"مجله علوم زراعی ایران"
جلد بیستم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۷

اثر کم‌آبیاری و مصرف سوپرجاذب بر خصوصیات فیزیولوژیک و عملکرد دانه هیبریدهای جدید ایرانی آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.)

Effect of deficit irrigation and super absorbent application on physiological characteristics and seed yield of new Iranian sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids

اسداله زارعی سیاه بیدی[1] و عباس رضایی زاد[2]

چکیده

زارعی سیاه بیدی. ا. و ع. رضایی زاد. ۱۳۹۷. اثر کم‌آبیاری و مصرف سوپرجاذب بر خصوصیات فیزیولوژیک و عملکرد دانه هیبریدهای جدید ایرانی آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.). **مجله علوم زراعی ایران. ۲۰(۳): ۲۳۶-۲۲۲.**

این تحقیق به‌منظور بررسی اثر کم‌آبیاری و مصرف سوپرجاذب بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و عملکرد دانه هیبریدهای جدید آفتابگردان به مدت دو سال (۱۳۹۰ و ۱۳۹۱) در ایستگاه تحقیقات کشاورزی اسلام‌آباد غرب انجام شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل آبیاری در سه سطح؛ آبیاری کامل (آبیاری بر اساس تخلیه ۲۵ درصد رطوبت ظرفیت زراعی خاک)، ب- کم‌آبیاری (آبیاری بر اساس تخلیه ۵۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی خاک؛ تنش ملایم) و ج- کم‌آبیاری (آبیاری بر اساس تخلیه ۷۵ درصد رطوبت ظرفیت زراعی خاک؛ تنش شدید)، در کرت‌های اصلی و سه هیبرید آفتابگردان (فرخ، قاسم و شمس) و سه سطح تیمار سوپرجاذب؛ صفر (عدم مصرف)، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار داده شدند. نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر متقابل دوگانه هیبرید×کم‌آبیاری بر کلیه صفات مورد ارزیابی و اثر متقابل هیبرید× سوپرجاذب بر کلیه صفات مورد ارزیابی، به استثنای پایداری غشای سلولی و تنظیم اسمزی و اثر متقابل سوپرجاذب×کم‌آبیاری بر کلیه صفات مورد ارزیابی، به‌استثنای عملکرد دانه و پایداری غشای سلولی، معنی‌دار بودند. در شرایط تنش شدید خشکی عملکرد دانه هیبرید فرخ با ۳۰۷۱ کیلوگرم در هکتار و بیشتر از عملکرد هیبریدهای شمس و قاسم (به ترتیب با ۲۷۱۰ و ۲۶۰۱ کیلوگرم در هکتار) بود. نتایج این آزمایش نشان داد که مصرف سوپرجاذب در شرایط تنش شدید خشکی باعث افزایش محتوای آب نسبی، پرولین آزاد، پروتئین‌ها و قندهای محلول هیبریدهای آفتابگردان شد، اما تنظیم اسمزی برگ با مصرف سوپرجاذب کاهش یافت. نتایج کلی این آزمایش نشان داد که استفاده از سوپرجاذب به طور نسبی می‌تواند اثرات منفی حاصل از تنش خشکی بر صفات فیزیولوژیکی آفتابگردان را کاهش دهد. هیبرید فرخ در شرایط تنش خشکی و استفاده از سوپرجاذب در سطح ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار، از نظر کلیه صفات گیاهی اندازه‌گیری شده برتر از دو هیبرید دیگر بود.

واژه‌های کلیدی: آفتابگردان، تنش خشکی، تنظیم اسمزی، پلیمر و پرولین.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۰ /۱۳۹۷/۰۵ این مقاله مستخرج از طرح تحقیقاتی ایستگاه تحقیقات کشاورزی اسلام آباد غرب به شماره مصوب ۹۱۱۷۵-۰۳-۵۵-۲ می‌باشد

۱- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران (مکاتبه کننده) (پست الکترونیک: azareei46@gmail.com)

۲- دانشیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران

مقدمه

پایین بودن میزان نزولات آسمانی و پراکنش نامنظم آن باعث بروز تنش خشکی در طول دوره رشد گیاهان زراعی می‌شود. خشک‌سالی یکی از مهم‌ترین و رایج‌ترین تنش‌های محیطی حاصل از تغییرات اقلیمی در سال‌های اخیر است که تولیدات کشاورزی را با محدودیت مواجه ساخته و پیش بینی می‌شود در آینده نیز شدیدتر شود (Hussain *et al.*, 2018). در چنین شرایطی در نظام‌های کشاورزی شناسایی ارقامی از گیاهان زراعی که تحمل بیشتری نسبت به تنش خشکی داشته و افت عملکرد کمتری داشته باشند، ضروری است. آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) یکی از منابع مهم تولید روغن خوراکی در جهان بوده و حدود هشت درصد از کل تولید دانه‌های روغنی در جهان را تشکیل می‌دهد (FAOSTAT, 2016). این گیاه متحمل به خشکی با نظام ریشه عمیق و جستجوگر است و ریشه این گیاه در شرایط تنش خشکی در مقایسه با سایر گیاهان زراعی می‌تواند آب را به‌طور موثری از لایه‌های عمیق‌تر خاک جذب کند (Angadi and Entz, 2002). آفتابگردان در مراحل گلدهی، باروری و پر شدن دانه بیشترین حساسیت را به تنش کم‌آبی داشته و در ابتدا و انتهای فصل رشد حساسیت کمتری به تنش کم‌آبی دارد (Erdem *et al.*, 2002). درک بهتر اساس تغییرات مورفولوژیک و فیزیولوژیک تحمل تنش می‌تواند در انتخاب و یا تولید ارقام جدید که در شرایط تنش تولید بهتری داشته باشند، مورد استفاده قرار گیرد (Martinez *et al.*, 2007).

یکی از راهکارهای مقابله با تنش استفاده از موادی همانند پلیمرهای سوپرجاذب است. مصرف پلیمرهای سوپرجاذب شاید یک راهکار عملی در کشاورزی مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور باشد. این مواد چندین برابر وزن خود آب جذب کرده و در اثر خشک شدن محیط، آب داخل پلیمر به‌تدریج تخلیه شده و بدین ترتیب خاک به مدت طولانی و بدون نیاز به آبیاری مجدد، مرطوب می‌ماند (Widiastuti *et al.*, 2008). پلیمرهای سوپرجاذب باعث افزایش ماندگاری آب در خاک شده و تعداد آبیاری را تا ۵۰ درصد کاهش می‌دهند (Nazarli *et al.*, 2010). در آزمایش وو و همکاران (Wu *et al.*, 2008) نشان داده شد که با مصرف سوپرجاذب، ۱۰/۷ درصد آب بیشتری نسبت به شاهد (بدون مصرف سوپرجاذب) در خاک باقی ماند. در آزمایش قوشچی (Ghooshchi, 2015) گزارش شد که مصرف پلیمر سوپرجاذب باعث بهبودی ویژگی‌های کمی ذرت دانه‌ای در شرایط تنش خشکی شده و مصرف ۳۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب در شرایط تنش خشکی برای ذرت توصیه شد.

گیاهان عموماً سازوکارهای مختلفی برای مقابله با تنش خشکی دارند و از طریق القای پاسخ‌های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مورفولوژیکی به تنش خشکی سازگار می‌شوند. غشای سلولی از نخستین اندام‌هایی است که تحت شرایط تنش آسیب می‌بیند و تراوایی آن افزایش یافته و نشت الکترولیتی از سلول باعث مرگ آن می‌گردد. پایداری غشای سلولی می‌تواند به‌عنوان معیاری از تحمل به تنش خشکی در نظر گرفته شود (Nazarli *et al.*, 2012). پورمحمدکیانی و همکاران (PoormohammadKiani *et al.*, 2007) نیز گزارش کردند که محتوای آب نسبی برگ در لاین‌های اینبرد آفتابگردان در اثر تنش خشکی کاهش می‌یابد، به این صورت که محتوای آب نسبی در گیاهان بدون تنش بین ۸۰ تا ۹۱ درصد بوده و در گیاهان تحت تنش خشکی ۶۰ تا ۸۱ درصد است. یکی از پاسخ‌های عمومی سلول به تغییرات فشار اسمزی خارجی، تجمع متابولیت‌هایی است که قابلیت انحلال داشته ولی متابولیسم طبیعی گیاه را مختل نمی‌کنند. ازجمله این مواد که به اسمولیت‌ها سازگار معروف هستند، اسید آمینه پرولین است (Orcutt and Nilsen, 2000).

با توجه به خشک‌سالی‌های چند سال اخیر و کاهش شدید منابع آب، زراعت آفتابگردان در مقاطعی از دوره رشد ممکن است دچار تنش خشکی شود، بنابراین شناسایی هیبریدهایی که با دارا بودن خصوصیات فیزیولوژیک مطلوب، عملکرد آنها تا حدودی حفظ شده و افت عملکرد کمتری داشته باشند، ضروری است. در آزمایش حاضر خصوصیات فیزیولوژیک هیبریدهای جدید آفتابگردان با مصرف پلیمر سوپرجاذب در شرایط تنش خشکی، مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی اسلام‌آباد غرب که یکی از مناطق معتدل سرد استان کرمانشاه است، اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل کم‌آبیاری، هیبریدهای آفتابگردان و پلیمر سوپرجاذب A-200 بودند. آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. سه سطح آبیاری که به‌عنوان عامل اصلی در نظر گرفته شدند شامل زمان آبیاری بر اساس تأمین رطوبت پس از ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد تخلیه رطوبت ظرفیت زراعی خاک مزرعه بود که به ترتیب به‌عنوان آبیاری کامل، تنش ملایم و تنش شدید در نظر گرفته شدند. هیبریدهای آفتابگردان شامل سه هیبرید جدید ایرانی فرخ، قاسم و شمس و تیمار سوپرجاذب A-200 نیز در سه سطح صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار داده شدند.

آماده‌سازی زمین شامل شخم عمیق، دیسک، تسطیح خاک، تهیه جوی و پشته انجام شد. با توجه به نتایج آزمون خاک، ۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفات آمونیوم، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم و ۲۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن از منبع اوره قبل از کاشت به خاک داده شدند. در مرحله ساقه رفتن ۵۰ کیلوگرم کود اوره به صورت سرک به خاک افزوده شد. مساحت هر کرت آزمایشی ۱۳ مترمربع شامل چهار خط کاشت به طول پنج متر، فاصله ردیف‌های کاشت ۶۵ سانتی‌متر و فاصله دو بوته روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شدند. پس از ایجاد فاروها و ایجاد شیار روی فاروها، مقادیر سوپرجاذب A-200 برای هر تیمار محاسبه و به تعداد بوته‌ها تقسیم و طبق پروتکل شرکت سازنده (شرکت رهاب زرین پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران) به‌صورت کپه‌ای در فاصله ۱۰ سانتیمتری بوته‌ها و در عمق هفت سانتیمتری ناحیه گسترش ریشه، به‌طور کاملاً یکسان جایگذاری شد. قبل از کاشت بذرهای آفتابگران با استفاده از قارچ‌کش بنومیل با نسبت دو در هزار ضدعفونی شدند. کاشت بذر در اوایل تیر هر سال به‌صورت دستی و در عمق چهار سانتیمتری روی پشته‌ها انجام شد. پس از کاشت بذر، آبیاری به‌صورت یکنواخت انجام شد تا سطح سبز یکنواخت گیاهچه‌ها حاصل شود. در هر کپه سه بذر قرار داده شد و زمانی که ارتفاع گیاهچه‌ها به ۱۵ الی ۲۰ سانتی‌متری رسید، یک گیاهچه حفظ و بوته‌های اضافی حذف شدند. اعمال تیمارهای تنش از مرحله استقرار گیاهچه (هشت برگی) انجام شد. برای هر بار آبیاری از عمق توسعه ریشه نمونه‌برداری و میزان رطوبت خاک بر مبنای وزن خشک محاسبه شد. رطوبت خاک به روش وزنی اندازه‌گیری و با استفاده از منحنی رطوبتی خاک، رابطهٔ بین پتانسیل آب و میزان رطوبت خاک در نقاط پتانسیلی مورد نظر محاسبه شد. پس از تعیین میزان رطوبت خاک و مشخص شدن زمان آبیاری، مقدار آب لازم با استفاده از نرم‌افزار Optiwat محاسبه و آبیاری انجام شد. درمجموع برای تیمارهای آبیاری کامل ۷۵۰۰ مترمکعب، تنش ملایم ۴۶۸۷ مترمکعب و تنش شدید ۳۷۵۰ مترمکعب در هکتار آب مصرف شد. تعداد آبیاری‌های انجام‌شده در همه تیمارهای آبیاری هشت مرتبه بود. در هر دو سال آزمایش در طول دوره

رشد، هیچگونه بارندگی حادث نشد. برای کنترل علف‌های هرز باریک برگ از علف‌کش سوپرگالانت استفاده شد. علف‌های هرز پهن‌برگ نیز با وجین دستی کنترل شدند. به‌منظور جلوگیری از خسارت گنجشک و سایر پرندگان بعد از پایان گل‌دهی، طبق‌های آفتابگردان تا مرحله برداشت با روزنامه و کیسه‌های پارچه‌ای پوشانده شدند. در مرحله رسیدگی، پس از حذف یک بوته از ابتدا و انتهای هر کرت، محصول برداشت و عملکرد دانه محاسبه شد.

اندازه‌گیری قندهای محلول برگ به روش هایرون و رایت (Hiron and Wright, 1993)، پایداری غشای سلولی به روش بلام و اِبرکن (Blum and Eberrcon, 1981)، میزان پروتئین به روش برادفورد (Bradford, 1976) انجام و محتوی آب نسبی با استفاده از از رابطهٔ [۱۰۰× (وزن خشک- وزن اشباع)/(وزن خشک-وزن تر)= محتوی نسبی آب برگ] محاسبه شد. برای اندازه‌گیری میزان پرولین از روش بیتس و همکاران (Bates *et al*., 1973) و برای اندازه‌گیری پتانسیل اسمزی برگ از روش بلام (Blum, 1989) استفاده شد. تنظیم اسمزی با استفاده از روش بابو و همکاران (Babu *et al*., 1999) با محاسبه تفاوت پتانسیل اسمزی برگ گیاه تحت تنش و برگ گیاه تحت تنش محاسبه شد. اندازه‌گیری صفات یاد شده در دو مرحله شروع و پایان گلدهی، در پایان دوره تنش و قبل از آبیاری، انجام شد.

برای تجزیه واریانس مرکب داده‌ها از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج و یک درصد انجام شد. در تجزیه واریانس داده‌ها اثر سال و اثر متقابل سال با سایر تیمارها به‌عنوان عامل تصادفی در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای آبیاری، هیبرید و اثرات متقابل سوپرجاذب×هیبرید، آبیاری×هیبرید و سوپرجاذب×هیبرید×آبیاری بر میزان قندهای محلول برگ معنی‌دار بود و هیبریدهای آفتابگردان نیز از این نظر دارای تفاوت معنی‌دار بودند، ولی استفاده از سوپر جاذب اثر معنی‌داری بر میزان قندهای محلول برگ نداشت. اثر متقابل آبیاری× هیبرید نشان داد که واکنش هیبریدهای آفتابگردان در سطوح آبیاری متفاوت بود، به‌طوری‌که در تیمار شاهد (آبیاری کامل) در کلیه هیبریدها پایین‌ترین میزان قندهای محلول برگ مشاهده شد (جدول ۲). افزایش قندهای محلول در شرایط کم‌آبیاری در هیبرید فرخ کاملاً قابل‌ملاحظه بود. بیشترین مقدار قندهای محلول برگ مربوط به هیبرید فرخ (۸۰/۴۶ میلی‌گرم برگرم وزن تر برگ) و کمترین مقدار آن مربوط به هیبرید شمس در آبیاری کامل (۲۰/۱ میلی‌گرم برگرم وزن تر برگ) بود. در تطابق با نتایج آزمایش حاضر، در آزمایش اسیلان (Asilan, 2016) روی آفتابگردان، هیبرید فرخ در کلیه سطوح آبیاری معمولی، تنش متوسط و تنش شدید (به ترتیب با ۱۵۱/۸، ۲۷۲/۷ و ۶۳۲/۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) دارای بیشترین میزان قندهای محلول بود. در دوره تنش، به‌منظور گریز از پلاسمولیزه شدن و حفظ آماس سلول‌های گیاه، مولکول‌هایی نظیر نشاسته به ساکارز و سپس مولکول‌های کوچک‌تری مانند گلوکز و فروکتوز تبدیل می‌شوند که این موضوع باعث منفی‌تر شدن پتانسیل آب سلول‌ها و تنظیم اسمزی در آنها می‌شود. کاهش مصرف قند نیز عامل دیگری برای افزایش غلظت قندهای محلول در سلول می‌تواند باشد، در نتیجه میزان قند در شرایط تنش افزایش می‌یابد. در آزمایش نظرلی و همکاران (Nazarli *et al*., 2010) نیز اثر تنش خشکی و مصرف سوپرجاذب بر خصوصیات فیزیولوژیکی آفتابگردان نشان داد که تنش خشکی باعث افزایش معنی‌دار قندهای محلول شد.

نتایج نشان داد که در شرایط آبیاری کامل استفاده از سوپرجاذب باعث روند تغییرات مشخصی در افزایش

یا کاهش قندهای محلول برگ نشد، اما در شرایط کم‌آبیاری استفاده از سوپر جاذب باعث افزایش معنی‌دار قندهای محلول برگ شد، به‌طوری‌که در شرایط تنش شدید میزان قندهای محلول برگ در سطوح تیماری عدم مصرف سوپر جاذب و استفاده از ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب، به ترتیب ۳۳/۳، ۶۲/۲ و ۶۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ بود (جدول ۱). در آزمایش اسیلان (Asilan, 2016) روی آفتابگردان، بیشترین میزان قندهای محلول در شرایط تنش شدید آب (۳۳۷/۲۱ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ) به دست آمد، در حالی که در شرایط آبیاری معمولی میزان قندهای محلول (۷۶/۳۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) در کمترین مقدار قرار داشت.

نتایج نشان داد که اثر آبیاری، هیبرید، اثرمتقابل سوپرجاذب×هیبرید، اثرمتقابل آبیاری×سوپرجاذب، اثرمتقابل آبیاری×هیبرید در سطح یک‌درصد و اثر سوپرجاذب در سطح پنج درصد بر محتوای پروتئین برگ معنی‌دار بود. نتایج نشان داد که کم آبیاری باعث کاهش محتوای پروتئین برگ شد، به‌طوری‌که مقدار آن در تیمار آبیاری کامل، تنش ملایم و تنش شدید به ترتیب ۷۰، ۵۵ و ۴۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ بود. به‌طورکلی در اثر تنش خشکی نه‌تنها پروتئین‌سازی متوقف می‌شود، بلکه پروتئین‌های موجود نیز تجزیه می‌شوند، ولی مصرف پلیمر سوپرجاذب و حفظ و نگهداری آب توسط آن در محیط ریشه، از تجزیه پروتئین‌ها جلوگیری می‌شود. نتایج برخی تحقیقات نشان داده است که پروتئین محلول و کلروفیل برگ آفتابگردان در اثر کاهش فعالیت آنزیم رابیسکو در برگ کاهش می‌یابد (Santos *et al.*, 1996). بررسی اثر متقابل سوپرجاذب × هیبرید بر محتوای پروتئین برگ نشان داد که در هیبریدهای قاسم و فرخ با افزایش سوپرجاذب و فراهمی رطوبت، مقدار پروتئین برگ افزایش یافت، درحالی‌که روند تغییرات پروتئین برگ در هیبرید شمس متفاوت از سایر هیبریدها بود و با افزایش مقدار سوپرجاذب کاهش یافت، ضمن این‌که میزان پروتئین برگ در این هیبرید از دو هیبرید دیگر کمتر بود. دلیل این موضوع شاید حساس‌تر بودن این هیبرید به کم‌آبیاری باشد. به طورکلی بالاترین میزان پروتئین برگ (۶۰ میلی‌گرم برگرم وزن تر برگ) مربوط به دو هیبرید فرخ و قاسم با مصرف ۲۰۰ کیلوگرم سوپرجاذب و کمترین میزان پروتئین برگ (۵۲ میلی‌گرم برگرم وزن تر برگ) مربوط به هیبرید شمس با مصرف ۲۰۰ کیلوگرم سوپرجاذب در هکتار بدست آمد.

با توجه به معنی‌دار بودن اثر متقابل تیمارهای آبیاری×سوپرجاذب، استفاده از سوپر جاذب، به‌ویژه در شرایط تنش شدید، باعث افزایش محتوای پروتئین برگ شد. محتوای پروتئین برگ در شرایط تنش شدید در سطوح تیماری عدم مصرف ، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب به ترتیب ۴۱، ۴۶/۴ و ۴۵/۸ میلی‌گرم برگرم وزن تر برگ بود (جدول ۱). این روند در شرایط آبیاری کامل وجود نداشت و استفاده از سوپرجاذب باعث افزایش محتوای پروتئین برگ نشد. در این شرایط محتوای پروتئین برگ در سطوح عدم مصرف، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب به ترتیب ۷۲، ۶۹ و ۷۰ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ بود. اثر پلیمر در مقادیر بالای تیمار آبیاری کمتر بروز می‌کند، زیرا محدودیتی ازلحاظ تأمین آب وجود ندارد، ولی در شرایط تنش کمبود آب، نقش سوپرجاذب در تأمین و نگهداری آب افزایش می‌یابد. تنش خشکی باعث کاهش محتوی کلروفیل و پروتئین شده و باعث تجزیه غشای سلولی و عدم تعادل در مواد غذایی در کالوس‌های آفتابگردان می‌شود و درنتیجه پیری سلول‌ها و زودرس شدن گیاه را در پی دارد. با مصرف پلیمر از شدت تنش کاسته شده و مانع از پیری زودرس سلول‌ها و کاهش شدید محتوای پروتئین می‌شود (Santos *et al*., 2002).

جدول ۱- مقایسه میانگین صفات گیاهی هیبریدهای آفتابگردان در تیماری آبیاری× سوپرجاذب

Table 1. Mean comparison of plant characteristics of sunflower hybrids in irrigation×super absorbent treatment

تیمارهای آزمایشی Treatments		تنظیم اسمزی برگ	محتوای آب نسبی	پرولین	پروتئین	قندهای محلول
آبیاری Irrigation	سوپر جاذب Super absorbent ($kg.ha^{-1}$)	Osmotic adjustment (MPa)	Relative water content (%)	Proline ($\mu g.g^{-1}.Fw$)	Protein ($mg.g^{-1}.Fw$)	Soluble sugars ($mg.g^{-1}.Fw$)
آبیاری کامل Full irrigation	0	266.8	85.1	22.1	72.1	21.91
	100	250.8	86.1	22.1	69.4	20.72
	200	244.8	87.4	22.7	69.7	22.13
کم‌آبیاری (تنش ملایم) Deficit irrigation (Moderate stress)	0	310.7	67.5	25.1	55.5	36.69
	100	296.8	68.7	25.5	52.4	34.89
	200	288.1	72.1	25.7	55.7	34.69
کم‌آبیاری (تنش شدید) Deficit irrigation (Severe stress)	0	379.1	60.1	42.6	41.1	33.27
	100	351.4	61.2	46.6	46.3	62.24
	200	331.3	63.1	45.5	45.7	62.01
LSD ($p\leq0.5$)		35.39	0.43	2.87	1.84	0.94
LSD ($p\leq0.1$)		87.70	0.72	1.64	3.10	1.55

جدول ۲- مقایسه میانگین صفات گیاهی هیبریدهای آفتابگردان در تیماری آبیاری×هیبرید

Table 2. Mean comparison of plant characteristics of sunflower hybrids in irrigation×hybrid treatment

تیمارهای آزمایشی Treatments			عملکرد دانه	تنظیم اسمزی Osmotic	محتوای آب نسبی	پایداری غشاء سلولی	پرولین	پروتئین	قندهای محلول
آبیاری Irrigation	هیبریدهای آفتابگردان Snflower hybrids		Seed yield ($kg.ha^{-1}$)	adjustment (MPa)	Relative water content (%)	Cell membrane stability (%)	Proline ($\mu g.g^{-1}.Fw^{-1}$)	Protein $mg.g^{-1}.Fw^{-1}$	Soluble sugars ($mg.g^{-1}.Fw^{-1}$)
آبیاری کامل Full irrigation	Farokh	فرخ	5524	283.6	88.1	79.8	23.4	70.1	23.22
	Ghasem	قاسم	5873	241.5	86.0	77.1	21.7	74.5	21.42
	Shams	شمس	6337	237.3	84.4	74.8	21.7	66.6	20.11
کم‌آبیاری (تنش ملایم) Deficit irrigation (Moderate stress)	Farokh	فرخ	4583	324.6	71.5	73.4	28.1	56.5	38.51
	Ghasem	قاسم	4340	303.3	69.9	67.9	25.6	53.7	35.37
	Shams	شمس	4576	267.7	66.9	64.2	22.6	53.6	32.41
کم‌آبیاری (تنش شدید) Deficit irrigation (Severe stress)	Farokh	فرخ	3071	408.4	64.1	64.7	58.7	49.2	84.62
	Ghasem	قاسم	2601	378.2	60.9	55.3	52.9	44.6	55.94
	Shams	شمس	2710	274.8	58.3	49.6	27.8	39.2	46.97
LSD ($p\leq0.5$)			341.77	24.87	1.25	2.36	1.58	2.26	1.12
LSD ($p\leq0.1$)			568.05	41.24	2.07	3.91	2.63	4.25	1.86

در شرایط آبیاری کامل میزان پروتئین برگ در هیبرید قاسم ۷۵ میلی‌گرم برگرم وزن تر برگ بود. این برتری در تنش ملایم به هیبرید فرخ با ۵۶ میلی‌گرم برگرم وزن تر برگ تعلق داشت و در تنش شدید نیز این برتری حفظ شد. این موضوع می‌تواند نشانه تحمل این هیبرید به شرایط کم‌آبیاری باشد. در هر سه تیمار آبیاری نیز هیبرید شمس پروتئین کمتری داشت و روند کاهش پروتئین در این هیبرید شدیدتر بود، درحالی‌که این روند در دو هیبرید دیگر کندتر بود. درمجموع کمترین میزان پروتئین برگ (۳۹ میلی‌گرم برگرم وزن تر برگ) در حالت تنش شدید خشکی مربوط به هیبرید شمس بود.

نتایج نشان داد که اثر آبیاری، هیبرید، اثرمتقابل آبیاری× هیبرید و اثرمتقابل آبیاری×سوپرجاذب در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل سوپرجاذب×هیبرید در سطح پنج درصد بر محتوای اسیدآمینه پرولین برگ معنی‌دار بود. با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل هیبرید×آبیاری، روند تغییرات میزان پرولین در هیبریدهای آفتابگردان در شرایط تنش متفاوت بود. نتایج نشان داد که میزان پرولین در هیبرید فرخ در سه سطح آبیاری بیشتر از سایر هیبریدهای آفتابگردان بود، اما این برتری در شرایط تنش شدید نمود بیشتری داشت به‌طوری‌که این هیبرید با ۵۸/۷ میکروگرم بر گرم وزن تر برگ و هیبرید شمس با ۲۷/۹ میکروگرم بر گرم وزن تر برگ به ترتیب دارای بیشترین و کمترین محتوای پرولین برگ بودند. به‌نظر می‌رسد که تحمل بیشتر هیبرید فرخ به کم‌آبیاری باعث تجمع بیشتر پرولین در این هیبرید شده است. برتری هیبرید فرخ در شرایط آبیاری کامل از نظر محتوای پرولین به اندازه شرایط تنش نبود، به‌طوری‌که محتوای پرولین هیبریدهای فرخ، قاسم و شمس به ترتیب ۲۳/۴، ۲۱/۷ و ۲۱/۸ میکروگرم بر گرم وزن تر برگ بودند (جدول ۲). به‌طورکلی بالاترین میزان پرولین (۵۹ میکروگرم بر گرم وزن تر برگ) در هیبرید فرخ در شرایط تنش شدید و کمترین مقدار آن (۲۲ میکروگرم برگرم وزن تر برگ) در شرایط آبیاری کامل در هیبریدهای قاسم و شمس مشاهده شد. پایین بودن میزان پرولین یکی از دلایل حساس بودن به شرایط تنش خشکی و عدم توانایی هیبرید برای تجمع پرولین در برگ‌ها برای مقابله با شرایط تنش می‌باشد. در آزمایش اسیلان و همکاران (Asilan, 2016) روی آفتابگردان نیز بیشترین میزان پرولین مربوط به هیبریدهای زودرس بود و این موضوع نشان دهنده توانایی بیشتر هیبریدهای زودرس در تنظیم اسمزی و تحمل تنش آب است. با افزایش شدت تنش خشکی محتوی پرولین در آفتابگردان افزایش یافته و با افزایش شدت تنش، افزایش در میزان پرولین در گیاه اتفاق می‌افتد (Noorani Azad and Choobineh, 2010). در آزمایش ابراهیمی و همکاران (Ebrahimi *et al*., 2014) نیز اعمال تنش خشکی در مراحل مختلف رشدی آفتابگردان باعث افزایش میزان پرولین برگ آفتابگردان شد، به طوری که میزان پرولین از ۱۰۹ میکرومول بر گرم در شرایط نرمال به ۱۲۶ میکرومول بر گرم در شرایط تنش شدید افزایش یافت. در آزمایش بابائیان و همکاران (Babaeian *et al*., 2010) میزان پرولین در شرایط بدون تنش، تنش در مرحله گلدهی و تنش در مرحله پر شدن دانه به ترتیب ۳۶/۸، ۴۳/۵ و ۳۹/۹ میکرومول بر گرم وزن تر بود. در آزمایش اسیلان (Asilan, 2016) میزان پرولین هیبریدهای آفتابگردان در شرایط بدون تنش، تنش متوسط و تنش شدید به ترتیب ۱۹/۰۸، ۳۳/۲۶ و ۳۹/۴۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ بود. افزایش میزان پرولین در شرایط تنش خشکی در سورگوم (Zaifnejad *et al*., 1997)، آفتابگردان (Manivannan *et al*., 2007) وگندم (Hamada, 2000) نیز گزارش شده است. در این گیاهان، میزان پرولین همواره در رقم متحمل بالاتر بوده است، اما در گوجه‌فرنگی، میزان اسیدآمینه پرولین در رقم متحمل کاهش یافته و این موضوع نشان می‌دهد که پرولین یک

مشخصه سازگاری به تنش نیست و تنها یک نشانه تنش است (Sanchez-Rodriguez *et al*., 2010).

نتایج نشان داد که اثر سوپرجاذب در سطح پنج درصد و اثر آبیاری، هیبرید و اثر متقابل آبیاری×هیبرید در سطح یک درصد بر پایداری غشای سلولی معنی‌دار بود. اثر متقابل آبیاری× هیبرید بر پایداری غشاء نشان داد که هیبرید فرخ در هر دو تیمار کم‌آبیاری و کامل، پایداری غشای بیشتری داشت. البته تفاوت هیبرید فرخ با شمس و قاسم ازنظر پایداری غشای سلولی در شرایط تنش شدید بیشتر بود، به‌طوری‌که میزان پایداری غشای سلولی فرخ، قاسم و شمس در این شرایط به ترتیب ۶۴/۸، ۵۵/۴ و ۴۹/۷ درصد بود. بر اساس نتایج هیبرید شمس در هر دو شرایط کم آبیاری و آبیاری کامل از پایداری غشاء سیتوپلاسمی کمتری برخوردار بود و این عدم پایداری در شرایط تنش شدید بیشتر بود (جدول ۲). پایداری غشای سلولی یکی از شاخص‌های ارزیابی میزان تحمل گیاه در برابر تنش‌های محیطی از جمله تنش خشکی است. با توجه به این‌که پیری زودهنگام برگ در اثر تنش، باعث تغییر میزان نفوذپذیری غشاء می‌شود، نشت یونی غشای سلول می‌تواند نشان دهنده میزان صدمه وارده بر غشاء باشد. در آزمایش صفاری و همکاران (Saffari *et al*., 2013)، تنش خشکی باعث افزایش میزان نشت یونی در هفت رقم آفتابگردان شامل زاریا، بلیزار، آرماویروسکی، یوروفلور، هایسان ۳۳، فرخ و پروگرس شد و با توجه به اینکه نشت یونی با پایداری غشای سلولی رابطهٔ عکس دارند، نتیجه‌گیری شد که رقم بیلیزار متحمل‌تر و یوروفلور حساس به خشکی هستند.

نتایج نشان داد که اثر سال، آبیاری، سوپرجاذب، هیبرید، اثر متقابل آبیاری× سوپرجاذب در سطح یک درصد و اثر متقابل آبیاری × هیبرید در سطح پنج درصد بر محتوای آب نسبی برگ هیبریدهای آفتابگردان معنی‌دار بودند. مقایسه اثر متقابل تیمارها نشان داد که با افزایش مقدار مصرف سوپر جاذب، محتوای آب نسبی در کلیه هیبریدها افزایش یافت و این افزایش در تیمار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب مشهودتر بود، به‌طوری‌که بیشترین محتوای آب نسبی از بالاترین میزان مصرف پلیمر (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) و رقم فرخ (۷۷ درصد) و کمترین محتوای آب نسبی از عدم مصرف پلیمر (شاهد) و هیبرید شمس (۶۹ درصد) به دست آمد (جدول ۳). به نظر می‌رسد که هیبرید فرخ نسبت به هیبریدهای دیگر در استفاده از رطوبت خاک برتر بوده و در اثر جذب آب بیشتر از خاک و نگهداری آن، از محتوای آب نسبی بیشتری برخوردار بود. بیشترین محتوای نسبی آب برگ (۸۷/۴ درصد) در تیمار آبیاری کامل و مصرف ۲۰۰ کیلوگرم پلیمر به دست آمد و کمترین میزان آن (۶۰/۱ درصد) در تنش شدید خشکی و عدم مصرف پلیمر (شاهد) به دست آمد (جدول ۱). به‌طورکلی مصرف پلیمر در خاک باعث نگهداری بیشتر آب در خاک و افزایش محتوای آب نسبی برگ می‌شود. البته با توجه به اینکه در تیمار آبیاری کامل، آب کافی در اختیار گیاه بود، مصرف پلیمر دلیل افزایش محتوای آب نسبی گیاه نبود، زیرا تفاوت چندانی در محتوای آب نسبی برگ در عدم مصرف و مصرف ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم پلیمر در هکتار وجود نداشت. حتی در تیمار تنش شدید هم بین تیمار شاهد و تیمار ۱۰۰ کیلوگرم از نظر محتوای آب نسبی تفاوتی وجود نداشت، ولی مصرف ۲۰۰ کیلوگرم پلیمر باعث افزایش محتوای آب نسبی برگ شد و باعث افزایش آن از ۶۰ درصد به ۶۳ درصد شد. کاهش رطوبت در محیط ریشه باعث جذب کمتر آب توسط گیاه و کاهش محتوای آب نسبی گیاه می‌شود. نتایج تحقیقات نظرلی (Nazarli *et al*., 2010) نشان داد که مقادیر پلیمر و دور آبیاری و اثر متقابل آن‌ها بر محتوای آب نسبی برگ در آفتابگردان معنی‌دار بود و بیشترین محتوای آب نسبی برگ مربوط به دور آبیاری شش روز و سوپرجاذب ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار و کمترین مقدار آن مربوط به دور آبیاری ۱۴ روز و عدم مصرف

سوپرجاذب بود.

بررسی اثرمتقابل تیمارها نشان داد که بیشترین مقدار آب نسبی برگ در هر سه هیبرید آفتابگردان در تیمار آبیاری کامل به دست آمد. با اعمال کم آبیاری از مقدار آب نسبی برگ در هر سه هیبرید کاسته شد، اما با توجه به معنی‌دار بودن اثر متقابل هیبرید و آبیاری این روند برای هیبریدها یکسان نبود. بیشترین میزان آب نسبی برگ (۸۸ درصد) در شرایط آبیاری کامل و هیبرید فرخ و کمترین میزان آن (۵۸ درصد) در شرایط تنش شدید و هیبرید شمس به دست آمد (جدول ۲). از نتایج به‌دست‌آمده چنین استنباط می‌شود که احتمالاً هیبرید فرخ در تنش شدید با حفظ بهتر پتانسیل آب برگ، متحمل‌تر به کم‌آبیاری است. گزارش شده است که ژنوتیپ‌هایی که در شرایط خشکی دارای پتانسیل آب بیشتری هستند، محتوای آب بیشتری در آوندهای چوبی بوده و در نتیجه دارای آب بیشتری برای انتقال مواد غذایی در آوندهای آبکش هستند و این موضوع ضامن رشد گیاه در شرایط تنش خشکی می‌باشد (Hussain *et al.,* 2016). پورمحمد کیانی و همکاران (PoormohammadKiani *et al*., 2007) گزارش کردند که محتوای آب نسبی لاین‌های اینبرد آفتابگردان در اثر تنش خشکی کاهش یافت، به این صورت که مقدار نسبی آب برگ در گیاهان بدون تنش ۸۰ تا ۹۱ درصد بوده و در گیاهان تحت تنش خشکی ۵۹/۵ تا ۸۰/۷ درصد بود. در آزمایش (Ebrahimi *et al*., 2015) نیز کاهش محتوای آب نسبی گیاه آفتابگردان در شرایط تنش خشکی را گزارش کرده‌اند که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

نتایج نشان داد که اثرآبیاری، سوپرجاذب، هیبرید، اثر متقابل آبیاری×هیبرید و اثر متقابل آبیاری×سوپرجاذب در سطح احتمال یک درصد بر تنظیم اسمزی معنی‌دار بود. تفاوت هیبریدهای آفتابگردان از نظر تنظیم اسمزی در شرایط تنش شدید مشهودتر از آبیاری کامل بود، به‌طوری بیشترین تنظیم اسمزی (۴۰۹ مگاپاسکال) مربوط به هیبرید فرخ در شرایط تنش شدید خشکی و کمترین مقدار آن (۲۳۷ مگاپاسکال) مربوط به هیبرید شمس در شرایط آبیاری کامل بود (جدول ۲). نتایج نشان داد که هیبرید فرخ هم در شرایط کم آبیاری و هم آبیاری کامل از تنظیم اسمزی بالاتری برخوردار بود. تنظیم اسمزی بالاتر هیبرید فرخ در شرایط تنش خشکی یکی از عواملی است که می‌تواند باعث افزایش عملکرد این هیبرید در شرایط تنش شود. در آزمایش رئوف و صداقت (Rauf and Sadaqat, 2008) نیز همبستگی معنی‌دار عملکرد دانه آفتابگردان و تنظیم اسمزی در شرایط تنش خشکی گزارش شده است. علت افزایش پتانسیل اسمزی در شرایط تنش، تبدیل مولکول‌های بزرگ‌تر به مولکول‌های کوچک‌تر و ایجاد تنظیم اسمزی و پایداری بیشتر گیاه در شرایط تنش است. تنظیم اسمزی یکی از سازوکارهای اجتناب از تنش محسوب می‌شود (Kao, 1981). بر اساس نتایج آزمایش رئوف و همکاران (Rauf *et al*., 2009) لاین‌های متحمل آفتابگردان در مقایسه با لاین‌های حساس در شرایط تنش خشکی، تنظیم اسمزی بالاتری دارند. ارزش تنظیم اسمزی در حفظ عملکرد آفتابگردان در شرایط تنش خشکی ثابت شده است و این موضوع به خاطر نقش آن در حفظ تورم سلولی است (Rauf and sedaghat, 2008). درواقع یکی از واکنش‌های اصلی آفتابگردان به تنش خشکی تغییر در تنظیم اسمزی است (Hussain *et al*., 2018). در آزمایش انگادی و انتز (Angadi and Entze, 2002) در شرایط تنش متوسط کم‌آبی، هیبریدهای نیمه پاکوتاه آفتابگردان قادر به جذب آب بیشتری از اعماق خاک بوده و به دنبال آن با تنظیم اسمزی و تنظیم هدایت روزنه‌ای، فشار آماس آنها در حد بالایی حفظ شد، در حالی که در ارقام پاکوتاه در شرایط تنش متوسط کم‌آبی، حفظ وضعیت آبی و جلوگیری از هدرروی آب، باعث تنظیم فشار اسمزی شد.

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات گیاهی هیبریدهای آفتابگردان در تیماری سوپرجاذب× هیبرید

Table 3. Mean comparison of plant characteristics of sunflower hybrids in super absorbent×hybrid treatment

تیمارهای آزمایشی Treatments							
سوپرجاذب Super absorbent ($kg.ha^{-1}$)	هیبریدهای آفتابگردان Snflower hybrids		عملکرد دانه Seed yield ($kg.ha^{-1}$)	محتوای آب نسبی Relative water content (%)	پرولین Proline ($\mu g.g^{-1}.Fw$)	پروتئین Protein ($mg.g^{-1}.Fw$)	قندهای محلول Soluble sugars ($mg.g^{-1}.Fw$)
0	Farokh	فرخ	4297	73.1	37.7	58.6	49.77
	Ghasem	قاسم	4195	70.5	33.4	54.8	37.46
	Shams	شمس	4447	68.9	23.5	55.1	34.64
100	Farokh	فرخ	4403	73.8	36.2	57.2	48.64
	Ghasem	قاسم	4253	72.1	33.3	58.4	36.61
	Shams	شمس	4528	69.2	24.5	52.6	32.61
200	Farokh	فرخ	4479	76.8	36.2	59.9	47.95
	Ghasem	قاسم	4366	74.2	33.5	59.6	38.65
	Shams	شمس	4648	71.4	24.2	51.7	32.24
LSD ($p\leq.05$)			31.93	0.23	1.86	1.27	1.43
LSD ($p\leq.01$)			53.07	0.38	2.97	2.10	2.39

نتایج نشان داد که اثر متقابل آبیاری×سوپرجاذب بر تنظیم اسمزی معنی‌دار بود و این موضوع نشان می‌دهد که تغییرات تنظیم اسمزی در آفتابگردان با افزایش مصرف سوپر جاذب در شرایط کم‌آبیاری یکنواخت نبوده است، با این‌حال همواره بیشترین مقدار تنظیم اسمزی در سطوح کم‌آبیاری و آبیاری کامل مربوط به تیمار عدم مصرف سوپرجاذب بود. بیشترین مقدار تنظیم اسمزی (۳۷۹ مگاپاسکال) در کم آبیاری شدید و عدم مصرف سوپرجاذب و کمترین مقدار تنظیم اسمزی (۲۴۵ مگاپاسکال) در شرایط آبیاری کامل و مصرف ۲۰۰ کیلوگرم سوپرجاذب به دست آمد (جدول ۱).

نتایج نشان داد که اثر آبیاری، سوپرجاذب و اثر متقابل آبیاری × هیبرید در سطح یک‌درصد و اثر هیبرید و اثر متقابل سوپرجاذب × هیبرید در سطح پنج‌درصد بر عملکرد دانه هیبریدهای آفتابگردان معنی‌دار بود. اثر متقابل تیمارها نشان داد که پاسخ هیبریدهای مختلف به کم‌آبیاری مشابه نبود. در شرایط آبیاری کامل هیبرید شمس با ۶۳۳۷ کیلوگرم در هکتار ازنظر عملکرد دانه هیبرید برتر بود، هرچند هیبریدهای فرخ و قاسم نیز دارای عملکردهای بالا (به ترتیب ۵۵۲۴ و ۵۸۷۳ کیلوگرم در هکتار) بودند (جدول ۲). در تیمار تنش ملایم عملکرد دانه هر سه هیبرید کاهش یافت، ولی میزان کاهش در هیبریدهای فرخ، قاسم و شمس به ترتیب ۱۷، ۲۶ و ۲۸ درصد بود. در تیمار تنش شدید، کاهش عملکرد هیبریدهای آفتابگردان به ترتیب ۴۴، ۵۶ و ۵۷ درصد بود. عملکرد دانه هیبریدهای فوق در شرایط تنش شدید به ترتیب ۳۰۷۱، ۲۶۰۱ و ۲۷۱۰ کیلوگرم در هکتار بود. در شرایط تنش شدید رتبه هیبریدهای موردبررسی از نظر عملکرد دانه در مقایسه با آبیاری کامل، متفاوت بود و این موضوع نشان‌دهنده تحمل بیشتر هیبرید فرخ در شرایط کم‌آبیاری است. کاهش عملکرد دانه آفتابگردان در شرایط تنش خشکی در تحقیقات متعددی گزارش‌شده است (Maksimovic, 2005; Jabbari *et al*., 2012).

نتایج نشان داد که واکنش هیبریدهای آفتابگردان به مقادیر سوپرجاذب یکسان نبوده و عملکرد دانه آنها در تیمارهای سوپرجاذب متفاوت بود. در تیمار ۱۰۰ کیلوگرم سوپرجاذب، عملکرد دانه هیبریدهای فرخ، قاسم و شمس نسبت به شاهد به‌ترتیب ۱۰۶ ، ۵۸ و ۸۱ کیلوگرم بیشتر بود و با افزایش مصرف سوپرجاذب تا ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار، این افزایش ادامه داشت (در هیبرید فرخ ۱۸۲ کیلوگرم، هیبرید قاسم ۱۷۱ کیلوگرم و در هیبرید شمس ۲۰۱ کیلوگرم در هکتار) (جدول ۳). قابل‌ذکر است که در صورت مصرف سوپرجاذب به دلیل جلوگیری از تلفات آب و فراهمی رطوبت در محیط ریشه، عملکرد دانه در کلیه هیبریدها خصوصاً هیبرید شمس افزایش نشان داد. در آزمایش رشدی (Roshdi, 2014) نیز در شرایط تنش خشکی، مصرف ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب مانع از افت شدید عملکرد دانه آفتابگردان شد.

نتیجه‌گیری

نتایج این آزمایش نشان داد که کم‌آبیاری باعث کاهش عملکرد دانه، افزایش قندهای محلول، پرولین، پتانسیل اسمزی و کاهش محتوای پروتئین برگ، کاهش پایداری غشاء و محتوای آب نسبی هیبریدهای آفتابگردان شد. واکنش هر سه هیبرید به تیمارهای کم‌آبیاری یکسان بود، ولی در بعضی از هیبریدها شیب تندتری داشت، به‌طور مثال افزایش قندهای محلول در تیمارهای کم‌آبیاری در هیبرید فرخ شدیدتر از دو هیبرید دیگر بود. هیبرید فرخ از نظر کلیه صفات و شاخص‌های اندازه‌گیری شده برتر و هیبرید شمس در رتبه آخر قرار گرفت. در حقیقت هیبرید شمس به شرایط کم‌آبیاری تحمل کمتری داشته و از سازوکارهای ضعیف‌تری برخوردار بود، درحالی که در

هیبرید فرخ در شرایط تنش خشکی، علیرغم پسابیدگی، روزنه‌های آن باز بوده و از محتوی آب نسبی و پروتئین محلول بیشتری برخوردار بوده و نسبت به تنش خشکی متحمل‌تر بود. برتری هیبرید فرخ در داشتن ویژگی‌های فیزیولوژیکی مناسب برای شرایط کم‌آبیاری باعث گردید که عملکرد دانه آن بیشتر از دو هیبرید دیگر باشد، درحالی که در شرایط بدون تنش نسبت به دو هیبرید دیگر از عملکرد دانه کمتری برخوردار بود. به‌نظر می‌رسد که مصرف پلیمر سوپرجاذب با فراهمی بیشتر آب در محیط ریشه باعث افزایش محتوای پروتئین برگ و افزایش جزئی پایداری غشاء، محتوی آب نسبی و کاهش پتانسیل اسمزی گیاه می‌شود، البته وجود اثر متقابل سوپرجاذب×هیبرید و سوپرجاذب×آبیاری باعث شد که با مصرف سوپرجاذب، برخی از صفات و شاخص‌های اندازه‌گیری شده در هیبریدهای آفتابگردان و سطوح کم‌آبیاری متفاوت باشد.

منابع مورد استفاده References

Angadi, S. V. and M. H. Entz. 2002. Water relations of standard high and dwarf sunflower cultivars. Crop Sci. 42: 152-159.

Asilan, K. S. 2016. Effect of water deficit stress on soluble sugars, proline, protein and chlorophyll content in Sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids. Iran. J. Crop Sci. 47 (2): 175-1784. (In Persian with English abstract).

Babaeian, M., M. Heidari and A. Ghanbari. 2010. Effect of water stress and foliar micronutrient application on physiological caharctersitics and nutrient uptake in sunflower (*Helianthus annus* L.). Iran. J. Crop Sci. 12 (4) 377-391. (In Persian with English abstract).

Babu, R. C., M. S. Pathan, A. Blum and H. T. Nguyen. 1999. Comparison of measurement methods of osmotic adjustment in rice cultivars. Crop Sci. 39: 150-158

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

Blum, A. 1989. Potential importance of water status traits for durum wheat improvement under Mediterraneaonditions. J. Agric. Res. 137: 139- 145.

Blum, A. and A. Eberrcon. 1981. Cell membrane stability as a measure of drought and heat tolerance in wheat. Crop Sci. 21: 43-47.

Bradford, M. 1976. A Rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Anal. Biochem. 72: 248-254.

Ebrahimi, M., Khajehpour, M. R., Naderi, A. and B. MajdeNassiri. 2014. Physiological responses of sunflower to water stress under different levels of zinc fertilizer. Int. J. of Plant Prod. 8 (4):483-504.

Erdem, T., L. Delibas and L. A. H. Orta. 2002. Water use characteristics of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under deficit irrigation. Pak. J. Biol. Sci. 7: 766-769.

FAOSTAT. 2016. Statistical Database of the Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO,

Rome, Italy.

Ghooshchi, F. 2015. Investigation the possibility of decreasing the damage due to irrigation-cut tension on physiological characteristics and corn quality by applying the super absorbent polymer. Crop Physiol. 7 (27): 85-94. (In Persian with English abstract).

Hamada, A. M. 2000. Amelioration of drought stress by ascorbic acid, thiamine or aspirin in wheat plants. Indian J. Plant Physiol. 5: 358–364.

Hiron, R. W. P. and S. T. C. Wright. 1993. The abcsisic acid in the response of plant to stress. J. Exp. Bot. 24: 769-781.

Hussain, M., SH. Farooq, W. Hasan, S. Ul-Allah, M. Tanveer, M. Farooq and A. Nawazd. 2018. Drought stress in sunflower: Physiological effects and its management through breeding and agronomic alternatives. Agric. Water Manage. 201: 152-166

Hussain, R. A., Ahmad, R., Nawaz, F., Ashraf, M. Y. and E. A. Waraich. 2016. Foliar NK application mitigates drought effects in sunflower (*Helianthus annuus* L.). Acta Physiol. Plant. 38 (4), 1–14.

Jabbari, H., J. Daneshian, I. Alahdadi and H. Farahan. 2012. The use of productivity effort, quantity and quality features for recognizing of drought tolerance in sunflower. J. Ecophysiol. 3(1): 9-23. (In Persian with English abstract).

Kao, C. H. 1981. Senescence of rice leaves. VI. Comparative study of the metabolic changes of senescing turgid and water–stressed excised leaves. Plant Cell Physiol. 22: 683–685.

Maksimovic, L. 2005. Adaptability to variable weather conditions and irrigation response in sunflower hybrids. Helia. 28(43): 113-124.

Manivannan, P., C. A. Jaleel, B. Sankar, A. Kishurekumar, R. Somasundaram, G. M. Lakshmanan and R. Panneerselvam. 2007. Growth, biochemical modifications and proline metabolism in *Helianthus annuus* L. as induced by drought stress. Colloids Surfaces Biointerfaces. 59: 141-149.

Martinez, J. P., H. Silva, J. F. Ledent and M. Pinto. 2007. Effect of drought stress on the osmotic adjustment, cell wall elasticity and cell volume of six cultivars of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). Europ. J. Agron. 26: 30–38.

Nazarli, H., M. R. Zardashti, R. Darvishzadeh and S. Najafi. 2010. The effect of water stress and polymer on water use efficiency, yield and several morphological traits of sunflower. Not. Sci. Biol. 2(4): 53-58.

Noorani Azad, H. and D. Choobineh. 2010. Study of water stress on soluble sugars, proline, enzymes and ions in sunflower. Iran. J. Biol. Sci. 3: 1-10. (In Persian with English abstract).

PoormohammadKiani, S., P. Grieu, P., Maury, T. Hewezi, L. Gentzbittel and A. Sarrafi. 2007. Genetic variability for physiological traits under drought conditions snd differential expression of water stress-associated genes in sunflower (*Helianthus annuus* L*).*Theor. Appl. Genet. 114: 193-207.

Orcutt, D. M. and E. T. Nilsen. 2000. The Physiology of Plants Under Stress. Soil and Biotic Factors. John

wiley. New York, USA.

Rauf, S. and H. A. Sadaqat 2008. Identification of physiological traits and genotypes combined to high achene yield in sunflower (*Helianthus annuus* L.) under contrasting water regimes. Australian Journal of Crop Scie. 1(1): 23-30.

Rauf, S., Sadaqat, H.A., Khan, I. A. and R. Ahmed. 2009. Genetic analysis of leaf hydraulics in sunflower (*Helianthus annuus* L.) under drought stress. Plant Soil Environ. 55 (2), 62–69.

Roshdi, M. 2014. Study on generative traits and yield of sunflower under different levels of irrigation and superabsorbent polymer. J. Crop Prod. Res. 5(4):375-386. (In Persian with English abstract).

Saffari, R., A. A. Maghsoudi Mood and H. Saffari. 2013. Effect of drought stress on chlorophyll florescence and grain yield of some sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars. Seed Plant J. (29)1: 109-130. (In Persian with English abstract).

Sanchez-Rodriguez, E., Rubio-Wilhelmi, M., Cervilla, L. M., Blasco, B., Rios, J. J., Rosales, M.A., Romero, L. and J. M. Ruiz. 2010. Genotypic differences in some physiological parameters symptomatic for oxidative stress under moderate drought in tomato plants. Plant Sci. 178: 30-40.

Santos, G. Pinto, J. Loureiro, H. Oliveira and A. Costa. 2002. Response of sunflower cells under Na_2SO_4. I. Osmotic adjustment and nutrient responses and Proline metabolism in sunflower cells under Na_2SO_4 stress. J. Plant Nutr. Soil Sci. 165: 366-372.

Widiastuti, N., H. Wu, M. Ang and D. K. Zhang. 2008. The potential application of natural zeolite for grey water treatment. Desalination. 218: 271- 280.

Wu, L., M. Liu and R. Liang. 2008. Preparation and properties of a doubl e-coated slow-release NPK compound fertilizer with superabsorbent and water-retention. Biol. Res. Technol. 99: 547-554.

Zaifnejad, M., R. B. Clark and C. Y. Sullivan. 1997. Aluminum and water stress effects on growth and proline of sorghum. Plant Physiol. 150: 338–344

Effect of deficit irrigation and super absorbent application on physiological characteristics and seed yield of new Iranian sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids

Zareei Siahbidi, A[1]., and A. Rrezaizad[2]

ABSTRACT

Zareei Siahbidi, A. andA. Rrezaizad. 2018. Effect of deficit irrigation and super absorbent application on physiological characteristics and seed yield of new Iranian sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids. **Iranian Journal of Crop Sciences. 20(3): 222-236. (In Persian).**

To evaluate the effects of deficit irrigation and super absorbent application on physiological traits and seed yield of new sunflower hybrids, a field experiment was conducted in split plot factorial layout based on randomized complete block design with three replications in Agricultural Research Station of Islamabad-e-Gharb, Iran, during cropping seasons 2011 and 2012. Treatments were irrigation levels including; normal irrigation (irrigation at 25% soil moisture depletion of field capacity), irrigation at 50% soil moisture depletion of field capacity (moderate drought stress), irrigation at 75% soil moisture depletion of field capacity (severe drought stress) as main plots and sunflower hybrids (Farokh, Ghasem and Shams) along with super absorbent application (0, 100 and 200 kg.ha^{-1}) as subplots, were arranged in factorial layout. Results of combined analysis of variance showed that the interaction effect of deficit irrigation×hybrids on all plat traits and super absorbent×hybrids on all plant trraits (except for osmotic adjustment and cell membrane stability) and deficit irrigation×super absorbent o all plant traits (except for seed yield and cell membrane stability), were significant. Under severe drought stress condition, Farokh hybrid with 3071 kg.ha^{-1} was superior compare to Shams and Ghasem hybrids (with 2710 and 2601 kg.ha^{-1}, respectively). Under severe drought stress codition, the application of super absorbent increased relative water content, free proline, proteins and soluble sugars content in sunflower hybrids, but reduced osmotic adjustment. It concluded that the application of super absorbent may relatively mitigate the adverse effects of drought stress on physiological traits of sunflower. Under drought stress condition, Farrokh hybrid along with application of super adsorbent (200 kg.ha^{-1}) was superior in all plant traits compared to other hybrids.

Key words: Drought stress, Osmotic adjustment, Polymer, Proline and Sunflower.

Received: February, 2018 Accepted:August, 2018

1. Assistant Prof., Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center. Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kermanshah, Iran (Corresponding author)
(Email: azareei46@gmail.com)
2. Associate Prof., Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center. Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kermanshah, Iran