

اثر تیمار قطع آبیاری انتهایی فصل رشد بر عملکرد دانه و برخی خصوصیات فیزیولوژیک گندم نان

ندا تیموری^۱، محسن سعیدی^{۲*}، محمد اقبال قبادی^۳ و شهریار ساسانی^۴

۱، ۲ و ۳) گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.
۴) بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران.

*نویسنده مسئول: msaeidi@razi.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۲/۰۸

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۰/۰۹

چکیده

با توجه به اهمیت فوق العاده وقوع تنش خشکی و اثر آن بر صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی و در نتیجه کاهش عملکرد گندم در مناطق خشک و نیمه خشک جهان (مانند اکثر مناطق ایران)، این تحقیق در همین راستا و به منظور بررسی اثر تیمار قطع آبیاری بر عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیک تیپ‌های مختلف رشدی گندم انجام شد. تحقیق به صورت مزرعه‌ای و در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی به روش کرت‌های یک بار خرد شده بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار در کرمانشاه در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ اجرا شد. در کرت‌های اصلی تیمار رطوبتی در دو سطح شاهد (آبیاری در تمام مراحل رشدی بر اساس نیاز آبی گیاه) و قطع آبیاری از اواسط اردیبهشت تا پایان فصل رشد و رقم‌های گندم شامل الوند، سیوند، زرین، باز، بهار، شهریار، نورستار، پیشگام، پیشتاز، کویر، اروم و پارسی در کرت‌های فرعی مقایسه شدند. نتایج نشان داد در شرایط شاهد رقم نورستار با ۱۲۷۰ کیلوگرم در هکتار کم‌ترین عملکرد دانه را داشت، اما دیگر رقم‌ها با متوسط ۴۶۰۰ کیلوگرم در هکتار از این نظر تفاوت معنی‌داری نداشتند. تیمار قطع آبیاری به طور متوسط سبب کاهش ۴۰ درصدی عملکرد دانه رقم‌ها شد. بیش‌ترین کاهش عملکرد دانه در رقم‌های کویر و شهریار به ترتیب با ۲۱۰۰ و ۲۲۱۰ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد. تیمار قطع آبیاری سبب کاهش معنی‌دار تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، غلظت پروتئین‌های محلول و محتوی نسبی آب برگ‌ها و افزایش معنی‌دار سرعت فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان پراکسیداز، سوپراکسیددیسموتاز و کاتالاز و تنظیم اسمزی (بیش از ۱۵۰ درصد) سلول‌ها شد، اما اثر معنی‌داری بر غلظت رنگدانه‌های فتوسنتزی و سطح برگ‌ها نداشت. عدم کاهش معنی‌دار محتوی رنگدانه‌های فتوسنتزی و سطح برگ در شرایط قطع آبیاری انتهایی فصل رشد را می‌توان با افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها و تنظیم اسمزی رقم‌های مورد بررسی مرتبط دانست.

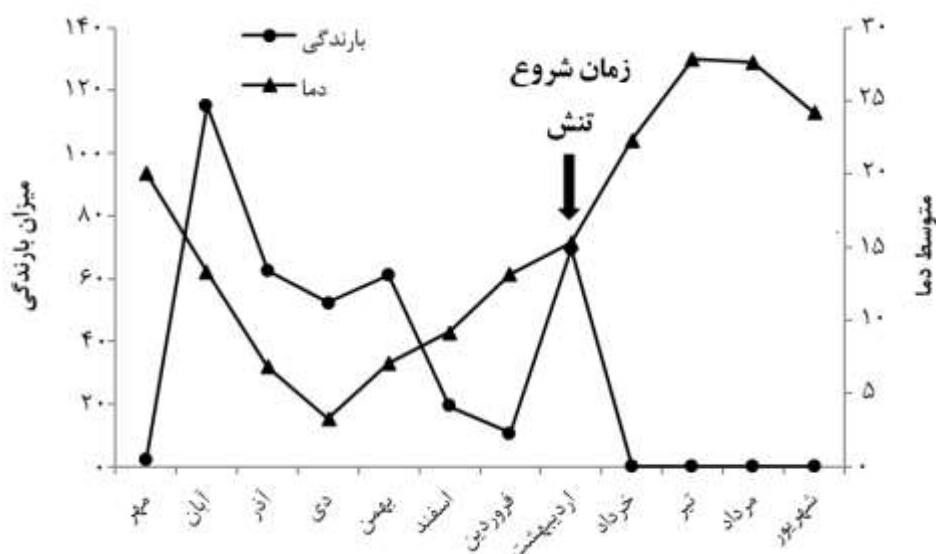
واژه‌های کلیدی: آنتی‌اکسیدان، تنظیم اسمزی، رنگدانه و کاتالاز.

مقدمه

تنش خشکی، بین سایر عوامل محیطی زنده و غیرزنده محدود کننده عملکرد گیاهان زراعی در جهان، مهم‌ترین عامل می‌باشد (Fahad *et al.*, 2017). وقوع تنش خشکی در زمان گرده‌افشانی و قبل از آن (مرحله نمو اندام‌های زایشی) بیشتر از طریق کاهش تعداد دانه در سنبله (Ma *et al.*, 2017) و پس از گرده‌افشانی (پرشدن دانه) همانند آنچه که اغلب در مناطق با آب و هوای مدیترانه‌ای مانند ایران اتفاق می‌افتد، بیشتر از طریق کاهش وزن هزار دانه موجب کاهش عملکرد دانه می‌شود (Blum, 1998; Saeidi and Abdoli, 2015). وقوع تنش خشکی با کاهش پایداری غشاء سلول‌ها (Amoah *et al.*, 2019) از طریق افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن مانند سوپر اکسید، پراکسید هیدروژن، گروه هیدروکسیل (Janku *et al.*, 2019)، کاهش محتوی رنگدانه‌های گیاهی مانند کلروفیل و کاروتنوئیدها (Fotovat *et al.*, 2007)، برهم زدن تنظیم اسمزی سلول‌ها (Loutfy *et al.*, 2012) و پیامد آن‌ها کاهش کارایی فتوسنتزی گیاهان (Prasad *et al.*, 2011) سبب کاهش رشد و کارایی گیاهان (Ahmad *et al.*, 2018) می‌شود. انباشت گونه‌های فعال اکسیژن تولید شده در طی وقوع تنش خشکی باعث ایجاد خسارت به ترکیبات سلولی از جمله DNA، پروتئین‌ها، چربی‌ها، گیرنده‌های نوری (فرخی و همکاران، ۱۳۹۸) و از همه مهم‌تر غشاء سلولی و در نهایت مرگ سلول می‌شوند (Janku *et al.*, 2019). گیاهان به کمک سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی و غیرآنتی‌اکسیدانی با خسارت‌های ناشی از تولید گونه‌های فعال اکسیژن مقابله کرده و به گیاهان کمک می‌کنند تا در شرایط وقوع تنش خشکی به رشد مناسب‌تر خود ادامه دهند (Sharma *et al.*, 2012). از مهم‌ترین آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌توان به سوپراکسید دیسموتاز (تبدیل کننده سوپر اکسید به پراکسید هیدروژن)، کاتالاز و پراکسیداز (تبدیل کننده پراکسید هیدروژن به آب) و از مهم‌ترین آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی به آسکوربات، گلوتاتیون، آلفاتوکوفرول، کاروتنوئیدها، پرولین و قندها اشاره نمود که در سلول‌های گیاهی و به منظور حذف گونه‌های فعال اکسیژن در شرایط وقوع تنش خشکی بیان می‌شوند (Soares *et al.*, 2019). از آنجا که وقوع تنش خشکی در گیاهان سبب افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود، سازگاری گیاهان به اثرهای مخرب تنش خشکی بستگی به قدرت سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی آن‌ها در این شرایط دارد (Amoah *et al.*, 2019). با توجه به مطالب ذکر شده، شناخت هرچه بیشتر صفات مرتبط با تحمل به تنش خشکی و بررسی رابطه آن‌ها با عملکرد ضروری است. بنابراین این تحقیق نیز در همین راستا و به منظور بررسی نحوه تغییرات عملکرد دانه و برخی صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی در تاثیر شرایط قطع آبیاری انتهای فصل رشد در رقم‌های مختلف گندم نان در تیمارهای مختلف اجرا شده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی و آزمایشگاه‌های گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه و مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ اجرا شد. محل اجرای آزمایش در طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۹ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی با ارتفاع ۱۳۱۹ متر از سطح دریا قرار دارد. میزان متوسط دما و بارندگی ماهیانه در منطقه طی سال زراعی مدنظر در شکل ۱ (منحنی آمبروترمیک) قابل مشاهده است. به منظور آماده‌سازی زمین، ابتدا شخم و دیسک زده شد. بذر رقم-های مورد نظر در اوایل آبان ماه با تراکم ۴۰۰ دانه در متر مربع کشت گردیدند. هر کرت شامل ۶ خط کاشت از هر رقم به طول شش متر و فاصله ۲۰ سانتی‌متر بین خطوط کشت بود. با توجه به نتایج آزمون خاک کود نیتروژنه در زمان‌های کاشت، ابتدای ساقه‌رفتن و ابتدای گرده‌افشانی به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار در هر مرحله مصرف گردید. علف‌های هرز پهن‌برگ در اواخر مرحله پنجه‌زنی، مزرعه با 2,4-D سم‌پاشی شد. برداشت در اواسط تیرماه سال ۱۳۹۲ انجام شد.

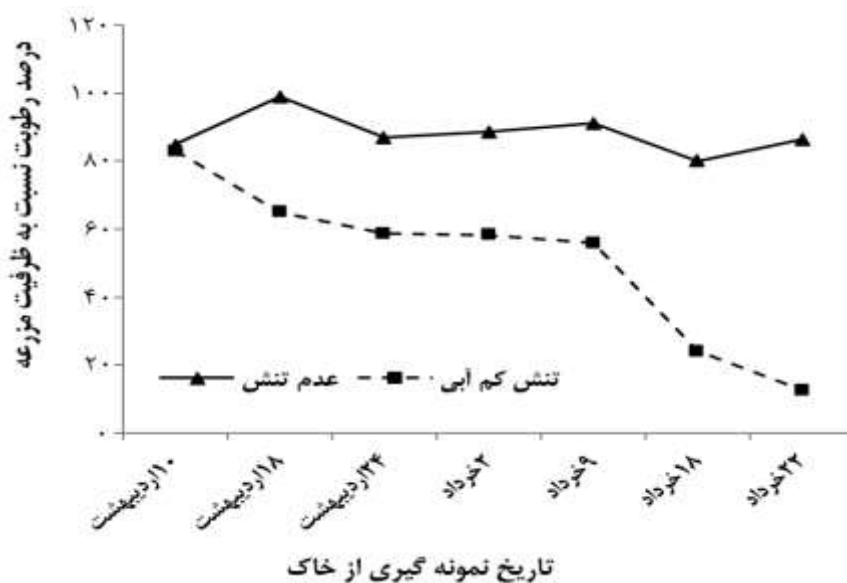


شکل ۱: روند تغییرات دما و بارندگی (منحنی آمبروترمیک) محل آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۱-۱۳۹۲ در منطقه کرمانشاه

این پژوهش به صورت آزمایش کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. تیمار رطوبتی در دو سطح شامل مطلوب رطوبتی (آبیاری در تمام مراحل رشد بر اساس نیاز آبی گیاه) و تیمار قطع آبیاری در کرت‌های اصلی قرار گرفتند. انتخاب زمان قطع آبیاری، بر اساس نتایج حاصل از منحنی آمبروترمیک که با استفاده از میانگین ۵۰ ساله داده‌های هواشناسی محل اجرای آزمایش رسم شده بود، تعیین گردید و تا زمان رسیدگی رقم‌های مورد

بررسی ادامه یافت (شکل ۱). مبنای انتخاب زمان اعمال تیمار قطع آبیاری براساس منحنی آمبروترمیک، پیشی گرفتن دما از بارندگی بود. در این شرایط تبخیر و تعرق از بارندگی پیشی می‌گیرد. نمودارهای آمبروترمیک برای شناخت ماه‌های خشک در ایستگاه مورد مطالعه تهیه می‌شوند. بر این اساس ماه‌های خشک، ماه‌هایی هستند که در آن‌ها دما بر بارندگی پیشی می‌گیرد (دل‌آور و حمیدی مدنی، ۱۳۹۳). با شروع اعمال تیمار قطع آبیاری به‌طور منظم نمونه‌گیری از خاک محل اجرای آزمایش در تیمار قطع آبیاری و شاهد رطوبتی جهت تخمین مقدار رطوبت خاک انجام شد و در پایان درصد رطوبت خاک بر اساس تغییرات آن نسبت به ظرفیت مزرعه محاسبه گردید. به‌منظور محاسبه درصد وزنی رطوبت خاک در نقطه ظرفیت مزرعه، ابتدا سه گلدان به‌صورت هم‌وزن با خاک پر و به آرامی تا خروج کامل هوای موجود در خلل و فرج خاک با آب تیمار گردیدند. بعد از پوشاندن سطح گلدان‌ها به وسیله فویل آلومینیومی (جهت جلوگیری از تبخیر از سطح خاک) گلدان‌ها به مدت ۴۸ ساعت روی سطوح مشبک جهت زهکشی و رسیدن به ظرفیت مزرعه قرار داده شدند. گلدان‌ها وزن شده و خاک آن‌ها در آون با دمای ۱۰۵ درجه‌سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند و وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری گردید (رمضان و عباس‌زاده، ۱۳۹۴). سپس با استفاده از رابطه ۱ درصد وزنی رطوبت خاک در نقطه ظرفیت مزرعه و دیگر نمونه‌های خاک محاسبه شد:

رابطه ۱: $FC_{100\%} = \frac{\text{وزن خاک خشک شده در آون} / 100 \times (\text{وزن خاک خشک شده در آون} - \text{وزن خاک در ظرفیت مزرعه})}{\text{وزن خاک خشک شده در آون}}$



شکل ۲: روند تغییرات درصد رطوبت خاک در سال زراعی ۱۳۹۱-۱۳۹۲

در کرت‌های فرعی ۱۲ رقم گندم از تیپ‌های مختلف رشدی شامل الوند (دوفصله)، سیوند (بهاره)، زرین (پاییزه)، باز (بهاره)، بهار (بهاره)، شهریار (پاییزه)، نورستار (پاییزه)، پیشگام (بینابین)، پیشتاز (بهاره)، کویر (بهاره)، اروم (دوفصله) و پارسی (بهاره) قرار گرفتند. معیار انتخاب رقم در این بررسی مطالعه نحوه واکنش تیپ‌های رشدی مختلف به تنش ناشی از قطع آبیاری در مراحل پایانی رشد گندم بود. بذر رقم‌های مورد مطالعه از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه تهیه شدند. برای محاسبه عملکرد دانه، پس از حذف اثر حاشیه‌ای در زمان رسیدگی تکنولوژیک از هر کرت یک متر برداشت صورت گرفت. از مجموع وزن سایر قسمت‌های هوایی بوته‌های برداشت شده عملکرد زیست‌توده محاسبه شد. پس از بوجاری و توزین دانه‌ها نیز عملکرد دانه محاسبه شد. شاخص برداشت از تقسیم نمودن عملکرد دانه هر رقم در هر تیمار بر عملکرد زیست‌توده همان رقم در همان تیمار محاسبه شد. برای اندازه‌گیری تعداد دانه در سنبله، پنج سنبله اصلی از بوته انتخاب گردیدند و پس از جداسازی دانه‌ها از بوته‌ها در مرحله تعیین عملکرد دانه، به‌صورت دستی تعداد دانه در سنبله شمارش شد. وزن هزار دانه هر ژنوتیپ در تیمارهای اعمال شده با شمارش سه نمونه ۱۰۰۰ تایی از دانه‌های برداشت شده از بوته‌ها بر حسب گرم اندازه‌گیری شد. تعداد سنبله در واحد سطح نیز در سطح یک متر مربعی تصادفی در هر کرت مورد شمارش قرار گرفت. جهت اندازه‌گیری سایر صفات‌های بیوشیمیایی از برگ پرچم و در زمان ۱۴ روز بعد از گرده‌افشانی استفاده گردید. اندازه‌گیری محتوی رنگدانه‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها با استفاده از روش Lichtenthaler (۱۹۸۷) انجام شد. برای اندازه‌گیری پتانسیل اسمزی پس از جمع‌آوری برگ‌ها، به سرعت قطعه قطعه شده و در داخل فویل آلومینیومی در فریزر در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت نگهداری شدند. سپس نمونه‌ها از فریزر خارج شدند. پس از ذوب شدن نمونه‌ها در دمای آزمایشگاه به سرعت داخل سرنگ ریخته شدند و شیره سلولی آن‌ها جدا شد. سپس مقدار ۵۰ میکرولیتر از شیره سلولی به‌دست آمده، داخل ظروف پلاستیکی ۰/۵ میلی-لیتری ریخته شده و توسط دستگاه اسمومتر مدل Smomat 100 پتانسیل اسمزی آن‌ها اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری پتانسیل اسمزی در شرایط تورژسانس کامل (Ψ_{100}) برگ‌های تیمار شاهد و تنش رطوبتی در آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت و در دمای چهار درجه سانتی‌گراد (در تاریکی) قرار داده شدند. سپس همانند روش بالا پتانسیل اسمزی شیره سلولی آن‌ها توسط دستگاه اسمومتر قرائت شد. تنظیم اسمزی کل از طریق اختلاف پتانسیل بین پتانسیل اسمزی در شرایط تورژسانس کامل در شرایط قطع آبیاری و کنترل رطوبتی با استفاده از رابطه ۲ محاسبه گردید (Zhang *et al.*, 1999).

$$OA_{100}(\text{percent}) = \left(\frac{\Psi_{sc}^{100} - \Psi_{ss}^{100}}{\Psi_{sc}^{100}} \right) * 100 \quad \text{رابطه ۲:}$$

در این رابطه، Ψ_{sc}^{100} پتانسیل اسمزی در شرایط شاهد و تورژانس کامل و Ψ_{ss}^{100} پتانسیل اسمزی در شرایط قطع آبیاری و تورژانس کامل بود. برای اندازه‌گیری سطح برگ، برگ‌های پنج بوته به برگ پرچم و سایر برگ‌ها تفکیک شده و سطح آن‌ها برحسب میلی‌متر مربع توسط دستگاه سطح برگ‌سنج (Leaf Area meter) اندازه‌گیری شدند. جهت اندازه‌گیری میزان محتوای آب نسبی برگ‌ها از روش Barr و Weatherley (۱۹۶۲) استفاده شد. به‌منظور اندازه‌گیری سرعت فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان از روش Ramachandra Reddy و همکاران (۲۰۰۴) استفاده گردید. در ادامه جهت اندازه‌گیری سرعت فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان پراکسیداز، سوپراکسیددیسموتاز و کاتالاز به ترتیب از روش‌های Chance و Maehly (۱۹۹۵)، Fridovich و Beauchamp (۱۹۷۱) و Sinha (۱۹۷۲) با اندکی تغییرات استفاده شد. اندازه‌گیری غلظت پروتئین‌های محلول نیز با استفاده از روش Bradford (۱۹۷۶) انجام شد. داده‌های جمع‌آوری شده برای صفات مورد بررسی در نرم‌افزار Excel وارد شده و برای انجام آنالیز داده‌ها از نرم‌افزار آماری SAS استفاده گردید. برای مقایسات میانگین‌ها نیز از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده گردید.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش رقم \times قطع آبیاری در شرایط شاهد رطوبتی رقم‌های پیشگام، اروم، سیوند، الوند، شهریار، پارسی، باز، کویر و پیشتاز به ترتیب با ۴۶۸، ۴۹۹، ۵۱۷، ۴۷۳، ۴۹۸، ۵۱۰، ۴۷۳، ۴۸۵ و ۴۸۶ گرم در متر مربع بدون تفاوت معنی‌دار با هم بالاترین و رقم نورستار با ۲۲۳ گرم در مترمربع کم‌ترین عملکرد دانه را داشتند (جدول ۱). تیمار قطع آبیاری باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه شد. بیش‌ترین عملکرد دانه در این شرایط مربوط به رقم‌های اروم، سیوند و پیشتاز به ترتیب با ۳۴۹، ۳۳۳ و ۳۱۰ و کم‌ترین عملکرد دانه مربوط به رقم نورستار با ۱۲۷ گرم در متر مربع بود. بیش‌ترین و کم‌ترین کاهش عملکرد دانه به ترتیب مربوط به رقم‌های کویر (۵۶ درصد) و اروم (۳۰ درصد) بود. دلیل عملکرد بسیار پایین رقم نورستار نسبت به سایر رقم‌های مورد بررسی به احتمال زیاد، نیاز بهاره‌سازی بالای و دیررسی این رقم و در نتیجه مواجهه دوران گلدهی این گیاه با تنش خشکی و حرارتی در انتهای فصل رشد می‌باشد. کاهش عملکرد دانه تحت تیمار قطع آبیاری در مراحل پایانی رشد گندم در گزارش‌های متعدد دیگر نیز گزارش شده است (اردلانی و همکاران، ۱۳۹۳؛ اسداله‌زاده و همکاران، ۱۳۹۸). بروز تنش خشکی در این شرایط ممکن است عملکرد دانه را از طریق کاهش ذخیره‌سازی مواد پرورده در دانه‌ها (Saeidi and Abdoli, 2015) و یا کاهش ظرفیت ذخیره‌سازی دانه‌ها کاهش دهد (Dong et al., 2017). در شرایط شاهد بیش‌ترین عملکرد بیولوژیک مربوط به رقم پارسی، نورستار، شهریار و کویر بود. تیمار قطع آبیاری باعث کاهش معنی‌دار این صفت در رقم‌های مورد بررسی شد. بیش‌ترین و کم‌ترین درصد کاهش عملکرد زیست‌توده در این شرایط به ترتیب مربوط به رقم‌های نورستار و کویر (۳۷ درصد) و زرین (نه درصد) بود (جدول

۱). در شرایط تیمار تنش خشکی، پیری زودرس اندام‌های فتوسنتز کننده و هم‌چنین کاهش سرعت فتوسنتز گیاه باعث کاهش کل زیست توده تولیدی می‌گردد (Gao *et al.*, 2019). با توجه به اینکه شاخص برداشت از جمله صفاتی است که می‌تواند در شرایط عدم تنش و تنش خشکی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشد، بنابراین توجه بیشتر به این صفت در برنامه‌های به‌نژادی ضروری می‌باشد. کمترین و بیش‌ترین شاخص برداشت در شرایط شاهد رطوبتی به ترتیب مربوط به رقم نورستار (۱۲ درصد) و رقم‌های زرین، اروم، سیوند، الوند، باز و پیشتاز (به ترتیب با ۳۲، ۳۰، ۳۲، ۳۱، ۳۳، ۳۱، ۳۰ درصد) بود. تیمار قطع آبیاری باعث کاهش معنی‌دار این صفت شد. بیش‌ترین و کم‌ترین درصد کاهش نسبت به شرایط شاهد در این شرایط مربوط به رقم شهریار (۴۰ درصد) و رقم اروم (چهار درصد) بود (جدول ۲). تنش کمبود آب از زمان گل‌دهی به بعد از طریق کاهش بیشتر عملکرد دانه نسبت به عملکرد زیست‌توده سبب کاهش معنی‌دار شاخص برداشت می‌شود. به عبارت دیگر وابستگی شاخص برداشت در چنین شرایطی به عملکرد دانه بیشتر از عملکرد زیست توده است (Kobata *et al.*, 2018). بیش‌ترین وزن هزار دانه در شرایط شاهد مربوط به رقم‌های سیوند، پارسی، الوند، پیشتاز و اروم به ترتیب با ۴۹، ۴۸/۷، ۴۵/۸، ۴۵/۸ و ۴۱ گرم و کم‌ترین وزن هزار دانه مربوط به رقم‌های کویر، نورستار و زرین به ترتیب با ۲۸، ۳۱ و ۳۲ گرم بود. تیمار قطع آبیاری باعث کاهش معنی‌دار این صفت شد. بیش‌ترین و کم‌ترین کاهش وزن هزار دانه در رقم‌های الوند (۴۵ درصد) و باز (۱۹ درصد) دیده شد (جدول ۱). کاهش وزن هزار دانه رقم‌های گندم در چنین شرایطی نشان‌دهنده عدم تأمین مواد فتوسنتزی مورد تقاضای دانه‌ها می‌باشد. چنین واکنشی در مطالعه‌های دیگر نیز گزارش شده است (اردلانی و همکاران، ۱۳۹۳؛ اسداله‌زاده و همکاران، ۱۳۹۸). تیمار قطع آبیاری باعث کاهش معنی‌دار تعداد دانه در سنبله شد. بیش‌ترین تعداد دانه در سنبله در شرایط شاهد و در رقم‌های اروم، سیوند، الوند و پارسی به ترتیب با ۵۴، ۴۹، ۵۰ و ۴۹ دانه در سنبله بود. بیش‌ترین و کم‌ترین درصد کاهش تعداد دانه در سنبله به ترتیب مربوط به رقم‌های الوند (۵۳ درصد) و زرین (۸ درصد) بود (جدول ۲). کاهش تعداد دانه در سنبله در تیمار قطع آبیاری در این بررسی ممکن است به این علت باشد که شروع این تیمارها در زمان ۵۰ درصد گرده‌افشانی بوده و به این علت که در این مرحله تعدادی از گلچه‌ها هنوز تلقیح نشده بودند. اعمال تیمار قطع آبیاری ممکن است سبب از بین رفتن تعدادی از این گلچه‌ها شده باشد. کاهش تعداد دانه در اثر اعمال تنش کم‌آبی در مرحله گرده‌افشانی و پس از آن، ممکن است به دلیل اختلال در گرده‌افشانی، عقیم شدن دانه‌های گرده و اختلال در فتوسنتز جاری و انتقال مجدد مواد ذخیره شده از بخش‌های مختلف گیاهی از جمله ساقه‌ها می‌باشد. اعمال تیمار قطع آبیاری سبب کاهش معنی‌دار تعداد سنبله زایا در متر مربع نسبت به شرایط شاهد شد. بیش‌ترین تعداد سنبله زایا در متر مربع مربوط به رقم‌های کویر و شهریار با ۵۶۸ سنبله در شرایط شاهد و کم‌ترین تعداد مربوط به رقم پیشگام با ۲۴۶ سنبله زایا در شرایط تیمار قطع آبیاری بود. کم‌ترین درصد کاهش تعداد سنبله زایا در متر مربع نسبت به

شرایط شاهد مربوط به رقم‌های باز و شهریار (به ترتیب با ۲ و ۵ درصد) و بیش‌ترین کاهش مربوط به رقم‌های الوند و کویر و پیش‌تاز (به ترتیب با ۴۸ و ۴۴ درصد) بود (جدول ۱).

رنگدانه‌های فتوسنتزی

تیمار قطع آبیاری سبب کاهش محتوی کلروفیل a برگ برخی رقم‌ها مانند اروم، سیوند، الوند، بهار، پاریسی، باز، کویر و پیش‌تاز و افزایش محتوی این نوع کلروفیل در برگ دیگر رقم‌ها نظیر نورستار، زرین، پیشگام و شهریار شد. تیمار قطع آبیاری بیش‌ترین درصد کاهش محتوی کلروفیل a را در رقم سیوند (۲۶ درصد) و بیش‌ترین درصد افزایش را در رقم شهریار (۹۵ درصد) ایجاد نمود (جدول ۳). در همین ارتباط آذری نصرآباد و همکاران (۱۳۹۶) گزارش کردند که محتوی کلروفیل a در اثر تنش خشکی به‌طور قابل توجهی کاهش پیدا کرد. این نتیجه ممکن است به‌دلیل افزایش سرعت فعالیت آنزیم کلروفیل‌لاز و در نتیجه تخریب و تجزیه رنگدانه‌های فتوسنتزی باشد، اما افزایش محتوی کلروفیل a در شرایط قطع آبیاری ممکن است به‌علت کوچک شدن سلول‌های برگ در نتیجه کاهش سطح برگ و ضخیم شدن آن‌ها باشد (Romero *et al.*, 2017). با توجه به وجود تنوع نیاز به‌اره‌سازی بین رقم‌های مورد بررسی، واکنش متفاوت آن‌ها از نظر این صفت به قطع آبیاری قابل توجهی است. اثر تیمار قطع آبیاری بر محتوی کلروفیل b و کلروفیل کل معنی‌دار نشد. در این شرایط رقم‌های باز، کویر، پیش‌تاز، پیشگام و اروم بالاترین محتوی کلروفیل b را دارا بودند. بین بقیه رقم‌ها از این نظر تفاوت معنی‌دار دیده نشد. از نظر غلظت کلروفیل کل، رقم شهریار کم‌ترین و رقم پیشگام بیش‌ترین مقدار را دارا بودند. قطع آبیاری اثر معنی‌دار بر محتوی کاروتنوئیدها نداشت. از نظر محتوی کاروتنوئیدها رقم پیشگام بیش‌ترین و رقم‌های زرین، الوند و شهریار کم‌ترین میزان را دارا بودند (جدول ۲). با توجه به نقش چندگانه کاروتنوئیدها به‌طور مثال مشارکت در فتوسنتز به‌عنوان گیرنده و نقش آنتی‌اکسیدانی، عدم اثر تیمار قطع آبیاری بر غلظت آن‌ها می‌تواند در جهت مقاومت گیاه به شرایط تنش موثر باشد (Arabshahi and Mobasser, 2017).

پتانسیل اسمزی

مقایسه میانگین برهم‌کنش تیمار قطع آبیاری و رقم نشان داد که در شرایط شاهد تفاوتی بین رقم‌های مورد بررسی از نظر تنظیم اسمزی وجود نداشت. وقوع تیمار قطع آبیاری سبب تحریک سلول‌ها به تنظیم اسمزی شد. بیش‌ترین میزان تنظیم اسمزی در این شرایط در رقم‌های اروم و زرین به ترتیب با $-0/93$ و $-0/90$ بار و کم‌ترین مقدار در رقم باز با $-0/39$ بار دیده شد (جدول ۵). تیمار قطع آبیاری سبب تنظیم اسمزی در سایر رقم‌های مورد بررسی گردید. بیش‌ترین درصد افزایش تنظیم اسمزی نسبت به شرایط شاهد مربوط به رقم‌های اروم با 304 درصد و زرین با 260 درصد و کم‌ترین مقدار مربوط به رقم باز با 85 درصد بود (جدول ۳). تنظیم اسمزی یکی از سازوکارهای کلیدی گیاهان جهت تحمل شرایط تنش

خشکی می‌باشد. در این شرایط گیاه با افزایش تجمع اسمولیت‌های سازگار در درون سلول‌ها از خروج آب از سلول‌ها جلوگیری کرده و حتی سبب جذب آب به درون سلول‌ها مخصوصاً از محلول خاک می‌شود (Blum, 2017). قدرت بالاتر تنظیم اسمزی برگ‌ها در شرایط تنش کم‌آبی می‌تواند سبب حفظ بالاتر مقدار آب نسبی برگ و در نهایت کاهش کمتر ظرفیت فتوسنتزی برگ‌ها و کاهش کمتر عملکرد دانه شود (Khlebova et al., 2018).

سطح برگ

نتایج نشان دادند که رقم‌ها دارای تفاوت معنی‌داری از نظر سطح برگ بودند. رقم اروم با $955/9$ میلی‌متر مربع در بوته بیش‌ترین و رقم نورستار با $211/7$ میلی‌متر مربع در بوته کم‌ترین سطح برگ را داشتند. تیمار قطع آبیاری اثر معنی‌دار بر سطح برگ رقم‌های مورد بررسی نداشت (جدول ۲).

محتوی نسبی آب برگ

در شرایط شاهد رقم‌های مورد بررسی از نظر محتوی نسبی آب برگ با هم تفاوت معنی‌دار داشتند. کم‌ترین محتوی نسبی آب برگ مربوط به رقم‌های کویر و پیش‌تاز بود. بقیه رقم‌ها تفاوت معنی‌داری نداشتند. تیمار قطع آبیاری موجب کاهش محتوی نسبی آب برگ سایر رقم‌های مورد بررسی شد. بیش‌ترین تغییرات مربوط به رقم نورستار با ۴۸ درصد و کم‌ترین مربوط به رقم‌های پیش‌تاز و باز با ۱ درصد بود (جدول ۳). محتوای نسبی آب برگ معرف بسیار خوبی از وضعیت آبی گیاه است و به‌عنوان یک شاخص انتخاب جهت تحمل به خشکی پیشنهاد می‌شود. نتایج بررسی Ahmad و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که محتوی نسبی آب برگ بالا با افزایش عملکرد و اجزای آن در ارتباط می‌باشد و قطع آبیاری موجب کاهش محتوی نسبی آب برگ و عملکرد رقم‌های گندم شد. رقم‌های با محتوی نسبی آب برگ بالا با بستن روزه‌های خود و تعرق کمتر در شرایط قطع آبیاری و یا به لحاظ داشتن سیستم ریشه‌ای قوی‌تر می‌توانند آب را از اعماق خاک جذب کرده و به اندام‌های هوایی منتقل کنند و محتوی نسبی آب برگ خود را در سطح بالایی حفظ کنند (Ahmad et al., 2018). کاهش محتوی نسبی آب برگ در مواجهه با شرایط قطع آبیاری توسط حسینی و همکاران (۱۳۹۷) و موقوفه و همکاران (۱۳۹۷) نیز گزارش شده است.

آنزیم پراکسیداز

بیش‌ترین سرعت فعالیت آنزیم پراکسیداز در مربوط به رقم پیش‌گام در شرایط قطع آبیاری و کم‌ترین سرعت فعالیت این آنزیم در شرایط کنترل مربوط به رقم‌های زرین، پیش‌گام، باز و کویر بود. قطع آبیاری باعث افزایش معنی‌دار سرعت فعالیت آنزیم پراکسیداز در سایر رقم‌های مورد بررسی به غیر از الوند و شهریار شد. در این شرایط بیش‌ترین افزایش سرعت فعالیت آنزیم پراکسیداز مربوط به رقم پیش‌گام با ۲۳۶ درصد افزایش و کم‌ترین مربوط به رقم‌های شهریار و الوند با ۲ و ۱۱

درصد کاهش بود (جدول ۴). این آنزیم نقش ویژه‌ای در حذف پراکسید هیدروژن موجود در سلول دارد و به‌عنوان یک شاخص مهم بیوشیمیایی جهت شناسایی رقم‌های مقاوم از رقم‌های حساس گیاهی در مواجهه با تنش‌های محیطی شناخته شده است (Soares *et al.*, 2019). Amoah و همکاران (۲۰۱۹) در همین ارتباط معتقدند که افزایش بیشتر سرعت فعالیت آنزیم پراکسیداز در رقم‌های مختلف گندم با حساسیت بیشتر همبستگی دارد.

آنزیم سوپراکسید دیسموتاز

بیشترین و کم‌ترین سرعت فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز به ترتیب در رقم‌های زرین در شرایط قطع آبیاری و سیوند در شرایط شاهد با ۲۵۲ و ۵۲ واحد آنزیمی بر گرم در میلی‌گرم پروتئین محلول به‌دست آمد. قطع آبیاری باعث تغییر معنی‌دار در سرعت فعالیت این آنزیم شد. در سایر رقم‌ها به غیر از شهریار، بهار و پیشناز این تغییر افزایشی بود. بیش‌ترین افزایش نسبت به شرایط شاهد در رقم اروم با ۵۲۱ درصد و بیش‌ترین کاهش نسبت به شرایط شاهد مربوط به رقم شهریار با ۷۷ درصد مربوط به رقم پیشناز با ۲۲ درصد بود (جدول ۴). این آنزیم اولین سد دفاعی در برابر تولید گونه‌های فعال اکسیژن می‌باشد. افزایش سرعت فعالیت این آنزیم در شرایط وقوع قطع آبیاری با فعال شدن سازوکار دفاعی و مقاومت به تنش وابسته است (Amoah *et al.*, 2019). افزایش سرعت فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در رقم‌های مقاوم به تنش‌های شوری و خشکی بیشتر از رقم‌های حساس به این تنش‌ها می‌باشد و با افزایش شدت تنش و سن گیاه سرعت فعالیت این آنزیم در گیاهان تحت تنش به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد (اردلانی و همکاران، ۱۳۹۳).

آنزیم کاتالاز

اعمال تیمار قطع آبیاری اواخر فصل رشد سرعت فعالیت آنزیم کاتالاز را در سایر رقم‌های مورد بررسی به غیر از شهریار و بهار افزایش داد. در شرایط قطع آبیاری این آنزیم بیشترین سرعت فعالیت را در رقم‌های نورستار و سیوند دارا بود. بیش‌ترین درصد تغییرات سرعت فعالیت این آنزیم نسبت به شرایط شاهد مربوط به رقم سیوند با ۴۶۶ درصد افزایش و کم‌ترین تغییرات مربوط به رقم‌های شهریار با و بهار به ترتیب با ۳۷ و ۴۲ درصد کاهش بود (جدول ۴). یکی از آنتی-اکسیدان‌های موثر در سیستم دفاعی اکثر گیاهان در مقابله با تنش‌های غیرزنده آنزیم کاتالاز می‌باشد. افزایش سرعت فعالیت این آنزیم به افزایش محتوی پراکسید هیدروژن همبستگی دارد و در جهت افزایش مقاومت به تنش خشکی انجام می‌شود (Amoah *et al.*, 2019). نتایج بررسی Mohammadkhani و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند که در ژنوتیپ‌های مقاوم به تنش خشکی سرعت فعالیت آنزیم کاتالاز به‌طور معنی‌داری از رقم‌های حساس بیشتر بود.

جدول ۱: مقایسه میانگین برهم کنش رقم و رژیم رطوبتی بر عملکرد و اجزای آن در رقم‌های مختلف گندم نان تحت شرایط شاهد و تیمار قطع آبیاری

رقم‌های گندم	عملکرد دانه (گرم در متر مربع)		درصد تغییرات	عملکرد بیولوژیک (گرم در متر مربع)		درصد تغییرات	شاخص برداشت (درصد)		درصد تغییرات	وزن هزار دانه (گرم)		درصد تغییرات	تعداد دانه در سنبله		درصد تغییرات	تعداد سنبله زایا در واحد سطح (سنبله در متر مربع)		درصد تغییرات		
	شاهد	قطع آبیاری		شاهد	قطع آبیاری		شاهد	قطع آبیاری		شاهد	قطع آبیاری		شاهد	قطع آبیاری		شاهد	قطع آبیاری		شاهد	قطع آبیاری
	۲۲۳ ⁱ	۱۲۷ ^j		۴۵۱ ^{bc}	۲۸۸ ^{efg}		۴۹۹ ^{ab}	۳۴۹ ^d		۵۱۷ ^a	۴۷۳ ^{ab}		۴۹۸ ^{ab}	۲۲۱ ⁱ		۴۲۵ ^c	۵۱۰ ^a		۴۷۳ ^{ab}	۴۸۵ ^{ab}
نورستار	۱۸۵۱ ^a	۱۱۵۱ ^{gh}	-۴۳	۱۴۳۰ ^{cde}	۱۲۸۹ ^{e-h}	-۳۶	۱۲/۰۸ ^{kl}	۱۱/۱۲ ^l	-۸	۳۲/۳۹ ^{cd}	۲۰/۱۲ ^g	-۲۸	۳۴/۳۰ ^{e-h}	۲۲/۵۹ ^k	۲۹۹ ^{ghi}	۲۸۷ ^{ghi}	-۴			
زرین	۴۵۱ ^{bc}	۲۸۸ ^{efg}	-۳۶	۴۹۹ ^{ab}	۳۴۹ ^d	-۳۰	۴۵۱ ^a	۳۱۰ ^{def}	-۴۰	۲۸/۰۲ ^{de}	۲۱/۸۰ ^{fg}	-۲۲	۳۱/۶۰ ^{g-j}	۲۸/۸۴ ^{h-k}	۲۹۲ ^{ghi}	۳۶۴ ^{efg}	-۱۹			
پیشگام	۴۶۸ ^{abc}	۲۸۸ ^{efg}	-۳۸	۴۶۸ ^{abc}	۱۵۷۳ ^{bc}	-۳۸	۳۰/۰۰ ^{a-d}	۲۳/۵۲ ^{efg}	-۲۱	۴۱/۴۲ ^b	۳۰/۲۹ ^{cd}	-۲۷	۴۱/۵۳ ^{cd}	۳۴/۸۹ ^{d-h}	۲۴۶ ⁱ	۳۳۸ ^{efg}	-۲۷			
اروم	۴۹۹ ^{ab}	۳۴۹ ^d	-۳۰	۴۹۹ ^{ab}	۱۵۶۳ ^{bc}	-۳۰	۳۲/۰۲ ^{ab}	۳۰/۵۲ ^{a-d}	-۴	۴۱/۰۱ ^a	۳۰/۳۶ ^{cd}	-۴۱	۵۳/۵۱ ^a	۳۶/۳۶ ^{d-g}	۲۹۷ ^{ghi}	۴۴۵ ^{cd}	-۳۲			
سیوند	۵۱۷ ^a	۳۳۳ ^{de}	-۳۵	۵۱۷ ^a	۱۶۵۹ ^b	-۳۵	۳۱/۲۴ ^{abc}	۲۷/۲۹ ^{cde}	-۱۲	۴۹/۰۸ ^a	۳۰/۲۰ ^{cd}	-۳۸	۴۸/۷۵ ^{ab}	۳۴/۸۷ ^{d-h}	۳۲۰ ^{ghi}	۴۰۸ ^{de}	-۲۱			
الوند	۴۷۳ ^{ab}	۲۴۱ ^{hi}	-۴۹	۴۷۳ ^{ab}	۱۴۴۰ ^{cde}	-۴۹	۳۲/۹۷ ^a	۲۰/۹۰ ^{ghi}	-۳۶	۴۵/۸۰ ^a	۲۵/۴۱ ^{ef}	-۴۵	۵۰/۲۳ ^{ab}	۲۳/۱۸ ^k	۲۵۲ ^{hi}	۴۸۹ ^{bc}	-۴۸			
شهریار	۴۹۸ ^{ab}	۲۲۱ ⁱ	-۵۵	۴۹۸ ^{ab}	۱۸۹۹ ^a	-۵۵	۲۶/۲۶ ^{def}	۱۵/۵۸ ^{jk}	-۴۰	۳۷/۴۹ ^b	۲۳/۷۲ ^{efg}	-۳۷	۴۰/۲۰ ^{c-f}	۲۵/۲۵ ^{jk}	۵۱۸ ^{ab}	۵۶۸ ^a	-۳۷			
بهار	۴۲۵ ^c	۲۱۹ ⁱ	-۴۸	۴۲۵ ^c	۱۶۲۵ ^{bc}	-۴۸	۲۶/۲۲ ^{def}	۱۸/۵۲ ^{hij}	-۲۹	۳۷/۳۱ ^b	۲۵/۴۲ ^{ef}	-۳۲	۳۲/۷۸ ^{ghi}	۲۴/۹۳ ^{jk}	۳۰۲ ^{ghi}	۴۰۴ ^{def}	-۲۳			
پارسی	۵۱۰ ^a	۲۷۵ ^{fgh}	-۴۶	۵۱۰ ^a	۲۰۳۲ ^a	-۴۶	۲۵/۱۳ ^{efg}	۲۰/۷۴ ^{ghi}	-۱۷	۴۸/۷۱ ^a	۳۳/۰۴ ^c	-۳۲	۴۹/۰۵ ^{ab}	۳۳/۸۰ ^{f-i}	۳۴۵ ^{efg}	۴۲۳ ^{cd}	-۳۱			
باز	۴۷۳ ^{ab}	۲۴۷ ^{ghi}	-۴۷	۴۷۳ ^{ab}	۱۵۳۳ ^{bcd}	-۴۷	۳۱/۰۶ ^{a-d}	۲۰/۹۷ ^{ghi}	-۳۲	۳۹/۸۸ ^b	۳۲/۲۸ ^{cd}	-۱۹	۴۰/۸۶ ^{cde}	۳۳/۶۱ ^{f-i}	۳۳۶ ^{gh}	۳۳۴ ^{fg}	-۱۷			
کویر	۴۸۵ ^{ab}	۲۱۰ ⁱ	-۵۶	۴۸۵ ^{ab}	۱۹۹۸ ^a	-۵۶	۲۴/۲۸ ^{efg}	۱۷/۰۸ ^{ij}	-۲۹	۳۱/۰۰ ^{cd}	۲۰/۴۲ ^g	-۳۴	۳۵/۴۰ ^{d-h}	۲۷/۱۲ ^{ijk}	۳۱۳ ^{ghi}	۵۶۸ ^a	-۲۳			
پیشناز	۴۸۶ ^{ab}	۳۱۰ ^{def}	-۳۶	۴۸۶ ^{ab}	۱۶۱۹ ^{bc}	-۳۶	۳۰/۰۶ ^{a-d}	۲۷/۸۹ ^{b-e}	-۷	۴۵/۷۶ ^a	۳۱/۱۹ ^{cd}	-۳۲	۴۶/۵۵ ^{bc}	۳۱/۳۶ ^{g-j}	۲۵۸ ^{hi}	۴۶۴ ^{bcd}	-۳۲			

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار با هم ندارند.

- و + به ترتیب کاهش و افزایش نسبت به شرایط شاهد هستند.

جدول ۲: مقایسه میانگین اثرهای ساده رقم و رژیم رطوبتی بر غلظت کلروفیل a و کل، کاروتنوئیدها و سطح برگ

تیمار	کلروفیل b (میلی گرم بر گرم وزن تر برگ)	کلروفیل کل (میلی گرم بر گرم وزن تر برگ)	کاروتنوئیدها (میلی گرم بر گرم وزن تر برگ)	سطح برگ (میلی متر مربع)
ارقام				
نورستار	۱/۴۸ ^{b-c}	۵/۳۷ ^{bc}	۰/۷۷ ^{bc}	۲۱۱/۷ ^f
زرین	۱/۳۹ ^{de}	۴/۰۸ ^{de}	۰/۴۵ ^e	۵۵۱/۹ ^b
پیشگام	۱/۶۷ ^{abc}	۶/۳۰ ^a	۰/۹۵ ^a	۴۲۱/۴ ^c
اروم	۱/۷۶ ^a	۵/۹۷ ^{ab}	۰/۸۱ ^{ab}	۹۵۵/۹ ^a
سیوند	۱/۴۳ ^{cde}	۴/۱۵ ^{de}	۰/۴۹ ^e	۳۹۹/۴ ^c
الوند	۱/۳۵ ^{de}	۴/۰۴ ^{de}	۰/۴۶ ^e	۴۱۳/۰ ^c
شهریار	۱/۳۱ ^e	۳/۵۸ ^e	۰/۴۷ ^e	۲۶۸/۳ ^e
بهار	۱/۴۳ ^{cde}	۴/۶۵ ^{cd}	۰/۵۹ ^{cde}	۳۷۹/۸ ^c
پارسی	۱/۴۵ ^{cde}	۵/۰۳ ^c	۰/۷۰ ^{bcd}	۲۶۷/۸ ^e
باز	۱/۵۳ ^{ab-e}	۵/۰۳ ^c	۰/۶۳ ^{b-e}	۲۷۶/۰ ^e
کویر	۱/۷۱ ^{ab}	۵/۰۶ ^c	۰/۵۷ ^{de}	۲۶۸/۰ ^e
پیشناز	۱/۵۹ ^{a-d}	۵/۱۷ ^c	۰/۶۳ ^{b-e}	۳۲۸/۴ ^d
رژیم رطوبتی				
شاهد رطوبتی	۱/۵۳ ^a	۴/۹۶ ^a	۰/۶۳ ^a	۳۹۹/۳۶ ^a
قطع آبیاری	۱/۵۰ ^a	۴/۸۱ ^a	۰/۶۳ ^a	۳۹۰/۹۵ ^a
درصد تغییرات	-۲	-۳	۰	-۲

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار با هم ندارند.

- و + به ترتیب کاهش و افزایش نسبت به شرایط شاهد هستند.

جدول ۳: مقایسه میانگین برهم کنش رقم و رژیم رطوبتی بر کلروفیل a، پتانسیل اسمزی و محتوی نسبی آب برگ در رقم‌های مختلف گندم نان تحت شرایط کنترل و قطع آبیاری

رقم‌ها	کلروفیل a					
	(میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)		درصد تغییرات	پتانسیل اسمزی (بار)		درصد تغییرات
	کنترل	قطع آبیاری		کنترل	قطع آبیاری	
نورستار	۳/۵۹ ^{b-f}	۴/۱۸ ^{a-d}	+۱۶	-۰/۱۸ ^h	-۰/۴۶ ^{efg}	+۱۵۵
زرین	۲/۶۵ ^{fg}	۲/۷۳ ^{fg}	+۳	-۰/۲۵ ^h	-۰/۹۰ ^a	+۲۶۰
پیشگام	۴/۵۵ ^{ab}	۴/۷۲ ^a	+۴	-۰/۱۵ ^h	-۰/۴۴ ^{fg}	+۱۹۳
اروم	۴/۴۶ ^{abc}	۳/۹۶ ^{a-e}	-۱۱	-۰/۲۳ ^h	-۰/۹۳ ^a	+۳۰۴
سیوند	۳/۱۳ ^{efg}	۲/۳۱ ^{gh}	-۲۶	-۰/۲۴ ^h	-۰/۶۹ ^{bc}	+۱۸۷
الوند	۳/۰۰ ^{efg}	۲/۳۹ ^{gh}	-۲۰	-۰/۱۸ ^h	-۰/۶۲ ^{bcd}	+۲۴۴
شهریار	۱/۵۳ ^h	۲/۹۹ ^{efg}	+۹۵	-۰/۲۴ ^h	-۰/۷۲ ^b	+۲۰۰
بهار	۳/۴۸ ^{c-f}	۲/۹۵ ^{efg}	-۱۵	-۰/۲۳ ^h	-۰/۶۰ ^{b-e}	+۱۶۰
پارسی	۳/۸۵ ^{a-e}	۳/۳۱ ^{d-g}	-۱۴	-۰/۲۲ ^h	-۰/۴۸ ^{d-g}	+۱۱۸
باز	۳/۵۴ ^{b-f}	۳/۴۵ ^{c-f}	-۳	-۰/۲۱ ^h	-۰/۳۹ ^g	+۸۵
کوبیر	۳/۴۶ ^{c-f}	۳/۲۴ ^{d-g}	-۶	-۰/۱۶ ^h	-۰/۴۶ ^{efg}	+۱۸۷
پیشناز	۳/۶۸ ^{b-f}	۳/۶ ^{c-f}	-۲	-۰/۱۹ ^h	-۰/۵۷ ^{c-f}	+۲۰۰

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار با هم ندارند.

- و + به ترتیب کاهش و افزایش نسبت به شرایط شاهد هستند.

جدول ۴: مقایسه میانگین برهم کنش رقم و رژیم رطوبتی بر سرعت فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و غلظت پروتئین‌های محلول

در رقم‌های مختلف گندم نان تحت شرایط شاهد و قطع آبیاری

رقم‌های	آنزیم پراکسیداز			آنزیم سوپراکسید دیسموتاز			آنزیم کاتالاز			پروتئین‌های محلول	
	(واحد بر گرم در میلی‌گرم پروتئین)		درصد	(واحد بر گرم در میلی‌گرم پروتئین)		درصد	(واحد بر گرم در میلی‌گرم پروتئین)		درصد	(میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	
	تغییرات		تغییرات	تغییرات		تغییرات	تغییرات		تغییرات	تغییرات	
	محلول			محلول			محلول			محلول	
	شاهد	قطع آبیاری		شاهد	قطع آبیاری		شاهد	قطع آبیاری		شاهد	قطع آبیاری
نورستار	۶/۱۱ ^{hi}	۱۵/۳۶ ^b	+۱۵۱	۷۳/۳۹ ^{ghi}	۱۷۰ ^d	+۱۳۲	۲۱۳ ^{efg}	۴۸۴ ^a	+۱۲۶	۱۱/۵۱ ^{a-e}	۱۰/۴۹ ^{a-g}
زرین	۵/۴۳ ⁱ	۱۲/۲۵ ^c	+۱۲۶	۷۴/۰۸ ^{ghi}	۲۵۲ ^a	+۲۴۰	۲۴۴ ^{ef}	۳۸۴ ^{bc}	+۵۷	۱۲/۱۶ ^{ab}	۱۰/۳۳ ^{a-g}
پیشگام	۵/۶۴ ⁱ	۱۹/۰۰ ^a	+۲۳۶	۸۱/۱۳ ^{fgh}	۱۱۲ ^{ef}	+۳۹	۱۱۵ ^{hij}	۲۱۳ ^{efg}	+۸۴	۱۱/۷۵ ^{abc}	۸/۳۶ ^h
اروم	۶/۱۹ ^{ghi}	۸/۹۳ ^{d-g}	+۴۴	۳۳/۸۲ ^j	۲۱۰ ^{bc}	+۵۲۱	۸۴/۹۱ ^{ij}	۳۲۷ ^{cd}	+۲۸۵	۱۱/۷۸ ^{a-f}	۸/۷۰ ^{gh}
سیوند	۷/۳۴ ^{f-i}	۱۰/۹۳ ^{cde}	+۴۹	۵۲/۰۰ ^{hij}	۹۰/۰۰ ^{fgh}	+۷۱	۷۴/۲۲ ^j	۴۲۰ ^{ab}	+۴۶۶	۱۲/۳۰ ^a	۱۱/۳۷ ^{a-e}
الوند	۷/۴۰ ^{f-i}	۶/۵۹ ^{ghi}	-۱۱	۱۰۵ ^{efg}	۲۰۴ ^c	+۹۳	۹۳/۹۵ ^{ij}	۲۲۵ ^{efg}	+۱۴۰	۱۰/۴۰ ^{a-f}	۹/۵۴ ^{e-h}
شهریار	۷/۰۶ ^{f-i}	۶/۹۱ ^{f-i}	-۲	۲۳۶ ^{abc}	۵۴/۰۵ ^{hij}	-۷۷	۱۸۷ ^{fgh}	۱۱۷ ^{hij}	-۳۷	۱۱/۴۰ ^{a-f}	۱۰/۲۷ ^{b-h}
بهار	۷/۳۶ ^{f-i}	۸/۰۹ ^{f-i}	+۱۰	۱۶۴ ^d	۵۵/۴۳ ^{hij}	-۶۶	۲۶۳ ^{de}	۱۵۱ ^{ghi}	-۴۲	۱۰/۱۲ ^{a-f}	۹/۸۷ ^{c-h}
پارسی	۷/۱۸ ^{f-i}	۱۰/۶۶ ^{cde}	+۴۸	۷۶/۵۷ ^{gh}	۲۴۱ ^{ab}	+۲۱۵	۱۰۸ ^{ij}	۲۷۹ ^{de}	+۱۵۷	۱۱/۷۵ ^{abc}	۱۰/۴۱ ^{a-g}
باز	۵/۹۳ ⁱ	۱۱/۴۲ ^{cd}	+۹۳	۳۸/۲۵ ^{ij}	۱۳۱ ^e	+۲۴۴	۱۱۹ ^{hij}	۳۲۶ ^{cd}	+۱۷۳	۱۰/۷۰ ^{a-g}	۹/۲۴ ^{e-h}
کویر	۵/۶۴ ⁱ	۹/۴۶ ^{def}	+۶۸	۷۳/۸۹ ^{ghi}	۱۳۱ ^e	+۷۷	۲۹۱ ^{hij}	۳۱۹ ^{cd}	+۱۴۷	۱۱/۶۲ ^{a-d}	۹/۶۳ ^{d-h}
پیشناز	۶/۱۹ ^{ghi}	۸/۷۰ ^{e-h}	+۴۱	۷۱/۵۳ ^{ghi}	۵۵/۳۱ ^{hij}	-۲۲	۱۵۳ ^{ghi}	۳۳۵ ^{cd}	+۱۱۹	۱۰/۶۳ ^{a-g}	۹/۶۵ ^{d-h}

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج و یک درصد تفاوت معنی‌دار با هم ندارند.

- و + به ترتیب کاهش و افزایش نسبت به شرایط شاهد.

پروتئین‌های محلول برگ پرچم

در شرایط شاهد تفاوت معنی‌داری بین محتوی پروتئین‌های محلول برگ‌های پرچم وجود نداشت. اعمال تیمار قطع آبیاری سبب کاهش غلظت پروتئین‌های محلول برگ‌ها شد. بیشترین درصد کاهش غلظت پروتئین‌های محلول برگ پرچم نسبت به شرایط شاهد مربوط به رقم پیشگام با ۲۸ درصد کاهش و کم‌ترین درصد کاهش مربوط به رقم بهار با دو درصد کاهش بود (جدول ۴). پروتئین‌های محلول از اجزاء مهم و کلیدی در متابولیسم برگ‌ها به حساب می‌آیند. رابیسکو به‌عنوان آنزیم مؤثر در فتوسنتز، بیش از ۵۰ درصد محتوی پروتئین‌های محلول برگ‌ها را تشکیل می‌دهد، لذا هرگونه تغییر در غلظت پروتئین‌های محلول برگ با تغییر در محتوی این آنزیم و در نتیجه تغییر در سرعت فتوسنتز برگ‌ها همراه است (Sharifi and Mohammadkhani, 2016). تنش خشکی غلظت پروتئین‌های محلول برگ پرچم را کاهش می‌دهد. این کاهش را می‌توان به کاهش سنتز پروتئین‌ها در شرایط تنش خشکی و یا تجزیه پروتئین‌ها به‌علت افزایش فعالیت پروتئازها نسبت داد (Sivakumar et al., 2017).

نتیجه‌گیری

نتایج کلی حاصل از این پژوهش نشان داد که در شرایط عدم تنش بیش‌ترین عملکرد دانه مربوط به رقم‌های سیوند و پارسی به ترتیب با ۵۱۷۰ و ۵۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بود. قطع آبیاری به‌طور متوسط سبب کاهش ۴۰ درصدی عملکرد دانه رقم‌ها شد. بیش‌ترین و کم‌ترین درصد کاهش عملکرد دانه در این شرایط مربوط به رقم‌های کویر (۵۶ درصد) و اروم (۳۰ درصد) بود. در شرایط تیمار قطع آبیاری، بیش‌ترین عملکرد دانه مربوط به رقم سیوند و کم‌ترین عملکرد مربوط به رقم نورستار بود. قطع آبیاری به‌طور متوسط سبب کاهش معنی‌دار تعداد نهایی دانه در سنبله، وزن هزار دانه، غلظت، پروتئین‌های محلول و محتوی نسبی آب برگ‌ها و پایداری غشاء سلول‌ها و افزایش معنی‌دار سرعت فعالیت آنزیم‌های آنتی-اکسیدان پراکسیداز، سوپراکسیددیسموتاز و کاتالاز و تنظیم اسمزی (بالای ۱۵۰ درصد در سایر رقم‌ها) شد. دلیل عملکرد بسیار پایین رقم نورستار در هر دو شرایط رطوبتی را نسبت به سایر رقم‌های مورد بررسی به احتمال زیاد می‌توان به عدم تکمیل نیاز بهاره‌سازی و دیررسی ناشی از نیاز بالای بهاره‌سازی آن و در نتیجه به تعویق افتادن گل‌دهی در فصل بهار و متعاقباً برخورد دوران گل‌دهی و پر شدن دانه این رقم با تنش خشکی و حرارتی انتهایی فصل رشد نسبت داد (طول دوره‌ی پر شدن دانه این رقم کوتاه می‌شود). رقم‌های پیشگام، اروم و سیوند به ترتیب با بیش‌ترین درصد افزایش در سرعت فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان پراکسیداز (۲۳۶+ درصد)، سوپراکسید دیسموتاز (۵۲۱+ درصد) و کاتالاز (۴۶۶+ درصد)، جزء رقم‌ها با کم‌ترین درصد کاهش عملکرد دانه در شرایط تیمار قطع آبیاری نسبت به شرایط شاهد بودند. بنابراین در این بررسی به نظر می‌رسد که افزایش سرعت فعالیت این آنزیم‌ها به مقاومت بیشتر نسبت به تیمار قطع آبیاری منجر می‌شود.

منابع

- اردلانی، ش.، سعیدی، م.، جلالی هنرمند، س.، قبادی، م.ا. و عبدلی، م. ۱۳۹۳. پاسخ‌های فیزیولوژیک و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در ژنوتیپ‌های گندم نان تحت تنش خشکی پس از گرده‌افشانی. مجله فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۲۱: ۴۵-۵۹.
- اسداله‌زاده، ر.، حاتمی، ع. و نادری، ا. ۱۳۹۸. اثر تنش گرما و محدودیت آب بر عملکرد و اجزای عملکرد رقم‌های گندم. مجله فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۱۱ (۴۳): ۱۱۹-۱۳۸.
- آذری نصرآباد، ع.، موسوی نیک، س.م.، گلوی، م.، بهشتی، س.ع.ر. و سیروس مهر، ع.ر. ۱۳۹۶. بررسی اثر تنش خشکی در مراحل مختلف رشد بر عملکرد دانه، تجمع اسمولیت‌ها و رنگدانه‌های فتوسنتزی در ژنوتیپ‌های سورگوم دانه‌ای (*Sorghum bicolor* L.). نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. ۱۵ (۳): ۶۹۰-۶۷۶.
- حسینی، م.ن.، سعیدی، م. و منصوری‌فر، س. ۱۳۹۷. اثر تیمارهای مختلف رطوبتی بر محتوای متابولیت‌های مختلف و برخی صفات فیزیولوژیک پنج رقم نخود در منطقه کرمانشاه. مجله علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۱۰ (۳۹): ۵-۲۲.
- دل‌آور، م. و حمیدی مدنی، ن. ۱۳۹۳. بررسی منحنی‌های آمبروترمیک در تفسیر پدیده خشکسالی (مطالعه موردی: استان فارس)، همایش ملی آب، انسان و زمین، اصفهان، شرکت توسعه سازان گردشگری اصفهان.
- رمضان، غ. و عباس‌زاده، ب. ۱۳۹۴. اثر تنش خشکی بر عملکرد کمی و کیفی گیاه *Nepeta pogonosperma* Jamzad et Assadi در تراکم‌های مختلف. دوماهنامه علمی پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. ۳۱ (۶): ۱۰۸۵-۱۰۷۱.
- فرخی، غ.ر.، معاونی، پ.، مظفری، ح.، مجیدی هروان، ا. و ثانی، ب. ۱۳۹۸. بررسی اثر قطع آبیاری در دوره‌های مختلف آبیاری بر عملکرد و شاخص‌های فیزیولوژیک چهار رقم ذرت. مجله فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۱۱ (۴۳): ۴۵-۲۵.
- موقوفه، ب.، سعیدی، م. و منصوری‌فر، س. ۱۳۹۷. واکنش فیزیولوژیک و بیوشیمیایی ارقام مختلف سویا به تنش کم‌آبی در مراحل رشد رویشی و زایشی. مجله علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۱۰ (۳۷): ۶۵-۸۱.
- Ahmad, Z., Waraich, E.A., Akhtar, S., Anjum, S., Ahmad, T., Mahboob, W., Hafeez, O.B.A., Tapera, T., Labuschagne, M. and Rizwan M. 2018. Physiological responses of wheat to drought stress and its mitigation approaches. Acta Physiologiae Plantarum. 40:80-52.**

Amoah, J.N., Ko, C.S., Yoon, J.S. and Weon, S.Y. 2019. Effect of drought acclimation on oxidative stress and transcript expression in wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Plant Interactions. 14(1): 492-505.

Arabshahi, M. and Mobasser, H.R. 2017. Effect of drought stress on carotenoid and chlorophyll contents and osmolyte accumulation. Chemistry Research Journal. 2(3):193-197.

Barr, H.D. and Weatherley, P.E. 1962. Are-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. Australian Journal of Biological Science. 15: 413-428.

Beauchamp, C. and Fridovich, I. 1971. Superoxide dismutases: improved assays and an assay predictable to acrylamide gels. Analytical Biochemistry. 44: 276-287.

Blum, A. 1998. Improving wheat grain filling under stress by stem reserve mobilization. Euphytica. 100: 77-83.

Blum, A. 2017. Osmotic adjustment is a prime drought stress adaptive engine in support of plant production. Plant Cell and Environment. 40:4-10.

Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principles of protein dyebinding. Analytical Biochemistry. 72: 248-254.

Chance, B. and Maehly, A.C. 1995. Assay of catalase and peroxidase. In: Culowic, S.P. and Kaplan, N.O. (eds.), Methods in enzymology Vol. 2. Academic Press. Inc. New York, pp. 764-765.

Dong, B., Zheng, X., Liu, H., Able, J.A., Yang, H., Zhao, H., Zhang, M., Qiao, Z., Wang, Y. and Liu, M. 2017. Effects of drought stress on pollen sterility, grain yield, abscisic acid and protective enzymes in two winter wheat cultivars. Frontier in Plant Science. 8: 1008-1022.

Fahad, S., Bajwa, A.A., Nazir, U., Anjum, S.A., Farooq, A., Zohaib, A., Sadia, S., Nasim, W., Adkins, S., Saud, S., Ihsan, M.Z., Alharby, H., Wu, C., Wang, D. and Huang, J. 2017. Crop Production under Drought and Heat Stress: Plant Responses and Management Options. Frontiers in Plant Science. 8: 1147-1162.

Fotovat, R., Valizadeh, M., Toorchi, M. 2007. Association between wateruse efficiency components and total chlorophyll content (SPAD) in wheat (*Triticum aestivum* L.) under well-watered and drought stress conditions. Journal of Food and Agricultural Environment. 5: 225-227.

Gao, J., Luo, Q., Sun, C., Hu, H., Wang, F., Tian, Z., Jiang, D., Cao, W. and Dai, T. 2019. Low Nitrogen Priming Enhances Photosynthesis Adaptation to Water-Deficit Stress in Winter Wheat (*Triticum aestivum* L.) Seedlings. Frontier in Plant Science. 10: 818-828.

Janku, M., Luhova, L. and Petrivalsky M. 2019. On the Origin and fate of reactive oxygen species in plant cell compartments. Antioxidants. 8(4): 105-123.

Khlebova, L.P., Bychkova, O.V., Titova, A.M., Rozova, M.A. and Ziborov, A.I. 2018. Osmotic adjustment in spring durum wheat pollen grains under induced drought stress. *Ukrainian Journal of Ecology*. 8(4): 213-221.

Kobata, T., Koç, M., Barutçular, C., Tanno, K. and Inagaki, M. 2018. Harvest index is a critical factor influencing the grain yield of diverse wheat species under rain-fed conditions in the Mediterranean zone of southeastern Turkey and northern Syria. *Agronomy and Crop Ecology*. 21(2): 71-82.

Lichtenthaler, H.K. 1987. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*. 148: 350-382.

Loutfy, N., El-Tayeb, M.A., Hassanen, A.M., Moustafa, M.F.M., Sakuma, Y. and Inouhe, M. 2012. Changes in the water status and osmotic solute contents in response to drought and salicylic acid treatments in four different cultivars of wheat (*Triticum aestivum*). *Journal of Plant Research*. 125: 173-184.

Ma, J., Li, R., Wang, H., Li, D., Wang, X., Zhang, Y., Zhen, W., Duan, H., Yan, G. and Li, Y. 2017. Transcriptomics analyses reveal wheat responses to drought stress during reproductive stages under field conditions. *Frontiers in Plant Science*. 8: 592-604.

Mohammadkhani, N. and Sharifi, P. 2016. Anti-oxidative response of different wheat genotypes to drought during anthesis. *Iranian Journal of Plant Physiology*. 6 (4): 1845-1854.

Prasad, P.V.V., Pisipati, S.R., Momčilović, I. and Ristic, Z. 2011. Independent and combined effects of high temperature and drought stress during grain filling on plant yield and chloroplast EF-Tu expression in spring wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 197: 430-441.

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. *Environmental and Experimental Botany*. 52(1): 33-42.

Romero, A.P., Alarcón, A., Valbuena, R.I. and Galeano, C.H. 2017. Physiological Assessment of Water Stress in Potato Using Spectral Information. *Frontier in Plant Science*. 8: 1608-1620.

Saeidi, M. and Abdoli, M. 2015. Effect of drought stress during grain filling on yield and its components, gas exchange variables, and some physiological traits of wheat cultivars. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 17 (4): 885-898.

Sharifi, P. and Mohammadkhani, N. 2016. Effects of drought stress on photosynthesis factors in wheat genotypes during anthesis. *Cereal Research Communications*. 44(2): 229-239.

Sharma, P., Jha, A.B., Dubey, R.S. and Pessarakli, M. 2012. Reactive Oxygen Species, Oxidative Damage, and Antioxidative Defense Mechanism in Plants under Stressful Conditions. *Journal of Botany*. 10:37-53.

Sinha, A.K. 1972. Colorimetric assay of catalase. *Analytical Biochemistry*. 47 (2): 389-394.

Sivakumar, R., Nandhitha, G.K. and Nithila, S. 2017. Impact of drought on chlorophyll, soluble protein, abscisic acid, yield and quality characters of contrasting genotypes of tomato (*Solanum lycopersicum*). *British Journal of Applied Science and Technology* 21(5):1-10.

Soares, C., Carvalho, M.E.A., Azevedo, R.A. and Fidalgo, F. 2019. Plants facing oxidative challenges-a little help from the antioxidant networks. *Environmental and Experimental Botany*. 61: 4-25.

Zhang, J., Nguyen, H.T. and Blum, A. 1999. Genetic analysis of osmotic adjustment in crop plants. *Journal of Experimental Botany*. 50: 291-302.

The effect of cut of irrigation at the end of the growing season on grain yield and some physiological characteristics of bread wheat cultivars

N. Teimouri¹, M. Saeidi^{2*}, M. E. Ghobadi³ and Sh. Sasani²

1, 2 & 3) Department of Plant Production and Genetics, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran.

4) Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Kermanshah, Iran.

* Corresponding author: msaeidi@razi.ac.ir

Received date: 2019.12.30

Accepted date: 2020.04.27

Abstract

Due to the great importance of drought stress and its effect on physiological and biochemical traits and reducing wheat grain yield in arid and semi-arid areas (such as most areas of Iran), this research was conducted to evaluate the effect of cut of irrigation on yield and some physiological traits of different growth type of wheat. To this end, a split plot experiment based on randomized complete block design with three replications was used in Kermanshah province in the 2012-2013 crop year. Moisture regimes were applied in the main plots at two levels include: control (irrigation treatments at all stages of growth based on water requirements of wheat) and cut of irrigation (stop watering based on Amber thermic curve). Different wheat cultivars (including: Alvand, Sivand, Zarin, Baz, Bahar, Shahryar, Norestar, Pishgam, Pishtaz, Kavir, Orume and Parsi) were used in sub-plots. Based on the results, in control treatment, Norestar had the lowest grain yield (1270 kg/ha), but other cultivars with an average of 4600 kg per hectare did not have significant difference in this regard. Cut of irrigation significantly reduced grain yield (40% in average) and Kavir and Shahriar 2100 and 2210 kg ha⁻¹ had the highest reduction in grain yield. Cut of irrigation significantly reduced no of grain/spick, 1000 grain weight, soluble proteins, relative water content, and significantly increased activity of antioxidant enzymes such as: peroxidase, catalase and superoxide dismutase and osmotic potential of cells (greater than of 150%). No significant reduction in the content of photosynthetic pigments and leaf area under Cut of irrigation treatment at the end of the growing season can be associated with increasing in antioxidant activity and osmotic regulation of the studied cultivars.

Keywords: Antioxidan, Osmotic adjustment, Pigments and Catalase.