

تأثیر کاربرد پلیمر سوپرجاذب بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گندم تحت شرایط قطع آبیاری

The effect of super absorbent polymer application on some physiological and biochemical characteristics of wheat (*Triticum aestivum*. L.) under cut irrigation

اشکان اشکیانی^۱، فرشاد قوشچی^۱، حمیدرضا توحیدی مقدم^۱

۱- گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ورامین- پیشوا، ورامین- ایران.

نویسنده مسوول مکاتبات: gooshchi@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۸/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۶/۱۲

چکیده

به منظور بررسی اثر کاربرد پلیمر سوپرجاذب بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گندم تحت شرایط قطع آبیاری در مراحل مختلف رشد، آزمایشی در سال ۱۳۹۱ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ورامین صورت پذیرفت. این تحقیق به صورت کرت خرد شده (اسپلیت پلات) در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. عامل آبیاری (I) به عنوان عامل اصلی در چهار سطح، I₁: آبیاری مطابق عرف منطقه (شاهد، بدون تنش)، I₂: قطع آبیاری در مرحله ساقه‌دهی، I₃: قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی و I₄: قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی و پر شدن دانه و عامل فرعی شامل کاربرد پلیمر سوپرجاذب (S) در سه سطح، S₁: بدون کاربرد پلیمر سوپرجاذب، S₂: کاربرد پلیمر سوپرجاذب به میزان ۲۰ کیلوگرم در هکتار و S₃: کاربرد پلیمر سوپرجاذب به میزان ۴۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که توقف آبیاری در مراحل مختلف رشد میزان عملکرد دانه، درصد کربوهیدرات دانه، محتوای کلروفیل کل و هورمون جیبرلین را کاهش داد در حالی که درصد پروتئین دانه، آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز و مالون دی آلدئید را افزایش داد. کاربرد پلیمر سوپرجاذب تحت شرایط قطع آبیاری در مراحل مختلف رشد از طریق بهبود اثر تنش سبب افزایش میزان عملکرد دانه گردید. به طور کلی نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که کاربرد پلیمرهای سوپرجاذب توانست سبب بهبود شرایط رشد گیاه تحت شرایط تنش خشکی شود. این بررسی نشان داد که پلیمر سوپرجاذب قادر است تا اثرات مخرب قطع آبیاری را از طریق جذب و نگهداری آب کاهش دهد و از سوی دیگر از طریق کاهش نیاز آبی گیاه سبب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گندم گردد. بنابراین استفاده از این مواد را از لحاظ اقتصادی قابل قبول است.

واژگان کلیدی: گندم، قطع آبیاری، پلیمر سوپرجاذب، عملکرد دانه، آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز

مقدمه

تنش خشکی می‌تواند رشد و تولید گیاهان را به‌طور معنی‌داری محدود نماید. بنابراین در گیاهان زراعی سازگار و متحمل تغییرات مرفولوژیکی و متابولیکی خاصی در پاسخ به تنش خشکی در گیاه اتفاق می‌افتد. در حقیقت تنش خشکی به عنوان یک عامل مؤثر در رشد و عملکرد ژنوتیپ‌های مختلف گیاهان شناخته گردید (Bannayan *et al.*, 2008)، که به‌طور معنی‌داری رشد گیاهان زراعی را محدود نمود و منجر به تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن گردید. جایگاه اصلی تولید این رادیکال‌ها، کلروپلاست، میتوکندری و پراکسی‌زوم بود (Miller *et al.*, 2010). مهم‌ترین رادیکال‌های آزاد اکسیژن منفرد، سوپراکسید، هیدروژن پراکسید و هیدروکسیل هستند (Apel, and Hirt, 2004; Azevedo Neto *et al.*, 2008). افزایش رادیکال‌های آزاد اکسیژن اثرات مخربی بر سوخت و ساز گیاه داشته و سبب تنش‌های اکسیداتیو به پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک و لیپیدهای ضروری غشاءهای سلولی می‌شود (Moller *et al.*, 2007). مطالعات مختلفی نشان داد که پاسخ گیاهان مقاوم و متحمل نسبت به تنش خشکی افزایش محتوای تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت است (Shalata *et al.*, 2001; Demiral and Türkan, 2005). شناسایی زمان بحرانی آبیاری در گیاه و برنامه‌ریزی‌های آبیاری براساس زمان دقیق نیاز گیاه به آبیاری، کلید حفاظت از آب و بهبود بخشی برنامه اجرای آبیاری در مدیریت پایدار آبیاری در کشاورزی به‌شمار می‌آید (Igbadun *et al.*, 2006; Ngouajio *et al.*, 2007). در مناطق خشک و نیمه خشک هم کارایی استفاده از آب قابل فراهم و عملکرد و کیفیت گیاهان زراعی مورد انتظار است (Lovelli *et al.*, 2007). مدیریت رطوبت خاک برای تولیدات گیاهان زراعی در خاک‌های سبک و در شرایط محدودیت رطوبتی بسیار مهم است. موادی تحت عنوان پلیمرهای

طبیعی و هیدروژل‌ها از طریق بهبود خصوصیات فیزیکی خاک در شرایط موقتی تنش کم‌آبی خطر از بین رفتن گیاهان را در این شرایط کاهش می‌دهند. انواع طبیعی و مصنوعی این مواد به ذخیره رطوبت در خاک کمک کرده و رطوبت مناسبی را در لایه‌های سطحی خاک، جایی که سیستم ریشه‌ای گیاهان توسعه می‌یابند، فراهم می‌کند (Dordas and Sioulas, 2008). این امر به وسیله کاهش تبخیر آب و جابه‌جایی آب از لایه سطحی خاک به‌دست می‌آید (Koutroubas *et al.*, 2008). هدف از اجرای این تحقیق، در درجه اول برآورد اثرات قطع آبیاری بر خصوصیات زراعی و تغییرات فیزیولوژیکی که در طول مدت قطع آبیاری بر برگ‌های گیاه گندم رخ می‌دهد و مشخص کردن این موضوع که کاربرد پلیمرهای سوپرچاذب می‌تواند به‌عنوان یک استراتژی افزایش تحمل به تنش کم‌آبی برای گیاهان محسوب شود، می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر مقادیر مختلف پلیمر سوپر چاذب بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گندم تحت شرایط قطع آبیاری در مراحل مختلف رشد، آزمایشی در سال ۱۳۹۱ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ورامین اجرا شد. این تحقیق به‌صورت کرت خردشده (اسپلیت پلات) در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. عامل آبیاری (I) به عنوان عامل اصلی در چهار سطح، I₁: آبیاری مطابق عرف منطقه (شاهد، بدون تنش)، I₂: قطع آبیاری در مرحله ساقه‌دهی، I₃: قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی و I₄: قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی و پر شدن دانه و عامل فرعی شامل کاربرد پلیمر سوپرچاذب (S) در سه سطح، S₁: بدون کاربرد پلیمر سوپرچاذب، S₂: کاربرد پلیمر سوپرچاذب به میزان ۲۰ کیلوگرم در هکتار و S₃: کاربرد پلیمر سوپرچاذب به میزان ۴۰ کیلوگرم در هکتار بود. فاصله بین دو ردیف ۲۰ سانتی‌متر و فاصله بین دو

پروتئین دانه، از روش کج‌دال استفاده گردید. میزان کربوهیدرات موجود در گیاه نیز به‌وسیله روش (Keles and Oncel, 2004) اندازه‌گیری شد. میزان کلروفیل برگ‌ها نیز توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر از طریق روش Arnon (1949) به دست آمد. همچنین میزان هورمون جیبرلین نیز از طریق روش (Bollmark et al., 1988) اندازه‌گیری شد. به‌منظور بررسی میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز از روش (Giannopolitis and Ries, 1977) استفاده شد. میزان بیمارگر تخریب مالون دی‌آلدئید نیز از طریق روش (De Vos et al., 1991) محاسبه گردید. پس از جمع‌آوری داده‌های آزمایشی، تجزیه داده‌های آزمایشی به‌وسیله نرم‌افزار SAS انجام شد (SAS Institute, 2002). و مقایسه میانگین‌ها نیز از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد استفاده گردید.

بوته پنج سانتی‌متر بود. همچنین در هر کرت فرعی پنج خط کاشت و طول هر خط پنج متر بود. آبیاری به‌صورت جوی و پشته انجام شد. فاصله بین دو کرت اصلی در هر تکرار ۲/۴ متر از یکدیگر به‌صورت نکاشت و فاصله دو تکرار از یکدیگر شش متر بود. پس از انجام عملیات کاشت نسبت به آبیاری مزرعه اقدام شد و بر اساس شرایط آب و هوایی منطقه نوبت‌های بعدی آبیاری صورت گرفت. کاربرد غلظت پلیمر سوپرجاذب به‌صورت ردیفی در خطوط کاشت انجام شد. به‌منظور بررسی میزان کود مورد نیاز آزمایش تجزیه خاک انجام شد (جدول یک). در زمان رسیدن کامل گیاه پس از حذف خطوط حاشیه هر کرت آزمایشی و نیم متر از ابتدا و انتهای آن‌ها، بقیه بوته‌ها کف‌بر شد و چند روز در سطح کرت آزمایشی باقی ماند. سپس، دانه‌ها جدا شد و وزن دانه‌های هر کرت آزمایشی محاسبه گردید و عملکرد دانه به‌دست آمد. به‌منظور محاسبه درصد

جدول ۱- نتایج تجزیه خاک محل آزمایش

Table 1. Soil properties of the experimental site

عمق Depth	سیلیت Silt (%)	رس Clay (%)	شن Sand (%)	مس Cu (PPM)	فسفر P (PPM)	آهن Fe (PPM)	پتاسیم K (PPM)	منگنز Mn (PPM)	روی Zn (PPM)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی Ec (ds/m)	درصد مواد خنثی شونده (%)T.N.V
0-30	50	26	24	1.13	25.9	3.7	368	6.65	50.58	7.4	4.1	17

نتایج و بحث

مرحله ساقه‌دهی، گل‌دهی و در مراحل گل‌دهی و پر شدن دانه، به ترتیب سبب کاهش عملکرد دانه به‌میزان ۱۹/۲۶ درصد، ۲۲/۲۵ و ۲۲/۳۰ درصد نسبت به شرایط آبیاری معمول گردید. کاهش در میزان عملکرد دانه در نتیجه کاهش در اجزای عملکرد به‌خصوص وزن دانه‌ها شد. از سویی دیگر کاهش عملکرد دانه می‌تواند ناشی از پیری زودرس و کوتاه شدن دوره پرشدن دانه باشد. کاهش در عملکرد و اجزای عملکرد گل‌رنگ در اثر تنش کم‌آبی در ژنوتیپ‌های گل‌رنگ توسط سایر محققان گزارش گردید (Lovelli et al., 2007). به‌هرحال کاربرد پلیمر سوپرجاذب در شرایط قطع آبیاری در مراحل مختلف رشد، توانست سبب افزایش

مطابق جدول تجزیه واریانس اثر ساده آبیاری در مراحل مختلف رشد بر تمامی صفات مورد بررسی در سطح یک درصد معنی‌دار گردید. اثر ساده کاربرد پلیمر سوپرجاذب نیز بر تمامی صفات مورد بررسی به جز عملکرد دانه در سطح یک معنی‌دار شد (جدول دو). همچنین اثر متقابل قطع آبیاری در مراحل مختلف رشد و کاربرد پلیمر سوپرجاذب نیز بر صفات عملکرد دانه، هورمون جیبرلین و بیومارکر تخریب مالون دی‌آلدئید معنی‌دار گردید و برای سایر صفات مورد بررسی معنی‌دار نشد (جدول دو). با توجه به جدول مقایسه میانگین اثرات متقابل (جدول سه)، قطع آبیاری در

عملکرد دانه گردد. در حقیقت کاربرد پلیمر سوپرجاذب تحت این شرایط توانست مقادیر متفاوتی از آب را در خود ذخیره نماید، این امر سبب افزایش حفظ و نگهداری محتوای رطوبتی خاک گردید که در شرایط کمبود آب، رطوبت مورد نیاز گیاه را تأمین نمود و سبب بهبود رشد گیاه شد. از این رو در شرایط تنش قطع آبیاری کاربرد پلیمر سوپرجاذب می‌تواند سبب افزایش اجزای عملکرد و عملکرد دانه شود. همچنین نتایج نشان داد که بالاترین میزان درصد پروتئین دانه مربوط به سطح توقف آبیاری در مراحل گل‌دهی و پرشدن دانه بود و کم‌ترین میزان درصد پروتئین دانه مربوط به سطح آبیاری معمول منطقه است (شکل یک). کاربرد پلیمر سوپرجاذب نیز سبب کاهش درصد پروتئین دانه گردید (شکل دو). به‌طور کلی تیمارهای توقف آبیاری سبب کاهش تعداد روزهای لازم برای رسیدگی در گندم شد. در نتیجه ساخت کربوهیدرات‌ها کاهش یافت و از این رو سبب افزایش درصد پروتئین دانه گردید. بررسی سایر محققان نشان داد که در شرایط تنش، درصد پروتئین دانه افزایش داشت (Campbell et al., 1997). همچنین نتایج حاصل از آزمایش نشان داد که بالاترین میزان کربوهیدرات دانه مربوط به شرایط آبیاری معمول در منطقه بود (شکل سه). به‌طور کلی آبیاری کامل، تعداد روزهای پرشدن دانه و طول دوره رسیدگی را در گندم افزایش داد. بنابراین میزان فتوسنتز و ساخت کربوهیدرات‌ها افزایش یافت که همین امر باعث افزایش درصد کربوهیدرات‌های دانه شد. کاربرد پلیمرهای سوپرجاذب نیز از طریق افزایش طول دوره رسیدگی و پرشدن دانه، افزایش درصد کربوهیدرات دانه را به دنبال دارد (شکل چهار).

بالاترین محتوای کلروفیل برگ‌ها مربوط به تیمارهایی می‌باشد که به‌طور کامل آبیاری شدند. قطع آبیاری در مراحل مختلف رشد، محتوای کلروفیل برگ را کاهش داد. با توجه به جدول مقایسه میانگین اثرات متقابل (جدول سه)، قطع آبیاری در مرحله ساقه‌دهی، گل‌دهی و در مراحل گل‌دهی و پر شدن دانه‌ها به

ترتیب سبب کاهش محتوای کلروفیل برگ، به‌میزان ۱۸ درصد، ۲۳ و ۳۶ درصد نسبت به شرایط آبیاری معمول گردید. تحت شرایط تنش خشکی کاربرد پلیمر سوپرجاذب توانست محتوای کلروفیل برگ را افزایش دهد. محتوای کلروفیل برگ زنده یک عامل مهم در ظرفیت فتوسنتز محسوب می‌شود. کاهش یا تغییر در سطوح کلروفیل برگ‌ها در گونه‌های دیگر ارتباط زیادی با طول مدت تنش و شدت آن دارد (Zhang and Kirkham, 1996) تغییرات در محتوای کلروفیل برگ‌ها تحت شرایط تنش خشکی ممکن است که در نتیجه پراکسیداسیون آن‌ها توسط رادیکال‌های آزاد اکسیژن باشد (Zhang et al., 2003). همچنین نتایج نشان داد که بالاترین میزان هورمون جیبرلین مربوط به سطح آبیاری معمول منطقه بود (جدول سه). کم‌ترین میزان هورمون جیبرلین نیز مربوط به سطوح قطع آبیاری در مراحل مختلف رشد بود. تنش کم‌آبی یکی از عوامل اصلی محیطی می‌باشد که اثرات مخربی را بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی دارد گیاهان در پاسخ به قطع آبیاری و در جهت سازگاری به این شرایط، تغییرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی متفاوتی را نشان می‌دهند (Monneveux and Belhassen, 1996). از جمله این تغییرات می‌توان به تولید فیتوهورمون‌های داخلی برگ‌ها به‌خصوص اسید آسبیزیک اشاره کرد. نتایج بررسی محققان نشان داد که قطع آبیاری، سبب کاهش میزان تولید هورمون‌های محرک رشد در گیاه گردید (Xie et al., 2003). به‌رحال شواهد دیگری نشان می‌دهد که سازگاری نسبت به شرایط تنش خشک قطع آبیاری همراه با افزایش محتوای هورمون اکسین می‌باشد (Pustovoitova et al., 2004). تحت شرایط تنش خشکی جیبرلین‌ها و سیتوکینین‌ها قادرند سبب افزایش درصد جوانه‌زنی و افزایش رشد نشاهای نخود شوند. هورمون جیبرلین سبب افزایش رشد گیاهان تحت شرایط تنش اسمزی گردید (Kaur et al., 1998). در مطالعه حاضر کاهش محسوسی در میزان تولید هورمون جیبرلین در پاسخ

این آنزیم‌ها در گیاهان می‌شوند. تحت این شرایط کاربرد پلیمر سوپرجاذب می‌تواند با تعدیل شرایط تنش کم‌آبی سبب کاهش میزان تولید آنزیم سوپراکسید دیسموتاز گردد (شکل شش). همچنین نتایج نشان داد که قطع آبیاری در مراحل مختلف رشد سبب افزایش میزان تولید مالون دی‌آلدئید در گیاه شد (جدول سه). مالون دی‌آلدئید اغلب در واکنش به پراکسیداسیون چربی‌های غشای گیاه تولید می‌شود (Ali *et al.*, 2005). بنابراین محتوای مالون دی‌آلدئید در برگ‌های گندم، می‌تواند معیاری از شرایط تنش خشکی که گیاه در آن قرار دارد، باشد. به‌رحال کاربرد پلیمرهای سوپرجاذب تحت این شرایط می‌تواند سبب کاهش میزان مالون دی‌آلدئید در گیاه شود (جدول سه). تحقیقات نشان داد که این پلیمرها می‌توانند تا ۵۰۰ برابر وزن خود آب جذب نموده (Buchholz, 1998) و به‌عنوان ذخیره‌کننده آب برای سیستم خاک-گیاه محسوب می‌شوند (Munne-Bosch and Penuelas, 2003) و از این‌رو سبب کاهش تنش وارده بر گیاه شده و از میزان تولید بیومارکر تخریب مالون دی‌آلدئید می‌کاهند.

به تنش قطع آبیاری مشاهده گردید. همچنین کاربرد پلیمر سوپرجاذب به‌میزان ۴۰ کیلوگرم در هکتار تحت شرایط قطع آبیاری در مراحل مختلف رشد، با بهبود شرایط رطوبتی گیاه سبب افزایش میزان تولید هورمون جیبرلین در این شرایط گردید. در این پژوهش گیاهان تحت تأثیر قطع آبیاری در مراحل مختلف رشد افزایش معنی‌داری را در میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز نشان دادند (شکل پنج). این آنزیم به‌عنوان یکی از آنزیم‌های سیستم آنتی‌اکسیدانسی در گیاه عمل می‌نماید و رادیکال آزاد O_2^- را به H_2O_2 تبدیل نموده و سپس این ترکیب به وسیله آنزیم کاتالاز به اکسیژن و آب تبدیل می‌شود (Hegedus *et al.*, 2001). افزایش در میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در گونه‌های مقاوم برنج باسماتی توسط سایر محققان نیز گزارش شد (Singh *et al.*, 2007). تحت شرایط قطع آبیاری، در میزان تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن افزایش دیده می‌شود که می‌تواند منجر به صدمات سلولی شود (Zheng *et al.*, 2007). زمانی که گیاهان تحت شرایط تنش کم‌آبی قرار می‌گیرند، سیستم‌های آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانسی آن‌ها، سبب افزایش محتوای

جدول ۲- جدول تجزیه واریانس صفات مورد بررسی گندم تحت شرایط قطع آبیاری در مراحل مختلف رشد و کاربرد پلیمر

سوپر جاذب

Table 2. Analysis of variance wheat attributes affected by cut irrigation in different growth stages and super absorbent polymer

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد	درصد پروتئین	درصد کربوهیدرات	هورمون جیبرلین	سوپر اکسید دیسموتاز	مالون دی‌آلدئید	محتوای کلروفیل کل
		d.f	Seed yield	Protein percentage	Carbohydrate percentage	Gibberellin Hormon	Superoxide dismutase	Malondi aldehyde	Total chlorophyll
Replication	تکرار	2	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Cut irr	قطع آبیاری	3	**	**	**	**	**	**	**
Error (a)	خطای اصلی	6							
Superabsorbent	سوپر جاذب	2	ns	**	**	**	**	**	*
Cut irr*Super	آبیاری پلیمر	6	**	ns	ns	*	ns	*	*
Error (b)	خطای فرعی	16							
C.V (%)	ضریب تغییرات	-	11.9	7.82	6.16	4.61	7.05	9.89	9.36

ns و ** و * به ترتیب معنی‌دار در سطح پنج درصد، یک درصد و فاقد اختلاف معنی‌دار

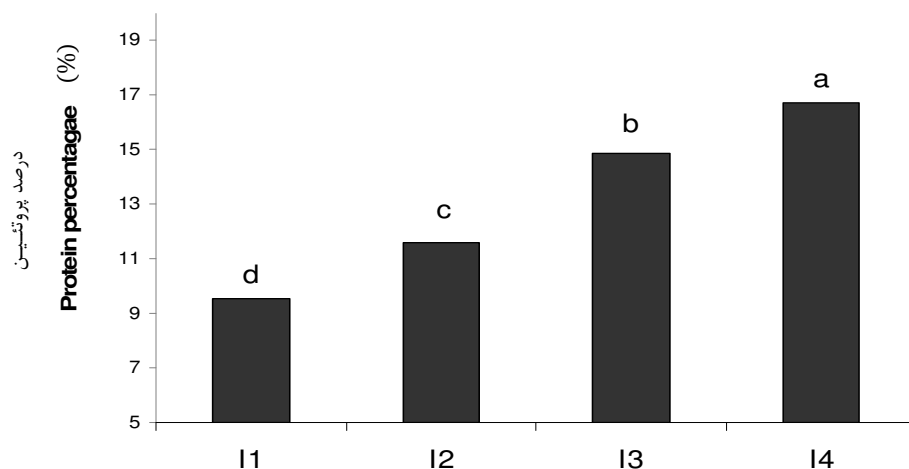
*,** and ns significant at 0.05, 0.01 and no significant

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل قطع آبیاری در مراحل مختلف رشد و کاربرد پلیمر سوپرجاذب بر برخی از خصوصیات گندم

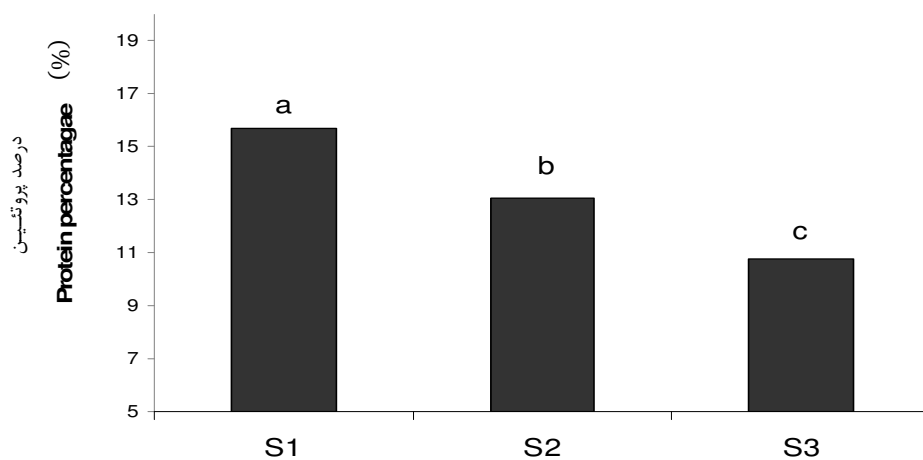
Table 3. Interaction between cut irrigation in different growth stages and superabsorbent polymer application on some attributes of wheat

آبیاری Irrigation	پلیمر سوپرجاذب Super absorbent	مالون دی آلدئید Malondialdehyde (nm mg ⁻¹ protein)	جیبرلین Gibberellin (μm mg-1 tissue DW)	محتوای کلروفیل Total chlorophyll (mg.lit ⁻¹)	عملکرد دانه Seed yield (kg.ha ⁻¹)
آبیاری کامل Complete Irrigation(I ₁)	بدون کاربرد سوپرجاذب 0 kg ha ⁻¹ (S ₁)	15.563 ^a	386.00 ^b	2.126 ^{bc}	7732.9 ^b
	۲۰ کیلوگرم در هکتار پلیمر سوپرجاذب 20 kg ha ⁻¹ (S ₂)	11.510 ^a	465.00 ^a	2.216 ^{ab}	8144.0 ^b
	۴۰ کیلوگرم در هکتار پلیمر سوپرجاذب 40 kg ha ⁻¹ (S ₂)	10.303 ^a	490.00 ^a	2.430 ^a	9384.2 ^a
قطع آبیاری در مرحله ساقه‌دهی Irrigation withholding at stem elongation(I ₂)	بدون کاربرد سوپرجاذب 0 kg ha ⁻¹ (S ₁)	20.233 ^a	315.66 ^c	1.733d ^{efg}	6243.1 ^a
	۲۰ کیلوگرم در هکتار پلیمر سوپرجاذب 20 kg ha ⁻¹ (S ₂)	15.860 ^{ab}	390.33 ^b	1.856 ^{de}	7068.1 ^a
	۴۰ کیلوگرم در هکتار پلیمر سوپرجاذب 40 kg ha ⁻¹ (S ₂)	11.583 ^b	461.00 ^a	1.920 ^{cd}	7790.6 ^a
قطع آبیاری در مرحله گلدهی Irrigation withholding at flowering (I ₃)	بدون کاربرد سوپرجاذب 0 kg ha ⁻¹ (S ₁)	28.243 ^a	241.33 ^c	1.643 ^{efg}	6012.0 ^a
	۲۰ کیلوگرم در هکتار پلیمر سوپرجاذب 20 kg ha ⁻¹ (S ₂)	21.170 ^b	307.67 ^b	1.770 ^{def}	7734.0 ^a
	۴۰ کیلوگرم در هکتار پلیمر سوپرجاذب 40 kg ha ⁻¹ (S ₂)	15.710 ^c	380.33 ^a	1.850 ^{def}	8198.0 ^a
قطع آبیاری در مراحل گلدهی و پر شدن دانه Irrigation withholding at both flowering and seed setting stages (I ₄)	بدون کاربرد سوپرجاذب 0 kg ha ⁻¹ (S ₁)	28.553 ^a	210.33 ^b	1.370 ^h	6008.6 ^a
	۲۰ کیلوگرم در هکتار پلیمر سوپرجاذب 20 kg ha ⁻¹ (S ₂)	28.253 ^a	241.33 ^b	1.476 ^{gh}	6787.3 ^a
	۴۰ کیلوگرم در هکتار پلیمر سوپرجاذب 40 kg ha ⁻¹ (S ₂)	20.090 ^b	302.33 ^a	1.596 ^{fgh}	7265.1 ^a

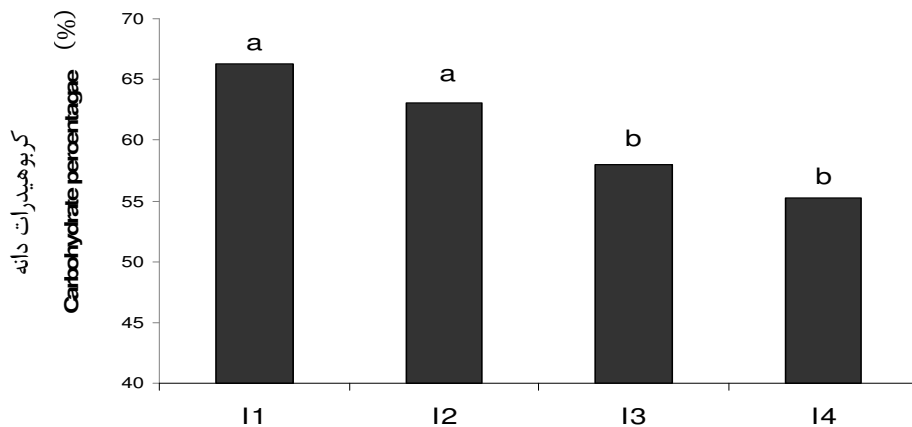
میانگین‌های داده شده در ستون که دارای حروف مشترک می‌باشند، تفاوتشان از نظر آماری در سطح پنج درصد دانکن معنی‌دار نیست.
Treatment means followed by the same letter within each common are not significantly different ($P < 0.05$) according to Duncan's Multiple Range test



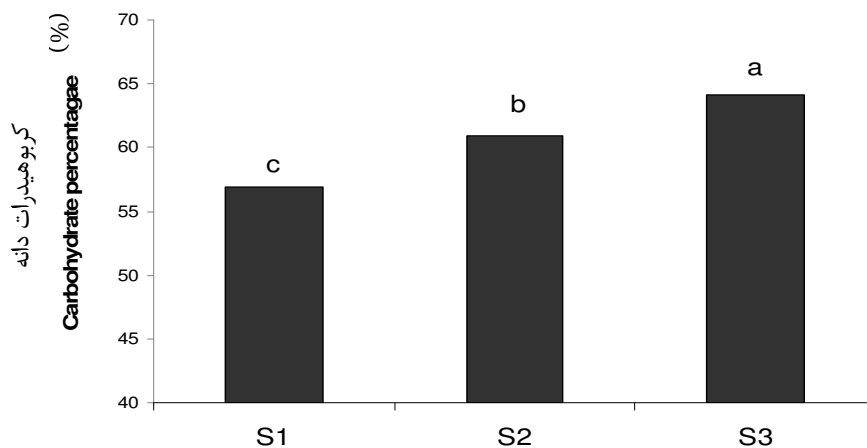
شکل ۱- اثر ساده قطع آبیاری بر روی درصد پروتئین دانه
 (I₁: آبیاری معمول، I₂: قطع آبیاری در مرحله ساقه دهی، I₃: قطع آبیاری در مرحله گلدهی و I₄: قطع آبیاری در مراحل گلدهی و پر شدن دانه ها)
 Fig 1. The effect of cut irrigation withholding on grain protein percentage



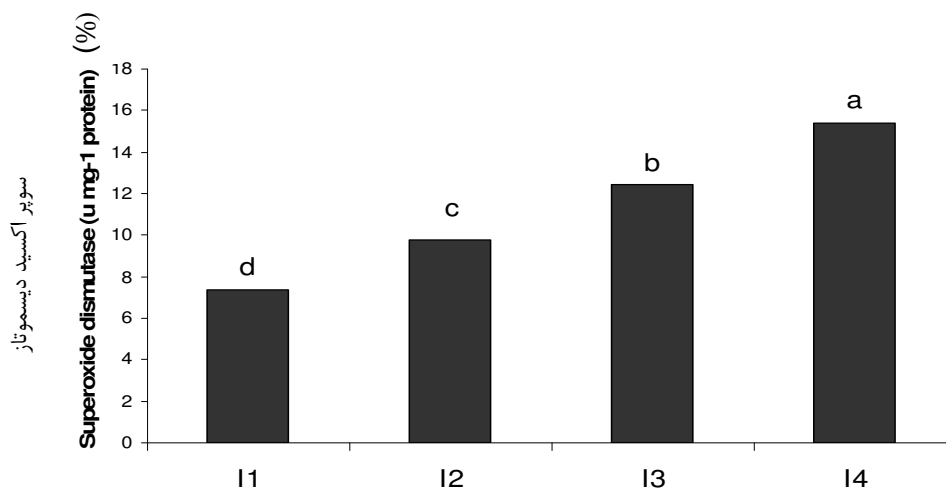
شکل ۲- اثر ساده پلیمر سوپر جاذب بر روی درصد پروتئین دانه
 (S₁: بدون سوپر جاذب، S₂: کاربرد سوپر جاذب به میزان ۲۰ کیلوگرم در هکتار و S₃: کاربرد سوپر جاذب به میزان ۴۰ کیلوگرم در هکتار)
 Fig 2. The effect of superabsorbent polymer on grain protein percentage



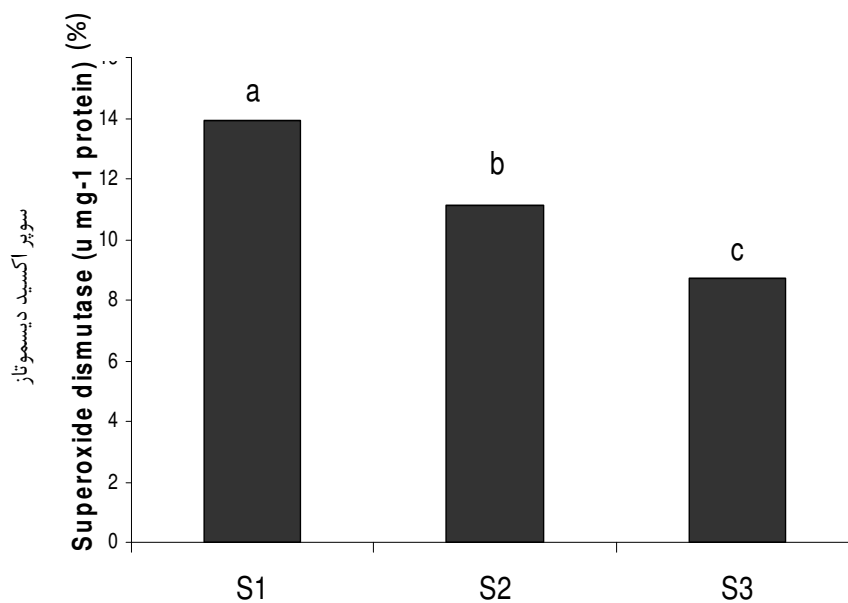
شکل ۳- اثر ساده قطع آبیاری بر روی درصد کربوهیدرات دانه
(I₁: آبیاری معمول، I₂: قطع آبیاری در مرحله ساقه‌دهی، I₃: قطع آبیاری در مرحله گلدهی و I₄: قطع آبیاری در مراحل گلدهی و پر شدن دانه‌ها)
Fig 3. The effect of cut irrigation on grain carbohydrate percentage



شکل ۴- اثر ساده پلیمر سوپرجاذب بر روی درصد کربوهیدرات دانه
(S₁: بدون سوپرجاذب، S₂: کاربرد سوپرجاذب به میزان ۲۰ کیلوگرم در هکتار و S₃: کاربرد سوپرجاذب به میزان ۴۰ کیلوگرم در هکتار)
Fig 4. The effect of superabsorbent polymer on grain carbohydrate percentage



شکل ۵- اثر ساده قطع آبیاری بر روی میزان فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز (I₁: آبیاری معمول، I₂: توقف آبیاری در مرحله ساقه‌دهی، I₃: توقف آبیاری در مرحله گلدهی و I₄: توقف آبیاری در مراحل گلدهی و پر شدن دانه‌ها)
 Fig 5. The effect of cut irrigation on superoxide dismutase enzyme activity



شکل ۶- اثر ساده پلیمر سوپر جاذب بر روی میزان فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز (S₁: بدون سوپر جاذب، S₂: کاربرد سوپر جاذب به میزان ۲۰ کیلوگرم در هکتار و S₃: کاربرد سوپر جاذب به میزان ۴۰ کیلوگرم در هکتار)
 Fig 6. The effect of superabsorbent polymer on superoxide dismutase enzyme activity

References

- Ali, M.B., Hahn, E., Paek, K. 2005.** Effects of temperature on oxidative stress defense systems, lipid peroxidation and lipoxygenase activity in Phalaenopsis. *Plant Physiol Biochem* 43:213–223.
- Apel, A., Hirt, H. 2004.** Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction, *Annu. Rev. Plant Biol.* 55:373e399.
- Arnon, D.I. 1949.** Copper enzymes in isolated chloroplasts, polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiol.* 24, 1–150.
- Azevedo Neto, A.D., Gomes-Filho, E., Prisco, J.T. 2008.** Salinity and oxidative stress, in: N.A. Khan, S. Sarvajeet (Eds.), *Abiotic Stress and Plant Responses*, IK International, New Delhi, 2008, pp. 58e82.
- Bannayan, M., Nadjafi, F., Azizi, M., Tabrizi, L., Rastgoo, M. 2008.** Yield and seed quality of *Plantago ovata* and *Nigella sativa* under different irrigation treatments. *Ind. Crops Prod.* 27, 11–16.
- Buchholz, F.L. 1998.** The structure and properties of superabsorbent polyacrylates. In: Buchholz, F.L., Graham, A.T. (Eds.), *Modern Super-absorbent Polymer Technology*. Wiley-VCH, New York, pp. 167–221.
- Campbell, C.A., Selles, F., Zentner, R.P., McConkey, B.G., McKenzie, R.C., and Drandt, S.A. 1997.** Factors influencing grain N Concentration of hard red spring wheat in the semiarid prairie. *Can. J. Plant Sci.* 77:53-61.
- Demiral, T., and Turkan, I. 2005.** Comparative lipid peroxidation, antioxidant defense systems and proline content in roots of two rice cultivars differing in salt tolerance. *Environ. Exp. Bot.*, 53: 247-257.
- De Vos, C., Schat, H.M., De Waal, M.A., Vooijs, R., and Ernst, W. 1991.** Increased to copper-induced damage of the root plasma membrane in copper tolerant silene cucubalus. *Plant Physiol.* 82, 523–528.
- Dordas, C.A., Sioulas, C. 2008.** Safflower yield, chlorophyll content, photosynthesis, and water use efficiency response to nitrogen fertilization under rainfed conditions. *Ind. Crops Prod.* 27, 75–85.
- Giannopolitis, C., and Ries, S. 1977.** Superoxide dismutase occurrence in higher plant. *Plant Physiol.* 59, 309–314.
- Hegedus, A., Erdei, S., and Horvath, G. 2001.** Comparative studies of H₂O₂ detoxifying enzymes in green and greening barley seedlings under cadmium stress. *Plant Sci.* 160, 1085–1093.
- Igbadun, H.E., Mahoo, H.F., Tarimo, A.K.P.R., Salim, B.A. 2006.** Cropwater productivity of an irrigated maize crop in Mkoji sub-catchment of the Great Ruaha River Basin, Tanzania. *Agric. Water Manage.* 85, 141–150.
- Keles, Y., and Oncel, I. 2004.** Growth and solute composition on two wheat species experiencing combined influence of stress conditions. *Russian J. Plant Physiol.* 51:203-208.
- Koutroubas, S.D., Papakosta, D.K., Doitsinis, A. 2008.** Nitrogen utilization efficiency of safflower hybrids and open-pollinated varieties under Mediterranean conditions. *Field Crops Res.* 107, 56–61.
- Lovelli, S., Perniola, M., Ferrara, A., Di Tommaso, T. 2007.** Yield responded factor to water (Ky) and water use efficiency of *Carthamus tinctorius* L. and *Solanum melongena* L. *Agric. Water Manage.* 92, 73–80.
- Miller, G., Suzuki, N., Ciftci-Yilmaz, S., Mittler, R. 2010.** Reactive oxygen species homeostasis and signalling during drought and salinity stresses, *Plant Cell Environ.* 33:453e467.
- Moller, M.I., Jensen, P.E., Hansson, A. 2007.** Oxidative modifications to cellular components in plants, *Annu. Rev. Plant Biol.* 58: 459e481.
- Monneveux, P., Belhassen, E. 1996.** The diversity of drought adaptation in the wild. *Plant Growth Regul.* 20, 85–92.
- Munne –Bosch, S., and Pen˜ uelas, J. 2003.** Photo- and antioxidative protection, and a role for salicylic acid during drought and recovery in field-grown *Phillyrea angustifolia* plants. *Planta* 217, 758–766.
- Ngouajio, M., Wang, G., Goldy, R. 2007.** Withholding of drip irrigation between transplanting and flowering increases the yield of field-grown tomato under plastic mulch. *Agric. Water Manage.* 87, 285–291.
- Pustovoitova, T.N., Zhdanova, N.E., Zholkevich, V.N. 2004.** Changes in the levels of IAA and ABA in cucumber leaves under progressive soil drought. *J. Plant Physiol.* Russian 51, 513–517.
- SAS Institute Inc. 2002.** The SAS System for Windows, Release 9.0. Statistical Analysis Systems Institute, Cary, NC, USA.

- Shalata, A., Mittova, V., Volokita, M., Guy, M., and Tal, M. 2001.** Response of the cultivated tomato and its wild salt-tolerant relative *Lycopersicon pennellii* to salt-dependent oxidative stress: The root antioxidative system. *Physiol. Plant*, 112: 487-494.
- Singh, M.P., Singh, D.K., and Rai, M. 2007.** Assessment of growth, physiological and biochemical parameters and activities of antioxidative enzymes in salinity tolerant and sensitive basmati rice varieties. *J. Agron. Crop Sci.* 193, 398-412.
- Xie, Z.J., Jiang, D., Cao, W.X., Dai, T.B., Jing, Q. 2003.** Relationships of endogenous plant hormones to accumulation of grain protein and starch in winter wheat under different post-anthesis soil water statuses. *Plant Growth Regul.* 41, 117-127.
- Yegappan, T.M., Paton, D.M., Gates, C.T., and Muller, W.J. 1982.** Water stress in sunflower response to cycloasil: *Ann. Bot.*, 49: 63-68.
- Zhang, S., Weng, J., Pan, J., Tu, T., Yao, S., and Xu, C. 2003.** Study on the photogeneration of superoxide radicals in Photosystem II with EPR spin trapping techniques. *Photosyn. Res.* 75, 41-48.
- Zheng, L., Su, M.Y., Wu, X., Liu, C., Qu, C.X., Chen, L., Huang, H., Liu, X.Q., Hong, F.S. 2007.** Antioxidant stress is promoted by nano-anatase in spinach chloroplast under UV-B radiation. *Biol trace elem res.*