kg ^{ha} ⁻¹)	درصد روغن دانه Seed oil content	شاخص برداشت Harvest index (%)
Normal	نرمال	268	162.3	8.4	28	173	3.6	4586	44.6	30
Stress	تنش خشکی	265	156.3	6.4	24	111	3.3	3428	44.5	23
2010-2011		266	163.2	8.2	27	161	3.6	4277	46.2	29
2011-2012		265	155.5	6.6	25	124	3.3	3736	42.9	24

باعث کاهش ناچیز تعداد دانه در خورجین (۱/۵ درصد) شد. به هر حال به نظر می‌رسد که تاثیر تنش خشکی مرحله گلدهی بر تعداد دانه در خورجین کمتر از تعداد خورجین در گیاه است. سینکی و همکاران (Sinaki *et al.*, 2007) بیان داشتند که تنش خشکی در مرحله گلدهی باعث کاهش ۲۶ درصدی تعداد خورجین در گیاه شد در حالی که تعداد دانه در خورجین به میزان ۹/۹ درصد کاهش یافت.

وزن هزار دانه

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که وزن هزار دانه ارقام کلزا در شرایط آبیاری کامل به میزان ناچیزی بیشتر از شرایط تنش بود به طوری که در شرایط آبیاری کامل ۳/۶ گرم و در شرایط تنش ۳/۳ گرم بود (جدول ۴). به نظر می‌رسد که تنش خشکی بیشترین تاثیر خود را از طریق عدم تلقیح گل‌ها و یا ریزش آن‌ها داشته باشد و بر وزن هزار دانه تاثیر کمتری دارد. عدم کاهش وزن هزار دانه همچنین ممکن است ناشی از فرایند جبرانی برای کاهش سایر اجزای عملکرد یعنی تعداد خورجین در گیاه و تعداد دانه در خورجین باشد. در مطالعه شامولیویر و مرین (Shamolivier and Merrin, 1996) اعمال تنش خشکی در مراحل مختلف و حتی مراحل نهایی رشد موجب افزایش وزن هزار دانه در کلزا شد. در مطالعه کلارک و سیمپسون (Clarke and Simpson, 1978) نیز مشخص شد که کاهش تعداد خورجین با افزایش وزن هزار دانه جبران می‌شود.

عدم تامین مواد فتوسنتزی به میزان کافی برای خورجین‌ها و ریزش آن‌ها و در نهایت کاهش تعداد خورجین می‌شود (Shirani Rad *et al.*, 2010). قاسمیان اردستانی و همکاران (Gasemyan Ardestatni *et al.*, 2011) نیز گزارش کردند که تعداد خورجین در گیاه در شرایط تنش خشکی در مرحله گلدهی به دلیل ریزش گل‌ها و سقط شدن خورجین‌ها کاهش یافت.

پاسبان‌اسلام (Pasban Eslam, 2009) نیز اظهار داشت که با اعمال تنش خشکی در اواخر گلدهی تعداد خورجین در گیاه به شدت کاهش یافت.

تعداد دانه در خورجین

میانگین تعداد دانه در خورجین در شرایط آبیاری کامل ۲۸ و در شرایط تنش ۲۴ عدد بود (جدول ۴). تلفیق گرما و خشکی زیاد در زمان تشکیل خورجین، به شدت رشد خورجین و تشکیل دانه‌ها، اندازه دانه و میزان روغن را تحت تاثیر قرار می‌دهد. تعداد دانه در خورجین یکی از صفات تعیین‌کننده عملکرد کلزا محسوب می‌شود. هر چه قدر تعداد دانه در خورجین بیشتر باشد مخزن بزرگ‌تری برای مواد فتوسنتزی تولید شده توسط گیاه ایجاد می‌شود و در نتیجه عملکرد دانه نافزایش خواهد یافت. دین و همکاران (Din *et al.*, 2011) گزارش دادند که کاهش تعداد خورجین در گیاه و تعداد دانه در خورجین در شرایط تنش خشکی در مرحله گلدهی باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه در کلزا شد. در حالی که در مطالعه رضایی‌زاد و همکاران (Rezaizad *et al.*, 2011) تنش خشکی

با این حال ممکن است تنش رطوبتی در مرحله گلدهی و در زمان پرشدن دانه‌ها از طریق کاهش جذب آب و املاح توسط گیاه و به دنبال آن کاهش تولید و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها باعث کاهش وزن هزار دانه شود (Daneshmand *et al.*, 2006).

رسیدگی فیزیولوژیکی

نتایج نشان داد که اعمال تنش خشکی در مرحله گلدهی تا اندازه‌ای باعث زودرسی کلزا شد به طوری که تعداد روزهای لازم تا رسیدگی فیزیولوژیک در آبیاری کامل ۲۶۸ روز و در شرایط تنش ۲۶۵ روز بود (جدول ۴). در مطالعه رضایی زاد و همکاران (Rezaizad *et al.*, 2011) با اعمال تنش خشکی در مرحله گلدهی ۱۴۴ ژنوتیپ کلزا تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک از ۲۷۳ در شرایط نرمال به ۲۷۰ روز در شرایط تنش خشکی کاهش یافت. در مطالعه منجم و همکاران (Monajem *et al.*, 2011) تنش خشکی در مرحله گلدهی تاثیر بیشتری بر تعداد روز تا رسیدگی داشت و باعث تسریع در رسیدگی گیاه به مدت ۹ روز شد.

شاخص برداشت

تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار شاخص برداشت شد به طوری که میانگین شاخص برداشت ژنوتیپ‌های کلزا، در شرایط نرمال ۲۹/۵ درصد و در شرایط تنش ۲۳/۹ درصد بود (جدول ۵). پاسبان‌اسلام (Pasban Eslam, 2009) و سینکی و همکاران (Sinaki *et al.*, 2007) نیز گزارش

کردند که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار شاخص برداشت شد. در مطالعه شیرانی راد و همکاران (Shirani Rad *et al.*, 2010) شاخص برداشت از ۲۰/۹ در شرایط نرمال به ۲۰/۵ در شرایط تنش خشکی کاهش یافت و در مطالعه ریچاردز و ترلینگ (Richards and Thurling, 1978) شاخص برداشت از ۰/۲۶۴ در شرایط نرمال به ۰/۲۱۷ در شرایط تنش خشکی مرحله خورجین‌دهی و ۰/۱۹۸ در شرایط تنش خشکی مرحله گلدهی کاهش یافت.

روغن دانه

در مطالعه حاضر تنش خشکی تاثیر معنی‌داری بر درصد روغن دانه نداشت (جدول ۳). در تطابق با این نتیجه در مطالعه بوچریو و همکاران (Bouchereau *et al.*, 1996) نیز برناچیز بودن تغییرات درصد روغن دانه در اثر تنش خشکی تاکید شده است. در حالی که برخی محققان گزارش کرده‌اند که تنش خشکی در مرحله زایشی کلزا باعث کاهش درصد روغن دانه و افزایش درصد پروتئین دانه می‌شود (Edwards and Hartel, 2011). وفابخش و همکاران (Vafabakhsh *et al.*, 2009) نیز نشان دادند که تنش خشکی شدید در مرحله زایشی باعث کاهش تبدیل ماده خشک به روغن می‌شود و یا به عبارتی میزان درصد روغن در اثر تنش خشکی کاهش می‌یابد. محسن‌آبادی و همکاران (Mohsenabadi *et al.*, 2001) نیز بیان کردند که درصد روغن با افزایش میزان آبیاری کلزا افزایش

جدول ۵- میانگین دو ساله صفات مختلف ژنوتیپ‌های کلزا
Table 5. Two years mean of different traits of oilseed rape genotypes

Genotype	ژنوتیپ	تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک	ارتفاع گیاه	تعداد شاخه‌های فرعی	تعداد خورجین در بوته	تعداد دانه در خورجین	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	درصد روغن دانه	شاخص برداشت
		Days to physiological maturity	Plant height (cm)	Number of axillary branch	Pods per plant	Seed per pods	1000 Seed weight (g)	Seed yield (kg ^{ha} ⁻¹)	Seed oil content	Harvest index (%)
Karaj 1	کرج ۱	269	182.0	7	137	27	3.8	4164	45.2	32
Karaj 2	کرج ۲	268	172.7	7	145	27	3.6	3717	44.4	30
Karaj 3	کرج ۳	268	165.3	6	136	27	3.6	4249	44.3	28
WPN 5		268	163.9	7	162	25	3.6	4282	45.5	27
WPN 2		268	162.5	7	153	28	3.5	3847	43.2	27
G.KH 305		267	162.4	7	154	27	3.5	4585	43.8	27
Licord	لیکورد	267	162.0	7	150	27	3.4	3882	44.8	26
SLM 46		267	161.3	8	131	25	3.4	3551	43.9	25
Modena	مودنا	266	158.4	7	157	26	3.4	4254	42.9	25
Opera	اپرا	266	155.8	8	127	25	3.4	3710	44.7	24
Okapi	اوکاپی	266	151.0	8	122	27	3.4	4132	46.4	24
Zarfam	زرغام	265	143.7	9	146	26	3.3	4269	45.3	24
Talayeh	طلایه	260	130.0	8	129	25	3.1	3444	45.2	23

تعداد خورجین در گیاه و تعداد دانه در خورجین بود. دین و همکاران (Din et al., 2011) و قاسمیان اردستانی و همکاران (Ghasemyan Ardestani et al., 2011) نیز نشان دادند که کاهش تعداد خورجین در گیاه و دانه در خورجین در شرایط تنش خشکی در مرحله گلدهی باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه شد. آبیاری کلزا در مرحله گلدهی از طریق طولانی‌تر کردن دوره گلدهی باعث افزایش تعداد خورجین در گیاه و از طریق ایجاد سطح برگ بیشتر باعث افزایش تعداد دانه در خورجین و نهایتاً منجر به افزایش عملکرد دانه می‌شود (Clarke and Simpson, 1978).

در صورتی که تنش خشکی در مراحل زایشی کلزا با افزایش درجه حرارت همراه باشد عملکرد دانه شدیداً تحت تاثیر قرار می‌گیرد. تنش خشکی همچنین باعث کاهش فتوسنتز، پژمردگی زود هنگام برگ‌ها و در نتیجه کاهش شاخه‌دهی، تعداد خورجین در گیاه، تعداد دانه در خورجین و اندازه بذر می‌شود (Edwards and Hartel, 2011).

جمع‌بندی نتایج نشان داد که با شدت یافتن تنش کمبود رطوبت از تعداد خورجین در گیاه و تعداد دانه در خورجین کاسته شد که به نظر می‌رسد تداوم یافتن تنش در مراحل گلدهی و نمو خورجین‌ها باعث عدم تلقیح و تشکیل خورجین و تا حدودی افزایش درصد خورجین سقط شده و ریزش خورجین‌ها و در نتیجه کاهش چشمگیر تعداد خورجین در گیاه شد. علت این مشاهدات کاهش در تولید و عرضه مواد فتوسنتزی در زمان وقوع تنش و عدم تامین مواد فتوسنتزی کافی جهت

می‌یابد. با این حال به نظر می‌رسد در اثر تنش خشکی میزان عملکرد روغن بیش از درصد روغن دانه تحت تاثیر قرار می‌گیرد. سینکی و همکاران (Sinaki et al., 2007) اظهار داشتند در تنش ملایم مرحله گلدهی کاهش درصد روغن دانه تنها ۰/۳۹ درصد بود در حالی که میزان کاهش عملکرد روغن حدود ۲۰ درصد بود.

عملکرد دانه

همچنان که اشاره شد شرایط مساعد زراعی سال اول باعث بهبود شرایط رشد و نمو و عملکرد و سایر خصوصیات زراعی کلزا شد. اثر تنش بر عملکرد دانه در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

نتایج نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش ۲۵ درصدی عملکرد دانه شد به طوری که میانگین عملکرد ارقام در شرایط آبیاری کامل از ۴۵۸۶ کیلوگرم به ۳۴۲۸ کیلوگرم در شرایط قطع آب از مرحله گلدهی کاهش یافت (جدول ۳). در مطالعه شیرانی‌راد (Shirani Rad, 2012) نیز با قطع آبیاری از مرحله ساقه رفتن، عملکرد دانه از ۴۱۳۷ کیلوگرم در هکتار در شرایط نرمال به ۳۱۸۵ کیلوگرم در هکتار در شرایط تنش کاهش نشان داد. با توجه به این که عملکرد کلزا تابع تراکم، تعداد خورجین در گیاه، تعداد دانه در خورجین و وزن دانه‌ها است (Angadi, 2003)، بنابراین کاهش عملکرد دانه در اثر تنش خشکی در این مطالعه قابل پیش‌بینی بود.

نتایج نشان داد که کاهش عملکرد کلزا در شرایط تنش خشکی ناشی از کاهش

سطح یک درصد معنی دار بود (جدول ۳). ژنوتیپ‌های G.KH305، کرج ۳، مودنا، کرج ۱ و WPN5 با عملکرد دانه بالاتر از ۵ تن در هکتار عملکرد بیشتری را در شرایط آبیاری کامل داشتند (جدول ۶). ژنوتیپ G.KH305 با عملکرد ۳۹۴۱ کیلوگرم در شرایط تنش بالاترین و طلایه با عملکرد ۳۱۹۷ کیلوگرم کمترین عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند (جدول ۷).

تخصیص مناسب به خورجین‌های تولید شده و در حال رشد و در نتیجه ریزش آن‌ها و نیز تعداد دانه در خورجین بود. کاهش این دو صفت به عنوان اجزای اصلی عملکرد دانه در کلزا باعث کاهش معنی دار عملکرد در شرایط تنش خشکی گردید در حالی که جزء دیگر عملکرد دانه یعنی وزن هزار دانه احتمالاً در اثر فرایند جبرانی کمتر تحت تاثیر تنش قرار گرفت.

اثر متقابل ژنوتیپ × تنش بر عملکرد دانه در

جدول ۶- میانگین دو ساله صفات مختلف ژنوتیپ‌های کلزا در شرایط آبیاری کامل
Table 6. Two years mean of different traits of oilseed rape genotypes under optimum condition

Genotype	ژنوتیپ	تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک Days to physiological maturity	ارتفاع گیاه Plant height (cm)	تعداد شاخه‌های فرعی Number of axillary branch	تعداد خورجین در بوته Pods per plant	تعداد دانه در خورجین Seed per pods	وزن هزار دانه 1000 Seed Weight (g)	عملکرد دانه Seed yield (kg ha ⁻¹)	درصد روغن دانه Seed oil content	شاخص برداشت Harvest index (%)
Karaj 1	کرج ۱	268	145.7	8	150	28	3.2	5123	46.2	28
Karaj 2	کرج ۲	270	167.3	8	174	28	3.7	3948	44.7	30
Karaj 3	کرج ۳	271	163.3	7	166	27	3.5	5170	43.2	27
WPN 5		271	166.2	8	200	26	3.7	5019	46.4	31
WPN 2		270	184.8	9	188	29	3.6	4262	46.6	30
G.KH 305		270	165.5	9	191	28	3.7	5230	42.5	33
Licord	لیکورد	268	176.5	8	185	29	3.5	4455	42.9	31
SLM 46		267	132.8	9	153	27	3.6	3891	43.9	27
Modena	مودنا	270	163.5	8	202	28	3.6	5107	43.9	32
Opera	اپرا	268	155.3	9	148	27	3.9	3925	42.9	28
Okapi	اوکاپی	267	157.8	9	154	28	3.6	4830	43.9	28
Zarfam	زرغام	261	165.8	10	192	27	3.9	4967	46.3	33
Talayeh	طلایه	267	165.3	9	155	27	3.6	3692	46.5	27
LSD (P ≤ 0.05)		0.4	3.6	0.9	5.5	0.6	0.2	107.7	1.3	3.6

جدول ۷- میانگین دو ساله صفات مختلف ژنوتیپ‌های کلزا در شرایط تنش خشکی
Table 7. Two years mean of different traits of oilseed rape genotypes under drought stress condition

Genotype	ژنوتیپ	تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک Days to physiological maturity	ارتفاع گیاه Plant height (cm)	تعداد شاخه‌های فرعی Number of axillary branch	تعداد خورجین در بوته Pods per plant	تعداد دانه در خورجین Seed per pods	وزن هزار دانه 1000 seed weight (g)	عملکرد دانه Seed yield (kg ha ⁻¹)	درصد روغن دانه Seed oil content	شاخص برداشت Harvest index (%)
Karaj 1	کرج ۱	265	141.8	7	124	26	3.1	3207	44.4	20
Karaj 2	کرج ۲	266	163.3	7	115	26	3.5	3488	44.0	24
Karaj 3	کرج ۳	265	153.5	6	107	26	3.3	3328	45.5	20
WPN 5		266	161.7	6	124	25	3.4	3545	44.6	24
WPN 2		265	179.2	6	118	27	3.1	3433	42.9	21
G.KH 305		266	159.5	6	117	26	3.5	3941	44.0	27
Licord	لیکورد	266	169.0	6	115	26	3.3	3310	44.8	32
SLM 046		265	127.2	7	109	24	3.4	3212	45.8	22
Modena	مودنا	266	159.2	6	112	25	3.3	3402	43.9	22
Opera	اپرا	266	146.7	7	106	24	3.8	3496	43.0	24
Okapi	اوکاپی	265	153.8	7	91	26	3.3	3435	45.5	20
Zarfam	زرغام	259	158.2	8	101	25	3.5	3571	46.5	23
Talayeh	طلایه	263	159.5	7	103	24	3.2	3197	44.0	21
LSD (P ≤ 0.05)		0.4	3.6	0.1	5.5	0.6	0.2	107.7	1.3	3.6

بود. از طرفی رقم کلزای ایرانی زرغام در مقابل شرایط نامناسب محیطی مثل تنش خشکی تحمل خوبی داشت و نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها از عملکرد مناسبی در شرایط تنش خشکی برخوردار بود.

نتایج این پژوهش نشان داد که ژنوتیپ G.KH305 در هر دو شرایط نرمال و تنش خشکی از پتانسیل عملکرد خوبی برخوردار است. این ژنوتیپ در هر دو شرایط از میانگین تعداد خورجین در گیاه و تعداد دانه در خورجین بیشتری برخوردار

References

Angadi, S. V., and Cutforth, H. V. 2003. Yield adjustment by canola grown at different by plant population under semiarid condition. *Crop Science* 43: 1357-1366.

Bouchereau, A., Clossais-Besnard, N., Bensaoud, A., Lepout, L., and Renard, M. 1996.

- Water stress effects on rapeseed quality. *European Journal of Agronomy* 5: 19-30.
- Clarke, J. M., and Simpson, G. M. 1978.** Influence of irrigation and seedling rates on yield and yield components of *Brassica napus* cv. Tower. *Canadian Journal of Plant Science* 58: 731-737.
- Dadivar, M., and Khodshenas, M. A. 2006.** Evaluation of water stress effect on canola (*Brassica napus*). *Agricultural Sciences* 4: 845-853 (in Persian).
- Daneshmand, A. R., Shirani-Rad, A. H., Noormohamadi, Gh., Zarei, Gh., and Daneshian, J. 2006.** Effect of water stress and different levels of nitrogen fertilizer on seed yield and its components, nitrogen uptake and water use and nitrogen utility efficiency in two rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. *Iranian Journal of Crop Sciences* 8 (4): 323-342 (in Persian).
- Delkhosh, B., Shirani Rad, A. H., Bitarafan, Z., and Mousavi Nejad, G. 2012.** Drought stress and sowing date effects on yield and some grain traits of rapeseed cultivars. *Advances in Environmental Biology* 6(1): 49-55.
- Diepenbrock, W. 2000.** Yield analysis of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.), a review. *Field Crops Research* 67: 35-49.
- Din, J., Khan, L., and Gumani, R. 2011.** Physiological and agronomic response of canola varieties to drought stress. *The Journal of Animal and Plant Sciences* 21(1): 78-82.
- Edwards, J., and Hartel, K. 2011.** Canola Growth and Development. Department of Primary Industries, State of New South Wales Through, Sydney, Australia.
- Ghasemyan Ardestani, H., Shirani Rad, A. H., and Zandi, P. 2011.** Effect of drought stress on some agronomic traits of two rapeseed varieties grown under different potassium rates. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 5(12): 2875-2882.
- Honar, T., Sabet Sarvestani, A., Shams, Sh., Sepaskhah, A. R., and Kamgar Haghghi, A. A. 2013.** Effect of drought stress in different growth stages on grain yield and yield

- components of rapeseed (cv. Talayeh). Iranian Journal of Crop Sciences 14(4): 320-332 (in Persian).
- Jenks, M. A., and Hasegawa, P. M. 2005.** Plant abiotic stress. Blackwell Publishing Ltd, Oxford, UK. 270 pp.
- Jensen, C. R., Mogensen, V. O., Mortensen, G., Fieldsend, J. K., Milford, J. F. J., Anderson, M. N., and Thage, J. H. 1996.** Seed glucosinolate, oil and protein contents of field-grown rape (*Brassica napus* L.) affected by soil drying and evaporative demand. Field Crops Research 47: 93-105.
- Mohsenabadi, Gh., Khodabandeh, N., Arshi, Y., and Paighambari, A. 2001.** Different levels of nitrogen and irrigation effect on yield and yield components of two winter oilseed rape. Iranian Journal of Agricultural Sciences 32(4): 765-772 (in Persian).
- Monajem, S., Mohammadi, V., and Ahmadi, A. 2011.** Evaluation of drought tolerance in some rapeseed cultivars based on stress evaluation indices. Electronic Journal of Crop Production 4 (1): 151-169 (in Persian).
- Pasban Eslam, B. 2009.** Evaluation of physiological indices, yield and its components as screening techniques for water deficit tolerance in oilseed rape cultivars. Journal of Agricultural Sciences and Technology 11: 413-422.
- Pouzet, A. 1995.** Agronomy. pp. 65-92. In: Kimber, D. S., and McGregor, D. I. (eds.). Brassica Oilseed, Production and Utilization. CAB International, Wellingford, UK.
- Rezaizad, A., Mohammadi, V., Zali, A., Zinali, H., and Mardi, M. 2011.** Study of important agronomic traits and relationships among them under normal and drought stress conditions in doubled haploid lines of oilseed rape. Iranian Journal of Field Crop Science 42(4): 683-694 (in Persian).
- Richards, R. A. 1978.** Variation between and within species of rapeseed (*Brassica campestris* and *B. napus*) in response to drought stress. Australian Journal of

Agricultural Research 29: 491-501.

Richards, R. A., and Thurling, N. 1978. Variation between and within species of rapeseed (*Brassica campestris* and *B. napus*) in response to drought stress. II. Growth and development under natural drought stress Australian Journal of Agricultural Research 29: 479-490.

Shaabani, A., Kamkarehaghghi, A. A., Sepaskhah, A., Emam, Y., and Honar, T. 2009. Physiologic characteristics of oilseed rape (*Brassica napus*). Water and Soil Sciences 49: 31-42 (in Persian).

Shamolivier, L., and Merrin, A. 1996. Effects of water stress applied at different growth stages to *Brassica napus* l. var. *olieifera* on yield, yield components and seed quality. European Journal of Agronomy 5: 153-160.

Shirani Rad, A. H. 2012. Study on drought stress tolerance in rapeseed varieties based on drought stress tolerance indices. International Journal of Engineering Research and Applications 2(1): 1168-1173.

Shirani Rad, A. H., Naeemi, M., and Nasr Esfahani, Sh. 2010. Evaluation of terminal drought stress tolerance in spring and winter rapeseed genotypes. Iranian Journal of Crop Sciences 12 (2): 112-126 (in Persian).

Sinaki, J. M., Majidi Hervan, E., and Shirani Rad, A. H. 2007. The effects of water deficit during growth stages of canola (*Brassica napus* L.). American-Eurasian Journal of Agriculture & Environmental Sciences 2(4): 417-422.

Sing, H. 1989. Genetic variability and heritability and drought index analysis in Brassica species. Journal of Oilseed Researches 3: 77-170.

Tanveer, U. H., Anser, A., Sajid, M. N., Muhammad, M. M., and Muhammad, I. 2014. Performance of canola cultivars under drought stress induced by withholding irrigation at different growth stages. Soil Environment 33(1): 43-50.

Vafabakhsh, J., Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., and Azizi, M. 2009. Effects of water deficit on water use efficiency and yield of canola cultivars (*Brassica napus* L.). Iranian Journal of Agronomic Researches 7(1): 295-302 (in Persian).

