

بررسی اثر پلیمر سوپر جاذب بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه گندم

(*Triticum aestivum* L.) در شرایط تنش کم آبی

Effect of super absorbent polymer on the morpho-physiological and biochemical characteristics of wheat (*Triticum aestivum* L.) under water deficit stress.

محمد رضا کاظمی^{*}، فرشاد قوشچی^۱ و پورنگ کسرای^۱

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

نویسنده مسئول مکاتبات: mr127kazemi@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۲/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۲۴

چکیده

این تحقیق با هدف اثر سوپر جاذب بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیک گندم در شرایط کم آبی به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی شامل سطوح مختلف تنش کم آبی (۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) و عامل فرعی شامل مقادیر مختلف پلیمر (صفر، ۱۵، ۳۰ و ۴۵ کیلوگرم در هکتار) بود. پلیمر سوپر جاذب بر صفات وزن هزار دانه، عملکرد زیست توده و عملکرد دانه، شاخص برداشت، آنزیم گایاکول پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز، گلوکاتینون رداکتاز معنی‌دار بود و در کالاتاز در اثر متقابل معنی‌دار نشد. نتایج نشان داد در شرایط معمول افزودن پلیمر به خاک حتی به میزان ۴۵ کیلوگرم در هکتار منجر به افزایش قابل توجهی در عملکرد زیست توده و عملکرد دانه نشد، اما کاربرد سطح بالای پلیمر در شرایط تنش ملایم و شدید، عملکرد دانه را به ترتیب ۱۰ و ۳۰ درصد و عملکرد زیست توده را به ترتیب ۶/۴۲ و ۱۰/۹۴ درصد نسبت به حالت شاهد بدون پلیمر افزایش داد. در شرایط تنش شدید سطح بالای پلیمر منجر به کاهش قابل ملاحظه فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز (۱/۵ برابر)، آسکوربات پراکسیداز (۶۳ درصد) کالاتاز (۳۰ درصد) و گلوکاتینون رداکتاز (۷۱ درصد) نسبت به شرایط بدون اعمال پلیمر شد. حتی سطح ملایم تنش کم آبی منجر به کاهش معنی‌دار میزان کلروفیل‌های a و b (به ترتیب ۱۵ و ۲۴ درصد کاهش نسبت به تیمار شاهد) شد. و میزان کلروفیل‌های a و b در سطح تنش شدید کم آبی کاهش شدیدی داشت (به ترتیب ۵۱ و ۳۸/۷ درصد کاهش در مقایسه با تیمار شاهد). با کاربرد سطوح بالای پلیمر، ۳۰ و ۴۵ کیلوگرم در هکتار میزان کلروفیل a در گیاه نسبت به حالت شاهد به ترتیب ۱۳/۴۲ و ۲۰/۱۳ درصد افزایش یافت. در شرایط تنش خفیف سطوح بالاتر پلیمر تقریباً اثرات یکسانی را در اسمولیت‌های سازگار داشتند. در حالی که در تنش شدیدتر تاثیر مثبت پلیمر ۴۵ کیلوگرم در هکتار بالاتر از ۳۰ کیلوگرم در هکتار بود، توانست میزان تجمع قندهای محلول و پرولین را حتی کم‌تر از سطح تنش خفیف نگه‌دارد. همچنین بالاترین سطح پلیمر میزان پراکسیداسیون لیپیدهای غشا را کاهش داد و در نتیجه تولید مالون دی‌آلدئید نسبت به شاهد ۵۳ درصد کاهش یافت.

واژگان کلیدی: گندم، تنش کم آبی، پلیمر سوپر جاذب، عملکرد دانه، درصد پروتئین، وزن هزار دانه

مقدمه

گندم به دلیل نقش مهمی که در عرصه سیاسی و اقتصادی کشورهای به خصوص کشورهای در حال توسعه ایفا می‌کند، یک محصول استراتژیک در تمام دنیا از جمله ایران به حساب می‌آید. ایران دارای ۱/۲ درصد از اراضی خشک جهان، با متوسط بارندگی حدود ۲۵۰ میلی‌متر، یک سوم متوسط بارندگی جهان را دارد (Heidari Sharifabadi, 2008). تنش کم‌آبی که منطبق با انتهای دوره رشد گیاه گندم مراحل گرده‌افشانی و پر شدن دانه است، باعث افت شدید عملکرد گندم در اغلب نقاط کشور می‌شود (Ahmadi *et al.*, 2009). اعمال مدیریت صحیح و به‌کارگیری تکنیک‌های پیشرفته به منظور افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک، از جمله اقدامات موثر برای افزایش تولید و عملکرد و در نتیجه بهبود بهره‌برداری از منابع محدود آب کشور می‌باشد. سوپر جاذب‌ها به‌عنوان جاذب آب در افزایش ظرفیت نگهداری و جذب آب در خاک مورد استفاده قرار می‌گیرند و این خصوصیت برای مقابله با شرایط کم‌آبی و کاهش اثرات سوء تنش کم‌آبی در گیاهان زراعی اهمیت فراوانی دارد (Chatzopoulos, 2008).

پلیمرهای سوپر جاذب (ابر جاذب و فراجاذب) از جنس هیدروکربن هستند. این مواد چندین برابر وزن خود آب را جذب و نگهداری می‌کنند. در اثر خشک‌شدن محیط، آب داخل پلیمر به تدریج تخلیه می‌شود و بدین ترتیب خاک به مدت طولانی و بدون نیاز به آبیاری مجدد، مرطوب می‌ماند (Widiastuti *et al.*, 2008; Green *et al.*, 2004).

مقدار جذب آب، در این پلیمرها بسته به فرمول‌بندی، آب، ناخالصی‌ها و مقدار نمک موجود تا ۴۰۰ برابر وزن سوپر جاذب متغیر است (Monnig, 2005). پلیمرهای سوپر جاذب باعث افزایش ماندگاری آب در خاک می‌شود و تعداد آبیاری را تا ۵۰ درصد کاهش می‌دهند (Nazarli *et al.*, 2010). رابطه بین مصرف پلیمرهای سوپر جاذب و افزایش آب در دسترس گیاه نشان داد که با مصرف سوپر جاذب، ۱۰/۶۸ درصد آب بیش‌تر نسبت به شاهد در خاک باقی ماند (Wu *et al.*, 2008).

استفاده از ترکیبات پلیمر سوپر جاذب به منظور افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت خاک از روش‌های پیشنهادی در شرایط کمبود آب است. این پلیمرها ترکیباتی مصنوعی و آلی بوده و قادرند در تماس با آب آن را تا چندین برابر حجم خود جذب و نگهداری کنند. مصرف پلیمر سوپر جاذب میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز، گلوکاتایون ردوکتاز و کالاتاز را کاهش می‌دهد که با توجه به تاثیر سوپر جاذب در افزایش عملکرد و کاهش صدمات اکسیداتیو در گیاه مصرف این ماده توجیه‌پذیر است (حبیبی و همکاران، ۱۳۸۵).

در شرایط کم‌آبی خصوصیات کمی و کیفی گیاه تحت تاثیر قرار می‌گیرد و کاهش می‌یابد. کود دامی و پلیمر سوپر جاذب به ترتیب باعث افزایش حاصلخیزی خاک و نگهداری و ذخیره رطوبت می‌شوند، بنابراین در شرایط تنش کم‌آبی که رطوبت مورد نیاز گیاه کاهش می‌یابد، کود دامی و پلیمر سوپر جاذب می‌توانند با نگهداری رطوبت در خود، آن را در اختیار گیاه قرار دهند و در کاهش تنش مؤثر باشند (مظاهری، ۱۳۹۰).

افزایش عملکرد دانه و عملکرد زیست توده توسط پلیمر سوپر جاذب در هر دو شرایط تنش و نرمال توسط مسلمی و همکاران (Moslemi *et al.*, 2012) نیز گزارش شد. نتایج پژوهش روبیولایسلام و همکاران (Robiul Islam *et al.*, 2011) بیانگر افزایش ارتفاع بوته، قطر ساقه، عملکرد دانه، عملکرد زیست توده و شاخص برداشت با کاربرد ۴۰ کیلوگرم در هکتار پلیمر سوپر جاذب بود.

توحیدی مقدم (۱۳۸۹) تاثیر پلیمر سوپر جاذب را بر رشد و عملکرد گندم در شرایط تنش آبی مورد بررسی قرارداد تنش آبی، بیوماس کل، عملکرد و اجزای عملکرد دانه، شاخص برداشت و حجم کلروفیل را کاهش می‌دهد و کاربرد پلیمر سوپر جاذب در شرایط تنش آبی موجب بهبود بیوماس کل، عملکرد و اجزای عملکرد دانه، شاخص برداشت و کلروفیل $a+b$ و a می‌شود. این مواد با افزایش ذخیره آب در خاک و قراردادن آب و مواد غذایی بیش‌تر در اختیار گیاه توانست میزان ساخت رنگیزه‌ها را افزایش دهد و انتقال

متر بود و در مجموع ۳۶ تیمار در زمین ایجاد شد. بذرها در هر کرت به صورت نواری و با تراکم بوته ۳۰۰ بوته در مترمربع کشت شدند. پلیمرها هم‌زمان با کاشت بذر به خاک اضافه شد و پس از کاشت بذور آبیاری نشتی انجام گرفت. کنترل علف‌های هرز به صورت مکانیکی و شیمیایی به صورت یکنواخت در کلیه تیمارها انجام شد. صفات زراعی اندازه‌گیری شده شامل وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، آسکوربات پراکسیداز، کالاتاز، گایاکول پراکسیداز، گلوکاتینون رداکتاز و شاخص برداشت (HI) بود.

وزن هزار دانه: پنج نمونه ۲۰۰ تایی دانه از هر تیمار به صورت تصادفی و درهم انتخاب شده، سپس با ترازوی دیجیتال وزن و در پنج ضرب شد، سپس با میانگین‌گیری، وزن هزار دانه برای هر تیمار به دست آمد.

عملکرد دانه و عملکرد کل: جهت اندازه‌گیری

عملکرد دانه، بوته‌ها در یک مترمربع از هر تیمار، کفبر گردید و وزن دانه‌ها اندازه‌گیری شد و پس از تعمیم دادن به هکتار عملکرد دانه محاسبه گردید و با اندازه‌گیری کاه و کلش در هر تیمار و استفاده از تناسب میزان عملکرد کل محاسبه شد.

شاخص برداشت (HI): نمونه‌های برداشت شده

از یک ردیف کشت، در دستگاه آون ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۶ ساعت، به‌طور یکنواخت خشک شدند. سپس وزن دانه‌های یک ردیف و بعد وزن کل بوته‌های یک ردیف به دست آمد و شاخص برداشت طبق فرمول ذیل برای هر تیمار محاسبه گردید.

$$HI = 100 \times (\text{عملکرد کل} \div \text{عملکرد اقتصادی})$$

میزان پروتئین: از روش (Bradford, 1976)

استفاده شد. مبنای این روش بر اساس اتصال رنگ کوماکسی برلیانت بلو G₂₅₀ موجود در معرف اسیدی به مولکول پروتئین است. برای سنجش با دستگاه

موادفتوسنتزی را در گیاه تسهیل نماید و موجب بهبود رشد و عملکرد گندم در شرایط تنش آبی و معمول شود.

جلیل و همکاران (Jaleel et al., 2007)، بیان کردند تحت شرایط تنش، پارامترهای رشدی مانند وزن تر و خشک (*Catharanthus raseus*) گیاه کاهش می‌یابد. ولی زمانی که با باکتری‌های PGPR تلقیح شد وزن تر و خشک گیاه تحت شرایط تنش خشکی، افزایش داشت. نتایج حاصله از اکثر مطالعات بر روی رشد غلات و گراس‌ها، به‌خصوص گندم تلقیح شده با آزوسپیریلوم حاکی از افزایش شاخص‌های رشد رویشی و زایشی بود. درصد جوانه‌زنی، فزونی پنجه‌ها، ازدیاد تعداد دانه در هر سنبله، وزن هزار دانه همراه با ازدیاد میزان نیتروژن دانه گزارش شد (امتیازی و همکاران، ۱۳۸۸).

هدف از انجام این پژوهش تعیین بهترین سطح کاربرد پلیمر سوپرچاذب (به‌صورت مخلوط با خاک) برای مقابله با تنش کم‌آبی ضمن حفظ عملکرد و کیفیت گندم تولیدی بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق با هدف اثر سوپرچاذب بر خصوصیات مرفوفیزیولوژیک گندم در شرایط کم‌آبی به‌صورت کرت خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی شامل سطوح مختلف تنش کم‌آبی (۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) و عامل فرعی شامل مقادیر مختلف سوپر جاذب A₂₀₀ (صفر، ۱۵، ۳۰ و ۴۵ کیلوگرم در هکتار) بود. این طرح در شهرستان گرمسار که از نظر اقلیمی جزو مناطق خشک و نیمه خشک کشور با متوسط بارندگی ۱۲۰-۱۵۰ میلی‌متر، بافت خاک مورد آزمایش رسی لومی با PH ۷/۸ و هدایت الکتریکی ۲/۸، در سال زراعی ۱۳۹۳-۱۳۹۴ انجام شد. رقم مورد استفاده در این آزمایش، رقم پیش‌تاز بود و از ویژگی‌های این رقم ارتفاع بوته متوسط ۹۲ سانتی‌متر، وزن هزار دانه ۴۴/۵ گرم و عملکرد ۷/۴ تن در هکتار است. هر کرت شامل پنج خط کاشت به‌طول پنج‌متر و با فاصله خطوط ۴۵ سانتی‌متر و فاصله بین تکرارها دو

و عصاره آنزیمی بود. پس از افزودن عصاره آنزیمی به مخلوط واکنش، کاهش جذب در طول موج ۳۴۰ نانومتر به مدت دو دقیقه با فواصل ۲۰ ثانیه قرائت شد. فعالیت آنزیم بر مبنای میکرومول NADPH مصرف شده در دقیقه در هر میلی گرم پروتئین و با استفاده از ضریب خاموشی ($\epsilon = 6/22 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) بیان شد.

فرمول (۲)

$$U = \frac{\Delta A_{340} \times L \times V_t \times d_f}{\epsilon \times l \times t \times V_s} \text{ (فعالیت آنزیم)}$$

سنجش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز

(APX): طبق روش (Nakano and Asada, 1987) فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز با اسپکتروفتومتر و در دمای اتاق مورد سنجش قرار گرفت. آنزیم آسکوربات پراکسیداز با فعالیت خود پراکسید هیدروژن را توسط آسکوربیک اسید به آب احیا می کند. با گذشت زمان واکنش، روند افزایش در میزان جذب مشاهده می شود که هرچه بیش تر باشد، بالابودن فعالیت این آنزیم را بیان می کند. طول موج ۲۹۰ نانومتر جایی است که آسکوربات حداکثر جذب را دارد ولی با تجزیه آسکوربات توسط آنزیم ذکر شده، میزان آن کاهش یافت و به تبع آن مقدار جذب نیز کاهش داشت. فواصل زمانی پنج ثانیه در نظر گرفته شد.

فرمول (۳)

$$U = \frac{\Delta A_{290} \times L \times V_t}{\epsilon \times l \times t \times V_s} \text{ (فعالیت آنزیم)}$$

اندازه گیری فعالیت آنزیم گایاکول

پراکسیداز: برحسب روش، (Chans and Mehli, 1955) در دمای اتاق، سنجش شد. آنزیم پراکسیداز با استفاده از ترکیب فنولی گایاکول (Guaiacol) به عنوان دهنده الکترون، پراکسید هیدروژن را به آب احیا می کند و از این رو در برخی منابع به نام گایاکول پراکسیداز هم خوانده می شود.

پلیت ریدر، یک میلی لیتر محلول برادفورد داخل تیوب های ۱/۵ میلی لیتر ریخته شد و سپس ۴۰ میکرو لیتر به آن عصاره اضافه شد و پس از ۲۰ دقیقه جذب در طول موج ۵۹۵ نانومتر اندازه گیری شد.

اندازه گیری فعالیت آنزیم کاتالاز: این

آنزیم با دستگاه اسپکتروفتومتر و از طریق روش (Aebi, 1984) انجام شد. سه سی سی فسفات پتاسیم (pH=7) ۵۰ میلی مولار، پنج میکرو لیتر H_2O_2 ۳/۴۱ مولار و ۱۰۰ میکرو لیتر عصاره آنزیم مواد استفاده شده در این آزمایش بودند و فعالیت آنزیم با اعمال بدون فاز تاخیری، به مدت دو دقیقه و فواصل زمانی ۲۰ ثانیه ای توسط دستگاه قرائت شد. ابتدا سه سی سی فسفات پتاسیم به کووت نمونه و سپس پنج میکرو لیتر H_2O_2 به آن اضافه شد، بلافاصله عصاره آنزیم به مخلوط واکنش ریخته و دکمه Start دستگاه زده شد، تفاوت مقدار جذب محلول واکنش بین زمان شروع و پایان واکنش (ΔA_{240}) به دست آمد و در فرمول یک قرار داده شد. قابل ذکر است که دستگاه برای هر نمونه مربوط به آنزیم کاتالاز شش عدد با فاصله زمانی ۲۰ ثانیه قرائت می کند، در صورتی که روند تغییرات (در آنزیم کاتالاز به صورت کاهشی است) اعداد قرائت شده با یکدیگر همخوانی نداشته باشند، سنجش نمونه تکرار می شود (لازم بذکر است این کار، در اندازه گیری بقیه آنزیم های آنتی اکسیدانت نیز رعایت شد).

فرمول (۱)

$$U = \frac{\Delta A_{240} \times L \times V_t \times d_f}{\epsilon \times l \times t \times V_s} \text{ (فعالیت آنزیم)}$$

اندازه گیری فعالیت گلوکاتایون ردوکتاز

(GR): به روش (Smith et al., 1989) و براساس احیای گلوکاتایون اکسید شده توسط آنزیم گلوکاتایون ردوکتاز با مصرف NADPH (نیکوتین آدنین دی نوکلئوتید فسفات) ارزیابی شد. مخلوط واکنش شامل بافر فسفات پتاسیم ۲۰۰ میلی مولار، NADPH ۱۵ میلی مولار، گلوکاتایون اکسید شده پنج میلی مولار

فرمول (۴)

$$(U) \text{ فعالیت آنزیم} = \frac{\Delta A_{470} \times L \times V_t \times d}{\epsilon \times l \times t \times V_s}$$

صفت حساس به تنش کم‌آبی است (استرکی و همکاران، ۱۳۸۴). نتایج به دست آمده در این تحقیق با نتایج هماهنگی دارد (Borras *et al.*, 2004; Gonzalez *et al.*, 2007).

تأثیر مثبت پلیمر با افزایش شدت تنش به همان نسبت افزایش یافت. در شرایط معمول آبیاری افزودن پلیمر به میزان ۴۵ کیلوگرم در هکتار به خاک منجر به افزایش سه درصدی عملکرد دانه شد، اما در شرایط تنش ملایم و شدید به ترتیب ۱۰ و ۳۰ درصد عملکرد دانه را افزایش داد. همچنین بالاترین عملکرد دانه در تیمار شاهد رطوبتی و در پلیمر ۳۰ کیلوگرم در هکتار (۵۷۱۸/۳۳ کیلوگرم در هکتار) و کم‌ترین آن در تیمار تنش شدید کم‌آبی (۱۲۰ میلی‌لیتر تبخیر از تشتک تبخیر) و بدون استعمال پلیمر (۲۵۶۱/۶۷ کیلوگرم در هکتار) حاصل گردید (شکل یک). این امر می‌تواند به دلیل بهبود وضعیت تهویه خاک نسبت به کاربرد ۴۵ کیلوگرم در هکتار باشد. با افزایش سطوح پلیمر در تمام سطوح تنش کم‌آبی افزایش عملکرد دانه مشاهده می‌شود که نتیجه به دست آمده با نتایج دانشیان و همکاران (۱۳۸۱) و توحیدی‌مقدم و مظاهری (۱۳۹۱) مطابقت دارد. کوتاه شدن دوره پر شدن دانه تحت تنش کم‌آبی می‌تواند عاملی دیگر برای کمی وزن دانه‌ها باشد. به‌طور خلاصه تنش کم‌آبی نه تنها اندازه بافت‌های منبع و مخزن را محدود می‌کند بلکه بارگیری آوند آبکش، انتقال آسیمیلات‌ها و توزیع ماده خشک را نیز مختل می‌کند (Farooqe *et al.*, 2009).

همچنین علت افزایش وزن هزار دانه و عملکرد دانه در تیمار با پلیمر را می‌توان به در دسترس بودن آب به مقدار مناسب و در نتیجه انتقال بهتر مواد غذایی به دانه‌ها نسبت داد که نهایتاً از کوچک ماندن و چروکیدگی دانه‌ها جلوگیری می‌کند (Specht and Harvey, 2002). که با نتایج به دست آمده مطابقت دارد.

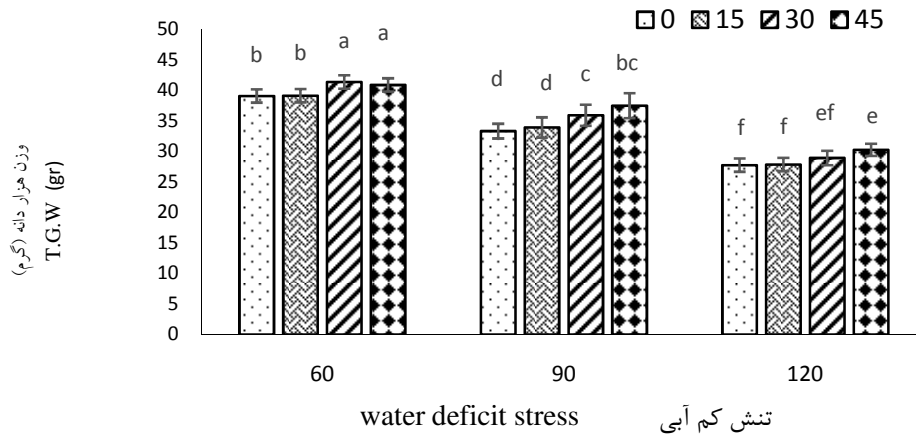
قبل از تجزیه واریانس، آزمون نرمال بودن داده‌ها بررسی و تجزیه داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS ورژن 9.2 انجام گرفت. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده گردید.

نتایج و بحث

نتایج نشان داد اثر متقابل تنش کم‌آبی و پلیمر سوپرچادب بر صفات عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، درصد پروتئین دانه، آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز، گایاکول پراکسیداز و گلوکاتیون ردوکتاز در سطح احتمال یک درصد و در صفت وزن هزار دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول یک).

وزن هزار دانه

نتایج نشان داد اثر ساده کم‌آبی و پلیمر و اثرات متقابل آنها در سطح یک درصد بر وزن هزار دانه معنی‌دار شد (جدول یک). کاربرد پلیمر به مقدار ۳۰ و ۴۵ کیلوگرم در هکتار در تنش ملایم و تنش شدید به ترتیب ۷/۸ و ۱۲/۴۸ درصد و ۴/۳ و ۹/۱۶ درصد وزن هزار دانه نسبت به شاهد افزایش داد. کم‌ترین میزان وزن هزار دانه (۲۷/۷۴ گرم) مربوط به شرایط بدون اعمال پلیمر و تنش شدید کم‌آبی بود، اگرچه بیشینه (۴۰/۸۷ گرم) صفت مورد نظر در سطوح بالای پلیمر و در شرایط معمول به دست آمد (شکل یک). با افزایش شدت تنش کم‌آبی از شاهد به تنش شدید، وزن هزار دانه تا ۴۰ درصد کاهش یافت. این امر نشان می‌دهد وزن هزار دانه در گندم یک



شکل ۱- تاثیر سطوح تنش کم آبی و پلیمر سوپر جاذب بر وزن هزار دانه گندم

Fig. 1. The effect of levels water deficit stress and super absorbent polymer on wheat grain weight

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس سطوح تنش کم آبی و پلیمر بر صفات زراعی در گندم

Table 1. Analysis of variance polymer levels and water deficit stress on agronomic traits in wheat

(s.o.v)	منابع تغییرات	M.s				
		درجه آزادی	عملکرد دانه G.Y	وزن هزار دانه T.G.W	عملکرد بیولوژیک B.Y	شاخص برداشت HI
Replication	تکرار	2	122864.70**	52.39**	229477.7**	12.49**
Water deficit stress	تنش	2	1.97**	394.13**	1.64**	686.5**
Error a	خطای a	4	8536.40	3.66	66186.11	0.36
Polymer	پلیمر	3	483104.30**	16.89**	1201539.40**	8.72**
w.s.s*p	تنش * پلیمر	6	67611.30**	1.16*	117596.80**	3.10**
Error b	خطای b	18	1330.50	0.34	1872.22	0.06
Cv%	ضریب تغییرات		25.52	9.94	19.61	4.10

ns, * و ** به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns, *and **: Non significant and significant at 5 and 1% level of probability ,respectively.

ادامه جدول یک

Table 1. continued table one

(s.o.v)	منابع تغییرات	M.s					
		درجه آزادی	درصد پروتئین G.P.P	آسکوربات APX	گایاکول GPX	میزان کاتالاز CAT	گلوکاتیون GR
Replication	تکرار	2	4.71**	3.710**	0.510**	1.48**	43.81**
Water deficit stress	تنش	2	28.30**	12.690**	10.280**	15.41**	795.90**
Error a	طای a	4	1.48	0.140**	0.080**	0.96**	1.59 ^{ns}
Polymer	پلیمر	3	5.03**	3.380**	1.780**	0.95**	219.70**
w.s.s*p	تنش * پلیمر	6	0.34**	0.320**	0.710**	0.32 ^{ns}	65.12**
Error b	خطای b	18	0.47	0.004	0.004	0.18	1.47
Cv%	ضریب تغییرات		19.05				

ns, * و ** به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

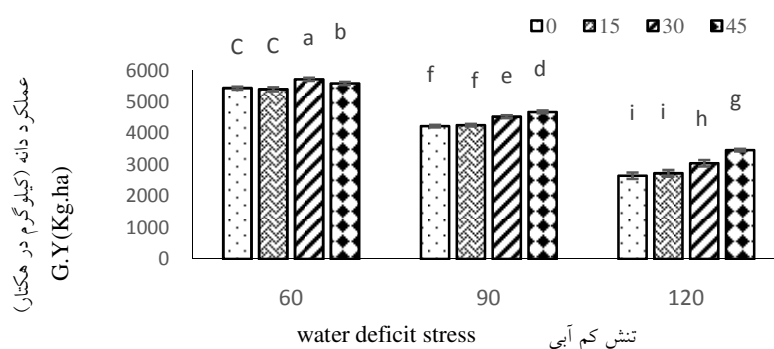
ns, *and **: Non significant and significant at 5 and 1% level of probability ,respectively.

عملکرد دانه

نتایج نشان داد اثر ساده کم‌آبی و پلیمر و اثرات متقابل آن‌ها در سطح یک درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار شد (جدول یک). تاثیر مثبت پلیمر با افزایش شدت تنش به همان نسبت افزایش یافت. به این شکل که در شرایط معمول آبیاری افزودن پلیمر به میزان ۴۵ کیلوگرم در هکتار به خاک فقط منجر به افزایش سه درصدی عملکرد دانه شد، اما در شرایط تنش ملایم و شدید به ترتیب ۱۰ و ۳۰ درصد عملکرد دانه را افزایش داد. همچنین بالاترین عملکرد دانه از تیمار شاهد و مصرف پلیمر ۳۰ کیلوگرم در هکتار (۵۷۱۸/۳۳ کیلوگرم در هکتار) و کم‌ترین آن در تیمار تنش شدید کم‌آبی (۱۲۰ میلی‌لیتر تبخیر از تشتک تبخیر) و بدون استعمال پلیمر (۲۵۶۱/۶۷ کیلوگرم در هکتار) حاصل گردید (شکل دو). این امر می‌تواند به دلیل بهبود وضعیت تهویه خاک نسبت به کاربرد ۴۵ کیلوگرم در هکتار باشد.

رحمان و همکاران (Rahman *et al.*, 2011) گزارش کردند که کاربرد پلیمرهای سوپرجاذب به طور معنی‌اری عملکرد دانه گندم و برنج را افزایش داد. با افزایش سطوح پلیمر در تمام سطوح تنش‌های کم‌آبی افزایش عملکرد دانه مشاهده می‌شود که با نتایج توحیدی‌مقدم و مظاهری (۱۳۹۱) مطابقت

دارد. کوتاه شدن دوره پر شدن دانه تحت تنش کم‌آبی می‌تواند عامل دیگری برای کم شدن وزن دانه‌ها باشد. به‌طورکلی تنش کم‌آبی علاوه بر محدود نمودن اندازه بافت‌های منبع و مخزن، بارگیری آوند آبکش، انتقال آسیمیلات‌ها و توزیع ماده خشک را نیز مختل می‌کند (Farooque *et al.*, 2009). با استفاده از سوپرجاذب میزان نگهداری آب خاک با توجه به حضور کوددما می‌تواند به میزان مناسب بود و هم‌زمان که شرایط تغذیه‌ای و فیزیکی مناسب ایجاد گل و غلاف است، عملکرد دانه در حالت قطع آبیاری نیز افزایش داشت. در این تحقیق با اعمال تنش کم‌آبی، عملکرد دانه در مقایسه با شرایط آبیاری مطلوب کاهش زیادی نشان داد. عملکرد دانه متأثر از دو عامل سرعت پر شدن دانه و مدت پر شدن دانه است. تنش خشکی در طول دوره پر شدن دانه (مرحله تشکیل غلاف) می‌تواند با کاهش دوره پر شدن دانه و افزایش مختصر سرعت پر شدن دانه، عملکرد دانه را کاهش دهد. همچنین تنش کم‌آبی، در مراحل اولیه پر شدن دانه از طریق کاهش تعداد سلول‌های آندوسپرم بر پر شدن دانه و در نتیجه عملکرد دانه تأثیر می‌گذارد (کافی و همکاران، ۱۳۸۸) که با نتایج به دست آمده در این تحقیق مطابقت دارد.



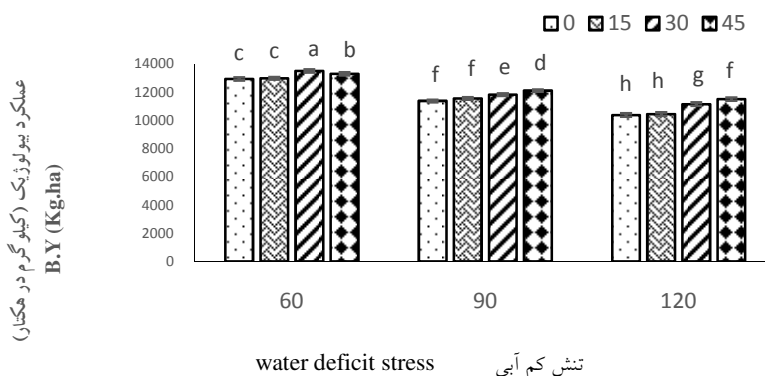
شکل ۲- تاثیر سطوح تنش کم‌آبی و پلیمر سوپرجاذب بر عملکرد دانه در گندم

Fig. 1. The effect of levels water deficit stress and superabsorbent polymer on wheat grain yield

عملکرد بیولوژیک

نتایج نشان داد اثر ساده کم آبی و پلیمر و اثرات متقابل آن‌ها در سطح یک درصد بر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود (جدول یک). در شرایط تنش ملایم و شدید افزایش کاربرد پلیمر از ۳۰ به ۴۵ کیلوگرم در هکتار منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک شد (به ترتیب ۲/۴۶ و ۳/۲۵ درصد). در حالی که در شرایط تنش کم آبی، تیمار شاهد کاربرد ۳۰ کیلوگرم پلیمر نسبت به ۴۵ کیلوگرم در هکتار برتری داشت (شکل سه). تحقیقات مختلف نشان داد کاربرد پلیمر سوپر جاذب سبب افزایش عملکرد بیولوژیک شد (یزدانی و همکاران ۱۳۸۶؛ Jalal Kamali *et al.*, 2008) که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد. افزایش در عملکرد بیولوژیک می‌تواند نتیجه‌ی افزایش قابلیت نگهداری آب و برخی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه در خاک در اثر مصرف

پلیمر سوپر جاذب باشد. سوپر جاذب‌ها می‌توانند عناصری مانند آهن، روی، فسفر و نیتروژن را در خود نگه‌دارند و از آشفته‌گی و هدر رفتن آن‌ها جلوگیری کنند (پور اسماعیل، ۱۳۸۵). اله‌دادی و همکاران (۱۳۸۱) گزارش کردند روند افزایش عملکرد بیولوژیک گیاه ذرت علوفه‌ای تحت تأثیر کاربرد مقادیر مختلف پلیمر به صورت خطی بود. کاربرد پلیمر سوپر جاذب سبب افزایش عملکرد بیولوژیک می‌شود (یزدانی و همکاران، ۱۳۸۶؛ Jalal Kamali *et al.*, 2008) که با نتایج تحقیق حاضر نیز مطابقت دارد. پلیمر با ذخیره‌سازی آب و آزادسازی به موقع آن، باعث صرفه‌جویی در آب مصرفی شده و همچنین موجب بهبود شرایط فیزیکی و احتمالاً دسترسی مناسب به عناصر غذایی می‌گردد و در نتیجه عملکرد ماده خشک افزایش می‌یابد.



شکل ۳- تاثیر سطوح تنش کم آبی و پلیمر سوپر جاذب بر عملکرد بیولوژیک در گندم

Fig. 3. The effect of levels water deficit stress and wheat super absorbent polymer on biological yield

شاخص برداشت

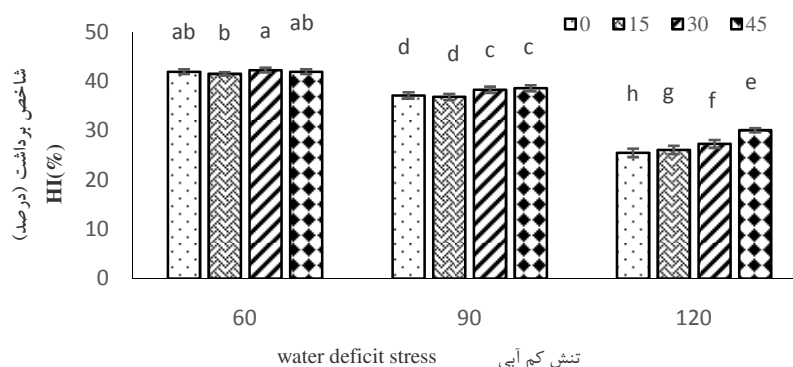
نتایج نشان داد اثر ساده کم آبی و پلیمر و اثرات متقابل آن‌ها در سطح یک درصد بر شاخص برداشت معنی‌دار بود (جدول یک). در شرایط تنش ملایم بین تیمارهای صفر و ۱۵ کیلوگرم پلیمر در هکتار و تیمارهای ۳۰ و ۴۵ کیلوگرم پلیمر در هکتار تفاوت معنی‌داری در میزان شاخص برداشت، وجود نداشت. اما در تنش شرایط شدید بین سطوح کاربردی پلیمر تفاوت معنی‌داری دیده شد، به این شکل که حتی

کاربرد ۱۵ کیلوگرم پلیمر در هکتار منجر به افزایش دو درصدی در شاخص برداشت شد (شکل چهار). کاهش شاخص برداشت در گیاه گندم در اثر تنش کم آبی توسط محققان دیگر هم گزارش گردید (Foulkes *et al.*, 2007؛ Reynolds *et al.*, 2009) (Abdoli and Saeidi, 2012).

وقوع تنش خشکی با افت شاخص برداشت همراه است، بدین معنا که سهم کمتری از کل زیست توده تولیدی در این حالت به دانه‌ها اختصاص می‌یابد، زیرا

موجب گردد. ارقامی از گندم که دارای عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت بالا هستند به احتمال زیاد دارای عملکرد دانه بالایی در شرایط کنترل و تنش رطوبتی هستند (Abdoli and Saeidi, 2012). در این تحقیق نیز نتایج به دست آمده با محققان فوق مطابقت دارد.

در این حالت کاهش فعالیت‌های فتوسنتزی منجر به کاهش انتقال مواد پرورده به دانه‌ها می‌شود که این موضوع کاهش شاخص برداشت را به دنبال دارد (Foulkes *et al.*, 2007). در همین ارتباط گزارش کردند مقادیر بالای شاخص برداشت در شرایط عادی در یک رقم می‌تواند عملکرد بالا در شرایط تنش را



شکل ۴- تاثیر سطوح تنش کم‌آبی و پلیمر سوپرجاذب بر شاخص برداشت در گندم

Fig. 4. The effect of levels water deficit stress and super absorbent polymer on harvest index in wheat

دانه در اثر برگ‌زدایی جلوگیری نماید (جودی و همکاران، ۱۳۸۵). در اثر تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه، موجب کاهش عملکرد ماده خشک و پروتئین در هر بوته شد، ولی درصد پروتئین دانه، تحت شرایط شدید خشکی افزایش یافت. پروتئین گلیادین ۴۰ درصد کل پروتئین‌های دانه را شامل می‌شد. تنش کم‌آبی می‌تواند ارزش بعضی از خصوصیات کیفی مانند مقدار پروتئین دانه را بالا ببرد (Guttieri *et al.*, 2000). علت افزایش میزان پروتئین دانه در تنش رطوبتی قبل از رسیدگی دانه را ناشی از تأثیر کم‌تر تنش بر شاخص برداشت نیتروژن در مقایسه با شاخص برداشت ماده خشک می‌دانند. یکی دیگر از دلایل افزایش درصد پروتئین در شرایط تنش خشکی، انباشت پروتئین‌های شوک حرارتی در دانه‌های در حال رشد و رسیده است. پروتئین‌های شوک حرارتی با اوزان ملکولی مختلف تجمع یافته و درصد پروتئین دانه را در شرایط تنش خشکی و گرما افزایش می‌دهند (Gooding *et al.*, 2003).

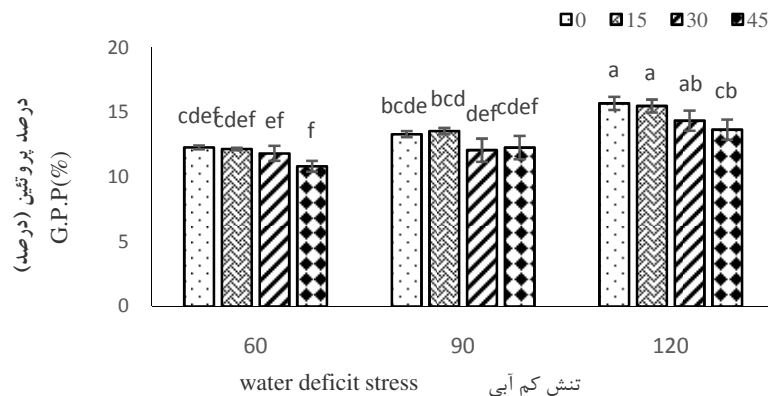
درصد پروتئین دانه

نتایج نشان داد اثر ساده کم‌آبی و پلیمر و اثرات متقابل آن‌ها در سطح یک درصد بر درصد پروتئین معنی‌دار شد (جدول یک). افزایش شدت تنش تا سطح ملایم تأثیری در تجمع پروتئین دانه نداشت و افزودن پلیمر حتی در سطوح بالا تأثیر خاصی در مقدار صفت مذکور ایجاد نکرد. اما با اعمال تنش شدیدتر پروتئین دانه به مقدار ۱۵/۶۴ درصد افزایش یافت. همچنین در این سطح تنش کاربرد سطح بالای پلیمر (۴۵ کیلوگرم در هکتار) میزان پروتئین دانه به متوسط ۱۰/۸۳ درصد کاهش یافت.

برگ‌زدایی گندم پاییزه (قدس) در مراحل چکمه‌پوش، گرده‌افشانی و ۲۰ روز بعد از گرده‌افشانی در شرایط فاریاب اثری روی درصد پروتئین دانه نقش کلیدی دارند ولی احتمالاً انتقال مجدد نیتروژن از سایر اندام‌های روشی نظیر ساقه و ریشه و یا حتی سنبله می‌تواند نقش بافری داشته باشد و با جبران نیتروژن از دست رفته در برگ‌ها از تغییرات پروتئین

افزایش می‌یابد. در واقع هرچه طول دوره رویشی بیشتر شود، طی فرآیند فتوسنتز جاری و انتقال مجدد، ماده غذایی بیشتری در دانه‌ها ذخیره می‌شود که عمدتاً نشاسته بود، در نتیجه نسبت نشاسته به پروتئین در دانه‌ها افزایش می‌یابد.

پایین بودن پروتئین دانه در مقادیر بالای پلیمر را می‌توان به نقش آن در بالابردن ظرفیت نگهداری رطوبت و آب قابل استفاده در خاک نسبت داد. با افزایش مقدار پلیمر، روند پیری برگ‌ها کندتر و پژمردگی به تعویق می‌افتد و امکان ادامه حیات



شکل ۵- تاثیر سطوح تنش کم آبی و پلیمر سوپر جاذب بر درصد پروتئین دانه در گندم

Fig. 5. The effects of levels water stress and superabsorbent polymer on protein content in wheat

وسیله تنش‌های غیرزنده، ناشی از آسیب اکسیداتیو است (Asada, 1999) در شرایط تنش رطوبتی، اکسیژن‌های فعال در گیاهان تجمع می‌یابند. موقعی که گیاهان از تنش رطوبتی آسیب می‌بینند، کل سیستم دفاعی نیاز به فعالیت برای مقاومت در برابر خسارت اکسیژن‌های فعال دارد (Ti-da et al., 2006). آنزیم‌های حفاظتی و آنتی‌اکسیدانت‌ها، نقش مهمی در حفاظت گیاهان از آسیب اکسیداتیو دارند. آسکوربات پراکسیداز، آنزیم جاروب‌گر پراکسید هیدروژن، در سیتوزول و کلروپلاست‌ها قرار دارد و می‌تواند پراکسید هیدروژن را به‌طور موثری مخصوصاً در کلروپلاست، جایی که کاتالاز وجود ندارد، از بین ببرد (Groden and Beck, 1997). کاهش فعالیت این آنزیم‌ها در چرخه کالوین می‌تواند با کاهش نسبت H^+ ، $NADPH$ / $NADP^+$ در کلروپلاست سبب افزایش تولید فرم‌های فعال اکسیژن شود و آسیب به بیومولکول‌ها از جمله لیپیدها افزایش یابد. همچنین فعالیت آیزوزیم‌های $Cu/Zn-SOD$ و $Fe-SOD$

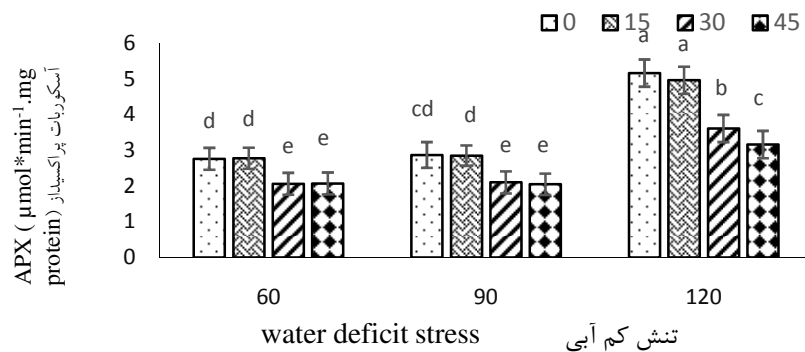
آنزیم آسکوربات پراکسیداز (APX)

نتایج نشان داد اثر ساده کم آبی و پلیمر و اثرات متقابل آن‌ها در سطح یک درصد بر آنزیم آسکوربات پراکسیداز معنی‌دار شد (جدول یک). نتایج حاکی از آن است که در سطح پلیمر صفر با افزایش شدت تنش کم آبی از ۶۰ تا ۱۲۰ میلی‌لیتر از تشتک تبخیر، میزان آنزیم آسکوربات پراکسیداز به تدریج افزایش یافت، بیشینه مقدار فعالیت آنزیم (۳/۱۶ میکرومول در دقیقه در میلی‌گرم پروتئین) در شرایط تنش شدید و بدون کاربرد پلیمر مشاهده شد. روند مذکور در سطح پلیمر پایین (۱۵ کیلوگرم پلیمر سوپر جاذب در هکتار) تکرار شد. همچنین در هر سه سطح تنش کم آبی، با کاربرد سطوح بالای پلیمر در خاک، فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در گیاه به تدریج کاهش پیدا کرد. نکته جالب این‌که در شرایط تنش شدید، برتری سطح بالای پلیمر نسبت به سطح پایین آن از لحاظ فراهمی بیشتر آب به وضوح دیده شد (شکل شش). تحقیقات متعددی ثابت کردند که خسارت سلولی به گیاهان به

ضداکسنده کاهش یافت (نظری، ۱۳۸۹). در برخی تحقیقات نیز گزارش شد که فعالیت سوپراکسید دیسموتاز، آسکوربات پراکسیداز و گلووتاتیون ردوکتاز در طول تنش خشکی در برگ‌های بالغ گیاه آرابیدوپسیس افزایش یافت (اسفندیاری و همکاران، ۱۳۸۸) که با نتایج به‌دست آمده در این تحقیق مطابقت دارد.

به مقادیر بالای پراکسید هیدروژن حساسند (Mittler, 2002).

در رابطه با تاثیرات مثبت پلیمر می‌توان اظهار داشت که کاربرد پلیمر باعث افزایش فراهمی آب قابل دسترس می‌شود و بوته‌ها کم‌تر تحت تنش کم‌آبی قرار داشتند که از فعالیت ساز و کار دفاعی گیاه کاسته شد و در نهایت تولید آنزیم‌های

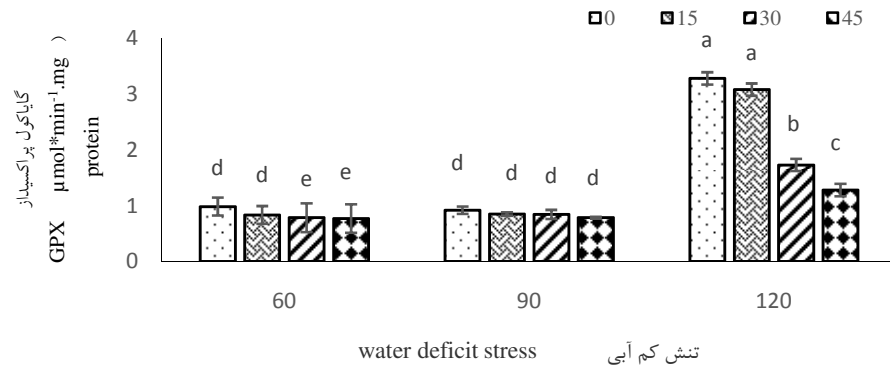


شکل ۶- تاثیر سطوح تنش کم‌آبی و پلیمر سوپرجاذب بر آنزیم آسکوربات پراکسیداز در گندم
 Fig 6. The effects of levels water stress and superabsorbent polymer on APX in wheat

آنزیم گایاکول پراکسیداز با استفاده از ترکیب فنولی گایاکول به‌عنوان دهنده الکترون، پراکسید هیدروژن را به آب احیا می‌کند. آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز در پاک‌سازی سلول از پراکسید هیدروژن درگیر هستند و افت فعالیت آن‌ها در گیاهان تحت تنش موجب تجمع پراکسید هیدروژن می‌شود (اسفندیاری و همکاران، ۱۳۸۸). با مقایسه فعالیت آنزیم‌های گایاکول پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز در شرایط تنش می‌توان گفت که فقط اعمال تنش شدید منجر به تحریک معنی‌دار آنزیم‌های فوق ذکر می‌شود. همچنین طبق نتایج، تیمار پلیمر به‌عنوان آب انبار مینیاتوری با ذخیره و آزادسازی به‌موقع آب از طریق کاهش تجمع گونه‌های فعال اکسیژن به‌ویژه پراکسید هیدروژن منجر به بهبود وضعیت رشد گیاه گندم شد نظری (۱۳۸۹) گزارش کرد، کاربرد سطوح بالای پلیمر در هنگام تنش کم‌آبی باعث افزایش فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز (GPX) شد که با نتایج به دست آمده مطابقت دارد.

آنزیم گایاکول پراکسیداز (GPX)

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد اثر ساده کم‌آبی و پلیمر سوپرجاذب و اثرات متقابل آن‌ها از نظر آماری در سطح یک درصد بر آنزیم گایاکول پراکسیداز معنی‌دار شد (جدول یک). نتایج مربوط به مقایسه میانگین اثر متقابل تنش کم‌آبی و پلیمر بر میزان فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز در گیاه گندم نشان داد که در تمامی سطوح پلیمر، میزان فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز با افزایش سطح تنش تا حد ملایم تاثیر نپذیرفت. بیش‌ترین میزان ۳/۲۸ درصد و کم‌ترین آن مربوط به ۰/۷۷ درصد اما با اعمال تنش رطوبتی تا سطح تنش شدید میزان فعالیت آنزیم مذکور به‌ویژه در سطوح پایین پلیمر به‌میزان ۳/۲۸ درصد افزایش یافت. اما کاربرد سطوح بالای پلیمر به‌ویژه سطح ۴۵ کیلوگرم آن منجر به کاهش ۱/۲۸ درصد فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز شد (شکل هفت).



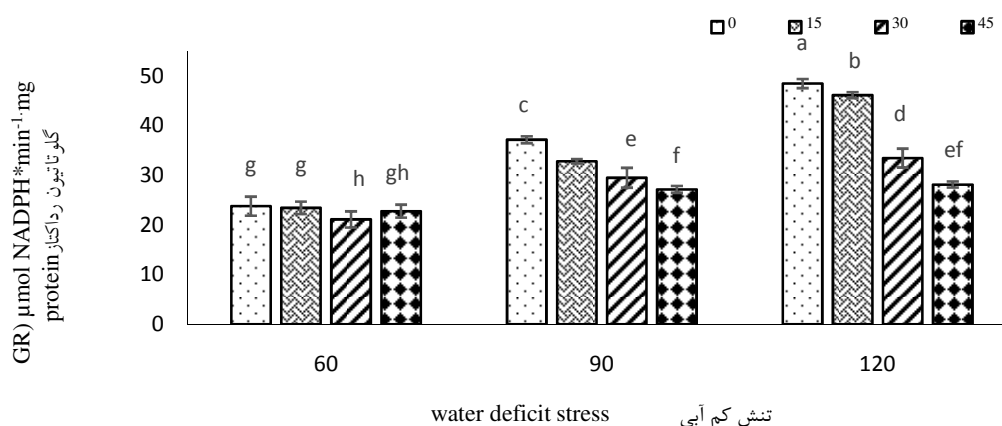
شکل ۷- تاثیر سطوح تنش کم آبی و پلیمر سوپر جاذب بر آنزیم آسکوربات پراکسیداز در گندم
 Fig 7. The effects of levels water stress and superabsorbent polymer on APX in wheat

آنزیم گلوتاتیون رداکتاز (GR)

برای فعالیت دی هیدروکسی آسکوربات رداکتاز را فراهم می کند که به نوبه خود موجب احیای دی هیدروآسکوربات به آسکوربیک اسید می گردد. در پژوهش های اخیر تاکید شد که توان زنده مانگی گیاه طی تنش های محیطی بیش از این که با محتوای گلوتاتیون احیا شده رابطه داشته باشد به وضعیت احیایی گلوتاتیون، یعنی نسبت GSH/GSSG در ارتباط است و این موضوع بر نقش مهم گلوتاتیون رداکتاز در حفظ گیاه در شرایط تنش تاکید می کند (Seal *et al.*, 2010).

همان طور که ذکر شد برخلاف آنزیم های گلیکول پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز، حتی تنش ملایم خشکی نیز منجر به تحریک فعالیت این آنزیم شد. همچنین اعمال پلیمر سطوح پایین نیز منجر به کاهش معنی دار فعالیت آنزیم فوق گردید. بنابراین می توان نتیجه گرفت که این آنزیم نسبت به آنزیم های بحث شده، به مقدار آب در دسترس گیاه حساس تر است، که با نتایج به دست آمده در تحقیق مطابقت دارد.

نتایج نشان داد اثر ساده کم آبی و پلیمر و اثرات متقابل آن ها در سطح یک درصد بر آنزیم گلوتاتیون رداکتاز معنی دار شد (جدول یک). مقایسه میانگین اثر متقابل تنش کم آبی و پلیمر سوپر جاذب بر روی فعالیت آنزیم گلوتاتیون رداکتاز (GR) نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار به ترتیب ۴۸/۴۷ و ۱۲/۲۱ درصد می باشد. در شرایط بدون کاربرد پلیمر، اعمال تنش ملایم و شدید به ترتیب ۵۶/۲۴ درصد و دو برابر میزان فعالیت آنزیم گلوتاتیون رداکتاز را افزایش دادند. همچنین سطح بالای پلیمر در شرایط تنش ملایم و شدید به ترتیب ۳۷ و ۷۱/۴۲ درصد از میزان تحریک و فعالیت این آنزیم است. تاثیر تنش خشکی بر روی فعالیت آنزیم گلوتاتیون رداکتاز توسط محققان دیگری نیز مورد مطالعه قرار گرفت و نتایج به دست آمده توسط این محققان، مشابه با تحقیق ذیل است (Malik *et al.*, 2010؛ Pakniyat, 2010). گلوتاتیون رداکتاز با احیای گلوتاتیون اکسید شده (GSSG) به فرم احیا شده گلوتاتیون (GSH)، نیروی احیایی لازم

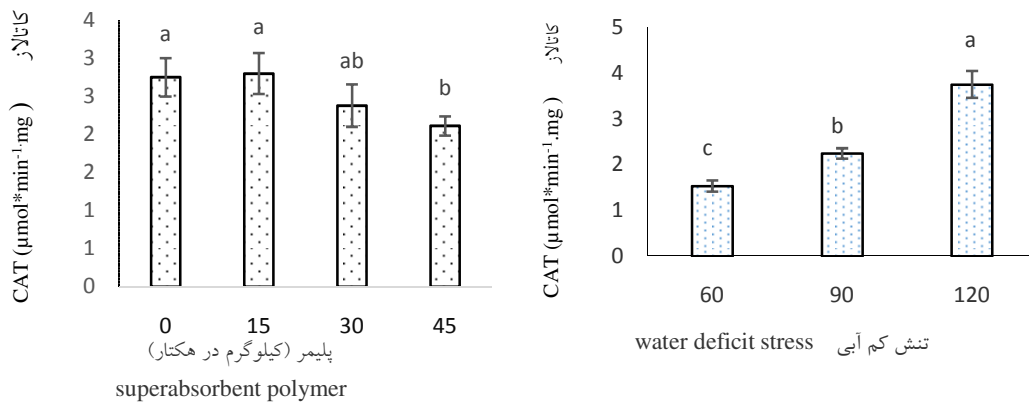


شکل ۸- تاثیر سطوح تنش کم آبی و پلیمر سوپرجاذب بر آنزیم گلوتاتیون رداکتاز در گندم
 Fig 8. The effects of levels water stress and superabsorbent polymer on GR in wheat

دو مولکول H_2O_2 را به دو مولکول H_2O و یک مولکول O_2 تبدیل می کند (کافی و همکاران، ۱۳۸۸). نتایج تحقیقات عطایی شیخ (۱۳۸۶) بر روی نخود نشان داد که تنش خشکی به طور معنی داری میزان فعالیت آنزیم کاتالاز را افزایش می دهد. در اثر شرایط تنش، اکسیژن فعال، در گیاه افزایش می یابد و گیاه سازوکارهای متفاوتی را برای حذف و از بین بردن این گونه های فعال اکسیژن به کار می گیرد، به نظر می رسد که فعال شدن آنزیم های (SOD) و (CAT) در پاسخ به اثرات مخرب اکسیژن های تولید شده از کادمیوم در این گونه گیاهی بوده است. کنترل سطح اکسیژن های مخرب توسط این آنزیم ها در شرایط ماندگار سازوکار حفاظتی مهمی در مقابل تنش اکسیدی در سلول می باشد زیرا ترکیبات به عنوان پیشگامی برای مشتقات سمی تر یا فعال تر عمل می کنند (Khatun *et al.*, 2008). در کل، با توجه به افزایش قابل توجه فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانت تحت تیمار تنش، به نظر می رسد این عامل یکی از سازوکارهای تحمل به خشکی در گیاه گندم باشد. کمبود آب می تواند خسارت غشای را تحریک کند، نفوذپذیری غشای و تجمع رادیکال های آزاد در گیاهان را افزایش دهد. به هنگام واکنش به این شرایط، آنزیم های آنتی اکسیدانت می توانند برای از بین بردن رادیکال های فعال اکسیژن تولید شوند (Sun *et al.*, 2003) که با نتایج تحقیق مغایرت دارد.

آنزیم کاتالاز (CAT)

نتایج نشان داد اثر متقابل کم آبی و پلیمر از نظر آماری بر آنزیم کاتالاز معنی دار نبود و اثرات ساده پلیمر و تنش کم آبی بر آنزیم کاتالاز در سطح یک درصد معنی دار شد (جدول یک). اعمال سطوح پایین پلیمر (۱۵ و ۳۰ کیلوگرم در هکتار) تاثیر معنی داری در میزان فعالیت آنزیم CAT نداشت در حالی که سطوح بالای پلیمر، فعالیت آنزیم کاتالاز ۳۰ درصد کاهش داشت، بیشترین و کمترین میزان آن ۳/۷۵ و ۱/۵ میکرومول بر گرم بود. همچنین تیمار ملایم تنش کم آبی منجر به ۴۶/۵ درصد افزایش و تیمار شدید تنش منجر ۱/۴ برابر افزایش در فعالیت آنزیم CAT شد که بیشترین و کمترین میزان آن ۲/۸۰ و ۲/۱۱ میکرومول بر گرم است (شکل نه). آنزیم کاتالاز جزو اکسیدوردوکتازها و از دسته پروتئین های آهن دار است (Blokhin *et al.*, 2003). این آنزیم وقتی وارد عمل می شود که مقدار ماده سمی پراکسید هیدروژن در محیط زیاد باشد. القای نسخه های کاتالاز در رابطه با افزایش فعالیت این آنزیم است. کاتالازها از کارآمدترین آنزیم های آنتی اکسیدانت محسوب می شوند و باعث تبدیل رادیکال سوپراکسید (O_2) و پراکسید هیدروژن (H_2O_2) به آب و اکسیژن مولکولی می شوند (Yordanova *et al.*, 2003). معمولا هنگامی میزان کاتالاز افزایش می یابد که مقدار ماده پراکسید هیدروژن (H_2O_2) در محیط زیاد باشد. زیرا کاتالاز



شکل ۹- تاثیر سطوح تنش کم آبی و پلیمر سوپر جاذب بر فعالیت آنزیم کاتالاز در گندم
 Fig 9. The effects of levels water stress and superabsorbent polymer on CAT in wheat

در نتیجه با کاربرد مناسب این مواد می توان مدت زمان دسترسی گیاه به رطوبت را افزایش داد و در نتیجه راندمان آبیاری را افزایش داد. از این رو می توان پیشنهاد نمود که مصرف این گونه مواد هنگام کشت گیاه گندم عاملی برای رفع و یا کاهش تنش کم آبی باشد و کاربرد آن به صورت مخلوط با خاک روی این گیاه در شرایط تنش کم آبی توصیه می شود.

نتیجه گیری کلی

با استراتژی کاربرد پلیمر می توان اثرات تنش کم آبی را بدون کاهش در رشد و تا حدودی عملکرد گیاه انجام داد. پلیمرهای سوپر جاذب با ذخیره سازی آب و آزاد سازی به موقع آن، باعث صرفه جویی در آب مصرفی شد. همچنین موجب بهبود شرایط فیزیکی و احتمالاً دسترسی مناسب به عناصر غذایی گردید و

References

- پوراسماعیل، پ. ۱۳۸۵. بررسی اثرات پلیمر سوپر جاذب بر کارایی مصرف آب و عملکرد لوبیای قرمز. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج. کرج- ایران.
- توحیدی مقدم، ح.ر.، مظاهری، ا.ح. ۱۳۹۱. بررسی کاربرد سطوح مختلف کود دامی و پلیمر سوپر جاذب بر ویژگی های کمی و کیفی و فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی سویا در شرایط تنش خشکی. مجله پژوهش های به زراعی، سال سوم، شماره ۴ ص. ۳۷۶-۳۹۸.
- توحیدی مقدم، ح.ر. ۱۳۸۹. بررسی اثرات اکوفیزیولوژیکی کاربرد سوپر جاذب در تحمل به تنش کم آبی ارقام بهاره کلزا در کشت زمستانه. پایان نامه دکتری. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران.
- حبیبی، د.، پوراسماعیل، پ.، توسلی، ا.، مشهدی اکبر بوجار، م.، روشن، ب.، رفیعی، ح. و شکروی، م. ۱۳۸۵. بررسی استفاده از پلیمر سوپر جاذب در افزایش عملکرد و فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانت در ارقام مختلف لوبیا قرمز تحت تنش خشکی، مجله زراعت و اصلاح نباتات ایران، جلد ۸۳-۹۶: ۲.
- عطایی شیخ، ا. ۱۳۸۶. بررسی تنش خشکی بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و سطح فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانت در ارقام مختلف نخود. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج.
- کافی، م.، برزویی، الف.، صالحی، م.، کمندی معصومی، ع.، نباتی، ج. ۱۳۸۸. فیزیولوژی تنش های محیطی در گیاهان. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. چاپ اول.

- نظری، ح. ۱۳۸۹. بررسی تاثیر پلیمر سوپر جاذب بر روی خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک آفتابگردان روغنی در شرایط مزرعه‌ای. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه ارومیه، ص. ۳۶-۳۷.
- یزدانی، ف.، الهدادی، ا.، اکبری، غ.ع.، و بهبهانی، م.ر. ۱۳۸۶. تاثیر مقادیر پلیمر سوپر جاذب A₂₀₀ و سطوح تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد سویا. پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی، مجله یافته‌های نوین کشاورزی، شماره ۷۵ ص. ۱۷۴-۱۶۷.
- امتیازی، ع.، حجن، ح. ۱۳۸۸. تنوع ژنوتیپی صفات ریشه و اندام هوایی گیاهچه‌های چند رقم گندم در محیط هیدروپونیک و گلخانه. مجله پژوهش‌های زراعی ایران. ۱۵(۱): ۱۵۵-۱۴۳.
- Abdoli, M., and Saeidi, M. 2012.** Using different indices for selection of resistant wheat cultivars to post anthesis water deficit in the west of Iran. *Ann. Biol. Research.* 3(3): 1322-1333.
- Abedi, T., and Pakniyat, H. 2010.** Antioxidant enzyme changes in response to drought stress in ten cultivars of Oilseed Rape (*Brassica napus* L.). *Czech Journal Genet Plant Breed.* 46 (1): 27-34.
- Aebi, H. 1984.** Catalase in vitro. *Methods in Enzymology.* 105: 121-126.
- Ahmadi, A., Siosemarde, A., Poostini K., and Esmail Pour Jahromi, M. 2009.** The rate and duration of grain filling and stem reserve remobilization in wheat cultivars as a response to water deficit. *Iranian Journal of Field Crop Science.* 40 (1): 181-195. (In Farsi).
- Arnon, DI. 1949.** Copper enzymes in isolated chloroplast. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology,* 24: 1-15.
- Asada, K. 2001.** Ascorbate peroxidase; a hydroxide scavenging enzyme in plants. *Plant Physiology,* 85: 235-241.
- Azizinya, S., Bihamta, MR., Zali, AA., Yazdi Samadi B., and Ahmadi, A. 2005.** An evaluation of quantitative traits related to drought resistance in synthetic wheat genotypes in stress and non-stress conditions. *Iranian Journal of Agricultural Science.* 36: 281-293.
- Bates., L.S., Waldern, R.P., and Tear, I.D. 1973.** Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil.* 39: 205-207.
- Beckers. G.J., and Spoel, S.H. 2006.** Fine-tuning plant defense signaling: salicylate versus jasmonate. *Plant Biol (Stuttg).* 8: 1-10.
- Blokhin, O., Virolainen E., and Fagerstedt, K. 2003.** Antioxidant oxidative damage and oxygen deprivation stress. A Review. *Annuals of Botany.* 91: 179-194.
- Borras, L., Slafer G.A., and Otegui, M.E. 2004.** Seed dry weight response to source-sink manipulations in wheat, maize and soybean: a quantitative reappraisal. *Field Crops Research.* 86: 131-146.
- Bowman, D.C., and Evans, R.Y. 1991.** Calcium inhibition of polyacrylamide gel hydration is partially reversible by potassium. *HortScience.* 26(8):1063- 1065.
- Bradford, M.M. 1976.** A rapid and sensitive method for quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal Biochemical.* 72: 248-254.
- Carvalho, MHC. 2008.** Drought stress and reactive oxygen species: production, scavenging and signaling. *Plant Signal Behavior,* 3: 156-165.
- Chance, B., and Maehly, A.C. 1955.** Assay of catalase and peroxidase. *Methods in Enzymology.* 2: 764-775.
- Chatzopoulos, F., Fugi, J.L., Quillon, I., Rodriguez, F., and Taverdet, J. 2008.** Etude du fonction de différences paramètres, de l'absorption et de la désorbitions d'eau par un copolymère acrylamid-acrylate de sodium réticule. *European Polymer Journal.* 36: 51-60.
- Chen, T.H., and Murata, N. 2011.** Glycine betaine protects plants against abiotic stress mechanisms and biotechnological applications. *Plant Cell Environment.* 34: 1-20.
- Emam, Y., and Ranjbar, Gh.H. 2001.** The effect of plant density and water stress during vegetative phase on grain yield, yield components and water use efficiency of maize. *Iranian Journal of Crop Science.* 3: 51-63. (In Farsi).
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., and Basra, S.M. 2009.** Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy. Sustain. Dev.* 29: 185-212.
- Foulkes, M.J., Sylvester-Bradley, R., Weightman R., and Snape, JW. 2007.** Identifying physiological traits associated with improved drought resistance in winter wheat. *Field Crops Research.* 103:11-24.
- Gonzalez, A., Martin I., and Ayerbe, L. 2007.** Response of barley genotypes to terminal soil moisture stress: phenology, growth and yield. *Australian Journal of Agricultural Research.* 58(1): 29-37.

- Gooding, M.J., Ellis, R.H., Shewry, P.R., and Schofield, J.D. 2003.** Effects of restricted water availability and increased temperature on the grain filling, during and quality of winter wheat, *J. of Cereal Sci.* 37:296-309.
- Heidari Sharifabad, H. 2008.** Drought mitigation strategies for the agriculture sector. The 10th Iranian Congress of Crop Science, 18-20 Agu. 2008, SPII, Karaj, Iran.
- Jalal Kamali, MR., Sharifi, HR., Khodarahmi, M., Jokar, R., and Torkaman, H. 2008.** Variation in developmental stages and its relationships with yield and yield components of bread wheat cultivars under field conditions: I- Phenology. *Seed and Plant* 23: 445-472 (in Farsi).
- Jaleel, C.A., Manivannan, P., Sankar, B., Kishorekumar, A., Gopi, R., Somasundaram, R., and Panneereselvam, R. 2007.** *Pseudomonas fluorescens* enhances biomass yield and ajmalicine production in *Catharanthus* under water deficit stress. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces.* 60: 7-11.
- Jiang, Y., and Huang, N. 2001.** Drought and heat stress injury to two cool-seasonal turf grass in relation to antioxidant metabolism and lipid per oxidation. *Crop Science.* 41: 436-442.
- Jung, S. 2004.** Variation in antioxidant metabolism of young and mature leaves of (*Arabidopsis thaliana*) subjected to drought. *Plant Science,* 166: 459-466.
- Kramer, P.J. 1999.** Plant and soil water relationships. A modern synthesis mc crow – Hill. Inc New York.
- Lawrence, M.B., and Tobacco, R.J. 1996.** Progress in essential oil. *Perfum Flavor.* 21(3): 55-68.
- Malik, A.A., Li, WG., Lou, LN., Weng, J.H., and Chen, J.F. 2010.** Biochemical/ physiological characterization and evaluation of in vitro salt tolerance in cucumber. *African Journal of Biotechnology.* 9 (22): 3284-3292.
- Nakano, Y., and Asada, K. 1987.** Purification of ascorbate peroxidase in spinach chloroplast: in inactivation in ascorbate-depleted medium and reactivation by monodehydroascorbate radical. *Plant Cell Physiol.* 28: 131-140.
- Moslemi, Z., Habibi, D., Asgharzadeh, A., Ardakani, M.R., Mohammadi, A., and Sakari, A. 2012.** Effects of super absorbent polymer and plant growth.
- Rehman, A., Ahmad, R., and Safdar, M. 2011.** Effect of hydrogel on the performance of aerobic rice sown under different techniques. *Plant Soil Environ.* 57: 321-325.
- Reynolds, M., Foulkes, M.J., Slafer, G.A., Berry, P., Parry, M.A.J., Snape, J.W., and Angus, W.J. 2009.** Raising yield potential in wheat. *Journal Experimental of Botany.* 60: 1899-1918.
- Richards, R., Rebetzke, A., Condon, G.J., VanHerwaarden, A.G. 2002.** Breeding opportunities for increasing the efficiency of water use and crop yield in temperate cereals. *Crop Science.* 42: 111-131.
- Robiul Islam, M.R., Hu, Y., Mao, S., Jia, P., Eneji, A.E., and Xue, X. 2011.** Effects of water-saving superabsorbent polymer on antioxidant enzyme activities and lipid per oxidation in corn (*Zea max* L.) under drought stress. *J. Sci. Food Agric.* 91: 813-819.
- Sairam, RK., Rao, KV., and Srivastava, G.C. 2003.** Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolytes concentration. *Plant Science.* 163:1037-1046.
- Sheligl, H.Q. 1986.** Die verwertung orgngischer souren durch chlorella lincht. *Planta.* 47-51.
- Wang, J.R., Li, S.X., and Li, K.I. 2001.** Effect of water limited deficit stress during different growth stages on leaf enzymes of winter wheat. *Acta Botany Borel Occident. Siencen.* 21 (1): 47.