

اثر کم آبیاری و مصرف سوپر جاذب 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^۱ و عباس رضایی زاد^۲

چکیده

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

این تحقیق به منظور بررسی اثر کم آبیاری و مصرف سوپر جاذب بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و عملکرد دانه هیبریدهای جدید آفتابگردان به مدت دو سال (۱۳۹۰ و ۱۳۹۱) در ایستگاه تحقیقات کشاورزی اسلام آباد غرب انجام شد. آزمایش به صورت 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- کم آبیاری (آبیاری بر اساس تخلیه ۵۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی خاک؛ تنش ملایم) و ج- کم آبیاری (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 سوپر جاذب؛ صفر (عدم مصرف)، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار به صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار داده شدند. نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر متقابل دوگانه هیبرید×کم آبیاری بر کلیه صفات مورد ارزیابی و اثر متقابل سوپر جاذب بر کلیه صفات مورد ارزیابی، به استثنای پایداری غشای سلولی و تنظیم اسمزی و اثر متقابل سوپر جاذب×کم آبیاری بر کلیه صفات مورد ارزیابی، به استثنای 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 سوپر جاذب در شرایط تنش شدید خشکی باعث افزایش محتوای آب نسبی، پروتئین آزاد، پروتئین‌ها و قندهای محلول هیبریدهای آفتابگردان شد، اما تنظیم اسمزی برگ با مصرف سوپر جاذب کاهش یافت. نتایج کلی این آزمایش نشان داد که استفاده از سوپر جاذب 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 سوپر جاذب 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: ۱۳۹۷/۰۵/۱۰ 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 پیش‌بینی 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 به تدریج 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 فیزیولوژیک، بیوشیمیایی و مورفولوژیک 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 به عنوان 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. از جمله این مواد که به اسمولیت‌ها سازگار معروف هستند، اسید آمینه پرولین است (Orcutt and Nilsen, 2000).

با توجه به خشک سالی های 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 سوپر جاذب در شرایط تنش خشکی، مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش ها

آزمایش حاضر در سال های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی اسلام آباد غرب که یکی از مناطق معتدل سرد استان کرمانشاه است، اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل کم آبیاری، هیبریدهای آفتابگردان و پلیمر سوپر جاذب A-200 بودند. آزمایش به صورت کرت های خرد شده فاکتوریل بر پایه طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. سه سطح آبیاری که به عنوان 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 به عنوان آبیاری کامل، تنش ملایم و تنش شدید در نظر گرفته شدند. هیبریدهای آفتابگردان شامل سه هیبرید جدید ایرانی فرخ، قاسم و شمس و تیمار سوپر جاذب A-200 نیز در سه سطح صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار به صورت فاکتوریل در کرت های فرعی قرار داده شدند.

آماده سازی 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 ردیف های کاشت ۶۵ سانتی متر و فاصله دو بوته روی ردیف ۲۰ سانتی متر در نظر گرفته شدند. پس از ایجاد فاروها و ایجاد شیار روی فاروها، مقادیر سوپر جاذب A-200 برای هر تیمار محاسبه و به تعداد بوته ها تقسیم و طبق پروتکل شرکت سازنده (شرکت رهاب زرین پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران) به صورت کپه ای در فاصله ۱۰ سانتیمتری بوته ها و در عمق هفت سانتیمتری ناحیه گسترش ریشه، به طور کاملاً یکسان جایگذاری شد. قبل از کاشت بذرهای آفتابگردان با استفاده از قارچ کش بنومیل با نسبت دو در هزار ضد عفونی شدند. کاشت بذر در اوایل تیر هر سال به صورت دستی و در عمق چهار سانتیمتری روی پشته ها انجام شد. پس از کاشت بذر، آبیاری به صورت یکنواخت انجام شد تا سطح سبز یکنواخت گیاهچه ها حاصل شود. در هر کپه سه بذر قرار داده شد و زمانی که ارتفاع گیاهچه ها به ۱۵ الی ۲۰ سانتی متری رسید، یک گیاهچه حفظ و بوته های اضافی حذف شدند. اعمال تیمارهای تنش از مرحله استقرار گیاهچه (هشت برگی) انجام شد. برای هر بار آبیاری از عمق توسعه ریشه نمونه برداری و میزان رطوبت خاک بر مبنای وزن خشک محاسبه شد. رطوبت خاک به روش وزنی اندازه گیری و با استفاده از منحنی رطوبتی خاک، رابطه 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 نرم افزار Opti wat محاسبه و آبیاری انجام شد. در مجموع برای تیمارهای آبیاری کامل ۷۵۰۰ مترمکعب، تنش ملایم ۴۶۸۷ مترمکعب و تنش شدید ۳۷۵۰ مترمکعب در هکتار آب مصرف شد. تعداد آبیاری های انجام شده 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 علف کش سوپر گالانت استفاده شد. علف‌های هرز پهن برگ نیز با وجین دستی کنترل شدند. به منظور 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 ایبرکن (Blum and Ebercon, 1981)، میزان پروتئین به روش برادفورد (Bradford, 1976) انجام و محتوی آب نسبی با استفاده از رابطه $[100 \times (\text{وزن خشک} - \text{وزن اشباع}) / (\text{وزن خشک} - \text{وزن تر})]$ = محتوی نسبی آب برگ [محاسبه شد. برای اندازه‌گیری میزان پروتئین 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 به عنوان عامل تصادفی در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای

آبیاری، هیبرید و اثرات متقابل سوپر جاذب × هیبرید، آبیاری × هیبرید و سوپر جاذب × 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، به طوری که در تیمار شاهد (آبیاری کامل) در کلیه هیبریدها پایین‌ترین میزان قندهای محلول برگ مشاهده شد (جدول ۲). افزایش قندهای محلول در شرایط کم آبیاری در هیبرید فرخ کاملاً قابل ملاحظه بود. بیشترین مقدار قندهای محلول برگ مربوط به هیبرید فرخ (۸۰/۴۶ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ) و کمترین مقدار آن مربوط به هیبرید شمس در آبیاری کامل (۲۰/۱ میلی گرم بر گرم 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 میلی گرم بر گرم وزن تر) دارای بیشترین میزان قندهای محلول بود. در دوره تنش، به منظور 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 منفی-تر 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 نظری و همکاران (Nazarli et al., 2010) نیز اثر تنش خشکی و مصرف سوپر جاذب 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 سوپر جاذب باعث روند تغییرات مشخصی در افزایش

یا کاهش قندهای محلول برگ نشد، اما در شرایط کم آبیاری استفاده از سوپر جاذب باعث افزایش معنی دار قندهای محلول برگ شد، به طوری که 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 میلی گرم 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 میلی گرم بر گرم وزن تر برگ) در کمترین مقدار قرار داشت.

نتایج نشان داد که اثر آبیاری، هبیرید، اثر متقابل سوپر جاذب × هبیرید، اثر متقابل آبیاری × سوپر جاذب، اثر متقابل آبیاری × هبیرید در سطح یک درصد و اثر سوپر جاذب در سطح پنج درصد بر محتوای پروتئین برگ معنی دار بود. نتایج نشان داد که کم آبیاری باعث کاهش محتوای پروتئین برگ شد، به طوری که مقدار آن در تیمار آبیاری کامل، تنش ملایم و تنش شدید به ترتیب ۷۰، ۵۵ و ۴۴ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ بود. به طور کلی در اثر تنش خشکی نه تنها پروتئین سازی متوقف می شود، بلکه پروتئین های موجود نیز تجزیه می شوند، ولی مصرف پلیمر سوپر جاذب و حفظ و نگهداری آب توسط آن در محیط ریشه، از تجزیه پروتئین ها جلوگیری می شود. نتایج برخی تحقیقات نشان داده است که پروتئین محلول و کلروفیل برگ آفتابگردان در اثر کاهش فعالیت آنزیم رایسکو در برگ کاهش می یابد (Santos et al., 1996). بررسی اثر متقابل سوپر جاذب × هبیرید بر محتوای پروتئین برگ نشان داد که در هبیریدهای قاسم و فرخ با افزایش سوپر جاذب و فراهمی رطوبت، مقدار پروتئین برگ افزایش یافت، در حالی که روند تغییرات پروتئین برگ در هبیرید شمس متفاوت از سایر هبیریدها بود و با

افزایش مقدار سوپر جاذب کاهش یافت، ضمن این که میزان پروتئین برگ در این هبیرید از دو هبیرید دیگر کمتر بود. دلیل این موضوع شاید حساس تر بودن این هبیرید به کم آبیاری باشد. به طور کلی بالاترین میزان پروتئین برگ (۶۰ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ) مربوط به دو هبیرید فرخ و قاسم با مصرف ۲۰۰ کیلوگرم سوپر جاذب و کمترین میزان پروتئین برگ (۵۲ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ) مربوط به هبیرید شمس با مصرف ۲۰۰ کیلوگرم سوپر جاذب در هکتار بدست آمد.

با توجه به معنی دار بودن اثر متقابل تیمارهای آبیاری × سوپر جاذب، استفاده از سوپر جاذب، به ویژه 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 سوپر جاذب به ترتیب ۴۱، ۴۶/۴ و ۴۵/۸ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ بود (جدول ۱). این روند در شرایط آبیاری کامل وجود نداشت و استفاده از سوپر جاذب باعث افزایش محتوای پروتئین برگ نشد. در این شرایط محتوای پروتئین برگ در سطوح عدم مصرف، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب به ترتیب ۷۲، ۶۹ و ۷۰ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ بود. اثر پلیمر در مقادیر بالای تیمار آبیاری کمتر بروز می کند، زیرا محدودیتی از لحاظ تأمین آب وجود ندارد، ولی در شرایط تنش کمبود آب، نقش سوپر جاذب در تأمین و نگهداری آب افزایش می یابد. تنش خشکی باعث کاهش محتوای کلروفیل و پروتئین شده و باعث تجزیه غشای سلولی و عدم تعادل در مواد غذایی در کالوس های آفتابگردان می شود و در نتیجه پیری سلول ها و زودرس شدن گیاه را در پی دارد. با مصرف پلیمر از شدت تنش کاسته شده و مانع از پیری زودرس سلول ها و کاهش شدید محتوای پروتئین می شود (Santos et al., 2002).

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

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

تیمارهای آزمایشی Treatments		سوپر جاذب Super absorbent (kg.ha ⁻¹)	تنظیم اسمزی برگ Osmotic adjustment (MPa)	محتوای آب نسبی Relative water content (%)	پروترین Proline (μg.g ⁻¹ .Fw)	پروتئین Protein (mg.g ⁻¹ .Fw)	قندهای محلول Soluble sugars (mg.g ⁻¹ .Fw)
آبیاری Irrigation							
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
کم آبیاری (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
کم آبیاری (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≤0.5)			35.39	0.43	2.87	1.84	0.94
LSD (p≤0.1)			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 Seed yield (kg.ha ⁻¹)	تنظیم اسمزی Osmotic adjustment (MPa)	محتوای آب نسبی Relative water content (%)	پایداری غشاء سلولی Cell membrane stability (%)	پروترین Proline (μg.g ⁻¹ .Fw ⁻¹)	پروتئین Protein (mg.g ⁻¹ .Fw ⁻¹)	قندهای محلول Soluble sugars (mg.g ⁻¹ .Fw ⁻¹)
آبیاری Irrigation	هیبریدهای آفتابگردان Sunflower hybrids								
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
کم آبیاری (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
کم آبیاری (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≤0.5)			341.77	24.87	1.25	2.36	1.58	2.26	1.12
LSD (p≤0.1)			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 میلی گرم بر گرم وزن تر برگ بود. این برتری در تنش ملایم به هیبرید فرخ با ۵۶ میلی گرم برگرم وزن تر برگ تعلق داشت و در تنش شدید نیز این برتری حفظ شد. این موضوع می تواند نشانه تحمل این هیبرید به شرایط کم آبیاری باشد. در هر سه تیمار آبیاری نیز هیبرید شمس پروتئین کمتری داشت و روند کاهش پروتئین در این هیبرید شدیدتر بود، در حالی که این روند در دو هیبرید دیگر کندتر بود. در مجموع کمترین میزان پروتئین برگ (۳۹ میلی گرم برگرم وزن تر برگ) در حالت تنش شدید خشکی مربوط به هیبرید شمس بود.

نتایج نشان داد که اثر آبیاری، هیبرید، اثر متقابل آبیاری × هیبرید و اثر متقابل آبیاری × سوپر جاذب در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل سوپر جاذب × هیبرید در سطح پنج درصد بر محتوای اسید آمینه پرولین برگ معنی دار بود. با توجه به معنی دار 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 به طوری که این هیبرید با ۵۸/۷ میکروگرم برگرم وزن تر برگ و هیبرید شمس با ۲۷/۹ میکروگرم برگرم وزن تر برگ به ترتیب دارای بیشترین و کمترین محتوای پرولین برگ بودند. به نظر می رسد که تحمل بیشتر هیبرید فرخ به کم آبیاری 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، به طوری که محتوای پرولین هیبریدهای فرخ، قاسم و شمس به ترتیب ۲۳/۴، ۲۱/۷ و ۲۱/۸ میکروگرم برگرم وزن تر برگ بودند (جدول ۲). به طور کلی بالاترین میزان پرولین (۵۹ میکروگرم برگرم 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 برگ ها برای مقابله با شرایط تنش می باشد. 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 محتوای پرولین در آفتابگردان افزایش یافته و با افزایش شدت تنش، افزایش در میزان پرولین در گیاه اتفاق می افتد (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 برگرم در شرایط نرمال به ۱۲۶ میکرومول برگرم 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 برگرم 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 میلی گرم برگرم وزن تر برگ بود. افزایش میزان پرولین در شرایط تنش خشکی در سورگوم (Zaifnejad et al., 1997)، آفتابگردان (Manivannan et al., 2007) و گندم (Hamada, 2000) نیز گزارش شده است. در این گیاهان، میزان پرولین همواره در رقم متحمل بالاتر بوده است، اما در گوجه فرنگی، میزان اسید آمینه پرولین در رقم متحمل کاهش یافته و این موضوع نشان می دهد که پرولین یک

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

نتایج نشان داد که اثر سوپر جاذب در سطح پنج درصد و اثر آبیاری، هیرید و اثر متقابل آبیاری × هیرید در سطح یک درصد بر پایداری غشای سلولی معنی دار بود. اثر متقابل آبیاری × هیرید بر پایداری غشاء نشان داد که هیرید فرخ در هر دو تیمار کم آبیاری و کامل، پایداری غشای بیشتری داشت. البته تفاوت هیرید فرخ با شمس و قاسم از نظر پایداری غشای سلولی در شرایط تنش شدید بیشتر بود، به طوری که 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 هیرید 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 شاخص های ارزیابی میزان تحمل گیاه در برابر تنش های محیطی از جمله تنش خشکی است. با توجه به این که پیری زود هنگام برگ در اثر تنش، باعث تغییر میزان نفوذپذیری غشاء می شود، نشت یونی غشای سلول می تواند 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، بلزار، آرماویروسکی، یوروفلور، هایسان ۳۳، فرخ و پروگرس شد و با توجه به اینکه نشت یونی با پایداری غشای سلولی رابطه عکس دارند، نتیجه گیری شد که رقم بلزار متحمل تر و یوروفلور حساس به خشکی هستند.

نتایج نشان داد که اثر سال، آبیاری، سوپر جاذب، هیرید، اثر متقابل آبیاری × سوپر جاذب در سطح یک درصد و اثر متقابل آبیاری × هیرید در سطح پنج درصد بر محتوای آب نسبی برگ هیریدهای آفتابگردان معنی دار بودند. مقایسه اثر متقابل تیمارها نشان داد که با افزایش مقدار مصرف سوپر جاذب،

محتوای آب نسبی در کلیه هیریدها افزایش یافت و این افزایش در تیمار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب مشهودتر بود، به طوری که 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 هیرید شمس (۶۹ درصد) به دست آمد (جدول ۳). به نظر می رسد که هیرید فرخ نسبت به هیریدهای 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). به طور کلی مصرف پلیمر در خاک باعث نگهداری بیشتر آب در خاک و افزایش محتوای آب نسبی برگ می شود. 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 چندان 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 می شود. نتایج تحقیقات نظری (Nazarli et al., 2010) نشان داد که مقادیر پلیمر و دور آبیاری و اثر متقابل آن ها بر محتوای آب نسبی برگ در آفتابگردان معنی دار بود و بیشترین محتوای آب نسبی برگ مربوط به دور آبیاری شش روز و سوپر جاذب ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار و کمترین مقدار آن مربوط به دور آبیاری ۱۴ روز و عدم مصرف

سوپر جاذب بود.

بررسی اثر متقابل 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 معنی دار 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 به دست آمده چنین استنباط می شود که احتمالاً هیبرید فرخ در تنش شدید با حفظ بهتر پتانسیل آب برگ، متحمل تر به کم آبیاری است. گزارش شده است که ژنوتیپ هایی 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 می باشد (Hussain *et al.*, 2016). پورمحمد کیانی و همکاران (PoormohammadKiani *et al.*, 2007) گزارش کردند که محتوای آب نسبی لاین های 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 کرده اند که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

نتایج نشان داد که اثر آبیاری، سوپر جاذب، هیبرید، اثر متقابل آبیاری×هیبرید و اثر متقابل آبیاری×سوپر جاذب در سطح احتمال یک درصد بر تنظیم اسمزی معنی دار بود. تفاوت هیبریدهای آفتابگردان از نظر تنظیم اسمزی در شرایط تنش شدید مشهودتر از آبیاری کامل بود، به طوری 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 می تواند باعث افزایش عملکرد این هیبرید در شرایط تنش شود. در آزمایش رئوف و صداقت (Rauf and Sadaqat, 2008) نیز همبستگی معنی دار عملکرد دانه آفتابگردان و تنظیم اسمزی در شرایط تنش خشکی گزارش شده است. علت افزایش پتانسیل اسمزی در شرایط تنش، تبدیل مولکول های بزرگ تر به مولکول های کوچک تر و ایجاد تنظیم اسمزی و پایداری بیشتر گیاه در شرایط تنش است. تنظیم اسمزی یکی از سازوکارهای اجتناب از تنش محسوب می شود (Kao, 1981). بر اساس نتایج آزمایش رئوف و همکاران (Rauf *et al.*, 2009) لاین های متحمل آفتابگردان در مقایسه با لاین های 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 واکنش های 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 کم آبی، هیبریدهای نیمه پاکوتاه آفتابگردان قادر به جذب آب بیشتری از اعماق خاک بوده و به دنبال آن با تنظیم اسمزی و تنظیم هدایت روزنه ای، فشار آماس آنها در حد بالایی حفظ شد، در حالی که در ارقام پاکوتاه در شرایط تنش متوسط کم آبی، حفظ وضعیت آبی و جلوگیری از هدرروی آب، باعث تنظیم فشار اسمزی شد.

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

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

تیمارهای آزمایشی Treatments			عملکرد دانه Seed yield (kg.ha ⁻¹)	محتوای آب نسبی Relative water content (%)	پرولین Proline (μg.g ⁻¹ .Fw)	پروتئین Protein (mg.g ⁻¹ .Fw)	قندهای محلول Soluble sugars (mg.g ⁻¹ .Fw)
سوپر جاذب Super absorbent (kg.ha ⁻¹)	هیبریدهای آفتابگردان Snflower hybrids						
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≤.05)			31.93	0.23	1.86	1.27	1.43
LSD (p≤.01)			53.07	0.38	2.97	2.10	2.39

متعددی گزارش شده است (Maksimovic, 2005; Jabbari et al., 2012).

نتایج نشان داد که واکنش هیبریدهای آفتابگردان به مقادیر سوپر جاذب یکسان نبوده و عملکرد دانه آنها در تیمارهای سوپر جاذب متفاوت بود. در تیمار ۱۰۰ کیلوگرم سوپر جاذب، عملکرد دانه هیبریدهای فرخ، قاسم و شمس نسبت به شاهد به ترتیب ۱۰۶، ۵۸ و ۸۱ کیلوگرم بیشتر بود و با افزایش مصرف سوپر جاذب 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). قابل ذکر است که در صورت مصرف سوپر جاذب 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 سوپر جاذب مانع از افت شدید عملکرد دانه آفتابگردان شد.

نتیجه گیری

نتایج این آزمایش نشان داد که کم آبیاری 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 کم آبیاری یکسان بود، ولی در بعضی از هیبریدها شیب تندتری داشت، به طور مثال افزایش قندهای محلول در تیمارهای کم آبیاری در هیبرید فرخ شدیدتر از دو هیبرید دیگر بود. هیبرید فرخ از نظر کلیه صفات و شاخص های اندازه گیری شده برتر و هیبرید شمس در رتبه آخر قرار گرفت. در حقیقت هیبرید شمس به شرایط کم آبیاری تحمل کمتری داشته و از سازوکارهای ضعیف تری برخوردار بود، در حالی که در

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

نتایج نشان داد که اثر آبیاری، سوپر جاذب و اثر متقابل آبیاری × هیبرید در سطح یک درصد و اثر هیبرید و اثر متقابل سوپر جاذب × هیبرید در سطح پنج درصد بر عملکرد دانه هیبریدهای آفتابگردان معنی دار بود. اثر متقابل تیمارها نشان داد که پاسخ هیبریدهای مختلف به کم آبیاری مشابه نبود. در شرایط آبیاری کامل هیبرید شمس با ۶۳۳۷ کیلوگرم در هکتار از نظر 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 مورد بررسی از نظر عملکرد دانه در مقایسه با آبیاری کامل، متفاوت بود و این موضوع نشان دهنده تحمل بیشتر هیبرید فرخ در شرایط کم آبیاری است. کاهش عملکرد دانه آفتابگردان در شرایط تنش خشکی در تحقیقات

مصرف پلیمر سوپر جاذب با فراهمی بیشتر آب در محیط ریشه باعث افزایش محتوای پروتئین برگ و افزایش جزئی پایداری غشاء، محتوای آب نسبی و کاهش پتانسیل اسمزی گیاه می‌شود، البته وجود اثر متقابل سوپر جاذب×هیبرید و سوپر جاذب×آبیاری باعث شد که با مصرف سوپر جاذب، برخی از صفات و شاخص‌های اندازه‌گیری شده در هیبریدهای آفتابگردان و سطوح کم آبیاری متفاوت باشد.

هیبرید فرخ در شرایط تنش خشکی، علیرغم پساییدگی، روزه‌های آن باز بوده و از محتوای 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 کم آبیاری باعث گردید که عملکرد دانه آن بیشتر از دو هیبرید دیگر باشد، در حالی که در شرایط بدون تنش نسبت به دو هیبرید دیگر از عملکرد دانه کمتری برخوردار بود. به نظر می‌رسد که

References

منابع مورد استفاده

- 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 Mediterranean conditions. J. Agric. Res. 137: 139- 145.
- Blum, A. and A. Ebercon. 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., Khajepour, 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 abscisic 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 and 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 Na₂SO₄. I. Osmotic adjustment and nutrient responses and Proline metabolism in sunflower cells under Na₂SO₄ 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 double-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, A¹., and A. Rrezaizad²

ABSTRACT

Zareei Siahbidi, A. and A. 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 plant traits and super absorbent×hybrids on all plant traits (except for osmotic adjustment and cell membrane stability) and deficit irrigation×super absorbent on 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 compared to Shams and Ghasem hybrids (with 2710 and 2601 kg.ha⁻¹, respectively). Under severe drought stress condition, 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, Farokh 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