



## ارزیابی تحمل به خشکی ارقام گندم تحت تنش کم آبی پس از گل‌دهی

محمد مهدی ملک<sup>۱</sup>، محمد گلوی<sup>۲\*</sup>، محمود رمرودی<sup>۳</sup>، علی نخزری مقدم<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی دکتری گروه زراعت دانشگاه زابل،

<sup>۲</sup>استاد و دانشیار گروه زراعت دانشگاه زابل، <sup>۴</sup>استادیار گروه امور زراعی دانشگاه گنبدکاووس

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۷/۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۴/۵

### چکیده

**سابقه و هدف:** در مناطق نیمه‌خشک از جمله سطوح وسیعی از کشور ایران کاهش رطوبت خاک در اثر عدم بارندگی و افزایش ناگهانی دما در دوره پر شدن دانه که از مهم‌ترین عوامل کاهش رشد و نمو گندم به شمار می‌رود یک پدیده اقلیمی غالب است. با شناخت اثرات تنش خشکی و تعیین چگونگی واکنش‌های بیوشیمیایی و مولکولی به خشکی می‌توان بهترین واکنش گیاه را شناسایی و از آن در برنامه‌های اصلاحی برای انتخاب و تولید رقم‌های جدید استفاده کرد. هدف از این تحقیق شناسایی ویژگی‌هایی از رقم‌های متحمل می‌باشد که باعث ایجاد تحمل و تولید عملکرد بالا در این شرایط می‌شود.

**مواد و روش‌ها:** آزمایش در مزرعه‌ای واقع در شمال شهرستان آق‌قلا به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در سال زراعی ۹۶-۹۵ اجرا شد. تیمار رطوبتی در کرت‌های اصلی شامل؛ آبیاری کامل تا انتهای فصل رشد (A<sub>1</sub>)، قطع آبیاری از مرحله شروع پر شدن دانه (A<sub>2</sub>) و قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی (A<sub>3</sub>) و تیمار ارقام در کرت‌های فرعی ۴ رقم گندم بود. در این آزمایش میزان رنگ‌دانه‌های نوری (کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها) به عنوان منابع تولید مواد فتوسنتزی، تغییرات مقدار کربوهیدرات‌های محلول ساقه در طول دوره تنش به عنوان منبع جبرانی تأمین دانه، همچنین محتوای مالون‌دی‌آلدئید به عنوان میزان خسارت وارده به غشاء سلولی و فعالیت آنزیم‌های سوپراکسیددیسموتاز و پراکسیداز به عنوان مقاومت آنزیمی گیاه در مقابل تنش اکسیداسیونی مورد بررسی قرار گرفت.

**یافته‌ها:** نتایج این آزمایش نشان داد با افزایش تنش کم آبی، عملکرد دانه از ۵۳۵ گرم در مترمربع در تیمار A<sub>1</sub> به ۴۶۴ گرم در مترمربع در تیمار A<sub>2</sub> و ۴۳۷/۶ گرم در تیمار A<sub>3</sub> کاهش یافت. با افزایش تنش میزان انتقال مجدد هیدرات‌های کربن محلول از تیمار A<sub>1</sub> به تیمار A<sub>2</sub> و A<sub>3</sub> به ترتیب از ۱۶/۸ به ۲۹/۹ و ۳۷/۵ میلی‌گرم بر گرم وزن ساقه افزایش یافت. رقم‌های متحمل کوه‌دشت و کریم نشان دادند از توان انتقال مجدد هیدرات‌های کربن محلول (به ترتیب ۳۵/۹ و ۳۳/۳ میلی‌گرم بر گرم) بالاتری نسبت به احسان و گنبد (به ترتیب ۱۷/۱ و ۲۵/۸ میلی‌گرم بر گرم) برخوردارند. فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و سوپراکسیددیسموتاز در شرایط آبیاری کامل اختلاف معنی‌داری را بین ارقام متحمل و حساس نشان نداد، اما فعالیت این آنزیم‌ها در تیمارهای قطع آبیاری در رقم‌های متحمل کوه‌دشت و کریم بیش از رقم‌های حساس احسان و گنبد بود. محتوای مالون‌دی‌آلدئید با افزایش تنش کم آبی در رقم‌های احسان و گنبد نسبت به رقم‌های کوه‌دشت و کریم افزایش بیش‌تری پیدا کرد.

**نتیجه‌گیری:** نتایج نشان داد که در شرایط تنش خشکی افزایش بیشتر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی؛ پراکسیداز و سوپراکسیددیسموتاز در رقم‌های کوه‌دشت و کریم از خسارت بیشتر تنش اکسیداتیوی بر غشاء سلولی جلوگیری به عمل آورده

\*نویسنده مسئول: [mgalavi@yahoo.com](mailto:mgalavi@yahoo.com)

در نتیجه محتوای مالون‌دی‌آلدئید کمتری نسبت به رقم‌های احسان و گنبد داشتند. ارقام کوهدشت و کریم نشان دادند که قادرند میزان کلروفیل a، b و کاروتنوئیدهای بالاتری را به عنوان منابع تولید مواد فتوسنتزی در شرایط تنش پس از گل‌دهی حفظ کنند. این ویژگی آن‌ها را قادر کرد با تداوم بیشتر تولید مواد فتوسنتزی و تأمین بیشتر دانه‌ها پایداری عملکرد بالاتری در شرایط خشکی داشته باشند. نتایج مشخص کرد که ارقام کوهدشت و کریم از میزان انتقال مجدد هیدرات‌های کربن محلول ساقه بالاتری نسبت به ارقام احسان و گنبد برخوردارند.

**واژه‌های کلیدی:** اکسیداسیون غشاء سلولی، سوپراکسید دیسموتاز، کلروفیل a، هیدرات‌های کربن محلول

### مقدمه

در مناطق نیمه‌خشک از جمله سطوح وسیعی از کشور ایران کاهش رطوبت خاک در اثر عدم بارندگی و افزایش ناگهانی دما در دوره پر شدن دانه که از مهم‌ترین عوامل کاهش رشد و نمو گندم به شمار می‌رود یک پدیده اقلیمی غالب است (۱۶). تنش خشکی در زمان پر شدن دانه در کارایی انتقال هیدرات‌های کربن به اندام‌های مخزن و همچنین تعدادی از فعالیت‌های بیوشیمیایی و متابولیسم ساکارز و تجمع نشاسته تأثیر می‌گذارد. این تأثیرات باعث کوچک شدن دانه‌ها، کاهش وزن دانه و نهایتاً عملکرد دانه را کاهش می‌دهد (۳۰). استفاده از رقم‌های متحمل به خشکی از جمله راهکارهای مناسب و عملی در کاهش آثار منفی بر عملکرد دانه گندم است. در این راستا واکنش ارقام گندم به تنش خشکی و مطالعه صفات و فرایندهای فیزیولوژیک مرتبط با تحمل به خشکی و تغییرات آن‌ها ضروری است (۳). در شرایطی که مواد حاصل از فتوسنتز جاری برای پر شدن دانه کافی باشد، جریان حرکت و انتقال مجدد مواد فتوسنتزی محدود می‌شود، اما از آنجاکه عموماً در مرحله پر شدن دانه، فتوسنتز جاری تحت تأثیر تنش‌های خشکی و دمایی قرار می‌گیرد در این زمان انتقال مجدد ذخایر ساقه به عنوان یک فرایند مهم و پشتیبانی‌کننده می‌تواند تا حدود زیادی کاهش عملکرد را جبران کند (۱۰). هیدرات‌های کربن محلول ساقه قسمت عمده مواد ذخیره‌ای انتقال یافته از ساقه به دانه

را تشکیل می‌دهند. انتقال مجدد قندهای محلول ساقه معمولاً زمانی آغاز می‌شود که فتوسنتز جاری برگ‌ها قادر به تأمین نیاز مخازن فعال گیاه نباشد (۳۱). نتایج تحقیقات گاپتا و همکاران (۲۰۱۱) روی اثر تنش خشکی آخر فصل مشخص کرد که پایداری بیشتر عملکرد دانه رقم‌های مقاوم گندم نسبت به رقم‌های حساس هم در شرایط کنترل شده و هم تنش خشکی ناشی از بالاتر بودن مقدار و کارایی انتقال مجدد قندهای محلول از ساقه‌ها به دانه‌های در حال رشد بوده است (۱۲). دلپوز و همکاران (۲۰۱۶) نیز در گزارش خود بیان داشتند که تحت شرایط تنش آب، میزان کاهش هیدرات‌های کربن محلول ساقه (WSC) از گرده‌افشانی تا رسیدگی نسبت به شرایط آبیاری بیشتر بود. پژوهش‌گران دلیل این کاهش را ناشی از انتقال مجدد هیدرات‌های کربن ذخیره‌شده در ساقه به صورت محلول از ساقه به اندام‌های زایشی دانستند (۹). در این رابطه ناگسوارا و همکاران (۲۰۰۱) گزارش دادند که تنش خشکی و گرما پس از گل‌دهی سرعت فتوسنتز را کاهش داده و پیری برگ‌ها تسریع می‌یابد. بدین ترتیب میزان کلروفیل یکی از عوامل اصلی مؤثر در فرآیند فتوسنتزی بوده و نشان‌دهنده توانایی فتوسنتزی بافت‌های گیاهی است. حفظ غلظت کلروفیل تحت شرایط تنش به ثبات فتوسنتز در این شرایط کمک می‌کند (۱۹). نتایج آزمایش گریگرسن و هولم (۲۰۰۷) نشان داد که طی تنش خشکی محتوی

به شاهد افزایش داشت (۱۸). هدف از این تحقیق بررسی تأثیر تنش خشکی بعد از گل‌دهی بر برخی از ترکیبات بیوشیمیایی و آنتی‌اکسیدانی رقم‌های گندم نان و شناسایی ویژگی‌هایی بیوشیمیایی مقاومت به خشکی می‌باشد که باعث ایجاد تحمل و تولید عملکرد بالا در این شرایط می‌شود.

### مواد و روش‌ها

آزمایش به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و با سه تکرار در سال ۹۶-۹۵ و در ایستگاه تحقیقاتی مزرعه نمونه ارتش واقع در ۲۰ کیلومتری شمال شهرستان آق‌قلا انجام شد. اطلاعات مربوط به آب و هوایی از نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی (سد گرگان) دریافت شد جدول (۱). همان‌طور که داده‌های بلندمدت هواشناسی نشان می‌دهد (جدول ۱) کمبود رطوبت خاک به علت کاهش شدید بارندگی و افزایش تبخیر از سطح خاک و دمای هوا از فروردین به بعد اکثر محصولات پاییزه کشت شده در این منطقه را با تنش خشکی و گرمایی آخر فصل مواجه می‌کند. مشخصات خاک مزرعه نیز طبق نتایج آزمون خاک به شرح زیر بود (جدول ۲). تیمارهای رطوبتی به عنوان تیمار اصلی تا زمان گل‌دهی با یکدیگر مشابه بودند و پس از آن از نظر تیمارهای آبیاری متفاوت شدند در تیمار اول (A<sub>1</sub>) آبیاری کامل تا انتهای فصل انجام شد. در تیمار دوم (A<sub>2</sub>) آبیاری پس از شروع پر شدن دانه (ZGS 75) قطع شد و در تیمار سوم (A<sub>3</sub>) آبیاری از مرحله گرده‌افشانی (ZGS 65) متوقف گردید.

کلروفیل برگ رقم‌های گندم کاهش می‌یابد. محققان نشان دادند که رقم‌های متحمل به تنش، کلروفیل برگ بیش‌تری را نگه داشتند (۱۱). در شرایط تنش خشکی عدم تعادل بین جذب و مصرف انرژی در اندام فتوسنتزی منجر به تولید گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود. یکی از واکنش‌هایی که در حضور گونه‌های فعال اکسیژن<sup>۱</sup> (ROS) تسریع می‌شود پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء است که منجر به تولید مالون‌دی‌آلدئید می‌شود. از این‌رو میزان مالون‌دی‌آلدئید به عنوان معیاری از خسارت اکسیداتیوی در نظر گرفته می‌شود (۲۳). در آزمایش ونگ و همکاران (۲۰۱۵) روی اثر تنش خشکی آخر فصل در رقم‌های گندم مشخص شد که با ادامه تنش خشکی، مقدار مالون‌دی‌آلدئید در برگ‌های گیاهچه‌های رقم‌های حساس گندم (زاینانگ ۲۲۰۸ و شان ۲۵۳) نسبت به رقم‌های مقاوم (چانگو ۱۳۴ و زاینانگ ۹۲۸) به میزان بیشتری افزایش یافت (۲۹). کاهش در کل کاروتنوئیدها در پاسخ به تنش خشکی به کم کردن ROSها که توسط تنش خشکی تولید می‌شود کمک می‌کند (۱۷). محتوای ROSها در سیستم‌های بیولوژیک توسط دو نوع سیستم دفاعی آنزیمی و غیرآنزیمی کنترل می‌شود. آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی به عنوان سریع‌ترین واحدهایی که در مقابل ROSها مبارزه می‌کنند مطرح هستند (۲۰). ژنوتیپ‌های متحمل عموماً ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بالاتری را نگه می‌دارند در نتیجه خسارت اکسیداتیوی کمتری می‌بینند (۷). جانگ (۲۰۰۴) در این رابطه عنوان کرد که فعالیت پراکسیداز در برگ‌های بالغ رقم‌های گندم در اثر تنش خشکی تا سه برابر نسبت

جدول ۱- میانگین ماهانه بارندگی، تبخیر و حداکثر دما در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در مقایسه با دوره بلندمدت (۱۳۴۵-۱۳۹۵)

Table 1. mean of precipitation, evaporation and max temperature in 2016-2017 compare with long period (1966-2016)

		آذر Dec.	دی Jan	بهمن Feb	اسفند Mar	فروردین Apr	اردیبهشت May	خرداد Jun
بلندمدت	متوسط حداکثر دما (درجه سانتی گراد)	16.5	13.7	13.4	16.0	21.8	27.4	33.1
بلندمدت	Mean of max temperature (c°)	14.2	15.4	12.3	18.2	21.4	28.4	34.5
بلندمدت	میزان تبخیر (میلی متر)	32.3	23.3	29.3	48.7	92.6	138.4	204.7
بلندمدت	Evaporation (mm)	45.3	45.2	36.7	77.9	95.6	147.4	274.6
بلندمدت	میزان بارش (میلی متر)	43.4	34.5	46.1	40.8	36.6	29.5	9.6
بلندمدت	Precipitation (mm)	35.0	12.5	84.7	20.9	28.0	28.9	0.0

جدول ۲- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

Table 2. Physico-chemical properties of experiment field soil

بافت خاک	ماسه (درصد)	لای (درصد)	رس (درصد)	پتاسیم قابل جذب (میلی گرم بر کیلوگرم)	فسفر قابل جذب (میلی گرم بر کیلوگرم)	ازت کل (درصد)	کربن آلی (درصد)	مواد خثی شونده (درصد)	اسیدیته	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	درصد اشباع (درصد)
texture	Sand (%)	Loam (%)	Clay (%)	Available K (ppm)	Available P (ppm)	Total N (%)	Organic carbon (%)	T,N,V (%)	pH	Ec (ds.m <sup>-1</sup> )	S.P (%)
SI-C-L	32	52	16	300	13	0.14	1.2	17.5	7.6	3.8	52.1

آزمایش انجام گرفت. هر رقم در ۶ خط به طول ۵ متر کشت شد. فواصل تیمارهای اصلی ۲/۵ متر و فواصل تیمارهای فرعی به اندازه دو ردیف نکاشت در نظر گرفته شد. میزان کود شیمیایی مورد نیاز قبل از کشت بر اساس نتایج آزمون خاک (۷۵ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل، ۵۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره) مصرف گردید (جدول ۲). کنترل علف‌های هرز با سم علف‌کش آتلاتیس به میزان یک لیتر در هکتار انجام شد. برای اندازه‌گیری غلظت هیدرات‌های محلول ساقه در دو مرحله گل‌دهی و رسیدگی فیزیولوژیکی از هر کرت تعداد ۵ ساقه به صورت تصادفی برداشت شد. قندهای محلول کل از طریق اتانل داغ ۸۰ درصد استخراج شده و با روش فنل و اسید سولفوریک غلیظ در دستگاه اسپکتوفتومتر قرائت شد (۱۵). کاهش غلظت هیدرات‌های کربن محلول از گرده‌افشانی تا رسیدگی به عنوان انتقال مجدد هیدرات‌های کربن محلول از

با توجه به شرایط آب و هوایی و عدم بارندگی در اوایل فصل یک نوبت آبیاری پس از کاشت و یک نوبت در اواخر پنجه‌زنی انجام شد. مجموع بارندگی از زمان کاشت تا پایان برداشت ۲۱۰ میلی‌متر بود. آخرین بارندگی هم زمان بود با مرحله گل‌دهی و بعد از آن بارندگی اتفاق نیفتاد. برای اعمال تیمارهای تنش، کرت‌های مورد نظر در صورت ریزش باران توسط پلاستیک پوشانده می‌شد. تعداد دفعات آبیاری بعد از گل‌دهی برای تیمار A<sub>1</sub> ۴ نوبت و در تیمار A<sub>2</sub> ۲ نوبت و برای تیمار A<sub>3</sub> آبیاری انجام نشد. مقدار آب رسیده به تیمارهای A<sub>1</sub>، A<sub>2</sub> و A<sub>3</sub> با توجه به میزان بارندگی در طول فصل به ترتیب برابر با ۲۹۰، ۲۵۰ و ۲۲۰ میلی‌متر بود. رقم‌های گندم نان شامل کوه‌دشت، کریم (ارقام متحمل)، گنبد و احسان (ارقام حساس) به عنوان تیمار فرعی لحاظ شد. عملیات تهیه زمین طبق عرف منطقه صورت گرفت. تراکم بذر ۳۰۰ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد. کاشت در سیزدهم

A<sub>1</sub> به ۲۹/۹ میلی گرم بر گرم وزن تازه در A<sub>2</sub> و ۳۷/۵ میلی گرم بر گرم وزن تازه در تیمار A<sub>3</sub> افزایش یافت. در این آزمایش رقم‌های کوه‌دشت و کریم (به ترتیب ۳۵/۹ و ۳۳/۳ میلی گرم بر گرم وزن ساقه) نشان دادند از میزان انتقال هیدرات‌های کربن محلول ساقه بیش تری نسبت به رقم‌های احسان و گنبد (به ترتیب ۲۵/۸ و ۱۷/۱ میلی گرم بر گرم وزن ساقه) برخوردارند (جدول ۴). در آزمایش مشابه روی اثر تنش خشکی آخر فصل، گاپتا و همکاران (۲۰۱۱) پایداری بیشتر عملکرد دانه رقم‌های مقاوم نسبت به رقم‌های حساس هم در شرایط کنترل و هم تنش خشکی را بالاتر بودن مقدار و کارایی انتقال مجدد قندهای محلول از ساقه‌ها به دانه‌های در حال رشد عنوان کردند (۱۲). در همین راستا شرمین و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که سهم هیدرات‌های کربن محلول ساقه در عملکرد به مقدار زیادی بسته به شرایط محیطی، رشدی و رقم تغییر می‌کند و ممکن است دامنه تغییر آن از ۱۰ تا ۲۰ درصد در شرایط غیر تنش و بالاتر از ۵۰ درصد تحت تنش سخت باشد (۲۶). ژانگ و همکاران (۲۰۱۳) نیز سهم هیدرات‌های کربن ذخیره‌ای را تحت شرایط غیر تنشی ۵ تا ۲۰ درصد عملکرد نهایی گزارش کردند. محققان نشان دادند؛ زمانی که فعالیت فتوسنتزی تحت تأثیر خشکی یا گرمای بعد از گرده‌افشانی افت پیدا کرد پر شدن دانه وابستگی بیشتری به انتقال مجدد ذخایر ساقه (هیدرات‌های کربن ذخیره‌شده) داشته و ممکن است ۲۲ تا ۸۰ درصد ماده خشک دانه را تشکیل دهد (۳۱).

**مالون‌دی‌آلدئید:** تجزیه واریانس داده‌ها نشان می‌دهد اثر تیمار تنش کم آبی و رقم و برهم‌کنش رقم و تیمار تنش کم آبی برای مقدار مالون‌دی‌آلدئید به عنوان شاخصی از ناپایداری غشاء سلولی معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج اثرات برهم‌کنش رقم و تنش کم آبی (جدول ۵) نشان می‌دهد مقدار مالون‌دی‌آلدئید در سطح تیمار آبیاری کامل بین ارقام اختلاف معنی‌دار نداشت.

ساقه به اندام‌های زایشی در نظر گرفته شد (۹ و ۱۰). برای اندازه‌گیری میزان فعالیت کمی سوپر اکسیددیس‌موتاز<sup>۱</sup> (SOD) از برگ پرچم نمونه تهیه و از روش بیوچامپ و فریدوویچ (۱۹۷۱) استفاده شد (۶). برای اندازه‌گیری میزان غلظت کمی پراکسیداز<sup>۲</sup> (POD) از روش چانس و ماهلی (۱۹۹۵) استفاده شد (۸). میزان مالون‌دی‌آلدئید به روش والتوویک و همکاران (۲۰۰۶) اندازه‌گیری شد (۲۸). از روش آرنون (۱۹۶۷) برای اندازه‌گیری کلروفیل a در طول موج ۶۶۳ نانومتر، کلروفیل b در ۶۴۵ نانومتر و کاروتنوئیدها در ۴۷۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر استفاده شد (۵). برای تعیین عملکرد دانه در مرحله رسیدگی محصول پس از حذف اثر حاشیه، یک مترمربع از هر کرت برداشت شد. به منظور اندازه‌گیری اجزای عملکرد شامل تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه در زمان رسیدگی محصول تعداد ۵ بوته انتخابی از هر کرت برداشت و به آزمایشگاه منتقل گردید. نمونه‌ها در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشکانیده شد. دانه‌ها پس از جداسازی، برای اندازه‌گیری تعداد دانه در سنبله شمارش شدند و وزن ۱۰۰۰ دانه با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و برای مقایسه میانگین‌ها از روش LSD استفاده شد.

## نتایج و بحث

**انتقال مجدد هیدرات‌های کربن محلول ساقه (WSC):** نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد اثر تنش کم آبی و رقم بر مقدار کاهش هیدرات‌های کربن محلول ساقه معنی‌دار بود. با افزایش تنش کم آبی، مقدار کاهش هیدرات‌های کربن محلول ساقه که نشان از انتقال مجدد این ترکیبات به اندام‌های زایشی است (۹) از ۱۶/۸ میلی گرم بر گرم وزن تازه در تیمار

1. Superoxide dismutase (SOD)
2. Peroxidase (POD)

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر سطوح قطع آبیاری و رقم بر وزن ۱۰۰۰ دانه، عملکرد دانه و برخی از ترکیبات بیوشیمیایی و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در گندم  
 Table 3. Analysis of variance of the effect of irrigation interrupting levels and cultivars on 1000-grain weight, grain yield and some biochemical and antioxidant components in wheat

منابع تغییرات S.O.V	df	مقدار آزادگی	مالتی‌آلدئید MAD	فعالیت آنزیم پراکسیداز POD Activity	فعالیت آنزیم سوپرواکسیداز SOD Activity	کلروفیل a (Chl. a) a	کلروفیل b (Chl. b) b	کاروتنوئید Carotenoid	عملکرد دانه Yield	وزن هزار دانه 1000 weight seed
تکرار (R)	2	88.91 <sup>ns</sup>	0.258 <sup>ns</sup>	58.94 <sup>ns</sup>	0.55 <sup>ns</sup>	0.37 <sup>ns</sup>	0.10 <sup>ns</sup>	1.07 <sup>**</sup>	5493.23 <sup>ns</sup>	11.51 <sup>ns</sup>
آبیاری (I)	2	1320 <sup>**</sup>	28.23 <sup>**</sup>	26899 <sup>**</sup>	28.19 <sup>**</sup>	23.19 <sup>**</sup>	3.06 <sup>**</sup>	24.05 <sup>**</sup>	30449.17 <sup>**</sup>	117.30 <sup>**</sup>
خطای a (Error a)	4	164.4 <sup>ns</sup>	0.462 <sup>ns</sup>	86.59 <sup>ns</sup>	1.00 <sup>ns</sup>	0.28 <sup>ns</sup>	0.15 <sup>ns</sup>	0.17 <sup>**</sup>	3523.43 <sup>ns</sup>	5.10 <sup>ns</sup>
ارقام (C) Cultivars	3	643.2 <sup>**</sup>	14.43 <sup>**</sup>	3530 <sup>**</sup>	30.52 <sup>**</sup>	1.55 <sup>**</sup>	0.68 <sup>**</sup>	1.393 <sup>**</sup>	6803.51 <sup>*</sup>	249.51 <sup>**</sup>
I□C	6	60.02 <sup>ns</sup>	3.033 <sup>**</sup>	1883 <sup>**</sup>	3.68 <sup>**</sup>	1.29 <sup>**</sup>	0.29 <sup>ns</sup>	0.48 <sup>**</sup>	3473.03 <sup>ns</sup>	9.44 <sup>ns</sup>
خطای b (Error b)	18	49.98	0.22	74.65	0.52	0.23	0.13	0.03	2182.47	4.85
ضریب تغییرات (درصد) C.V. (%)		25.2	4.4	6.3	5.2	4.1	7.2	8.3	9.8	5.5

\*\* معنی‌دار در سطح ۱ درصد، \* معنی‌دار در سطح ۵ درصد، <sup>ns</sup> غیر معنی‌دار.

\*\* significant at 1% level, \* significant at 5% and <sup>ns</sup> non-significant

(Chl.a, b) b و a کلروفیل، کاروفیل (WSC)، هیدرات‌های کربن محلول (POD)، پراکسیداز (SOD)، سوپراکسیداسیموناز (MAD)، مالتی‌آلدئید (MAD), Superoxide dismutase (SOD), Water Soluble Carbohydrate (WSC), Peroxidase (POD), Chlorophyll a (Chl. a) and Chlorophyll b (Chl. b)

جدول ۴- مقایسه میانگین‌ها تأثیر سطوح قطع آبیاری و ارقام بر انتقال مجدد کربوهیدرات‌های محلول، کلروفیل b، عملکرد و وزن هزار دانه در گندم

Table 4. The effect of irrigation interrupting levels and cultivars on water soluble carbohydrate remobilization, Chlorophyll b, yield and 1000- grain weight of wheat

	انتقال مجدد (میلی‌گرم برگرم وزن ساقه) Remobilization (mg <sup>-1</sup> .g <sup>-1</sup> )	کلروفیل b (میلی‌گرم در گرم برگ تازه) Chl. b (mg <sup>-1</sup> .g.fw <sup>-1</sup> )	عملکرد (گرم در مترمربع) Yield (gr.m <sup>-2</sup> )	وزن هزار دانه (گرم) 1000 grain weight (g)
آبیاری کامل Full irrigation	16.75 <sup>b</sup>	13.82 <sup>a</sup>	534.98 <sup>a</sup>	44.49 <sup>a</sup>
قطع آبیاری از دانه‌بندی Irrigation interrupting from grain setting	29.88 <sup>ab</sup>	13.14 <sup>b</sup>	463.95 <sup>b</sup>	39.49 <sup>b</sup>
قطع آبیاری از گل‌دهی Irr. interrupting from flowering	37.48 <sup>a</sup>	12.808 <sup>b</sup>	437.59 <sup>b</sup>	38.75 <sup>b</sup>
کوهدشت Koohdasht	35.94 <sup>a</sup>	13.27 <sup>ab</sup>	495.23 <sup>a</sup>	41.96 <sup>b</sup>
کریم Karim	33.31 <sup>a</sup>	13.11 <sup>b</sup>	506.25 <sup>a</sup>	46.55 <sup>a</sup>
احسان Ehsan	25.76 <sup>b</sup>	13.62 <sup>a</sup>	469.01 <sup>ab</sup>	41.31 <sup>b</sup>
گنبد Gonbad	17.13 <sup>c</sup>	12.98 <sup>b</sup>	444.89 <sup>b</sup>	33.83 <sup>c</sup>

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشابه می‌باشند بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at the 5% level of probability-Using LSD Test

مالون‌دی‌آلدئید در رقم حساس (سیدس) نسبت به رقم مقاوم افزایش بیشتری داشت (۲). در آزمایش مشابه دیگری توسط شریفی و محمدخانی (۲۰۱۶) پایین بودن میزان مالون‌دی‌آلدئید در شرایط تنش خشکی در برگ و سنبله رقم متحمل را نشان‌دهنده مقاومت بهتر این ژنوتیپ در برابر گونه‌های فعال اکسیژن دانستند. (۲۴).

پراکسیداز: نتایج تجزیه واریانس بیانگر اثر معنی‌دار تنش کم آبی و رقم و برهم‌کنش رقم و تنش کم آبی برای میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز بود (جدول ۳). نتایج به‌دست‌آمده از اثرات برهم‌کنش رقم و تنش کم آبی برای فعالیت آنزیم پراکسیداز (جدول ۵) حاکی از این است که ارقام در شرایط مختلف رطوبتی واکنش متفاوتی از خود نشان می‌دهند. به‌طوری‌که از نتایج جدول (۵) مشاهده می‌شود در تیمار آبیاری کامل بیش‌ترین و کمترین میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز را رقم‌های احسان و کوهدشت (به‌ترتیب ۱۹۹/۳ و ۱۸۰/۳ واحد بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) داشتند،

اما در تیمار قطع آبیاری از پر شدن دانه میزان مالون‌دی‌آلدئید در رقم‌های احسان و گنبد (به‌ترتیب ۱۲ و ۱۲/۸ نانو مول در گرم برگ تازه) نسبت به رقم‌های کوهدشت و کریم (به‌ترتیب ۱۰/۲ و ۹/۳ نانو مول در گرم برگ تازه) افزایش بیش‌تری یافت. در تیمار قطع آبیاری از گل‌دهی نیز میزان مالون‌دی‌آلدئید در رقم‌های حساس گنبد و احسان (به‌ترتیب ۱۳/۴ و ۱۴/۲ نانو مول در گرم برگ تازه) نسبت به رقم‌های متحمل کریم و کوهدشت (به‌ترتیب ۱۰/۶ و ۱۰ نانو مول در گرم برگ تازه) به‌طور معنی‌داری بیش‌تر بود. به‌طورکلی نتایج بیانگر این مطلب است که محتوای مالون‌دی‌آلدئید با افزایش شدت تنش افزایش یافته و این افزایش در رقم‌های حساس نسبت به ارقام متحمل بیشتر بود. این نتایج مطابقت دارد با گزارش القامدی (۲۰۰۹) که نشان دادند در طول مدت تنش خشکی روی رقم‌های گندم، میزان مالون‌دی‌آلدئید در هر دو رقم نسبت به شاهد به‌طور فزاینده‌ای زیاد شد. محققان گزارش کردند میزان

در تیمارهای قطع آبیاری از شروع پر شدن دانه و گل دهی رقم‌های متحمل کوهدشت و کریم نشان دادند از فعالیت آنزیمی بیش‌تری نسبت به ارقام حساس احسان و گنبد برخوردارند. به‌طورکلی نتایج این آزمایش نشان داد که فعالیت آنزیم پراکسیداز با افزایش شدت تنش افزایش‌یافته و این افزایش در رقم‌های متحمل نسبت به رقم‌های حساس بیشتر بود. مطابق با نتایج به‌دست‌آمده شریفی و همکاران (۲۰۱۲) گزارش دادند فعالیت آنزیم پراکسیداز در لاین‌های متحمل به خشکی (اوحدی) و نیمه متحمل

(رساد) به ترتیب تا ۱۸۳ و ۱۰۷ درصد در مقایسه با شرایط کنترل شده افزایش یافت (۲۵). در آزمایش مشابه دیگری ونگ و همکاران (۲۰۱۵) به این نتیجه رسیدند که سرعت فعالیت آنزیم پراکسیداز در رقم‌های مقاوم نسبت به ارقام حساس افزایش بیشتری داشت. پژوهش‌گران مقاومت بیشتر رقم‌های متحمل در مقابل تنش اکسیداتیوی در شرایط تنش خشکی را ناشی از فعالیت بیشتر آنزیم پراکسیداز در رقم‌های متحمل دانستند (۲۹).

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات برهمکنش رقم و آبیاری بر محتوای مالون‌دی‌آلدئید، فعالیت آنزیم پراکسیداز، سوپراکسیددیسموتاز، میزان کلروفیل a و کاروتنوئید

Table 5. Mean comparisons of interaction between irrigation and cultivar on MAD, SOD, POD, Chl.a and Carotenoid

تیمار آبیاری Irrigation treatment	ارقام Cultivar	مالون‌دی‌آلدئید (نانو مول در گرم برگ تازه) MAD (nmol <sup>-1</sup> .g.fw <sup>-1</sup> )	پراکسیداز (واحد بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) POD (unit <sup>-1</sup> .mg Protein <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> )	سوپراکسیددیسموتاز (واحد بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) SOD (unit <sup>-1</sup> .mg Protein <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> )	کلروفیل a (میلی‌گرم در گرم برگ تازه) Chl a (mg <sup>-1</sup> .g.fw <sup>-1</sup> )	کاروتنوئید (میلی‌گرم در گرم برگ تازه) Carotenoid (mg <sup>-1</sup> .gr <sup>-1</sup> )
آبیاری کامل Full irrigation	کوهدشت	9.13 <sup>ab</sup>	180.33 <sup>c</sup>	13.80 <sup>a</sup>	8.50 <sup>a</sup>	5.92 <sup>a</sup>
	کریم	8.87 <sup>b</sup>	190.33 <sup>b</sup>	12.73 <sup>ab</sup>	8.55 <sup>a</sup>	6.03 <sup>a</sup>
	احسان	9.03 <sup>ab</sup>	199.33 <sup>a</sup>	12.17 <sup>b</sup>	9.07 <sup>a</sup>	6.03 <sup>a</sup>
	گنبد	9.30 <sup>a</sup>	193.66 <sup>ab</sup>	11.46 <sup>b</sup>	8.97 <sup>a</sup>	6.13 <sup>a</sup>
قطع آبیاری از دانه‌بندی Irrigation interrupting from grain setting	کوهدشت	10.20 <sup>b</sup>	251.46 <sup>a</sup>	14.70 <sup>b</sup>	7.94 <sup>a</sup>	5.16 <sup>a</sup>
	کریم	9.33 <sup>b</sup>	255.30 <sup>a</sup>	16.53 <sup>a</sup>	7.88 <sup>a</sup>	5.53 <sup>a</sup>
	احسان	12.00 <sup>a</sup>	214.86 <sup>b</sup>	11.93 <sup>c</sup>	7.23 <sup>ab</sup>	4.46 <sup>b</sup>
	گنبد	12.83 <sup>a</sup>	210.70 <sup>b</sup>	11.33 <sup>c</sup>	6.89 <sup>b</sup>	4.30 <sup>b</sup>
قطع آبیاری از گل‌دهی Irrigation interrupting from flowering	کوهدشت	10.66 <sup>b</sup>	330.13 <sup>a</sup>	16.26 <sup>b</sup>	7.02 <sup>a</sup>	3.66 <sup>b</sup>
	کریم	10.03 <sup>b</sup>	312.77 <sup>a</sup>	18.63 <sup>a</sup>	6.71 <sup>a</sup>	3.86 <sup>a</sup>
	احسان	13.36 <sup>a</sup>	256.43 <sup>b</sup>	14.03 <sup>c</sup>	5.25 <sup>b</sup>	2.80 <sup>c</sup>
	گنبد	14.26 <sup>a</sup>	242.37 <sup>b</sup>	13.33 <sup>c</sup>	5.00 <sup>b</sup>	2.50 <sup>d</sup>

میانگین‌ها در هر ستون که دارای حروف مشابه می‌باشند بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means, in each column, followed by similar letter(s) are not significantly different at the 5% level of probability-Using LSD Test.

(جدول ۳). نتایج به‌دست‌آمده از اثرات برهم‌کنش رقم و تنش کم آبی (جدول ۵) نشان داد که در سطح تیمار آبیاری کامل بیش‌ترین و کمترین میزان فعالیت این

سوپراکسید دیسموتاز: تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تنش کم آبی و رقم و برهم‌کنش رقم و تنش کم آبی بر میزان فعالیت آنزیم SOD معنی‌دار بود



قطع آبیاری پس از گل‌دهی مقدار کلروفیل a در تمام ارقام مورد بررسی کاهش یافت این کاهش در ارقام حساس بیشتر بود. به طوری که نتایج جدول (۵) نشان می‌دهد؛ در تیمار قطع آبیاری از شروع پر شدن دانه رقم گنبد کمترین مقدار کلروفیل a (۶/۹ میلی گرم بر گرم برگ تازه) را داشت. سایر ارقام در این تیمار اختلاف معنی داری نداشتند. در تیمار قطع آبیاری از گل‌دهی ارقام کوهدشت و کریم (به ترتیب ۷ و ۶/۷ میلی گرم بر گرم برگ تازه) نشان دادند از نظر آماری از غلظت کلروفیل a بالاتری نسبت به ارقام احسان و گنبد (۵/۳ و ۵ میلی گرم بر گرم برگ تازه) برخوردارند. این نتیجه می‌تواند به دلیل تخریب بیشتر کلروفیل در ارقام حساس تحت شرایط تنش حاصل شده باشد. افزایش تنش کم آبی در تیمارهای قطع آبیاری همچنین سبب کاهش معنی داری در غلظت کلروفیل b گردید (جدول ۳). نتایج پژوهش حاضر نشان داد غلظت کلروفیل b از ۱۳/۸ میلی گرم بر گرم برگ تازه در تیمار آبیاری کامل به ۱۳/۱ میلی گرم بر گرم برگ تازه (۵ درصد کاهش) در تیمار قطع آبیاری از شروع پر شدن دانه و ۱۲/۸ میلی گرم بر گرم برگ تازه (۷ درصد کاهش) در تیمار قطع آبیاری از گل‌دهی کاهش یافت. بیش‌ترین و کمترین میزان غلظت کلروفیل b به ترتیب در ارقام احسان با ۱۳/۶۲ و گنبد با ۱۲/۹ میلی گرم بر گرم برگ تازه به دست آمد. مشابه نتایج به دست آمده در این آزمایش گزارشات تعدادی از آزمایشات دیگر نیز حاکی از این است که طی تنش خشکی آخر فصل میزان کلروفیل تحت تأثیر قرار گرفته و در مقایسه با شرایط آبیاری نرمال به‌طور معنی داری کاهش نشان داد. محققان نشان دادند ارقام متحمل به تنش، کلروفیل برگ بیشتری را نگه می‌دارند (۱۱، ۴). کاروتنوئیدها، گلوکاتیون، ترکیبات فنلی به عنوان ترکیبات غیر آنزیمی نقش مهمی در حذف گونه‌های فعال اکسیژن

آنزیم را به ترتیب ارقام کوهدشت (۱۳/۸) واحد بر میلی گرم پروتئین در دقیقه) و گنبد (۱۱/۵) واحد بر میلی گرم پروتئین در دقیقه) به خود اختصاص دادند. در این تیمار ارقام کریم، احسان و گنبد اختلاف معنی دار نداشتند. با افزایش تنش کم آبی در تیمار قطع آبیاری از شروع پر شدن دانه و قطع آبیاری از گل‌دهی ارقام متحمل کریم و کوهدشت نشان دادند از نظر آماری از فعالیت آنزیمی بالاتری نسبت به ارقام حساس احسان و گنبد برخوردارند (جدول ۵). مشابه نتایج به دست آمده حسن پور لسکو کلایه و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی اثر تنش خشکی بر روی ارقام گندم نشان دادند که فعالیت آنزیم SOD در شرایط عدم تنش از ۱۵/۵ به ۱۷/۵۳ واحد بر میلی گرم پروتئین بر دقیقه در شرایط تنش افزایش یافت. محققان بیان داشتند که افزایش فعالیت این آنزیم تحت تنش خشکی باعث افزایش مقاومت گیاه در مقابل تنش خشکی شده و از کاهش رشد عملکرد گیاه جلوگیری می‌کند. در نتیجه ارقام دنا و سیمره به‌عنوان ارقام مقاوم فعالیت آنزیمی زیادتری نشان دادند (۱۴). در آزمایش مشابه دیگری ونگ و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند با ادامه تنش خشکی بیشترین بیان آنزیم SOD در برگ‌های گیاهچه رقم مقاوم (چانگو ۱۳۴) و کمترین میزان در برگ‌های گیاهچه رقم حساس (شان ۲۵۳) اتفاق افتاد (۲۹).

**کلروفیل a, b و کاروتنوئیدها:** نتایج تجزیه واریانس به دست آمده (جدول ۳) مشخص کرد اثر تنش کم آبی و رقم بر کلروفیل a, b و محتوای کاروتنوئیدها معنی دار شد. اثر برهمکنش تنش کم آبی و رقم بر مقدار کلروفیل a و کاروتنوئیدها معنی دار اما برای کلروفیل b معنی دار نشد. اثرات برهم‌کنش رقم و تنش کم آبی برای مقدار کلروفیل a (جدول ۵) نشان می‌دهد که در شرایط آبیاری کامل بین ارقام اختلاف معنی داری وجود نداشت. با افزایش تنش در تیمارهای

کلروفیل نیز مؤثرند و باعث کاهش اثرات سمی رادیکال‌های آزاد می‌شوند (۲۱).

**عملکرد و وزن دانه:** نتایج تجزیه واریانس به‌دست‌آمده در این آزمایش (جدول ۳) نشان داد که اثر تنش کم آبی و رقم بر عملکرد دانه و وزن هزار دانه معنی‌دار بود. با افزایش تنش میزان عملکرد از ۵۳۵ گرم در مترمربع در تیمار آبیاری کامل به ۴۶۴ گرم در مترمربع (۱۳/۳ درصد کاهش) در تیمار قطع آبیاری از شروع پر شدن دانه و ۴۳۷/۶ گرم در مترمربع (۱۸/۲ درصد کاهش) در تیمار قطع آبیاری از گل‌دهی کاهش یافت. طبق نتایج به‌دست‌آمده عدم آبیاری در مرحله پر شدن دانه، عملکرد دانه را به میزان ۷۱ گرم در مترمربع نسبت به آبیاری کامل کاهش داد. در صورتی که این مقدار در قطع آبیاری از زمان گل‌دهی (شرایط حاکم بر منطقه در سال اجرای طرح) ۹۷/۴ گرم در مترمربع بود. افزایش تنش کم آبی وزن هزار دانه را از ۴۴/۵ گرم در تیمار آبیاری کامل به ۳۹/۵ گرم (۱۱/۲ درصد کاهش) در تیمار قطع آبیاری از شروع پر شدن دانه و ۳۸/۶ گرم (۱۳/۳ درصد کاهش) در تیمار قطع آبیاری از گل‌دهی کاهش داد. ارقام بکار رفته در این آزمایش از نظر عملکرد و وزن هزار دانه تفاوت معنی‌داری داشتند. بیش‌ترین مقدار عملکرد و وزن هزار دانه را رقم کریم (به ترتیب ۵۰۶/۳ گرم در مترمربع، ۴۶/۶ گرم) و کمترین مقدار را گنبد (به ترتیب ۴۴۴/۹ گرم در مترمربع، ۳۳/۸ گرم) به خود اختصاص دادند. روند تغییرات عملکرد و وزن هزار دانه در تیمارهای مختلف آبیاری (جدول ۴) بیانگر این مطلب است که تنش کم آبی در مرحله پر شدن دانه تا رسیدگی فیزیولوژیکی تأثیر بیشتری نسبت به مرحله گل‌دهی تا شروع پر شدن دانه بر عملکرد و وزن هزار دانه داشته است. مشابه نتایج به‌دست‌آمده در این آزمایش، سعیدی و مرادی (۲۰۱۱) نیز گزارش دادند که عملکرد دانه در تنش رطوبتی ۱۴ روز بعد از گرده‌افشانی تا زمان رسیدگی

دارند (۷). نتایج اثرات برهمکنش تیمار آبیاری و رقم بر میزان این ترکیب (جدول ۵) نشان می‌دهد ارقام در تیمار آبیاری کامل از نظر محتوای کاروتنوئید اختلاف معنی‌داری نداشتند؛ اما با افزایش تنش میزان کاروتنوئید در ارقام کوه‌دشت و کریم به ترتیب از ۵/۹ و ۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه برگ در تیمار آبیاری کامل به ۵/۲ و ۵/۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه برگ در تیمار قطع آبیاری از شروع پر شدن دانه و ۳/۷ و ۳/۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه برگ در تیمار قطع آبیاری از گل‌دهی کاهش یافت در صورتی که روند تغییرات محتوای کاروتنوئید برای ارقام حساس احسان و گنبد از ۶ و ۶/۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه برگ در تیمار آبیاری کامل به ۴/۵ و ۴/۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه برگ در تیمار قطع آبیاری از شروع پر شدن دانه و ۲/۸ و ۲/۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه برگ در تیمار قطع آبیاری از گل‌دهی بود. به‌طور کلی می‌توان بیان داشت با افزایش تنش مقدار کاروتنوئید در کلیه ارقام مورد بررسی کاهش یافته اما این کاهش در ارقام حساس بیش‌تر بود. در بررسی مشابه دیگری روی اثر تنش خشکی انتهای فصل بر ارقام گندم مشخص شد که مقدار کلروفیل و کاروتنوئید تحت شرایط تنش آبی در هر دو رقم گندم به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. پژوهش‌گران گزارش دادند در شرایط تنش خشکی رقم متحمل (C-306) مقادیر بیشتری از این رنگ‌دانه‌ها را به خود اختصاص داد (۱۳). هوولت و پاکسان (۲۰۰۶) نیز ضمن بیان نتایج مشابه، گزارش کردند که کاهش در کل کاروتنوئیدها در پاسخ به تنش خشکی می‌تواند به کم کردن گونه‌های فعال اکسیژن که توسط تنش خشکی تولید می‌شوند کمک کند (۱۷). در آزمایش دیگری روی اثر تنش خشکی بر ارقام گندم، سانیتاتا و گابریلا (۱۹۹۹) گزارش کردند که کاروتنوئیدها نقش حفاظتی در مقابل تنش اکسیداتیو القاء شده دارند و در سمیت‌زدایی از

a, b و کاروتنوئیدهای در شرایط تنش پس از گل دهی باعث شد تا رقم‌های متحمل با تداوم بیشتر تولید مواد فتوسنتزی، پایداری عملکرد بالاتری در شرایط خشکی داشته باشند. در این پژوهش مشخص شد که انتقال مجدد هیدرات‌های کربن اندوخته از ساقه به دانه می‌تواند در شرایط تنش که فرآیند فتوسنتز کاهش می‌یابد نقش مهمی در جبران کمبود مواد فتوسنتزی داشته باشد. نتایج این آزمایش نشان داد تنش در مرحله پر شدن دانه نسبت به زمان گل دهی تا شروع پر شدن دانه خسارت بیش‌تری به عملکرد و وزن دانه وارد می‌کند لذا توصیه می‌گردد در شرایط مشابه با این آزمایش چنانچه به دلیل کمبود آب فقط امکان یک یا دو مرحله آبیاری وجود داشته باشد در مرحله پر شدن دانه‌ها داده شود.

#### منابع

1. Abdoli, M., Saeidi, M., Jalali Honarmand, S., Mansoorifar, S., and Ghobadi, M. 2013. Evaluation of some physiological and biochemical traits and their relationships with yield and its components in some improved wheat cultivars under post-anthesis water deficit. *Environ. Stresses Crop Sci.*, 6(1): 47-63. (In Persian).
2. Al-Ghamdi A. 2009. Evaluation of oxidative stress in two wheat (*Triticum aestivum*) cultivars in response to drought. *Int. J. Agric. Biol.*, 11: 7-12.
3. Afiuni, D., Akbari, Gh.A., Allahdadi, I., Najafian, G., and Safaei, L. 2016. Study on physiological characteristics of bread wheat genotypes response to water stress after anthesis and zinc foliar application. *J. Plant Ecophysiol.*, 8(27): 1-19. (In Persian).
4. Arnon, A.N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agron. J.* 23:112-121.
5. Aghanejad, M., Mahfoozi, S., and Sharghi, S. 2015. Effects of late-season drought stress on some

نسبت به زمانی که تنش رطوبتی از زمان گرده‌افشانی تا ۱۴ روز بعد اعمال شد بیشتر کاهش یافت (۲۲). تاتار و همکاران (۲۰۱۶) علت کاهش عملکرد ارقام در شرایط تنش را ناشی از کاهش میزان فتوآسیمیلات تولیدی طی فرآیند فتوسنتز دانسته و اظهار کردند این امر سبب کاهش وزن هزار دانه و به طبع عملکرد شده است (۲۷). سایر محققین کاهش عملکرد در اثر تنش پس از گل دهی را ۴۹/۹ درصد در کبوتر آهنگ اصفهان (۳) و ۳۳/۹ درصد در کرمانشاه (۱) اعلام کردند.

#### نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که در شرایط تنش خشکی فعالیت بیشتر آنزیم‌های پراکسیداز و سوپراکسیددیسموتاز از اثرات زیان‌بار تنش اکسیداتیوی بر غشاء سلولی جلوگیری به عمل آورد. حفظ مقادیر بالاتر کلروفیل

- physiological traits, yield and yield components of wheat genotypes. *Biol. Forum- Int. J.* 7(1): 1426-1431.
6. Beauchamp, C., and Fridovich, I. 1971. Superoxide dismutases: improved assays and an assay predictable to acrylamide gels. *Ann. Clin. Biochem.*, 44: 276-287.
  7. Caverzan, A., lice Casassola, A., and Patussi Brammer, S. 2016. Antioxidant responses of wheat plants under stress. *Genet. Mol. Biol.*, 39(1): 1-6.
  8. Chance, B., and Maehly, A.C. 1995. Assay of catalase and peroxidase. *Acad. Press. New York.*
  9. del Pozo, A., Yáñez, A., Matus, I., Tapia, G., Castillo, D., Sanchez-Jardón, L., and Araus, J. 2016. Physiological traits associated with wheat yield potential and performance under water-stress in a mediterranean environment. *Front Plant Sci.*, 7: 987.
  10. Ezzat Ahmadi, M., Noormohammadi, GH., Ghodsi, M., and Kafi, M. 2011. Effect of water stress and source limitation on accumulation and remobilization of photoassimilates in

- wheat genotypes. *Iran. J. Field Crops Res.*, 9 (2): 229- 241. (In Persian).
11. Gregersen, P.L., and Holm, P.B. 2007. Transcriptome analysis of senescence in the flag leaf of wheat. *Plant Biotechnol.*, 5: 192-206.
  12. Gupta, A.K., Kaur, K., and Kaur, N. 2011. Stem reserve mobilization and sink activity in wheat under drought conditions. *Am. J. Plant Sci.*, 2: 70-77.
  13. Gupta, S., Gupta, N.K., Arora, A., Agarwal, V.P., and Purohit, A.K. 2012. Effect of water stress on photosynthetic attributes, membrane stability and yield in contrasting wheat genotypes. *Indian J. Plant Physiol.*, 17(1): 22-27.
  14. Hassanpour Lescokelaye, K., Ahmadi, J., Daneshyan, J., and Hatami, S. 2015. Changes in chlorophyll, protein and antioxidant enzymes on durum wheat under drought stress. *J. Crop Breed.* 7(15): 76-87. (In Persian).
  15. Hassid, W.Z., and Neufeld, F. 1964. Quantitative determination of starch in plant tissues. In: Whistler, R., Paschall, E., (Eds). *Methods in carbohydrate chemistry*. Acad. Press, New York. p. 33.
  16. Heidari-Sharifabad, H. 2008. Drought mitigation strategies for the agriculture sector. The 10th Iran. Congr. Crop Sci. 18-20 Aug. 2008, SPII, Karaj, Iran.
  17. Howlitt, A.C., and Pogson, B.J. 2006. Carotenoid accumulation and function in seeds and non-green tissues. *Plant Cell Environ.*, 29: 435-445.
  18. Jung, S. 2004. Variation in antioxidant metabolism of young and mature leaves of *arabidopsis thaliana* subjected to drought. *Plant Sci.*, 166: 459-466.
  19. Nageswara R.R.C., Talwar, H.S., and Wright, G.C. 2001. Rapid assessment of specific leaf area and leaf nitrogen in peanut (*Arachis hypogaea* L.) using chlorophyll meter. *J. Agron. Crop Sci.*, 189: 175-182.
  20. Ramachandra-Reddy, A., Chaitanya, K.V., Jutur, P.P., and Sumithra, K. 2004. Differential antioxidative responses to water stress among five mulberry (*Morus Alba* L.) cultivars. *Environ. Exp. Bot.* 52 (1): 33-42.
  21. Sanitata, L., and Gabbriella, R. 1999. Response to Cd in higher plants-Review. *Environ. Exp. Bot.*, 45: 105-130.
  22. Saeidi, M., and Moradi, F. 2011. Effect of post-anthesis water stress on remobilization of soluble carbohydrates from peduncle and penultimate internodes to the developing grains of two bread wheat cultivars. *Iran. J. Crop Sci.*, 13(3): 548-564. (In Persian).
  23. Shao, H.B., Liang, Z.S., and Shao, M.A. 2005. Changes of some anti-oxidative enzymes under soil water deficits among 10 wheat genotypes at maturation stage. *Colloids Surf. B Biointerfaces.* 45: 7-13.
  24. Sharifi, P., and Mohammadkhani, N.N. 2016. The evaluation of antioxidant enzymes role in seed yield of some wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes under drought stress at post anthesis. *J. Plant Ecophysiol.*, 8(25): 65-77. (In Persian).
  25. Sharifi, P., Amirnia, R., Majidi, E., Hadi, H., roustaii, M., Nakhoda, B., Alipoor, H.M., and Moradi, F. 2012. Relationship between drought stress and some antioxidant enzymes with cell membrane and chlorophyll stability in wheat lines. *Afr. J. Microbiol. Res.* 6(3): 617-623, 23.
  26. Shearman, V.J., Sylvester-Bradley, R., Scott, R.K., and Foulkes, M.J. 2005. Physiological processes associated with wheat yield progress in UK. *Crop Sci.*, 45:175-185.
  27. Tatar, Ö. Brück, H., and Asch, F. 2016. Photosynthesis and remobilization of dry matter in wheat as affected by progressive drought stress at stem elongation stage. *J. Agron. Crop Sci.*, 202: 292-299.
  28. Valentovic, P., Luxova, M., Kolarovi, L., and Gasparikora. O. 2006. Effect of osmotic stress on compatible solutes content, memberane stability and water relation in two maize. *Plant Soil Environ.*, 52 (4):186-191.
  29. Weng, M., Cui, L., Liu, F., Zhang, M., Shan, L., Yang, S., and Deng, X. 2015.

- Effects of drought stress on antioxidant enzymes in seedlings of different wheat genotypes. *Pak. J. Bot.*, 47(1): 49-56.
30. Yadhu Suneja, A., Gupta, K., Sharma, A. and Bains, N.S. 2015. Differential response of wild and cultivated wheats to water deficits during grain development: changes in soluble carbohydrates and invertases. *Physiol. Mol. Biol. Plant.*, 21(2): 169-177.
31. Zhang, Y.P., Zhang, Y.H., Xue, Q.W., and Wang, Z.M. 2013. Remobilization of water soluble carbohydrates in non-leaf organs and contribution to grain yield in winter wheat under reduced irrigation. *Int. J. Plant Prod.*, 7(1): 97-116.

