**مجله علوم گیاهان زراعی ایران**
دوره ۴۳، شماره ۱، ۱۳۹۱ (۹۱-۸۱)

# تغییر برخی آنتی اکسیدانت ها درکنجد و ارتباط آن با صفات فیزیولوژیک و عملکرد دانه تحت رژیم های مختلف آبیاری

**جواد نوری پور سی سخت[1] و پرویز احسان زاده[2]***
۱، ۲، دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان
(تاریخ دریافت:۸۹/۶/۲۲ – تاریخ تصویب: ۹۰/۱۱/۱۹)

## چکیده

**این تحقیق با هدف مطالعه تاثیر شرایط مختلف رطوبتی بر رشد، محتوای کلروفیل، پرولین و آنتی اکسیدانت های برگ، عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های کنجد در سال زراعی ۱۳۸۸ با استفاده از کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد. سطوح تیمار آبیاری بر اساس تبخیر تجمعی از تشت تبخیر کلاس A شامل سطح اول آبیاری (۷۵ میلیمتر تبخیر)، سطح دوم (۱۱۰ میلیمتر تبخیر) و سطح سوم (۱۴۵ میلیمتر تبخیر) به عنوان فاکتور اصلی (به ترتیب نمایانگر شرایط شاهد، کمبود متوسط و کمبود شدید آب ) و چهار ژنوتیپ کنجد (اولتان، ناز تک شاخه، ورامین و یکتا) به عنوان فاکتور فرعی بود. غلظت کلروفیل، پرولین، آنتی اکسیدانت های کاتالاز (CAT) و اسکوربیک پر اکسیداز (APX)، شاخص سطح برگ در مرحله کپسول دهی، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، درصد روغن و عملکرد بیولوژیک اندازه گیری شدند. سطح اول آبیاری با ۲/۵۳ و سطح سوم با ۱/۵۵ به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار شاخص سطح برگ را داشتند. محدودیت رطوبت منجر به ۴۸٪ درصد افزایش غلظت پرولین در برگ کنجد شد. در سطح دوم آبیاری میزان فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانتی CAT (۰/۷۹۷) و APX (۷/۷۶۹) به ترتیب به میزان ۳۵٪ و ۴۰٪ افزایش ولی در سطح سوم به ترتیب ۲۹٪ و ۱۱٪ نسبت به سطح اول کاهش یافت. در سطح اول آبیاری تعداد کپسول در بوته (۹۱/۹۷)، دانه در کپسول (۵۴/۷۸) و عملکرد دانه (۱۴۸۱/۰۲ کیلوگرم در هکتار) به ترتیب ۴۴٪، ۱۴٪ و ۲۸٪ درصد نسبت به سطح سوم بیشتر بود. سطح سوم آبیاری کمترین عملکرد بیولوژیک (۵۸۹۰/۴ کیلوگرم در هکتار) و سطح اول بیشترین عملکرد بیولوژیک (۷۳۹۷/۴ کیلوگرم در هکتار) را داشتند. به طور کلی می توان چنین نتیجه گیری نمود که ضمن آنکه کمبود شدید آب رشد و عملکرد دانه کنجد را به طور جدی کاهش می دهد، این کاهش ظاهراً بیش از آنکه در اثر عواملی نظیر غلظت کلروفیل باشد ناشی از کاهش سطوح فتوسنتز کننده می‌باشد. با وجود اینکه آنزیم های آنتی اکسیدانت CAT و APX توسط گیاه و بافت های تنش دیده به صورت توأم تولید می‌شوند به نظر می‌رسد آنزیم‌های اخیر نقش دفاعی مهمی را تحت شرایط کم آبی شدید ایفا نمی‌کنند.**

**واژه های کلیدی:** آبیاری، کلروفیل، پرولین، آنتی اکسیدانت، شاخص سطح برگ، عملکرد دانه.

* نویسنده مسئول: پرویز احسان زاده تلفن: ۰۳۱۱-۳۹۱۳۴۵۹ E-mail: ehsanp@cc.iut.ac.ir

**مقدمه**

تنش های محیطی، از مهمترین عوامل کاهش دهنده عملکرد گیاهان زراعی در سطح جهان هستند. چنانچه تنش های محیطی وجود نداشت عملکرد های واقعی باید برابر با عملکرد های بالقوه گیاهان بود، در حالی که در بسیاری از گیا هان زراعی میانگین عملکرد واقعی کمتر از ۱۰-۲۰ درصد ظرفیت عملکرد آنان است (Mittler, 2002). در نقاط خاصی از کره زمین به دلیل موقعیت جغرافیایی، عوامل تنش زا در تولید محصولات کشاورزی تاثیر منفی بیشتری دارند و کشاورزی در آن مناطق با تحمل هزینه بیشتر و در نتیجه بازده کمتری صورت می گیرد (Mittler, 2002).

خشکی از جمله تنش‌های فیزیکی است که به عنوان مهمترین عامل محدود کننده رشد و تولید گیاهان زراعی در اکثر نقاط جهان و ایران شناخته شده است.

کشور ایران، با کمبود تولید روغن روبروست و می بایستی سالانه حدود ۹۰٪ روغن مصرفی از خارج وارد شود. از طرفی چربی به عنوان تأمین کننده حدود ۲۵ تا ۳۰ درصد انرژی روزانه جزء نیازهای اساسی در تغذیه بشمار می‌رود. کشت دانه‌های روغنی از دیرباز بخش مهمی از کشاورزی بسیاری از کشورها است و جزء مهمی از اقلام صادراتی این کشورها را تشکیل می‌دهد. در ایران نیز کاشت دانه‌های روغنی مانند کنجد قدمتی طولانی دارد (Rezvani Moghadam et al., 2005). اما به رغم این سابقه دیرینه و وجود پتانسیلهای فراوان در زمینه تولید دانه های روغنی، پیشرفت چندانی در این زمینه بدست نیامده است. اخیرا با توجه به نیاز روز افزون کشور به روغن، کنجد می تواند بعنوان یک گیاه صنعتی و روغنی مهم مطرح باشد( Rezvani Moghadam et al., 2005).

گیاهان در هنگام تنش خشکی، با تغیراتی که در برخی از خصوصیات فیزیولوژیک خود ایجاد می‌کنند به تنش‌های محیطی واکنش نشان می‌دهند. یکی از مهمترین واکنش‌های گیاهان در هنگام مواجهه با تنش خشکی تجمع پرولین می‌باشد. برای تجمع پرولین در گیاه در هنگام تنش خشکی دلایل مختلفی ارائه شده است. تجمع پرولین در تمام اندامهای گیاه در طی تنش مشاهده می‌شود، با این وجود تجمع آن در برگ‌ها سریع‌تر و بیش‌تر از سایر اندامها می‌باشد ( Del longo et al., 1993). تجمع پرولین به گیاه کمک می‌کند که در دوره کوتاهی بعد از اعمال تنش خشکی زنده بماند و گیاه بتواند بعد از رفع تنش روند عادی رشد خود را از سر بگیرد. اما در تنش طولانی مدت تجمع آن حتی اثر منفی بر عملکرد خواهدگذاشت، زیرا منابع فتوسنتزی گیاه را به سمت فرآیندهایی غیر از پرشدن دانه هدایت می کند (Sanchez et al., 1998). افزایش میزان پرولین در اثر تنش خشکی درگیاهان متعدد و متنوع زراعی نظیر کنجد، کلزا، گلرنگ و نخود گزارش شده است (Movahedy Dehnavy et al., 2004).

وقتی گیاهان تحت تنش غیرزنده قرار می‌گیرند، فعالیت گونه‌های فعال اکسیژن [1] (ROS) مثل پراکسید هیدروژن، سوپراکسید، اکسیژن ملکولی و هیدروکسیل افزایش می‌یابد(Sc&alios, 1993). فعالیت گونه‌های فعال اکسیژن ممکن است سبب بروز صدماتی همچون اکسیدشدن چربی‌ها (و در نتیجه تغییر ساختار غشاء و نهایتاً از دست رفتن یکپارچگی آن)، تغییر ساختمان پروتئین‌ها و اکسید شدن گروههای سولفیدریل (SH-)، غیرفعال شدن آنزیم‌ها، فرآیندهای اکسیداتیو مثل پراکسیداسیون چربی‌ها، بی‌رنگ‌شدن کلروفیل، اکسیداسیون پروتئین و تخریب اسیدهای نوکلئیک شود (Fazeli, 2007). گیاهان برای مقابله با تنش اکسیداتیو ایجاد شده دارای سیستم دفاعی با کارائی بالا هستند که می‌تواند رادیکالهای آزاد را از بین برده و یا خنثی کنند(Terzi & Kadioglu, 2006). مطالعات بر روی تغییرات آنتی اکسیدانت ریشه و برگ دو رقم کنجد نشان داد که خشکی سبب تغییر در میزان آنزیم های آنتی اکسیدانت هر دو رقم می شود ( Fazeli, 2007).

عملکرد دانه در کنجد به تعداد بوته در واحد سطح، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول و وزن هزاردانه بستگی دارد. افزایش دفعات آبیاری بطور معنی

1. Reactive Oxygen Species (ROS)

داری، تعداد دانه در کپسول و بیوماس در واحد سطح را در کنجد افزایش داد (Dilip et al., 1991) .کومار و همکاران (Kumar et al.,1996) با مطالعه اثر آبیاری بر رشد و عملکرد کنجد گزارش کردند که کاهش فواصل آبیاری سطح برگ، تعداد کپسول در بوته، وزن هزار دانه و عملکرد روغن را افزایش می دهد. با عنایت به اینکه مطالعات انجام شده بر روی وضعیت مقاومت به تنش های محیطی ارقام کنجد در دنیا و به خصوص ایران بسیار کم بوده و در زمینه عملکرد آن نیز مطالعات کمی انجام گرفته، به منظور بررسی رژیم های مختلف آبیاری بعد از آغاز گلدهی بر شاخص سطح برگ، محتوای کلروفیل، میزان پرولین برگ، تغییرات برخی آنتی اکسیدانت های برگ، عملکرد و اجزای عملکرد چهار ژنوتیپ کنجد مطالعه حاضر انجام گرفت.

## مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان واقع در روستای شرودان شهرستان فلاورجان در ۴۰ کیلومتری جنوب غربی اصفهان (با عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۲ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۹ دقیقه شرقی و ارتفاع از سطح دریا ۱۶۳۰ متر) در سال ۱۳۸۸ به اجرا در آمد. خاک مزرعه دارای بافت رسی سیلتی و از سری خاک های لنجان، با جرم مخصوص ظاهری ۱/۴ گرم بر سانتی متر مکعب است. pH خاک ۷/۲ تا ۷/۴ و هدایت الکتریکی ۱/۵تا ۲/۵ میلی موز بر سانتیمتر می‌باشد (Zainali, 2003). آزمایش به صورت کرتهای خرد شده که درآن سه سطح آبیاری پس از ۷۵، ۱۱۰ و ۱۴۵ میلیمتر تبخیر از تشک تبخیر کلاس A به ترتیب $I_1$ (شاهد)، $I_2$ (کم آبی متوسط ) و $I_3$ (کم آبی شدید) به عنوان فاکتور اصلی و چهار ژنوتیپ کنجد به نام های اولتان، ناز تک شاخه، یکتا و ورامین به عنوان فاکتور فرعی در چهار تکرار در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی اجرا شد. هر کرت آزمایشی شامل هفت ردیف کاشت به فاصله ۵۰ سانتیمتر و طول هر خط کاشت ۴ متر بود. عملیات کاشت به صورت خشکه کاری در تاریخ ۱۴ خرداد انجام شد. بذر ها با تراکم ۳ برابر معمول کشت شد و پس از استقرار کامل بوته در مرحله سه تا چهار برگی بوته های اضافی حذف و فاصله بوته ها روی ردیف ۵ سانتیمتر جهت رسیدن به تراکم ۴۰ بوته در متر مربع در نظر گرفته شد. اولین آبیاری در تاریخ ۱۵ خرداد انجام گرفت. جهت کنترل علف های هرز در طول فصل رشد عملیات وجین به صورت دستی و در چهار مرحله انجام شد. در زمان آغاز رشد سریع بوته‌ها مقدار ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره به صورت سرک مورد استفاده قرار گرفت. پس از کاشت تا آغاز گلدهی آبیاری در تمام کرتها به صورت همزمان و در موقع نیاز آبیاری انجام گرفت و پس از آغاز گلدهی رژیم‌های آبیاری مورد نظر اعمال شدند. آبیاری برای هرسه سطح پس از رسیدن مقدار تجمعی تبخیر به‌حد مورد نظر انجام شد. برای کنترل میزان آب ورودی از سرریز مستطیل شکل در ابتدای ورودی هر کرت اصلی استفاده شد. به کمک رابطه زیر عمق ناخالص آب به‌دست آمد. طبق این رابطه مقدار آب بر مبنای رسیدن رطوبت خاک تا عمق مورد نظر به حد ظرفیت مزرعه محاسبه شد و مقدار آب لازم در هر کرت ، در هر آبیاری محاسبه شد:

$$dg = (W_{fc}-W_0)\ SD/\ E \qquad (۱)$$

$$V=dg.A \qquad (۲)$$

در رابطه (۱)، dg عمق ناخالص آبیاری (سانتی‌متر)، $W_{fc}$ درصد رطوبت وزنی خاک در حد ظرفیت نگهداری، $W_0$ درصد رطوبت وزنی خاک در نقطه‌ی پژمردگی، S وزن مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، D عمق مؤثرتوسعه ریشه بر حسب سانتی‌متر، E راندمان آبیاری (درصد) و A مساحت کرت بر حسب متر مربع می‌باشد. برای محاسبه حجم آب آبیاری بر حسب متر مکعب ارتفاع آب که از رابطه (۱) بدست آمد، به متر تبدیل و در مساحت هر کرت ضرب شد. سپس برای تبدیل آن به لیتر در عدد ۱۰۰۰ ضرب شد. برای کنترل میزان آب ورودی از سرریز مستطیلی شکل در ابتدای ورودی هر کرت استفاده شد و بر اساس رابطه (۲) دبی ومیزان آب برای مساحت مورد نظر محاسبه گردید (Fardad, 1996).

$$Q = ٪184(L-0.2H)H^{1.5} \qquad (۳)$$

$$t = V/Q \qquad (۴)$$

در این فرمول Q دبی آب ورودی به سرریز مستطیلی بر حسب لیتر در ثانیه، L طول تاج سرریز برحسب سانتی‌متر و H ارتفاع آب روی لبه سرریز برحسب سانتی‌متر می‌باشد و سپس بر اساس رابطه (۴) زمان لازم برای آبیاری (t) محاسبه شد که عدد بدست آمده بر حسب ثانیه است. جهت اندازه گیری شاخص سطح برگ در حد فاصل دو مرحله آغاز گلدهی و پر شدن کپسول ها به عمل آمد. به همین منظور از هر کرت فرعی با رعایت حاشیه از نیم متر طولی ردیف دوم و سوم ، بوته ها از سطح خاک برداشت شدند. سطح برگ توسط دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (مدل جی-آ-۵[1]) در آزمایشگاه تعیین گردید. شاخص سطح برگ برای هر کرت پس از میانگین‌گیری و تقسیم عدد حاصل بر سطح زمین متعلق به هر بوته بدست آمد.

جهت اندازه گیری کلروفیل، پرولین و آنتی اکسیدانت دو هفته پس از آغاز گلدهی از نیم متر دوم ردیف سوم هر کرت تعدادی برگ بالغ فعال برداشت شد و در ظرف های حاوی پودر یخ به آزمایشگاه منتقل شد و در دمای ۸۰- درجه سانتی گراد در فریزر نگهداری شد. برای اندازه‌گیری محتوی کلروفیل از روش آرنون (Arnon, 1949) استفاده شد. میزان جذب نوری هریک از عصاره ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل PD-303S) در طول موج ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر خوانده شد. از استون ۸۰ درصد بعنوان محلول شاهد (blank) استفاده شد. داده‌های حاصل جهت محاسبه غلظت کلروفیل (میلی‌گرم در گرم وزن تازه برگ) به ترتیب در روابط (۱)، (۲) و (۳) وارد گردیدند(Arnon, 1949):

$$C\ chl\ a\ (mg/g\ leaf) = ((.0127 \times Abs663) - (.00269 \times Abs645)) \times ml\ acetone/\ mg\ leaf \qquad (۱)$$

$$C\ chl\ b\ (mg/g\ leaf) = ((.0229 \times Abs645) - (.00468 \times Abs663)) \times ml\ acetone/\ mg\ leaf \qquad (۲)$$

$$C\ chl\ total = 0.020 \times Abs645 + .00802 \times Abs663 \qquad (۳)$$

در این روابط C نشان دهنده غلظت و chl a، chl b و chl total به ترتیب کلروفیلa، b و کل و Abs ۶۴۵ و Abs ۶۶۳ عبارت از جذب در طو ل موجهای ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر می‌باشد. جهت اندازه گیری میزان پرولین از روش بیتز (Bates et al., 1973) و از اسپکتروفتومتر استفاده شد. برای کالیبره کردن دستگاه اسپکترو فتو متر از محلول تولوئن استفاده شد. پس از کالیبره کردن دستگاه قرائت نمونه ها در طول موج ۵۲۰ نانومتر صورت گرفت. میزان پرولین بدست آمده طی این روش پس از تبدیل واحد، بر اساس میلی‌گرم پرولین در گرم برگ تازه بدست آمد.

جهت اندازه گیری آنزیم های آنتی اکسیدانت دو هفته پس از آغاز گلدهی از برگ های جوان بالغ نمونه گیری صورت گرفت. برگ با استفاده از نیتروژن مایع پودر شده و میزان ۰/۱ گرم از آن به کمک ۱میلی لیتر بافر فسفات پتاسیم ۱۰۰میلی مولار با ph= ۷/۸ حاوی EDTA ۰/۱ میلی مولار و PVP ۱٪ (پلی وینیل پیرولیدون) بر روی یخ هموژنایز گردید. سپس عصاره های حاصل در ۱۴۰۰۰ دور در دقیقه و دمای ۴ درجه سانتیگراد به مدت ۳۰ دقیقه سانتریفیوژ شد و محلول رویی حاصل در ویال های استریل جمع آوری گردید. محلول‌های رویی بدست آمده به عنوان عصاره‌های آنزیمی جهت اندازه گیری فعالیت کاتالاز ( CAT, EC 1.11.1.6) و آسکوربات پراکسیداز ( APX, EC 1.11.1.11) استفاده شدند. به منظور حفظ فعالیت آنزیمی، تمامی مراحل انتقال به آزمایشگاه، استخراج و اندازه گیری میزان فعالیت آنزیم بر روی یخ انجام شد.

اندازه گیری فعالیت CAT به روش ابی ( Aebi, 1984) در طول موج ۲۴۰ نانومتر در مدت یک دقیقه با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر(مدل Beckman Du 530) اندازه گیری شد. میزان فعالیت آنزیم طبق رابطه (۴) تعیین گردید:

(۴) واحد فعالیت آنزیم $\mu mol/\ min/ml = unit\ ml^{-1}$

$$Enzyme\ activity\ (EA) = \Delta OD \times 1000 \times A^{-1}/EC \times B/C^{-1}$$

در رابطه فوق:

A مقدار عصاره آنزیمی موجود در محلول واکنش، Bمقدار بافر استخراج به کار رفته، C وزن نمونه تازه، ΔODاختلاف جذب طول موج خاص هر آنزیم در طول مدت یک دقیقه، EC ضریب خاموشی آنزیم (EC کاتالاز

1. Green Leaf Area Meter, Model GA

برابر $mM^{-1}cm^{-1}$ ۳۹/۴ در نظر گرفته شد). فعالیت آنزیم APX به روش ناکانو و آسادا (Nacano & Asada, 1981) در طول موج ۲۹۰ نانومتر در مدت یک دقیقه اندازه گیری شد. لازم به ذکر است که EC اسکوربات پراکسیداز برابر $mM^{-1}cm^{-1}$ ۲/۸ در نظر گرفته شد. چون زمان رسیدگی ژنوتیپها متفاوت بود (ناز تک شاخه به عنوان دیررس ترین سه هفته دیرتر از یکتا به عنوان زودرس ترین ژنوتیپ قابل برداشت بود)، به منظور اندازه گیری اجزای عملکرد دانه، تعداد ۱۰ بوته سالم با رعایت حاشیه و به صورت تصادفی از هر کرت در زمان برداشت هر ژنوتیپ برداشت گردید، سپس تعداد کپسول در این ۱۰ بوته شمارش شد و میانگین تعداد کپسول برای یک بوته محاسبه گردید. میانگین تعداد دانه در کپسول نیز با شمارش تعدا دانه در ۱۰ کپسول بصورت تصادفی بدست آمد. برای محاسبه وزن هزار دانه ، هزار دانه شمرده و وزن گردید. جهت اندازه گیری وزن خشک کل تولیدی، از هر کرت چهار ردیف ۱/۵ متری با رعایت حاشیه برداشت و تا زمانی که وزن خشک آنها ثابت شد( تا حدوداً ۷۲ ساعت) درون آون تحت دمای ۷۵ درجه سانتی گراد خشک شده، و میزان ماده خشک آنها محاسبه گردید. برای اندازه گیری عملکرد دانه نیز از همین نمونه ها پس از خرمن کوبی و بوجاری استفاده گردید. برای اندازه گیری درصد روغن از دستگاه NIR (Perten 862 , &Engl) استفاده شد. داده های حاصل از صفات مورد مطالعه با استفاده از نرم افزار آماری SAS در قالب آزمایش کرت های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی تجزیه واریانس شد. مقایسات میانگین حاصل با استفاده از روش حداقل تفاوت معنی-دار (LSD) در سطح ۵٪ برای آن دسته از صفاتی که اثر آنها معنی دار شده بود، انجام گردید.

## نتایج و بحث

تاثیر رژیم آبیاری بر شاخص سطح برگ کنجد در مرحله نموی حد فاصل آغاز گلدهی و پر شدن دانه در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار شد (جدول۱)، به طوریکه سطح اول آبیاری با ۲/۵۳ بیشترین و سطح سوم آبیاری با ۱/۵۵ کمترین مقدار را داشتند (جدول۲). اثر تنش خشکی در گلرنگ بر شاخص سطح برگ در زمان گلدهی معنی‌دار بوده است و دلیل عمده این امر را کاهش سرعت گسترش سطح برگها به واسطه اختلال در فتوسنتز و کاهش آماس سلولی و بالاخص زردی زود رس برگها و ریزش آنها در زمان شروع رشد زایشی بیان کردند (Naderi et al., 2004). ارقام کنجد مورد مطالعه نیز اختلاف معنی‌داری را در صفت شاخص سطح برگ در سطح ۱٪ نشان دادند (جدول ۱)، به طوریکه رقم ناز تک شاخه با ۲/۵۱ بیشترین و رقم یکتا با ۱/۷۴ کمترین مقدار شاخص سطح برگ را داشتند (جدول۲). اختلاف در شاخص سطح برگ می‌تواند احتمالاً ناشی از اختلاف ژنتیکی بین ارقام باشد.

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس صفات مختلف در چهار ژنوتیپ کنجد تحت رژیم های مختلف آبیاری.

| منابع تغییر | درجه آزادی | سطح برگ | کلروفیل کل | پرولین | کاتالاز | اسکوربیک پراکسیداز | تعداد کپسول | تعداد دانه در کپسول | وزن هزار دانه | درصد روغن | عملکرد دانه | عملکرد ماده خشک |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| بلوک | ۳ | ۰/۴۶۳ | ۵/۳۶۲۱ | ۵/۷۲۹ | ۰/۰۰۳۹ | ۱/۸۸۳ | ۷۶۲/۸۶ | ۳۹/۹۳ | ۰/۳۹۷ | ۷۹۰/۷۸ | ۴۲۲۲۱/۹ | ۲۰۲۲۴۰/۳ |
| آبیاری | ۲ | ۳/۸۲۸* | ۰/۷۸۸۷ns | ۲۷/۴۴** | ۰/ ۷۵۰۹** | ۵۱/۲۷۰** | ۶۸۴۵/۰۱* | ۲۶۲/۸۹ns | ۰/۳۰۶۶ns | ۲۱۵/۰۴ns | ۶۹۰۸۳۳/ ۹** | ۹۱۸۴۲۵۰/۴** |
| خطای الف | ۶ | ۰/۳۹۹ | ۱/۱۳۸۶ | ۲/۹۷۹ | ۰/۰۰۲۴ | ۳/۵۷۵ | ۴۲۹/۷۷ | ۸۸/۷۴ | ۰/۱۴۷۷ | ۱۵۱/۱۷ | ۲۳۴۱۹/۹۹ | ۵۶۹۵۵۳/۰ |
| ژنوتیپ | ۳ | ۱/۳۰۵** | ۰/۵۲۹۸ns | ۲/۱۶۲* | ۰/۰۲۴۵ns | ۲/۳۱۷ns | ۱۱۹۱/۸۹** | ۴۲۴/۱۱** | ۰/۵۴۳۷** | ۷۷/۷۲ns | ۱۵۴۹۷۶۷/۵** | ۷۷۶۵۵۴۶/۵** |
| ژنوتیپ× آبیاری | ۶ | ۰/۳۷۷* | ۱/۱۴۸۷ns | ۱/۳۰۳ns | ۰/۰۰۹۱ns | ۳/۰۵۹ns | ۱۲۵/۲۸ns | ۱۸۶/۸۷* | ۰/۰۸۰۲ns | ۱۴۰/۳۶ns | ۹۹۷۷۴/۲ns | ۹۹۹۰۸۳/۹* |
| خطای ب | ۲۷ | ۰/۱۱۷ | ۰/۵۷۵۶ | ۰/۵۷۵ | ۰/۰۱۹۲ | ۲/۲۳۸ | ۱۶۸/۲۳ | ۷۱/۲۴ | ۰/۰۵۹۶ | ۷۶/۲۲ | ۴۸۰۱۸/۷ | ۳۲۴۰۳۵/۸ |
| ضریب تغییرات | | ۱۶/۷۱ | ۱۱/۹۱ | ۱۶/۰۰ | ۲۴/۶۲ | ۲۵/۷۲ | ۱۸/۸۰ | ۱۶/۴۲ | ۸/۷۱ | ۱۷/۴۳ | ۱۷/۳۹ | ۸/۶۳ |

ns: عدم اختلاف معنی دار * و ** به ترتیب اختلاف معنی دار در سطوح ۵/ ۱٪

برهم کنش بین رژیم آبیاری و رقم بر روی شاخص سطح برگ در سطح پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۱)، که بیانگر تأثیر متفاوت رژیم آبیاری بر ژنوتیپ‌های کنجد است. ظاهراً اگر چه در تمام ژنوتیپ‌ها کمبود آب سبب افت شاخص سطح برگ شده ولی روند کاهش در رقم ناز تک شاخه از سطح اول آبیاری (شاهد) نسبت به سطح سوم (کم آبی شدید) زیادتر از سه ژنوتیپ دیگر بوده است و همین تفاوت سبب معنی‌دار شدن اثر متقابل شده است (جدول ۳).

تأثیر رژیم آبیاری و رقم بر محتوای کلروفیل a وb و کل معنی‌دار نگردید و به ارائه مقادیر مربوط به کلروفیل کل اکتفا گردید (جدول۱). میانگین محتوای کلروفیل کل تنها از ۶/۶۲۳ تا ۶/۲۱۲ میلی گرم در گرم برگ متغیر بود (جدول۲).

تاثیر رژیم آبیاری بر محتوای پرولین برگ در سطح احتمال ۵٪ معنی دار شد(جدول ۱). مقدار پرولین از ۳/۴۲ در سطح اول آبیاری به ۶/۶۰۷ میلی گرم در گرم برگ تازه گیاه (در مرحله آغاز گلدهی تا پر شدن نیام‌ها) در سطح سوم آبیاری افزایش نشان داد (جدول ۲).

اثر رقم بر میزان پرولین معنی دار گردید (جدول ۱)، به طوری که رقم ناز تک شاخه با میانگین ۵/۳۳ میلی گرم در گرم برگ بیشترین میزان پرولین و رقم یکتا با میانگین ۴/۳۷ کمترین میزان را دارا بود (جدول ۲). پرولین به عنوان یک محافظت کننده سلول در برابر تنش عمل می کند، بدین ترتیب که به طور مستقیم با ماکروملکولهای سلولی اثر متقابل داشته و از این طریق به حفظ شکل و ساختار طبیعی آنها تحت شرایط تنش کمک می کند (Movahedy Dehnavy et al., 2004). افزایش میزان پرولین در اثر تنش خشکی درگیاهان متعدد و متنوع زراعی نظیر کلزا، گلرنگ و نخود گزارش شده است (Movahedy Dehnavy et al., 2004). مطالعات بر روی کنجد نیز نشان داد که با تشدید تنش کم آبی میزان پرولین افزایش می یابد (Mehrabi, 2007).

اثر رژیم آبیاری بر میزان فعالیت آنزیم CAT و APX در سطح ۱٪ معنی دار شد (جدول ۱)، به طوری که میانگین میزان فعالیت آنزیم CAT در سطح اول آبیاری برابر با ۰/۵۲۱unit/ml، در سطح دوم برابر با ۰/۷۹۷unit/ml و در سطح سوم برابر با ۰/۳۷۰unit/ml بود. فعالیت CAT در سطح دوم آبیاری به میزان ۳۵٪ افزایش و در سطح سوم به میزان ۲۹٪ نسبت به سطح اول کاهش نشان داد. میزان فعالیت آنزیم APX در سطوح اول، دوم و سوم آبیاری به ترتیب ۵/۴۲، ۷/۷۶۹ و ۴/۲۵۲ unit/ml بود. فعالیت APX در سطح دوم آبیاری (تنش متوسط خشکی) به میزان ۴۰٪ افزایش ولی در سطح سوم (تنش خشکی شدید) میزان این آنزیم ۱۱٪ نسبت به سطح شاهد(سطح اول آبیاری) کاهش یافت. البته کاهش مذکور نسبت به سطح $I_1$ از لحاظ آماری معنی دار نبود(جدول ۲).

اثر ژنوتیپ بر میزان فعالیت CAT و APX از لحاظ آماری معنی دار نگردید (جدول ۱) ومیانگین میزان فعالیت CAT و APX به ترتیب برابر با ۰/۵۶۳ و ۵/۸۱۵ unit/ml به دست آمد (جدول ۲). همچنین برهم کنش ژنوتیپ و رژیم آبیاری بر میزان فعالیت CAT و APX معنی دار نبود.

جیانگ و همکاران (Jiang & Huang, 2001) گزارش کردند که اگر چه فعالیت آنزیم POX در طی مراحل تنش خشکی، گرما یا ترکیب این دو در گراس‌ها افزایش می‌یابد، اما با طولانی شدن تنش فعالیت این آنزیم کاهش می یابد. در مطالعه فعلی نیز افزایش فعالیت آنزیم‌ها در سطح دوم آبیاری و کاهش فعالیت آنزیم‌ها در سطح سوم نسبت به سطح شاهد مشاهده شد. افزایش فعالیت آنزیمی در خشکی با شدت کمتر نسبت به تنش شدیدتر نشان دهنده وجود یک مکانیزم جمع آوری کننده مؤثر برای از بین بردن ROS ها در تنش خشکی متوسط و احتمالا تخریب این سیستم در تنش خشکی شدید به دلیل افزایش بیش از حد ROS ها می‌با شد.

کاهش فعالیت آنزیم‌های مذکور تحت کم آبی شدید نسبت به کم آبی متوسط ممکن است دلایل دیگری نیز داشته باشد. از جمله اینکه این آنزیم‌ها سهم اساسی و مهمی در مکانیزم دفاعی در مقابل تنش اکسیداتیو در

خشکی‌های شدید نداشته، زیرا فعالیت آنها با افزایش شدت تنش خشکی کاهش می‌یابد. یا اینکه آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی مختلف توسط گیاه و بافت‌های تنش دیده تولید شده و در شرایط تنش خشکی با یکدیگر هماهنگ شده (Chaparzadeh et al., 2004) و فعالیت می‌کنند و به احتمال قوی آنزیم‌های اخیر نقش دفاعی مهمی را تحت تنش شدید خشکی بازی نمی‌کنند.

تاثیر رژیم آبیاری بر صفت تعداد کپسول در بوته در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار گردید (جدول ۱). تعداد کپسول در بوته از ۹۱/۹۷ عدد در سطح اول آبیاری به ۵۱/۸۷ عدد در سطح سوم آبیاری کاهش یافت (جدول ۲). در واقع سطح سوم آبیاری منجر به ۴۲٪ کاهش در تعداد کپسول در بوته نسبت به سطح شاهد گردید. در مطالعه‌ای دیگر اثر رژیم‌های آبیاری بر تعداد کپسول در بوته ارقام کنجد معنی‌دار بود، به طوری که سطح چهارم آبیاری(تنش شدید) باعث کاهش ۴۸/۲٪ کپسول نسبت به سطح اول آبیاری (شاهد) گردید ( Rezvani Moghadam et al., 2005).

اثر رقم بر تعداد کپسول در بوته از نظر آماری در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار گردید (جدول۲)، به طوری که بیشترین تعداد کپسول در بوته مربوط به رقم ورامین با ۸۴/۹۴ عدد در بوته و کمترین مربوط به رقم ناز تک شاخه با میانگین۵۹/۰۷ عدد در بوته بود (جدول ۲).

تاثیر رژیم آبیاری بر صفت تعداد دانه در کپسول از لحاظ آماری معنی دار نبود(جدول۱) ولی میانگین تعداد دانه از ۵۴/۷۸ تا ۴۶/۸۵ عدد کپسول متغیر بود (جدول ۲). اثر رژیم‌های آبیاری بر روی تعداد دانه در کپسول کنجد از لحاظ آماری معنی‌دار نگردید ( Rezvani Moghadam et al., 2005). بروز تنش خشکی از طریق کاهش سطح برگ و ریزش آنها منجر به کاهش منبع فتوسنتزی در گیاه آفتاب‌گردان و کاهش فعالیت آنزیم‌های مؤثر بر این فرایند می‌گردد. همچنین کمبود آب طی مرحله گلدهی و گرده‌افشانی باعث خشک شدن دانه‌های گرده و کلاله مادگی شده که این مسئله باعث اختلال در گرده‌افشانی می شود (Roshdi et al., 2006). تاثیر مستقیم تنش بر دانه بندی از طریق کاهش در تسهیم ماده خشک به سمت دانه‌های در حال تشکیل و یا کاهش تخصیص ماده خشک به دانه در طول دوره بحرانی رشد بوده و بنابراین وضعیت تسهیم و تخصیص تعیین کننده تعداد دانه است (rade et al., 2002&).

در این آزمایش اثر رقم بر صفت تعداد دانه در کپسول در سطح احتمال ۵٪ معنی دار گردید (جدول ۱). رقم اولتان با میانگین ۵۷/۶۴ دانه بیشترین و ناز تک شاخه با میانگین ۴۶/۳۹ کمترین تعداد دانه در کپسول را داشتند (جدول ۲). اثر متقابل بین رقم و آبیاری در سطح احتمال ۵٪ معنی دار گردید (جدول ۱)، که بیانگر واکنش متفاوت ژنوتیپ های کنجد از نظر صفت تعداد دانه در کپسول به رژیم رطوبتی می‌باشد. تعداد دانه در کپسول در رقم اولتان و ورامین با تشدید تنش خشکی کاهش ولی در رقم یکتا تغییر چندانی نکرد و رقم ناز تک شاخه در سطح دوم آبیاری بیشترین تعداد دانه در کپسول را داشت (جدول ۳) و احتمالا همین تفاوت ها سبب معنی‌دار شدن اثر متقابل گردید.

تاثیر رژیم آبیاری بر وزن هزار دانه معنی دار نگردید (جدول۱) با این حال در سطح اول آبیاری میانگین وزن هزار دانه نزدیک به ۸٪ نسبت به وزن هزار دانه گیاهان در سطح سوم آبیاری برتری داشت (جدول ۲). در مطالعه ای دیگر تفاوت معنی‌داری در اثر تنش خشکی در وزن هزار دانه کنجد مشاهده نگردید Rezvani). (Moghadam et al., 2005 در این آزمایش اثر رقم بر صفت وزن هزار دانه معنی‌دار گردید (جدول۱)، به طوری که رقم اولتان با میانگین ۳/۱۱ گرم بیشترین و ناز تک شاخه با میانگین ۲/۶۱ گرم کمترین میزان وزن هزار دانه را دارا بود (جدول ۲).

اثر رژیم آبیاری بر عملکرد دانه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۱). سطح اول آبیاری که تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در کپسول بیشتری (به ترتیب حدود ۴۲٪ و ۱۴٪) نسبت به سطح سوم آبیاری داشت، (با میانگین عملکرد دانه ۱۴۸۱/۰۲ کیلوگرم در هکتار) نسبت به سطح سوم آبیاری(با ۱۰۶۸/۶۵ کیلوگرم دانه در هکتار) حدود ۲۸٪ تولید عملکرد دانه بیشتری داشت (جدول۲). نتایج آزمایش حاضر با نتایج بسیاری از آزمایشات دیگر بر روی گیاهان مختلف زراعی از نظر کاهش جدی عملکرد دانه تحت تنش خشکی

هم‌خوانی دارد( Roshdi et al., 2006 & Kafi & Rostami, 2007). در مطالعه ای قبلی بر روی کنجد اثر معنی‌دار فواصل آبیاری بر عملکرد دانه گزارش شده، بطوری که در آزمایش آنها با کاهش فواصل آبیاری عملکرد افزایش یافت ( Rezvani Moghadam et al., 2005). تنش کمبود رطوبت طی دوره گلدهی تا رسیدگی فیزیولوژیک در کلزا باعث کاهش شاخه‌های جانبی، تعداد غلاف در گیاه و تعداد بذر در غلاف شده که به نوبه خود عملکرد را کاهش می‌دهد ( Dadivar, 2006).

در این آزمایش اثر رقم بر صفت عملکرد دانه در

جدول ۲ - مقایسه میانگین های صفات مختلف در چهار ژنوتیپ کنجد تحت رژیم های مختلف آبیاری.

| عامل آزمایشی | شاخص سطح برگ | کلروفیل (mg/g) | پرولین (mg/g) | کاتالاز (unit/ml) | اسکوربات پراکسیداز ( unit/ml) | کپسول در بوته | دانه در کپسول | وزن هزار دانه (گرم) | عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) | درصد روغن | عملکرد ماده خشک (کیلوگرم در هکتار) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| آبیاری(mm) | | | | | | | | | | | |
| ۷۵ | ۲/۵۴$^{a}$ | ۶/۲۷۱ | ۳/۴۲$^{b}$ | ۰/۵۲۱$^{b}$ | ۵/۴۲۴$^{b}$ | ۹۱/۹۷$^{a}$ | ۵۴/۷۸ | ۲/۹۶ | ۱۴۸۱/۰۲$^{a}$ | ۵۱/۹۹ | ۷۳۹۷/۴$^{a}$ |
| ۱۱۰ | ۲/۰۷$^{a}$ | ۶/۶۲۳ | ۴/۱۸۷$^{b}$ | ۰/۷۹۷$^{a}$ | ۷/۷۶۹$^{a}$ | ۶۳/۱۴$^{b}$ | ۵۴/۵۹ | ۲/۷۵ | ۱۲۳۰/۲$^{b}$ | ۵۲/۳۹ | ۶۵۰۷/۱$^{b}$ |
| ۱۴۵ | ۱/۵۵$^{b}$ | ۶/۲۱۲ | ۶/۶۰۷$^{a}$ | ۰/۳۷$^{c}$ | ۴/۲۵۲$^{b}$ | ۵۱/۸۷$^{b}$ | ۴۶/۸۵ | ۲/۷۱ | ۱۰۶۸/۶۵$^{c}$ | ۴۵/۸۵ | ۵۸۹۰/۴$^{b}$ |
| ژنوتیپ | | | | | | | | | | | |
| اولتان | ۲/۰۳$^{b}$ | ۶/۶۰۴ | ۴/۵۰۴$^{b}$ | ۰/۵۱۱ | ۶/۱۳۸ | ۶۳/۷۸$^{bc}$ | ۵۷/۶۴$^{a}$ | ۳/۱۱$^{a}$ | ۱۴۴۵/۲۹$^{a}$ | ۵۳/۱۸ | ۷۰۸۲/۵$^{a}$ |
| ناز | ۲/۵۱$^{a}$ | ۶/۴۶۲ | ۵/۳۳$^{a}$ | ۰/۵۸۸ | ۵/۶۹۳ | ۵۹/۰۷$^{c}$ | ۴۵/۳۹$^{b}$ | ۲/۶۲$^{b}$ | ۷۸۳/۲۵$^{c}$ | ۵۰/۲۵ | ۵۵۱۵/۳$^{c}$ |
| ورامین | ۱/۹۲$^{bc}$ | ۶/۲۸۷ | ۴/۷۵$^{ab}$ | ۰/۵۴۱ | ۶/۱۸۳ | ۸۱/۹۴$^{a}$ | ۴۷/۳۶$^{b}$ | ۲/۷۳$^{b}$ | ۱۲۰۱/۴۵$^{b}$ | ۴۹/۹۴ | ۶۴۷۶/۲$^{b}$ |
| یکتا | ۱/۷۴$^{c}$ | ۶/۱۲۱ | ۴/۳۷$^{b}$ | ۰/۶۱۱ | ۵/۲۴۵ | ۷۱/۱۸ | ۵۵/۲۳$^{a}$ | ۲/۷۶$^{b}$ | ۱۶۰۹/۸۴$^{a}$ | ۴۶/۹۵ | ۷۳۱۸/۶$^{a}$ |

در هر ستون و برای هر عامل آزمایشی، میانگین هایی که حد اقل دارای یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی دار در سطح ۵ درصد ندارند.

جدول ۳- میانگین های اثرات متقابل شاخص سطح برگ، تعداد دانه در کپسول و عملکرد ماده خشک چهار ژنوتیپ کنجد تحت رژیم های مختلف آبیاری.

| عامل آزمایشی | | شاخص سطح برگ | دانه در کپسول | عملکردماده خشک (کیلوگرم در هکتار) |
|---|---|---|---|---|
| ژنوتیپ | آبیاری (میلی مترتبخیر) | | | |
| اولتان | ۷۵ | ۲/۲۴$^{bc}$ | ۶۱/۷۸$^{a}$ | ۷۹۸۶/۵$^{ab}$ |
| ناز تک شاخه | ۷۵ | ۳/۳۴$^{a}$ | ۵۷/۸۱$^{a}$ | ۵۶۶۱/۱۲$^{ef}$ |
| ورامین | ۷۵ | ۲/۵۲$^{b}$ | ۵۵/۲۲$^{a}$ | ۷۴۱۵/۲۵$^{b}$ |
| یکتا | ۷۵ | ۲/۰۲$^{bc}$ | ۵۴/۱۶$^{ab}$ | ۸۵۲۶/۷۲$^{a}$ |
| اولتان | ۱۱۰ | ۲/۲۴$^{bc}$ | ۵۵/۲۲$^{ab}$ | ۷۳۵۱/۶۷$^{b}$ |
| ناز تک شاخه | ۱۱۰ | ۲/۵۸$^{b}$ | ۳۹/۶۱$^{c}$ | ۵۵۹۵/۵۲$^{ef}$ |
| ورامین | ۱۱۰ | ۱/۷۱$^{cd}$ | ۴۸/۸۱$^{abc}$ | ۶۳۵۰/۰۷$^{cd}$ |
| یکتا | ۱۱۰ | ۱/۷۳$^{cd}$ | ۵۶/۵۳$^{ab}$ | ۶۷۳۰/۶۲$^{c}$ |
| اولتان | ۱۴۵ | ۱/۶۰$^{d}$ | ۵۵/۹۱$^{ab}$ | ۵۹۱۰/۱۹$^{de}$ |
| ناز تک شاخه | ۱۴۵ | ۱/۶۲$^{cd}$ | ۳۸/۴۰$^{c}$ | ۵۲۸۹/۳۵$^{f}$ |
| ورامین | ۱۴۵ | ۱/۵۲$^{d}$ | ۳۸/۰۵$^{c}$ | ۵۶۶۳/۳۵$^{ef}$ |
| یکتا | ۱۴۵ | ۱/۴۷$^{d}$ | ۵۵/۰۱$^{ab}$ | ۶۶۹۸/۶۷$^{c}$ |
| LSD (٪۵) | | ۰/۶۳ | ۱۳/۳۳ | ۵۸۶/۹۶ |

در هر ستون و برای هر واحد آزمایشی میانگین هایی که حد اقل دارای یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی دار در سطح ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند.

سطح ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۲). رقم یکتا با میانگین ۱۶۰۹/۸۴ کیلوگرم در هکتار بیشترین و رقم ناز تک شاخه با ۷۸۳/۲۵ کیلوگرم در هکتار کمترین میانگین عملکرد دانه را دارا بود (جدول ۲). اثر متقابل بین رقم و آبیاری نیز بر صفت عملکرد دانه معنی دار نگردید (جدول ۱) که این بیانگر تاثیر یکسان رژیم های آبیاری بر عملکرد دانه ارقام کنجد می باشد.

در مطالعه حاضر عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری را با تعداد کپسول در بوته(**۰/۴۳)، تعداد دانه در کپسول (*۰/۳۳) و وزن هزار دانه (*۰/۳۲) نشان داد(اعداد نشان داده نشده اند). همبستگی مثبت و معنی‌دار اجزا عملکرد با عملکرد دانه نشان دهنده نقش مؤثر هر سه جزء عملکرد به خصوص تعداد کپسول در بوته در تعیین عملکرد دانه می‌باشد. البته اینکه کدام جزء عملکرد بیشترین نقش را در تعیین عملکرد گیاهان زراعی دارد، بستگی به گونه، ژنوتیپ و حتی شرایط محیطی حاکم طی دوره رشد گیاه دارد، چرا که در آزمایشات مختلف اجزاء متفاوتی نقش تعیین کننده در عملکرد گیاهان زراعی داشته اند.

عملکرد دانه با مقدار پرولین برگ همبستگی منفی و معنی دار(**۰/۴۷-) را نشان داد، به طوری که تجمع پرولین در اثر تنش خشکی تاثیری در جهت تخفیف کاهش عملکرد ناشی از تنش خشکی نداشت. تجمع پرولین در دوره کوتاهی بعد از اعمال تنش به گیاه کمک می کند که تا بعد از تنش رشد خود را بازیابی کند و اثر مثبت بر عملکرد داشته باشدبا اینحال از قرار معلوم در تنش های طولانی مدت و تجمع پرولین حتی اثر منفی بر عملکرد خواهد گذاشت زیرا منابع فتوسنتزی بیشتری از گیاه به سمت فرایندهای غیر از پرشدن دانه ها منحرف می‌گردند (Movahedy Dehnavy et al., 2004).اثر رژیم آبیاری بر درصد روغن دانه معنی‌دار نگردید (جدول ۱). علت معنی‌دار نشدن تفاوت درصد روغن دانه در شرایط تنش خشکی در مقایسه با عدم تنش را وراثت‌پذیری بالای این صفت و تاثیرپذیری کمتر این صفت از شرایط محیطی بیان کرده‌اند (Dehshiri et al., 2001). درمطالعه ارقام گلرنگ نیز اثر رژیم‌های آبیاری بر درصد روغن معنی‌دار نگردید (Kafi & Rostami, 2007). اثر رقم بر درصد روغن دانه معنی‌دار نگردید (جدول ۱)، با این حال رقم اولتان با میانگین ۵۳/۱۸ ٪ بیشترین و رقم یکتا با میانگین ۴۶/۹۵ ٪ کمترین درصد روغن را دارا بودند (جدول۲).

اثر رژیم آبیاری بر عملکرد ماده خشک در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار گردید (جدول۱). سطح سوم آبیاری با ۲۰٪ کاهش در عملکرد ماده خشک نسبت به سطح اول مواجه شد (جدول۲). با توجه به اینکه عملکرد ماده خشک به اجزایی نظیر تعداد شاخه، ارتفاع بوته، تعداد غلاف، تعداد دانه در غلاف، سطح برگ، دوام آن و حتی عملکرد دانه بستگی دارد و تمامی اجزای فوق با تنش خشکی کاهش یافتند، بنابراین روند کاهش عملکرد ماده خشک بر اثر اعمال تنش رطوبتی غیره منتظره نبود(Dadivar & Khodshenas, 2006).

تنش کمبود آب سبب حدود ۳۸٪ کاهش در شاخص سطح برگ (جدول۲) و ۲۸٪ کاهش در عملکرد دانه (جدول ۲) شده بود. کاهش عملکرد ماده خشک در اثر کاهش میزان آب قابل استفاده توسط Naderi et al, 2005 برای گلرنگ گزارش شده است. احتمالاً کاهش شاخص سطح برگ تحت شرایط تنش در آزمایش فعلی، جذب نور توسط تاج پوشش گیاهی را کاهش داده و به تبع آن ماده خشک تولیدی همچنانکه در گلرنگ گزارش شده است کاهش یافته است( Naderi et al, 2005). هر چند در آزمایش حاضر تبادلات گازی اندازه گیری نشد، ولی احتمال کاهش سرعت فتوسنتز خالص در اثر تنش کمبود آب منتفی نیست.

اثر رقم بر عملکرد ماده خشک درسطح احتمال ۱٪ معنی‌دار گردید (جدول ۱)، به طوری که رقم یکتا با میانگین ۷۳۱۸/۶ کیلوگرم در هکتار بیشترین و رقم ناز تک شاخه با میانگین ۵۵۱۵/۳ کیلوگرم در هکتار کمترین عملکرد ماده خشک را به خود اختصاص دادند(جدول۲). اثر متقابل رقم و رژیم آبیاری بر میزان ماده خشک در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار گردید(جدول ۱)،که این بیانگر واکنش متفاوت ژنوتیپ های کنجد به رژیم رطوبتی از نظر تولید ماده خشک می باشد. اگر چه

عملکرد ماده خشک تمام ژنوتیپ‌های کنجد با تشدید تنش خشکی کاهش می‌یافت، ولی این کاهش عملکرد در رقم ناز تک شاخه چندان زیاد نبود و این رقم در هر سه سطح آبیاری کمترین میزان عملکرد ماده خشک را داشت و اثر متقابل احتمالا به همین خاطر معنی‌دار شده است (جدول ۳).

**نتیجه گیری**

بر اساس نتایج حاصل از این آزمایش تنش کم آبی باعث کاهش عملکرد دانه کنجد شد و چون تحت شرایط کمبود شدید آب تجمع پرولین اثر منفی بر عملکرد دانه کنجد گذاشت به نظر می رسد تجمع بیشتر این ماده حداقل در ژنوتیپهای حاضر به معنی تضمین مقاومت به کمبود آب نیست. میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانتی CAT و APX در سطح دوم آبیاری (کمبود متوسط آب) افزایش و در در سطح سوم آبیاری (کمبود شدید آب) نسبت به سطح اول (شاهد)کاهش یافت. ارزیابی دقیق تر سهم و نقش این دو آنزیم در مکانیزم دفاعی در مقابل تنش خشکی در کنجد نیز به مطالعات بیشتری دارد.

## سپاسگزاری

از دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان که هزینه این تحقیق را تامین نموده تشکر و قدردانی می‌گردد.

## REFERENCES


1. Aebi, H. (1984). Catalase *in vitro*, Meth. *Enzymology*, 105, 121–126.
2. &rade, F. H., L. Echarte, R. Rizzalli, A. Della Maggiora, & M. Casanovas. (2002). Kernel number prediction in maize under nitrogen or water stress. *Crop Science*, 42, 1173-1179.
3. Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenoloxidase in *beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24, 1-15.
4. Bates, L. S., R. P. Waldren, & L. D. Teare. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant & Soil*, 39, 205-207.
5. Chanbdrakar, B. L., N. Sekhar, S. S. Tuteja, & R. S. Tripathi. (1994.) Effect of irrigation & nitrogen on growth & yield of summer sesame (*Sesamum indicum*). *Indian Journal of Agronomy*, 39, 701-702.
6. Chaparzadeh, N., M. L. Amico, R. K. Nejad, R. Izzo & F. N. Izzo. (2004). Antioxidative responses of *Calendula officinalis* under salinity conditions. *Plant Physiology & Biochemistry*, 42, 695-701.
7. Dadivar. M & M. A. Khodashenas. (2006). Evaluation of water stress effect on canola (*Brassica napus*). *Journal of Agricultural Sciences*, 12, 845-852. (In Farsi).
8. Dehshiri. A, M. R. Ahmadi, & Z. Tahmasbi-Sarvestani. (2001). Response of canola cultivars (*Brassica napus L.*) to water stress treatments. *Iranian Journal of Agriultural Sciences*, 32, 649-659. (In Farsi).
9. Del Longo, O. T., C. A., Gonzalez, G., M. Pastori, & V. S. Trippi. (1993). Antioxidant defenses under hyperoxygenue & hyperosmotic conditions in leaves of two lines of maize with differential sensitivity to drought. *Plant Cell Physiology*, 34, 1023-1028.
10. Dilip, K., M. Ajumdar, & S. Roy. (1991). Response of summer sesame (*Sesamum indicum*) to irrigation, row spacing & plant population. *Indian Journal of Agronomy*, 37, 758-762.
11. Fardad, H. 1996. *Principles of Irrigation* (2nd Ed.). University of Tehran Press, Tehran, Iran. (In Farsi).
12. Fazeli, F., M. Ghorbanly, & V. Niknam. (2007). Effect of drought on biomass, protein content, lipid peroxidation & antioxidant enzymes in two sesame cultivars. *Biologia Plantarum*, 51, 98-103.
13. Jiang, Y., & Huang. (2001). Drought & heat stress injury to two cool-season turf grasses in relation to antioxidant metabolism & lipid peroxidation. *Crop Science*, 41, 436-442.
14. Kafi, M. & M. Rostami. (2007). Yield characteristics & oil content of three safflower (*Carthamus tinctorius*) cultivars under drought in reproduction stage & irrigation with saline water. *Iranian Journal of Agric*ultur*al Sciences*, 5, 121-131. (In Farsi).
15. Khajepor, M. R. (2004). Industrial crops. Jahade Daneshgahi Press, Isfahan University of Technology, Isfahan-Iran. (in Farsi).
16. Kumar, A. S., T. N. Prasad, & U. K. Prasad. (1996). Effect of irrigation & nitrogen on growth, yield/oil content, nitrogen uptake & water-use of summer sesame (*Sesamum indicum*). *Indian Journal of Agronomy*, 41, 111-115.
17. Mehrabi, Z. (2007). *Evaluation of response of sesame genotypes to different moisture regimes using*

*chlorophyll fluorescence, proline & some agronomic traits.* MSc. Dissertation, Isfahan University of Technology, Iran, pp.93. (In Farsi).

18. Mittler, R. (2002). Oxidative stress, antioxidant & stress tolerance. *Annual Reviews in Plant Science*, 7, 405-415.
19. Movahedy Dehnavy. M, S. A. M. Modarres Sanavy, A. Sorushzadeh & M. Jalali. (2004). Changes in proline, total soluble sugars, SPAD & chlorophyll fluorescence in winter safflower cultivars under drought stress & foliar application of zinc & manganese. *Biyaban*, 9, 93-108. (In Farsi).
20. Naderi. M. R., G. Nour-Mohammadi, I. Majidi, F. Darvish, A. H. Shirani-rad & H. Madani. (2005). Evaluation of summer safflower reaction to different intensities of drought stress at Isfahan region. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 7, 211-225. (In Farsi).
21. Nakano, Y. & Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant Cell Physiology*, 22, 867–880.
22. Rezvani Moghaddam. P, Gh. Norozpoor, J. Nabati & A. A. Mohammad Abadi. (2005). Effect of different irrigation intervals & plant density on morphological characteristics, grain & oil yields of sesame (*Sesamum indicum*). *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 3, 57-68. (In Farsi).
23. Roshdi. M, H. Heydari Sharifabad, M. Karimi, G. Noor Mohammadi & F. Darvish. (2006). A survey on the impact of water deficiency over the yield of sunflower seed cultivar & its components. *Journal of Agricultural Sciences*, 12, 109-120. (In Farsi).
24. Sanchez, F. J., M. Manzanares, E. F. &ers, J. L. Ternorio, L. Ayerbe & E. F. De &res. (1998). Turgor maintenance, osmotic adjustment & soluble sugar & proline accumulation in 49 pea cultivars in response to water stress. *Field Crop Research*, 59, 225-235.
25. Sc&alios, J. G. (1993). Oxygen stress & superoxide dismutase. *Plant Physiol*ogy, 101, 7–12.
26. Terzi, R. & A. Kadioglu. (2006). Drought stress tolerance & the antioxidant enzymes system in *Ctenathe setosa. Botany*, 48, 89-96.
27. Zainali, H. (2003). *Study of agronomic, cytogenetic & phytochemical diversity in Iranian mint.* PhD dissertation, Isfahan University of Technology, Iran. pp.277 (In Farsi).