

## اثر کاربرد پلیمر سوپرجاذب بر برخی صفات بیوشیمیایی و محتوی نسبی آب ارقام لوبیا تحت

### تنش خشکی

حمید شادمند<sup>۱</sup> و احمد افکاری<sup>۲\*</sup>

(۱) دانشجوی کارشناسی ارشد گروه زراعت، واحد کلیبر، دانشگاه آزاد اسلامی، کلیبر، ایران.

(۲) استادیار گروه زراعت، واحد کلیبر، دانشگاه آزاد اسلامی، کلیبر، ایران.

\* نویسنده مسئول: afkariahmad@yahoo.com

این مقاله برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد می باشد.

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۶/۰۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۱۲

### چکیده

به منظور بررسی اثر مصرف پلیمرهای سوپرجاذب بر برخی صفات بیوشیمیایی و محتوی نسبی آب ارقام لوبیا در شرایط تنش خشکی، آزمایشی به صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شهرستان کلیبر در سال زراعی ۱۳۹۴ انجام شد. عامل اصلی شامل آبیاری پس از ۷۰، ۱۴۰ و ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر آب از تشتک تبخیر کلاس A، ارقام لوبیا (لوبیا قرمز، لوبیا چشم بلبلی، لوبیا چیتی و لوبیا سفید) به عنوان عامل فرعی و چهار سطح ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کاربرد سوپرجاذب به عنوان عامل فرعی- فرعی بودند. نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که برهم‌کنش تنش خشکی و سوپرجاذب بر میزان فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، گلوکاتایون پراکسیداز، کلروفیل a، کلروفیل کل و غلظت پرولین برگ معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش تنش خشکی و سوپرجاذب نشان داد که حداکثر میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و پرولین توسط تیمار ۵۰ کیلوگرم در هکتار کاربرد سوپرجاذب در سطح تنش خشکی ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر حاصل شد. نتایج نشان داد که با افزایش تنش خشکی میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان افزایش و مقادیر کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کارتنوئیدها و محتوای نسبی آب کاهش یافت. اما استفاده از سوپرجاذب به طور معنی‌داری صفات فیزیولوژیکی را افزایش، ولی میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را کاهش داد. در چهار رقم مورد ارزیابی رقم چشم‌بلبلی بیش‌ترین رنگیزه‌های فتوسنتزی، محتوای نسبی آب برگ، محتوای پرولین برگ و بالاترین میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را دارا بود. با توجه به نتایج به دست آمده سوپرجاذب موجب کاهش خسارات وارد شده در مواجهه با خشکی شد.

واژه‌های کلیدی: پرولین، تنش کم‌آبی و رنگیزه‌های فتوسنتزی.

## مقدمه

در کشور ایران اقلیم خشک و نیمه خشک اغلب مناطق را تحت اثر قرار داده و به خصوص خشکسالی‌های اخیر بر مشکل کم‌آبی افزوده است. در شرایط محدودیت منابع آب، تغییر الگوی کشاورزی به سمت کشت گیاهان سازگار به خشکی می‌تواند راهکار بسیار مناسبی باشد (چهل‌گردی و همکاران، ۱۳۹۳). اعمال تنش رطوبتی در حالت کم‌آبی معمولی می‌تواند موجبات کاهش میزان محصول و بسیاری از اجزای عملکرد را فراهم آورد (امینی و همکاران، ۱۳۹۳). پلیمرهای سوپرجاذب (هیدروژل) ترکیبات آلی بوده و به‌صورت مصنوعی از پلی‌آکریلات پتاسیم و کوپلیمرهای پلی‌اکریل آمید ساخته شده‌اند و می‌توانند آب را به سرعت تا چندین برابر حجم خود جذب و نگهداری کنند و قابلیت نگهداری آب را در خاک افزایش دهند و در نهایت با کاهش اثر تنش خشکی سبب بهبود رشد گیاه شوند (مرتضوی و همکاران، ۱۳۹۴). پلیمرهای سوپرجاذب باعث افزایش ماندگاری آب در خاک گشته و تعداد آبیاری را تا ۵۰ درصد کاهش می‌دهند (Nazarli *et al.*, 2010). جلیلی و همکاران (۱۳۹۵) گزارش کردند که مصرف سوپرجاذب در تمام سطوح تنش، عملکرد و بهره‌وری مصرف آب را افزایش داد. در تحقیق دیگری رابطه بین مصرف پلیمرهای سوپرجاذب و افزایش آب در دسترس گیاه بررسی شد نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که با مصرف سوپرجاذب، ۱۰/۶۸ درصد آب بیش‌تر نسبت به شاهد در خاک باقی ماند (Wu *et al.*, 2008). Sishuai و همکاران (۲۰۱۱) بیان کردند با کاربرد پلیمر سوپرجاذب محتوی آب نسبی در برگ گیاه ذرت افزایش یافت. مصرف پلیمر سوپرجاذب میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز، گلوکاتایون ردوکتاز و کاتالاز را کاهش می‌دهد که با توجه به اثر سوپرجاذب در افزایش عملکرد و کاهش صدمات اکسیداتیو در گیاه مصرف این ماده درصد نشت یونی غشاء را کاهش می‌دهد (Habibi *et al.*, 2006). رجبی و همکاران (۱۳۹۱) گزارش نمودند که اثر سوپرجاذب در نخود موجب معنی‌دار شدن عملکرد دانه در واحد سطح شد. آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی، شامل بتاکاروتن، اسیدآسکوربیک، آلفاتوکوفرول، گلوکاتایون و آنزیمی شامل سوپراکسید دیسموتاز، گایاکول پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز، پلی‌فنول اکسیداز، و گلوکاتایون ردوکتاز می‌باشد (Xu *et al.*, 2006). آنزیم سوپراکسید دیسموتاز مهم‌ترین آنزیمی است که رادیکال سوپراکسید را منهدم می‌کند و  $H_2O_2$  و  $O_2$  تولید می‌نماید.  $H_2O_2$  تولید شده توسط آنزیم کاتالاز و انواع مختلفی از پراکسیداز حذف شد. کاتالاز که عمدتاً در پراکسیزوم‌ها یافت می‌شود، اصلی‌ترین آنزیمی است که به‌طور مستقیم  $H_2O_2$  را به مولکول آب و  $O_2$  تبدیل می‌کند (Mittler, 2002). گیاهان به‌منظور حفاظت در برابر گونه‌های فعال اکسیژن، به دفاع آنتی‌اکسیدان‌تی مانند ترکیبات آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز مجهز هستند (Chandlee and Scandalios, 1984). در آزمایشی که بر روی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان‌تی و محصول تخریبی مالون دی‌آلدئید روی سورگوم در شرایط تنش خشکی انجام شد، سطوح آنزیم‌ها و مالون دی‌آلدئید در شرایط تنش نسبت به شرایط آبیاری نرمال

افزایش نشان داد (Kaya *et al.*, 2003). افزایش فعالیت گلوکاتایون پراکسیداز در پنبه و گندم که در معرض تنش خشکی قرار گرفته‌اند نشان می‌دهد که همزمان با تولید  $H_2O_2$ ، این افزایش می‌تواند منجر به جذب الکترون‌های فرودوکسین توسط NADP شود که در نتیجه میزان تولید سوپراکسید کاهش می‌یابد (Taarit *et al.*, 2009). Bredemeier (۲۰۰۵) بیان داشته است شاخص کلروفیل در تنش خشکی نسبت به گیاه شاهد در ذرت افزایش می‌یابد. به طوری که برگ‌های گیاهان تحت تیمار تنش خشکی نسبت به برگ‌های گیاهان تحت آبیاری مطلوب، شاخص کلروفیل بالاتری نشان می‌دهند. Atteya (۲۰۰۳) طی آزمایشی با اعمال تنش در مراحل مختلف رویشی و زایشی ذرت اثر معنی‌دار تنش رطوبتی را بر محتوای آب نسبی برگ گزارش کرد. قوشچی (۱۳۹۴) گزارش نمود که کاربرد پلیمر سوپرجاذب در شرایط تنش کم‌آبی موجب بهبود ویژگی‌های کمی ذرت دانه‌ای می‌شود. Azmi و Gasemi (۲۰۰۷) گزارش کردند که تنش خشکی به واسطه اثر منفی بر صفات رویشی موجب افت عملکرد سورگوم می‌شود. با توجه به چالش‌های موجود در کشور و منطقه در رابطه با محدودیت منابع آب، اما استفاده از سوپرجاذب برای رفع آسیب‌های خشکسالی و کمبود رطوبت خاک کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است. بررسی‌ها نشان داد که در این زمینه پژوهش‌های کاربردی در گیاه لوبیا در منطقه کلیر صورت نگرفته است. به همین دلیل، این آزمایش با هدف بررسی اثر سطوح مختلف پلیمر سوپرجاذب بر برخی صفات فیزیولوژیک و میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان ارقام لوبیا در وضعیت تنش کم‌آبی اجرا شد.

## مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر مصرف پلیمرهای سوپرجاذب بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی و میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان ارقام لوبیا در شرایط تنش خشکی، آزمایش به صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شهرستان کلیر از توابع استان آذربایجان شرقی در سال زراعی ۱۳۹۴ انجام شد. عامل اصلی شامل آبیاری پس از ۷۰، ۱۴۰ و ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر آب از تشتک تبخیر کلاس A، ارقام لوبیا (لوبیا قرمز، لوبیا چشم بلبلی، لوبیا چیتی و لوبیا سفید) به عنوان عامل فرعی و چهار سطح ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کاربرد سوپرجاذب به عنوان عامل فرعی - فرعی بودند. زمین مزرعه آزمایشی با یک شخم سنگین پاییزه و دو دیسک عمود برهم تهیه شد. کودهای پایه NPK براساس آزمون خاک مزرعه محاسبه شد. کود نیتروژن از منبع اوره به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار و کودهای فسفر و پتاسیم به میزان ۶۰ کیلوگرم در هکتار به ترتیب از منابع سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم بر اساس آزمون خاک استفاده شد. نصف کود نیتروژن و تمام کودهای فسفر و پتاسیم در زمان کاشت پس از باز نمودن ردیف‌های کاشت در داخل شیارها ریخته شد و باقی‌مانده کود نیتروژن در بهار به صورت سرک به زمین اضافه شد. پس از تسطیح زمین، کاشت دو عدد بذر روی خطوط به صورت کپه‌ای به فاصله ۲۵ سانتی‌متر انجام گرفت. هر کرت فرعی - فرعی شامل

پنج ردیف کاشت به طول پنج متر با فاصله خطوط ۵۰ سانتی متر بود. برای جلوگیری از نشت آب از کرتی به کرت دیگر بین کرت‌های فرعی یک خط نکاشت و بین کرت‌های اصلی دو خط نکاشت فاصله در نظر گرفته شد. با توجه به دامنه توصیه شده برای لوبیا در شرایط آب و هوایی کلیبر، کاشت در تاریخ ۹۴/۱۲/۲۰ و آبیاری اول بلافاصله پس از کاشت انجام گرفت. تا قبل از اعمال تنش هر هفت روز یکبار آبیاری به‌طور مساوی صورت گرفت. اعمال تنش از تاریخ ۹۴/۰۲/۲۰ پس از تنک انجام شد، به این صورت که در فاصله زمانی هفت، ۱۴ و ۲۱ روز یکبار آبیاری به‌ترتیب (آبیاری پس از ۷۰، ۱۴۰ و ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر آب از تشتک تبخیر کلاس A) انجام شد. مبارزه با علف‌های هرز در طول دوره رشد با وجین دستی در دو مرحله ۳۰ و ۵۵ روز بعد از کاشت انجام گرفت. در طول دوره رشد گیاه برای مبارزه با کنه تارتن (دونقطه ای) (*Tetranychus urticae* Koch) از سم نفورون به نسبت دو در هزار و برای کنترل علف‌های هرز باریک برگ از علف‌کش نابواس به میزان دو لیتر در هکتار استفاده شد. جهت کنترل آفات مکنده از سم متاسیستوکس (یک و نیم در هزار) استفاده شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱: ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

عمق نمونه برداری (سانتی‌متر)	بافت خاک	pH	EC (دسی‌زیمنس بر متر)	P (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	K (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	نیترژن (درصد)	رس (درصد)	سیلت (درصد)	شن (درصد)
۰-۳۰	شنی لومی	۷/۱	۱/۸	۱۲	۱۸۵	۰/۰۶	۳۲	۲۷	۴۱

پلیمر سوپرجاذب از نوع سوپر آب آ-۲۰۰<sup>۱</sup> محصول شرکت رهاب رزین (تحت لیسانس پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران) استفاده شد. سوپرجاذب در زمان کاشت در ۱۵ سانتی‌متری زیر بذر قرار داده و روی آن با خاک پوشیده شد و سپس بذور در عمق ۵ سانتی‌متری قرار داده شدند تا ریشه به راحتی به سوپرجاذب دسترسی داشته باشد و پس از آن آبیاری انجام گرفت. مشخصات پلیمر سوپرجاذب مورد استفاده در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲: مشخصات پلیمر سوپرجاذب مورد استفاده

ترکیبات	پلیمر اکریلات پتاسیم و پلی‌اکریل آمید
مواد خشک	۸۵-۹۰ درصد
وزن مخصوص	۱/۱ (گرم در سانتی‌متر مکعب)
اسیدیته	۸/۱
جذب میزان حداکثر	۱۵۰-۴۰۰ برابر
کاتیونی تبادل ظرفیت	۴/۶ (میلی‌اکی والان /گرم)
عمر مفید	۵ سال

<sup>۱</sup> Superab A200

برای اندازه‌گیری محتوای رنگدانه‌های کلروفیل، ۲۰۰ میلی‌گرم برگ تازه با ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد در هاون چینی ساییده شد و محلول حاصل به مدت پنج دقیقه در ۳۰۰۰ دور سانتریفیوژ اندازه‌گیری شدند. سپس جذب محلول رویی در طول موج‌های ۶۴۷، ۶۶۴ و ۴۷۰ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر قرائت شد. میزان کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کارتنوئید بر حسب میکروگرم بر گرم وزن تر برگ با استفاده از رابطه‌های ۱ تا ۴ محاسبه شدند (Dere et al., 1998):

$$\text{Chlorophyll}_a = 15.65A_{666} - 7.340A_{653} \quad \text{رابطه ۱:}$$

$$\text{Chlorophyll}_b = 27.05A_{653} - 11.21A_{666} \quad \text{رابطه ۲:}$$

$$\text{Chlorophyll}_T = \text{Chlorophyll}_a + \text{Chlorophyll}_b \quad \text{رابطه ۳:}$$

$$\text{Cartenoid} = [(4.785A_{470} + 3.657A_{663.2} - 12.76A_{646.8}) \times 8.1] / \text{FW} \quad \text{رابطه ۴:}$$

$$A_{663.2} = \text{مقدار جذب در طول موج } 632/2 \text{ نانومتر، } A_{646.8} = \text{مقدار جذب در طول موج } 646/8 \text{ نانومتر، } A_{470} = \text{مقدار}$$

جذب در طول موج ۴۷۰ نانومتر و FW = وزن تازه برگ.

برای اندازه‌گیری پرولین برگ، نیم گرم از نمونه‌های برگ تر در ۱۰ میلی‌متر اسید سولفوسالسیلیک سه درصد به وسیله هاون، هموژن شده و عصاره حاصل صاف شد. دو میلی‌لیتر اسید استیک و دو میلی‌لیتر ناین هیدرین به دو میلی‌متر از عصاره صاف شده فوق، اضافه شد. محلول حاصل به مدت یک ساعت در حمام آب و در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس قرار داده شد. غلظت پرولین نمونه‌ها در تولوئن با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر و در نهایت با توجه به منحنی استاندارد حاصل از غلظت‌های مختلف پرولین، بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه شد (Bates et al., 1973). برای اندازه‌گیری مقدار آب نسبی برگ ۱۵ و ۲۵ روز پس از مصرف سوپرجاذب، از برگ‌های جوان کاملاً توسعه یافته کرت‌های آزمایشی نمونه‌برداری شده و نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل شدند. وزن تازه برگ‌ها با ترازوی حساس توزین شد. نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد آزمایشگاه قرار داده شدند. وزن نمونه‌های آماس شده با ترازوی حساس توزین و پس از آن نمونه‌ها در داخل آون در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند و وزن خشک آن‌ها توزین شد. مقدار آب نسبی برگ هر نمونه با استفاده از رابطه ۵ محاسبه شد (مرتضوی و همکاران، ۱۳۹۴).

$$\text{RWC} = ((Fw - Dw) / ((Sw - Dw))) \times 100 \quad \text{رابطه ۵:}$$

که در آن Fw: وزن تر برگ بلافاصله بعد از نمونه برداری، Dw: وزن خشک برگ بعد از قرار گرفتن در آون و Sw:

وزن اشباع برگ بعد از قرار گرفتن در آب مقطر می‌باشند.

جهت تعیین میزان سوپراکسید دیسموتاز، سه عدد برگ از هر واحد آزمایشی در هنگام صبح قبل از گرم شدن هوا از مزرعه برداشت شد. سعی بر آن بود که برگ‌ها کاملاً جوان و گسترده باشند، برگ‌ها داخل نایلون اتیکت گذاری شده قرار گرفت و در یخ‌دانی که کف آن از یخ پوشیده بود قرار داده شد و به آزمایشگاه منتقل شد. سپس توسط روش Holy (۱۹۷۲) میزان تغییرات این آنزیم تعیین شد. به منظور اندازه‌گیری فعالیت آنزیم مالون دی‌آلدهید در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به روش اسپکتوفتومتری با روش Aebi (۱۹۸۴) اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز برگ‌های منتقل شده به آزمایشگاه را با آب مقطر شستشو داده و بلافاصله در بافر تریس ۰/۱۶ مولار با  $\text{pH} = 5.7$  وارد کرده و سپس خرد و یکنواخت شدند. در پایان مقدار نیم میلی‌لیتر از محلول هموزن برای سنجش پروتئین برداشت شد و مقدار پروتئین آن برحسب میلی‌گرم در میلی‌لیتر تعیین شد. سپس در باقی‌مانده محلول استخراجی مقدار آنزیم گلوکاتایون با روش Holy (۱۹۷۲) اندازه‌گیری شد. سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز به روش Chandlee and Scandalios (۱۹۸۴) انجام شد. تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۳ و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

### نتایج و بحث

#### بررسی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و بیومارکر تخریب مالون دی‌آلدهید (MDA)

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر تنش خشکی، ارقام و سوپرجاذب بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. همچنین برهم‌کنش تنش خشکی و سوپرجاذب بر میزان فعالیت آنزیم‌های گلوکاتایون پراکسیداز (GPX) و سوپراکسید دیسموتاز (SOD) در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. اما برهم‌کنش تنش خشکی و سوپرجاذب بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT) و بیومارکر تخریب مالون دی‌آلدهید (MDA) معنی‌دار نشد. در این میان برهم‌کنش سه‌گانه آبیاری × ارقام × سوپرجاذب بر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و بیومارکر (MDA) معنی‌داری نشد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیش‌ترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز و بیومارکر مالون دی‌آلدهید مربوط به تیمار ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر بود. نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان داد که استفاده از پلیمر سوپرجاذب به‌طور معنی‌داری فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را کاهش داد. بیش‌ترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز و بیومارکر مالون دی‌آلدهید مربوط به تیمار ۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب و کم‌ترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز و بیومارکر مالون دی‌آلدهید مربوط به تیمار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب بود. از طرفی بیش‌ترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز و بیومارکر مالون دی‌آلدهید مربوط به رقم لوبیا چشم‌بلبلی و کم‌ترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز و بیومارکر مالون دی‌آلدهید مربوط به رقم لوبیا قرمز بود (جدول ۴).

### جدول ۳: نتایج تجزیه واریانس صفات آنزیم‌های گلوکز، پروتئین، کاتالاز، بیومارکر مالون دی‌آلدهید، محتوای نسبی آب، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کارتنوئید و غلظت پروتئین برگ ارقام لوبیا در واکنش تنش خشکی و مفادیر مختلف سوپر جاذب

پروتئین	کارتنوئید	کلروفیل کل	کلروفیل b	کلروفیل a	محتوای نسبی آب	کاتالاز	بیومارکر مالون دی‌آلدهید	سوپراکسید دیسموتاز	گلوکز	درجه آزادی	منابع تغییرات
۰/۱۴ <sup>ns</sup>	۰/۳۷ <sup>ns</sup>	۳/۲۸ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۵۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۱۰۵ <sup>ns</sup>	۲۸۱/۹۱ <sup>ns</sup>	۶/۶۳ <sup>ns</sup>	۲/۱۳ <sup>ns</sup>	۹/۷۱ <sup>ns</sup>	۱۱/۰۹ <sup>ns</sup>	۲	تکرار
۲/۸۳ <sup>so</sup>	۶/۰۳ <sup>so</sup>	۳۶/۸ <sup>so</sup>	۰/۰۰۶۳ <sup>so</sup>	۰/۱۲۷ <sup>so</sup>	۱۲۳۹/۰۸ <sup>so</sup>	۴۶/۸۳ <sup>so</sup>	۲/۱۹ <sup>so</sup>	۱۰/۳۷ <sup>so</sup>	۱۰/۳۷ <sup>so</sup>	۲	تنش خشکی (A)
۰/۳۷	۰/۲۴۱	۰/۱۷۲	۰/۰۰۱۴۹	۰/۰۰۰۴	۱۲۳۹/۰۸ <sup>so</sup>	۲/۸۸	۱/۲۷	۴/۸۶	۴/۸۶	۶	اشتباه A
۵۳۸ <sup>so</sup>	۲/۵۸ <sup>so</sup>	۵/۱۳ <sup>so</sup>	۰/۰۰۰۴۳ <sup>so</sup>	۰/۰۰۳۰۹ <sup>so</sup>	۴۸۳/۱۷ <sup>so</sup>	۳/۲۹ <sup>so</sup>	۳/۴۹ <sup>so</sup>	۴/۱۶۳ <sup>so</sup>	۱۱/۰۷ <sup>so</sup>	۳	ارقام (B)
۱/۸۱ <sup>so</sup>	۰/۰۷۸ <sup>ns</sup>	۰/۷۳۱ <sup>so</sup>	۰/۰۰۰۴۳ <sup>so</sup>	۰/۰۰۰۶۹ <sup>so</sup>	۱۲/۵۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۴ <sup>ns</sup>	۰/۰۷ <sup>ns</sup>	۰/۴۴ <sup>ns</sup>	۰/۳۱ <sup>ns</sup>	۶	ارقام × تنش
۰/۱۹	۰/۱۹۷	۰/۱۴۱	۰/۰۰۰۱۲۱	۰/۰۰۰۰۵	۸/۳۵	۲/۶۷	۱/۰۴	۴/۲۱	۳/۷۹	۱۸	اشتباه B
۴/۰۳ <sup>so</sup>	۰/۶۱۵ <sup>ns</sup>	۳/۴۸ <sup>so</sup>	۰/۰۰۰۵۶ <sup>so</sup>	۰/۰۰۲۴۶ <sup>so</sup>	۷۹/۴۶ <sup>so</sup>	۵/۹۳ <sup>so</sup>	۲/۷۸ <sup>so</sup>	۶۹/۰۴ <sup>so</sup>	۸/۸۳ <sup>so</sup>	۳	سوپر جاذب (C)
۰/۶۹ <sup>so</sup>	۰/۰۶۳ <sup>ns</sup>	۰/۵۲۹ <sup>so</sup>	۰/۰۰۱۳۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۳۱ <sup>so</sup>	۹/۳۷ <sup>ns</sup>	۰/۱۳ <sup>ns</sup>	۰/۱۸ <sup>ns</sup>	۵/۱۹ <sup>so</sup>	۳/۵۳ <sup>so</sup>	۶	تنش × سوپر جاذب
۰/۵۹ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۷۶ <sup>ns</sup>	۰/۱۹۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۵۴ <sup>**</sup>	۰/۰۰۰۵۷ <sup>ns</sup>	۰/۴۲۹ <sup>ns</sup>	۰/۰۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۸ <sup>ns</sup>	۰/۷۳ <sup>ns</sup>	۰/۲۴ <sup>ns</sup>	۹	ارقام × سوپر جاذب
۰/۳۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۷۹ <sup>ns</sup>	۰/۰۵۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۵۴ <sup>**</sup>	۰/۰۰۰۴۸ <sup>ns</sup>	۰/۴۶ <sup>ns</sup>	۰/۱۷ <sup>ns</sup>	۰/۲۶ <sup>ns</sup>	۱/۴۹ <sup>ns</sup>	۰/۷۹ <sup>ns</sup>	۱۸	تنش × ارقام × سوپر جاذب
۰/۱۲	۰/۰۵۷	۰/۰۱۳۳	۰/۰۰۰۲۱	۰/۰۰۰۴۴	۶/۷۶	۲/۲۳	۰/۷۱	۳/۷۶	۳/۲۶	۷۲	اشتباه C
۱۲/۱۷	۱۳/۱۹	۹/۲۱	۱۱/۷۹	۱۰/۳۸	۷/۳	۱۱/۴۱	۹/۰۹	۹/۸۴	۱۰/۴		ضرب تغییرات (%)

ns: عدم وجود اختلاف معنی دار است. \*\*\*: به ترتیب معنی داری در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد و عدم وجود اختلاف معنی دار است.

جدول ۴: مقایسه میانگین اثر ساده تیمارهای آزمایش بر صفات محتوای نسبی، کارتنوئید، کاتالاز و بیومارکر مالون

دی آلدئید در ارقام، تنش خشکی و سوپرجاذب

تیمارهای آزمایش	محتوای نسبی آب برگ (درصد)	کارتنوئید (میلی گرم بر گرم وزن تر)	کاتالاز (واحد بر میلی گرم پروتئین)	بیومارکر مالون دی آلدئید (میکرومول بر گرم وزن تازه بافت)
تنش خشکی (میلی متر تبخیر)				
۷۰	۷۸/۱۳a	۱/۷۲a	۴۴/۵۳c	۲۵/۷۳c
۱۴۰	۶۹/۴۲b	۱/۰۱b	۷۱/۰۲b	۳۸/۸۱b
۲۱۰	۶۱/۰۹c	۰/۸۳c	۱۳۶/۱۳a	۴۷/۵۱a
سوپرجاذب (کیلوگرم در هکتار)				
۵۰	۷۰/۸۳c	۱/۰۸bc	۱۵۱/۳۷a	۳۵/۴۶a
۱۰۰	۷۳/۲۹bc	۱/۳۶b	۱۴۸/۳۳a	۳۷/۱۷b
۱۵۰	۷۵/۸۲b	۱/۴۸b	۱۰۲/۱۷ab	۱۵/۲۶c
۲۰۰	۷۹/۹۴a	۲/۰۹a	۴۹/۶۲b	۷/۱۳d
ارقام				
لوبیا چشم بلبلی	۷۷/۵۴a	۱/۸۲a	۱۲۹/۴۲a	۷۴/۸۱a
چیتی	۷۴/۳۷b	۱/۵۴b	۱۰۸/۷۳b	۴۲/۹۷b
سفید	۶۶/۸۶cd	۰/۹۸cd	۶۳/۹۳c	۲۰/۹۶c
قرمز	۶۸/۱۸c	۱/۰۸c	۴۱/۲۹d	۱۳/۷۱d

حروف مشترک در هر ستون حاکی از عدم اختلاف معنی دار براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد است.

تبدیل سوپراکسید به هیدروژن پراکسید، اولین پل ارتباطی در پاکسازی آنزیمی گونه‌های فعال اکسیژن می‌باشد و سوپراکسید دیسموتاز به‌عنوان اولین سازوکار دفاعی اصلی در برابر گونه‌های فعال اکسیژن است. هم‌چنین کاتالاز باعث تجزیه هیدروژن به آب اکسیژن می‌شود (Gaber, 2010; Harvy, 2000). کاتالاز اصلی‌ترین آنزیم جاروبگر پراکسید هیدروژن و از مهم‌ترین آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاهان محسوب می‌شود. تنش کم‌آبی سبب افزایش میزان مالون دی آلدئید شد، در حقیقت بیش‌ترین میزان مالون دی آلدئید، در شرایط بروز تنش مشاهده شد که نشانگر افزایش تجزیه لیپیدها در این وضعیت است (بازکی، ۱۳۹۴). تنش خشکی در بسیاری از گیاهان، موجب افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز شد که این نتیجه در تحقیق حاضر در ارتباط با فعالیت آنزیم کاتالاز نیز مشاهده شد. هم‌چنین آنزیم کاتالاز از دسته پروتئین‌های آهن‌دار محسوب می‌شود و هنگامی در سلول‌های گیاهی و جانوری وارد عمل می‌شود که مقدار ماده پراکسید هیدروژن در محیط زیاد باشد (Gholinegad *et al.*, 2014)، نشان دهنده این است که با افزایش تشدید تنش خشکی در شرایط آبیاری مطلوب افزایش مصرف پلیمر سوپرجاذب اثر قابل توجهی نسبت به نبود مصرف نداشت، میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان افزایش می‌یابد. آنزیم کاتالاز طی واکنش آنزیمی با زدودن انواع فعال اکسیژن و جلوگیری از تخریب دیواره سلولی به بقاء گیاه کمک می‌نماید (El-haris *et al.*, 2007; Jiang and Zhang, 2001). نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش تیمارهای تنش خشکی و سوپرجاذب نشان داد که بیش‌ترین میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و گلوکاتایون پراکسیداز از تیمار (۲۱۰ میلی‌متر تبخیر و ۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب) و کم‌ترین میزان فعالیت آنزیم

سوپراکسید دیسموتاز و گلوکاتایون پراکسیداز از تیمار (۷۰ میلی‌متر تبخیر و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرچادب) به دست آمد (جدول ۵). آنزیم گلوکاتایون با استفاده از مواد فنولیک به‌عنوان دهنده الکترون باعث تجزیه پراکسید هیدروژن می‌شود (Appel and Hirt, 2004; Baily, 2004). با توجه به افزایش فعالیت این آنزیم در شرایط تنش خشکی و نقش آن در احیاء گلوکاتایون، این آنزیم به احتمال زیاد یکی از آنزیم‌های مهم در گیاه است که افزایش فعالیت آن سبب افزایش تحمل گیاه در برابر تنش اکسیداتیو خواهد شد. گزارش شده است که افزایش فعالیت آنزیم گلوکاتایون ردوکتاز مرتبط با تحمل شوری می‌باشد (Bor *et al.*, 2003). نتایج به‌دست آمده با نتایج حاصل از آزمایش‌های (رحمانی و همکاران، ۱۳۸۸، محرم‌نژاد و ولی‌زاده، ۱۳۹۴) مطابقت دارد.

جدول ۵: برهم‌کنش تنش خشکی × سوپرچادب بر صفات محتوای کلروفیل a، کلروفیل کل، پروتئین، گلوکاتایون پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز

سوپراکسید دیسموتاز (واحد بر میلی‌گرم پروتئین)	گلوکاتایون پراکسیداز (واحد بر میلی‌گرم پروتئین)	پروتئین (میکرومول در گرم وزن تر)	کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	تیمارهای آزمایشی	
					سوپرچادب (کیلوگرم در هکتار)	تنش خشکی (میلی‌متر تبخیر)
۱۱۴۵/۱۲c	۱۰۲/۷۴e	۱/۶۴bc	۲/۵۲c	۰/۱۸۷b	۵۰	
۹۷۰/۸۳d	۷۶/۲۸ef	۱/۵۱c	۳/۰۸b	۰/۲۳۱ab	۱۰۰	
۵۷۴/۶۷e	۴۸/۳۸f	۱/۱۲cd	۳/۸۷a	۰/۲۷۲a	۱۵۰	۷۰
۲۷۱/۱۲f	۳۳/۶۵h	۰/۹۴d	۴/۱۸a	۰/۲۸۴a	۲۰۰	
۱۴۳۵/۷۷b	۱۸۸/۰۹c	۱/۳۳c	۱/۱۷d	۰/۰۸۶cd	۵۰	
۱۳۲۷/۴۸b	۱۷۸/۰۷c	۱/۹۶b	۱/۱۷d	۰/۱۱۴c	۱۰۰	
۹۲۶/۶۲de	۱۰۸/۴۴e	۲/۴۸ab	۱/۸۴cd	۰/۱۵۳b	۱۵۰	۱۴۰
۴۷۰/۳۴ef	۴۴/۱۹f	۲/۳۲ab	۱/۹۸cd	۰/۱۶۲b	۲۰۰	
۱۶۲۷/۵۸a	۲۷۳/۰۳a	۳/۱۴a	۰/۸۵e	۰/۰۴۸d	۵۰	
۱۵۶۴/۳۲ab	۲۲۱/۵۸b	۲/۴۹ab	۰/۹۹de	۰/۰۶۱d	۱۰۰	
۱۱۹۴/۵۷c	۱۶۴/۳۴cd	۲/۰۹b	۱/۲۸d	۰/۰۸۳cd	۱۵۰	۲۱۰
۹۰۲/۶۱de	۱۳۱/۰۶d	۱/۸۸b	۱/۳۴d	۰/۰۹۷c	۲۰۰	

### محتوای نسبی آب برگ

تیمارهای آبیاری، ارقام و سوپرچادب بر محتوای نسبی آب برگ در سطح یک درصد معنی‌دار بود. اما برهم‌کنش آبیاری در ارقام، برهم‌کنش آبیاری در سوپرچادب و برهم‌کنش ارقام در سوپرچادب بر محتوای نسبی آب برگ معنی‌دار نبود. در این میان اثر برهم‌کنش سه‌گانه آبیاری × ارقام × سوپرچادب بر محتوای نسبی آب برگ اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۳).

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بالاترین محتوای نسبی آب برگ از تیمار ۷۰ میلی‌متر تبخیر و کم‌ترین محتوای نسبی آب برگ از تیمار ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر به‌دست آمد (جدول ۴). کم بودن محتوی نسبی آب برگ در هنگام تنش شدید رابطه نزدیکی با پتانسیل آب گیاه دارد، تنش کم‌آبی باعث بسته شدن روزنه‌ها و کاهش توسعه برگ‌ها می‌شود و به‌دلیل کاهش دی‌اکسیدکربن در دسترس گیاه میزان فتوسنتز کاهش می‌یابد (مجمد و همکاران، ۱۳۹۵). نتایج تحقیقات وزیری و نادری (۱۳۹۳) نیز نشان داد با افزایش تنش خشکی به‌طور معنی‌داری محتوای نسبی آب برگ کاهش یافت. کاهش مقدار محتوای آب نسبی برگ در اثر تنش کمبود آب از یک طرف به‌دلیل کاهش جذب آب توسط ریشه‌ها و از طرف دیگر افزایش تعرق آب از طریق برگ‌ها می‌باشد که در نهایت منجر به بسته شدن روزنه‌های برگ می‌شود (ولی‌زاده قلعه بیگ و همکاران، ۱۳۹۴). نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان داد که استفاده از پلیمر سوپرجاذب به‌طور معنی‌داری محتوای نسبی آب برگ را افزایش داد. بالاترین محتوای نسبی آب برگ از تیمار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب و کم‌ترین محتوای نسبی آب برگ از تیمار ۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب به‌دست آمد (جدول ۴). فاضلی رستم‌پور و محبیان (۱۳۹۰) در آزمایشی بر گیاه ذرت اعلام کردند که سوپرجاذب با اثر مثبت بر محتوی نسبی آب برگ باعث تجمع بیش‌تر مواد فتوسنتزی در اندام‌های رویشی و در نتیجه کاهش میزان و سهم انتقال مجدد مواد فتوسنتزی در عملکرد دانه شد. محتوای نسبی آب برگ بیش‌تر احتمالاً از طریق قابلیت تنظیم اسمزی و یا توانایی ریشه در جذب آب حاصل می‌شود، که به معنی توانایی برگ در حفظ مقادیر بیش‌تری آب در شرایط تنش است. پلیمر سوپرجاذب با قرار دادن آب کافی در اختیار ریشه گیاه، باعث افزایش سرعت جذب آب و کارایی مصرف آب توسط گیاه می‌شود، در نتیجه کاربرد پلیمر سوپرجاذب باعث افزایش محتوای نسبی آب برگ در شرایط کمبود آب می‌شود که با نتایج حاصل از (Janson and Leah, 1990) مبنی بر افزایش محتوای نسبی آب برگ با افزایش مصرف پلیمر سوپرجاذب مطابقت دارد. می‌توان گفت که افزایش محتوای نسبی آب برگ احتمالاً باعث می‌شود که میزان باز بودن روزنه‌ها و در نتیجه میزان فتوسنتز افزایش یافته و تولید ماده خشک را افزایش دهد. افزایش محتوای نسبی آب برگ با کاربرد سوپرجاذب را می‌توان به نقش مثبت این پلیمرها در جذب بیش‌تر آب نسبت داد (Yang et al., 2011). محتوای نسبی آب برگ در هر چهار رقم با پیشرفت تنش خشکی کاهش یافتند. بین چهار رقم از نظر محتوای نسبی آب برگ اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. به‌نحوی که محتوای نسبی آب برگ در رقم لوبیا چشم‌بلبلی بیش‌تر از سه رقم دیگر بود (جدول ۴).

### رنگی‌های فتوسنتزی

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر تنش خشکی، ارقام و سوپرجاذب بر رنگدانه‌های فتوسنتزی و هم‌چنین بر هم‌کنش تنش  $\times$  سوپرجاب و ارقام  $\times$  تنش برای کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل در سطح احتمال یک درصد اثر

معنی‌داری داشتند، در این میان اثر برهم‌کنش سه‌گانه آبیاری × ارقام × سوپرچاد بر رنگدانه‌های فتوسنتزی اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۳). نتایج حاصل از آزمایش نشان داد با افزایش تنش خشکی کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئیدها کاهش یافت. نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بالاترین مقدار کارتنوئیدها از تیمار ۷۰ میلی‌متر تبخیر و کم‌ترین مقدار کارتنوئیدها از تیمار ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر به‌دست آمد (جدول ۴). کارتنوئیدها به‌عنوان آنتی‌اکسیدان‌های بیولوژیکی نقش بسیار مهمی در حفاظت از بافت گیاهی ایفا می‌نمایند. عدم حضور کارتنوئیدها ممکن است باعث آسیب فتواکسیداتیو شدید در بافت گیاهی شود (کابوسی و نودهی، ۱۳۹۵). نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان داد که استفاده از پلیمر سوپرچاد نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری کلروفیل a و کارتنوئیدها را افزایش داد. بنابراین بالاترین مقدار کارتنوئیدها از کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرچاد و کم‌ترین مقدار کارتنوئیدها از مصرف ۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپرچاد به‌دست آمد. از طرفی بالاترین مقدار کارتنوئیدها از رقم لوبیا چشم‌بلبلی و کم‌ترین محتوای کارتنوئیدها از رقم لوبیا سفید به‌دست آمد (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش تیمارهای تنش خشکی و سوپرچاد نشان داد بالاترین مقدار کلروفیل a و کلروفیل کل از تیمار (۷۰ میلی‌متر تبخیر و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرچاد) و کم‌ترین مقدار کلروفیل a و کلروفیل کل از تیمار (۲۱۰ میلی‌متر تبخیر و ۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپرچاد) به‌دست آمد (جدول ۵). در این میان نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش تیمارهای ارقام و تنش نشان داد بالاترین مقدار کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل از تیمار (۷۰ میلی‌متر تبخیر و لوبیا چشم‌بلبلی) و کم‌ترین مقدار کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل از تیمار (۲۱۰ میلی‌متر تبخیر و لوبیا سفید) به‌دست آمد (جدول ۶). نتایج حاصل از اندازه‌گیری کلروفیل کل برگ‌ها، روند کاهش تدریجی را همراه با افزایش تنش خشکی نشان داد کاهش این رنگیزه‌های مهم فتوسنتزی می‌تواند به‌علت اختلال در جذب عناصر غذایی ضروری در سنتز رنگیزه‌های فتوسنتزی باشد. تنش موجب افزایش تولید انواع اکسیژن واکنش‌گر می‌شود و کاهش میزان کلروفیل، نشان‌دهنده وسعت آسیب‌های اکسیداتیو است. این کاهش می‌تواند به‌دلیل بازدارندگی مراحل مختلف بیوسنتز کلروفیل باشد. هم‌چنین کاهش غلظت کلروفیل در گیاهان تحت تنش ممکن است در ارتباط با افزایش فعالیت تجزیه کلروفیل توسط آنزیم کلروفیلاز باشد (Goldani, 2012). لطفی‌آقا و همکاران (۱۳۹۶) گزارش کردند که در گیاه ذرت دانه‌ای بیش‌ترین میزان کلروفیل a به تیمار آبیاری کامل و کم‌ترین میزان کلروفیل a و b به تیمار آبیاری یک در میان جویچه‌ای ثابت تعلق داشت. هم‌چنین اعلام نمودند که بیش‌ترین میزان کلروفیل a از تیمار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرچاد و کم‌ترین میزان کلروفیل a و b از تیمار عدم مصرف سوپرچاد به‌دست آمد. گیاهانی که حساسیت بیش‌تری به خشکی دارند کمپلکس کلروفیل - پروتئین و لیپید آن‌ها ناپایدارتر می‌باشد. در اثر خشکی، شکل پلاستیدهای جدید کلروفیل a، و کلروفیل b کاهش می‌یابد و نسبت کلروفیل a به کلروفیل b تغییر می‌کند (وزیری و

نادری، ۱۳۹۳). تحقیق رازبان و پیرزاد (۱۳۹۰) در مورد بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla*) نشان داد که در تنش‌های شدید خشکی، کاهش قابل توجهی در محتوی کلروفیل نسبت به شرایط متعادل آبیاری به وجود می‌آید. بنابراین، تنش‌های با خشکی ملایم، مقادیر کلروفیل a، b و کل را افزایش داد. با ادامه تنش شدید خشکی، این مقادیر به حداقل میزان خود رسید و بیش‌ترین میزان محتوای کلروفیل با به‌کارگیری بیش‌ترین میزان سوپرجاذب حاصل شد. این نتیجه منطبق بر یافته‌هایی (شیخ مرادی و همکاران، ۱۳۹۰) در مورد چمن نیز می‌باشد. در تحقیقی دیگر، افزایش محتوای کلروفیل a و b ذرت دانه‌ای با کاربرد نسبت حجمی ۱۰:۹۰ (پلیمر سوپرجاذب: خاک شنی) در شرایط تنش شوری گزارش شد (El Sayed and El Sayed, 2011). نتایج تحقیق حاضر نیز افزایش کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئیدها تحت تیمارهای سوپرجاذب را نشان داد.

### پرولین

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر تنش خشکی، ارقام و سوپرجاذب، هم‌چنین برهم‌کنش تنش × سوپرجاب و ارقام × تنش بر میزان تجمع تنظیم‌کننده اسمزی (پرولین) در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌داری داشت. در این میان برهم‌کنش سه‌گانه آبیاری × ارقام × سوپرجاذب بر مقدار پرولین اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۳). تبخیر بر میزان تجمع پرولین در بافت سبز برگ افزوده شد، بنابراین بیش‌ترین غلظت پرولین برگ از تیمار (۲۱۰ میلی‌متر تبخیر و ۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب) و کم‌ترین مقدار پرولین برگ از تیمار (۷۰ میلی‌متر تبخیر و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب) به‌دست آمد (جدول ۵). Gomes و همکاران (۲۰۱۰) نیز گزارش کردند که تجمع پرولین در اثر تنش خشکی در نارگیل (*Cocos nucifera*) فقط می‌تواند نشان دهنده اعمال تنش در گیاه باشد. در این میان نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش تیمارهای ارقام و تنش نشان داد بالاترین مقدار پرولین برگ از تیمار (۲۱۰ میلی‌متر تبخیر و لوبیا چشم‌بلبلی) و کم‌ترین مقدار پرولین برگ از تیمار (۷۰ میلی‌متر تبخیر و لوبیا سفید) به‌دست آمد (جدول ۶). در این مطالعه مشاهده شد که خشکی بر میزان پرولین اثرگذار بوده است، به‌طوری که مقدار پرولین با افزایش شدت تنش خشکی افزایش پیدا کرد. تجمع پرولین به‌دلیل تنش خشکی می‌تواند ناشی از تحریک سنتز آن یا جلوگیری از تجزیه آن و یا تجزیه پروتئین‌ها باشد (امینی و همکاران، ۱۳۹۳). بروجردنیا و همکاران (۱۳۹۵) بیان کردند که در شرایط تنش آبی، تجمع کربوهیدرات‌های محلول و پرولین در ارقام متحمل Taylor و COS16 بیش‌تر از حساس اختر و خمین بود. افزایش مدت زمان تنش از سه به نه روز باعث افزایش معنی‌داری در میزان پرولین، گلوکز، فروکتوز و قندهای محلول کل شد. در پژوهش دیگر مشخص شد تنش خشکی در مراحل مختلف رشد در برنج، میزان پرولین را افزایش داده است (Pirdashti et al., 2009). افزایش میزان پرولین در اثر تنش خشکی در نخود (Sanchez et al., 1998) گزارش شده است.

جدول ۶: برهم کنش ارقام × تنش خشکی بر محتوای کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و غلظت پرولین برگ

پرولین (میکرومول بر گرم وزن تر)	کلروفیل کل (میلی گرم بر گرم وزن تر)	کلروفیل b (میلی گرم بر گرم وزن تر)	کلروفیل a (میلی گرم بر گرم وزن تر)	تیمارهای آزمایشی	
				تنش خشکی (میلی متر تبخیر)	ارقام لوبیا
۱/۶۹b	۴/۱۹a	۰/۱۰۹a	۰/۴۲۸a	۷۰	چشم بلبلی
۲/۳۸a	۲/۲۸b	۰/۰۹۸b	۰/۳۱۷b	۱۴۰	
۲/۳۸a	۱/۶۵bc	۰/۰۸۲c	۰/۲۶۲c	۲۱۰	
۰/۶۸d	۲/۷۳b	۰/۰۷۱c	۰/۲۸۳c	۷۰	چیتی
۱/۳۲bc	۱/۰۴d	۰/۰۵۶d	۰/۱۷۴d	۱۴۰	
۱/۶۸b	۰/۷۷d	۰/۰۴۱e	۰/۱۳۱e	۲۱۰	
۱/۱۹bc	۳/۳۸ab	۰/۰۷۸c	۰/۳۱۷b	۷۰	قرمز
۱/۶۱b	۳/۳۸ab	۰/۰۶۷cd	۰/۲۱۴cd	۱۴۰	
۲/۰۸ab	۱/۴۳c	۰/۰۶۱d	۰/۱۸۹d	۲۱۰	
۰/۴۴e	۱/۶۸bc	۰/۰۴۰e	۰/۱۶۴d	۷۰	سفید
۰/۸۶d	۰/۴۹e	۰/۰۱۸f	۰/۰۵۹f	۱۴۰	
۱/۱۷bc	۰/۳۳e	۰/۰۱۴f	۰/۰۴۶f	۲۱۰	

حروف مشترک در هر ستون حاکی از عدم اختلاف معنی دار براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد است.

### نتیجه گیری

بر اساس نتایج به دست آمده در این پژوهش، می توان بیان کرد که تنش خشکی اثر منفی متفاوتی بر فرآیندهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه می گذارد. بنابراین با افزایش تنش خشکی میزان فعالیت آنزیم های سوپراکسید دیسموتاز، گلوکاتایون پراکسیداز، کاتالاز و مالون دی آلدئید افزایش و رنگیزه های فتوسنتزی کاهش یافت. به طور کلی می توان نتیجه گرفت که با افزایش مصرف پلیمر سوپرجاذب میزان فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان ها کاهش ولی مقادیر کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کارتنوئیدها و محتوای نسبی آب برگ افزایش یافت. نتایج مقایسه میانگین برهم کنش تنش خشکی و سوپرجاذب نشان داد که حداکثر میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز، گلوکاتایون پراکسیداز و بیشترین محتوای پرولین برگ توسط تیمار ۵۰ کیلوگرم در هکتار کاربرد سوپرجاذب در سطح تنش خشکی ۲۱۰ میلی متر تبخیر حاصل شد. به طور کلی می توان نتیجه گرفت که استفاده از پلیمر سوپرجاذب باعث افزایش تحمل گیاه در برابر کاهش خسارت های ناشی از تنش کم آبی بوده و با توجه به پایداری چندین ساله سوپرجاذب در خاک توصیه می شود در شرایط کمبود آب برای افزایش عملکرد یا ثبات عملکرد در گیاه به مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب استفاده شود.

### منابع

- امینی، ز.، معلمی، ن. و سعادت، ص. ۱۳۹۳. مقایسه اثر تنش کم آبی بر تغییرات میزان پرولین و فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان در سه رقم زیتون (*Olea europaea* L.). مجله پژوهش های گیاهی (مجله زیست شناسی ایران). ۲۷ (۲): ۱۶۷-۱۵۶.

- بروجردنیا، م.، بی‌همتا، م.، عالمی‌سعید، خ. و عبدوسی، و. ۱۳۹۵. اثر تنش خشکی بر میزان پرولین، کربوهیدرات‌های محلول، نشت الکترولیت‌ها و محتوای آب نسبی لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.). فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۸ (۲۹): ۴۱-۲۳.
- پازگی، ع. ۱۳۹۴. اثر مصرف ژئولیت بر میزان بیومارکرهای تخریب، محتوی نسبی آب برگ، نشت الکترولیت‌ها و کلروفیل کلزا تحت شرایط تنش کم‌آبی. فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۷ (۲۸): ۴۴-۳۳.
- جلیلی، س.، هادی، م.، مجنون‌هریس، ا. و دلیرحسین‌نیا، ر. ۱۳۹۵. اثر تنش کمبود آب و کاربرد سوپرجاذب استاکوزورب بر برخی صفات زراعی گندم زمستانه در تبریز. فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۸ (۳۲): ۱۲۰-۱۰۷.
- چهل‌گردی، ع.، صفاری، م. و عبدالشاهی، ر. ۱۳۹۳. بررسی اثر پلیمر سوپرجاذب، سولفات پتاسیم و کود دامی بر صفات فیزیولوژیک ارزن دم‌روباهی (*Setaria italic*) در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی. نشریه تولید گیاهان زراعی. ۷ (۲): ۶۰-۴۳.
- رازبان، م. و پیرزاد، ع. ۱۳۹۰. بررسی اثر کاربرد مقادیر مختلف سوپرجاذب تحت رژیم‌های آبیاری متفاوت بر رشد و تحمل کم‌آبی در کشت دوم بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla*). دانش کشاورزی و تولید پایدار. ۲۱ (۴): ۱۳۷-۱۲۳.
- رجبی، ل.، ساجدی، ن.ع. و روشندل، م. ۱۳۹۱. واکنش عملکرد و اجزای عملکرد نخود دیم به اسیدسالیسیلیک و پلیمر سوپر جاذب. مجله پژوهش‌های به زراعی. ۴ (۴): ۲۵۴-۲۴۳.
- رحمانی، م.، حبیبی، د. و دانشیان، ج. ۱۳۸۸. اثر کاربرد غلظت‌های مختلف پلیمر سوپرجاذب بر عملکرد و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاه دارویی خردل (*Sinapis alba* L.). مجله تنش‌های محیطی در علوم گیاهی. ۱ (۱): ۳۸-۲۹.
- شیخ‌مرادی، ف.، ارجی، ع.، اسماعیلی، ا. و عبدوسی، و. ۱۳۹۰. بررسی اثر دور آبیاری و پلیمر سوپرجاذب روی برخی خصوصیات کیفی چمن اسپورت. علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۵ (۲): ۱۷۷-۱۷۰.
- فاضلی‌رستم‌پور، م.، ثقه‌الاسلامی، م. ج. و موسوی، س. غ. ۱۳۹۰. اثر تنش آبی و پلیمر (سوپرجاذب A200) بر عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت در منطقه بیرجند. مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی. ۴ (۱): ۱۹-۱۱.
- قوشچی، ف. ۱۳۹۴. بررسی امکان کاهش خسارت ناشی از تنش قطع آبیاری بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و کیفیت ذرت دانه‌ای با کاربرد پلیمر سوپرجاذب. فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۷ (۲۷): ۹۴-۸۵.

- کابوسی، ک. و نودهی، ا. ۱۳۹۵. اثر سطوح تنش شوری بر صفات کمی و کیفی ارقام مختلف کلزا در شرایط کاربرد ورمی کمپوست. نشریه تولید گیاهان زراعی. ۳ (۹): ۱۵۱-۱۳۳.
- لطفی آقا، م.، مرعشی، م.س. و بابائی نژاد، ت. ۱۳۹۶. اثر مقادیر پلیمر سوپرجاذب و کم آبیاری بر عملکرد و برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی ذرت دانه‌ای (*Zea mays* L.). فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۷ (۳۴): ۱۰۹-۹۷.
- محرم‌نژاد، س. و ولی‌زاده، م. ۱۳۹۴. تغییرات میزان رنگدانه و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان گیاهچه‌های لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* L.) تحت تنش شوری. اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی. ۱ (۳۳): ۱۶۶-۱۵۳.
- مجدم، م.، پاینده، خ.، لک، ش. و مرعشی، ک. ۱۳۹۵. اثر پلیمر سوپرجاذب بر عملکرد دانه و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی ذرت بهاره (*Zea mays* L.) در شرایط تنش کمبود آب. فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۸ (۳۲): ۷۳-۶۱.
- مرتضوی، س.م.، توکلی، ا.، محمدی، م.ح. و افصحی، ک. ۱۳۹۴. اثر کاربرد پلیمر سوپرجاذب بر صفات فیزیولوژیک و عملکرد گندم رقم آذر ۲ در شرایط دیم. نشریه زراعت. ۱ (۶): ۱۱۸-۱۱۲.
- وزیری، س. و نادری، ا. ۱۳۹۳. اثر کاربرد سوپرجاذب بر عملکرد دانه و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی هیبریدهای کلزا در شرایط تنش کمبود آب پایان فصل. علوم گیاهان زراعی ایران. ۴۵ (۳): ۴۱۷-۴۰۹.
- ولی زاده قلعه بیگ، ا.، نعمتی، س.ح.، تهرانی فر، ع. و امامی، ح. ۱۳۹۴. تأثیر سوپرجاذب A200 بنتونیت و تنش خشکی بر صفات فیزیولوژیک و ویتامین ث کاهو در شرایط کشت گلخانه‌ای. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای. ۶ (۲۱): ۱۵۷-۱۶۷.

**Aebi, H. 1984.** Catalase in vitro. *Methods in Enzymology*, 105: 121-126.

**Appel, K. and Hirt, H. 2004.** Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress and signal transduction. *Annual Review Plant Biology*, 55: 373-399.

**Atteya, A. M. 2003.** Alternation of water relations and yield of can genotypes in response to drought Stress. *Journal of Plant Physiology*, 29: 63-76.

**Azmi, N. and Gasemi, M. 2007.** Effects of irrigation regimes on growth, grain yield of sorghum varieties in Esfahan. *Journal Iran Agronomy Science*, 9: 169-183.

**Baily, C. 2004.** Active oxygen species and antioxidants in seed biology. *Seed Science Research*, 14: 93-107.

**Bates, L. S., Waldern, R. P. and Tear, I. D. 1973.** Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, 39: 205-207.

**Bredemeier, C. 2005.** Laser-induced chlorophyll fluorescence sensing as a tool for site-specific nitrogen fertilizer evaluation under controlled environmental and field conditions in wheat and maize. Ph.D. Thesis. Technical University of Munich, Germany, 219p.

**Bor, M., Özdemir, F. and Türkan, I. 2003.** The effect of salt stress on lipid peroxidation and antioxidants in leaves of sugar beet *Beta vulgaris* L. and wild beet *Beta maritima* L. *Plant Science*, 164: 77-84.

**Chandlee, J. M. and Scandalios, J. G. 1984.** Analysis of variants affecting the plants. *Plant Nutrition Soil Science*, 168: 541-549.

**Dere, S., Gunes, T. and Sivaci, R. 1998.** Spectrophotometric determination of chlorophyll- a, b and total carotenoids contents of some algae species using different solvents. *Botany*, 22: 13-17.

**El-Harris, M. K., Cochran, V. L., Elliott, L. F. and Bezdicek, D. F. 2007.** Effect of polymers, and water deficit on biochemical cellular situation. *Journal of Plant Physiology*, 558: 261-270.

**El Sayed, H. and El Sayed, A. 2011.** Influence of salinity stress on growth parameters, photosynthetic activity and cytological studies of *Zea mays* L. plant using hydrogel polymer. *Agriculture Biology Journal North America*, 2: 907-920.

**Gaber, M. A. 2010.** Antioxidative defense under salt stress. *Plant Signal and Behavior*, 5: 369-374.

**Gholinegad, R., Sirousmehr, A. and Fakheri, B. 2014.** Effect of drought stress and organic fertilizer on activity of some antioxidant enzymes, photosynthetic pigments, proline and yield of Borage (*Borago officinalis*). *Journal of Horticulture Science*, 28: 338-346.

**Goldani, M. 2012.** Effect of irrigation intervals on some growth indices ecotypes basil (*Ocimum basilicum* L.) *Iranian Agricultural Research*, 10: 412-420.

**Gomes, F. P., Oliva, M. A., Mielke, M. S., Almeida, A. A. F. and Aquino, L. A. 2010.** Osmotic adjustment, proline accumulation and membrane stability in leaves of *Cocos nucifera* submitted to drought stress. *Scientia Horticulturae*, 126: 379- 384.

**Habibi, D., Pour Ismail, P., Tavassoli, A., Mashhadi Akbar Bujar, M., Roshan, B., Rafii, H. and Shokravi, M. 2006.** Study of superabsorbent polymer on antioxidant enzyme activities and enhances the performance of the different varieties red bean under drought stress. *Iranian Journal Agronomy*, 2: 83-96.

**Harvy, j. 2000.** Use of hydrogels to reduce leaf loos haster root. *Establishment Forest Research*, 45: 220-228.

**Holy, M. C. 1972.** Indole acetic acid oxidase: a dual catalytic enzyme. *Plant Physiology*, 50: 15-18.

**Johnson, M. S. and Leah, R. T. 1990.** Effects of superabsorbent polyacrylamides on efficiency of water use by crop seedlings. *Journal Science Food Agronomy*, 52: 431-434.

**Jiang, M. and Zhang, J. 2001.** Effect of abscisic acid on active oxygen species, antioxidative defence system and oxidative damage in leaves of maize seedlings. *Plant Cell Physiology*, 42: 1265-1273.

**Kaya, M. D., Ipek, A. and Ozturk, A. 2003.** Effects of different soil salinity levels on germination and seedling growth of safflower. *Turkish Journal of Agriculture for*, 27: 221-227.

**Mittler, R. 2002.** Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Science*, 7: 405-410.

**Nazarli, H., Zardashti, M. R., Darvishzadeh, R. and Najafi, S. 2010.** The effect of water stress and polymer on water use efficiency, yield and several morphological traits of sunflower. *Notulae Scientiae Biologicae*, 4: 53-58.

**Pirdashti, H., Tahmasebi-Sarvestani, Z. and Bahmanyar, A. 2009.** Comparison of physiological responses among four contrast rice cultivars under drought stress conditions. *World Academy of Science*, 49: 52-54.

**Sanchez, F. J., Manzanares, M., Andres, E. F., Tenorio, J. L. and Ayerbe, L. 1998.** Turgor maintenance, osmotic adjustment and soluble sugar and proline accumulation in 49 pea cultivars in response to water stress. *Field Crop Research*, 59: 225-235.

**Sishuai, M., Rubiul-Islam, M., Xuzhang, X. and Yuegae, H. 2011.** Evaluation of a water saving super absorbent polymer of corn production in arid regions of Northern china. *Journal Productivity*, 6: 4108-4115.

**Taarit, M. B., Msaada, K. and Marzouk, B. 2009.** Plant growth, essential oil yield and composition of sage (*Salvia officinalis* L.) fruits cultivated under salt stress conditions. *Industrial Crops and Products*, 30: 333-337.

**Wu, L., Liu, M. and Liang, R. 2008.** Preparation and properties of a double-coated slow-release NPK compound fertilizer with superabsorbent and water-retention. *Bioresource Technology*, 99: 547-554.

**Xu, Y. C., Zhang, J. B., Jiang, Q. A., Zhou, L. Y. and Miao, H. B. 2006.** Effects of water stress on the growth of *Lonicera japonica* and quality of honeysuckle. *Zhongyaocai*, 29: 420-423.

**Yang, G., Chen, X. and Sanico, J. 2011.** Comparative genomics of two eco-logically differential populations of *Hibiscus tiliaceus* under salt stress. *Journal Functional Plant Biology*, 38: 199-208.