نشریه پژوهش آب در کشاورزی / ب / جلد ۳۶ / شماره ۴/ ۱۴۰۱
10.22092/jwra.2023.360109.944

بررسی اثر تنش کم‌آبی بر کارآیی مصرف آب و تحمل خشکی ارقام جدید آفتابگردان

مجید اسماعیلی، حمید مدنی[1]، بهرام مجد نصیری، سعید چاوشی و نورعلی ساجدی

دانشجوی دکترا دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات خوزستان، گروه زراعت، اهواز، ایران.**me3185@yahoo.com**

دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اراک، گروه زراعت، اراک ، ایران**. H-madani@iau.arak.ac.ir**

دانشیار، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران. **N-S5959@yahoo.com**

استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اراک، گروه زراعت، اراک ، ایران.**Chavoshi.S@gmail.com**

دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اراک، گروه زراعت، اراک ، ایران.**N-sajedi@iau-arak.ac.ir**

دریافت: مهر ۱۴۰۱ و پذیرش: اسفند ۱۴۰۱

چکیده

به منظور بررسی اثر کم‌آبیاری در مرحله‌ی زایشی بر کارآیی مصرف آب و تحمل خشکی ارقام آفتابگردان، آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در منطقه برآآن جنوبی در استان اصفهان در سال ۱۳۹۹ انجام شد. کرت اصلی شامل آبیاری سطحی در سه سطح بر اساس میزان تبخیر از تشتک تبخیرکلاس A شامل: بدون تنش کم‌آبی (۹۰ میلی‌متر تبخیر)، تنش کم‌آبی ملایم (۱۲۰ میلی‌متر تبخیر) و تنش کم‌آبی شدید (۱۵۰ میلی‌متر تبخیر) و کرت فرعی شامل پنج هیبرید جدید آفتابگردان روغنی به نام‌های کیارا، اسکار، فانتازیا، های سان۳۳ و شمس بود. عملکرد بیولوژیک، عملکرد اقتصادی، شاخص برداشت، کارآیی مصرف آب و شاخص‌های مقاومت به خشکی اندازه‌گیری و محاسبه شد. نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد بیولوژیک (۱۳۴۵۷ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد اقتصادی (۴۸۵۴ کیلوگرم در هکتار)، و شاخص برداشت (۴۳ ٪) در تیمار بدون تنش کم آبی و پس از آن در تیمار ۱۲۰میلی‌متر به دست آمد. در بین ارقام، رقم فانتازیا با عملکرد بیولوژیک معادل ۱۲۲۶۸ کیلوگرم در هکتار، عملکرد اقتصادی معادل ۴۰۸۱ کیلوگرم در هکتار و شاخص برداشت ۴۳ ٪ بیشترین مقادیر را به خود اختصاص داد. بیشترین کارآیی مصرف آب، در شرایط تنش کم‌آبی ملایم و تنش کم‌آبی شدید به‌ترتیب با ۰/۸۵ و ۰/۷۲ کیلوگرم در مترمکعب به دست آمد. در بین ارقام آفتابگردان بیشترین کارآیی مصرف آب متعلق به رقم های‌سان ۳۳ با ۱/۰۴ کیلوگرم در مترمکعب بود. رقم فانتازیا با ۰/۹۶ و رقم شمس با ۰/۸۴ کیلوگرم در مترمکعب در رتبه‌های بعد قرار گرفتند. هم‌چنین کمترین مقادیر کارآیی مصرف آب مربوط به ارقام اسکار و کیارا به ترتیب با مقدار ۰/۸۱ و ۰/۷۵ کیلوگرم در مترمکعب بود. در مجموع، کم‌آبیاری در تیمار ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر کمترین اثر منفی را بر عملکرد و شاخص برداشت داشت و از نظر کارآیی مصرف آب نیز مناسب بود. هم چنین رقم فانتازیا با دارا بودن بالاترین عملکرد، بیشترین تحمل خشکی و شاخص برداشت، از کارآیی مصرف آب مناسبی برخوردار بود.

واژه‌های کلیدی کارآیی مصرف آب، شاخص برداشت، عملکرد بیولوژیک، عملکرد اقتصادی

[1] – آدرس نویسنده مسئول: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اراک، گروه زراعت، اراک ، ایران.

مقدمه

کشاورزی پایدار بدون استفاده بهینه از منابع آب میسر نخواهد شد. کشور ایران دارای آب‌وهوای خشک و نیمه‌خشک و اراضی مستعد کشاورزی زیادی است. حدود ۹۳/۵ درصد آب استحصالی از منابع سطحی و زیرزمینی کشور در بخش کشاورزی مصرف می‌شود و درعین‌حال کمبود آب عامل اصلی محدودکننده تولید است (غفاری و همکاران، ۲۰۲۰). در این راستا کم‌آبیاری[1] با صرفه‌جویی در مصرف آب می‌تواند به‌عنوان یک راهکار سودمند در وضعیت محدودیت آب و با هدف حداکثر استفاده از واحد حجم آب مصرفی، مطرح شود. با کم آبیاری به‌طور آگاهانه به گیاه اجازه داده می‌شود با دریافت آب کمتر از نیاز، محصول خود را کاهش دهد (انگلیش[2] و همکاران، ۱۹۹۰: صارمی راد و مصطفوی (۲۰۲۰)). هر چند به اعتقاد گوکسوی[3] و همکاران (۲۰۰۴) قبل از شروع فعالیت زراعی اثرات کم آبیاری بر عملکرد و کیفیت گیاه باید به‌دقت مورد بررسی قرار گیرد.

گیاهانی که برای کم آبیاری انتخاب می‌شوند بایستی مقاوم به تنش آبی باشند(توکلی، ۱۳۸۵). آفتابگردان (Helianthus annuus L.) به‌عنوان یکی از چهار گیاه مهم زراعی تأمین‌کننده روغن و پروتئین (غفاری و همکاران، ۲۰۲۰) دارای دامنه سازگاری اقلیمی گسترده بوده و بهتر از سایر گیاهان زراعی یکساله قادر به تحمل کم‌آبی است. توانائی آفتابگردان در تحمل دوره‌های کوتاه تنش کم آبی با کاهش عملکرد در حد قابل قبول، یک خصوصیت ارزشمند در مناطق خشک محسوب می‌شود (راضی و آساد، ۱۳۷۷). نیاز آبی آفتابگردان از ۶۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌متر بسته به اقلیم و طول دوره رشد متفاوت است (دورنبوس و کسام[4]، ۱۹۷۹).

به اعتقاد اهدائی و وینز[5] (۱۹۹۳) یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در برنامه‌ریزی آبیاری، کارآیی مصرف آب[6] (WUE) یا مقدار ماده خشک تولیدی به ازای واحد آب مصرفی است که از عوامل تعیین‌کننده آن، عملکرد اقتصادی (عملکرد دانه)، عملکرد بیولوژیک و میزان آب مصرفی را می‌توان نام برد. به‌عبارت‌دیگر در شرایط نزدیک به تنش کم آبی، گیاه در مقایسه با شرایط آبی، نسبت به میزان آب مصرف‌شده محصول بیشتری تولید می‌کند (غفاری و همکاران، ۲۰۲۰). کرام[7] و همکاران (۲۰۰۷) کارآیی مصرف آب را در شرایط بدون تنش کم‌آبی آفتابگردان ۰/۷۴ کیلوگرم در مترمکعب برآورد نموده و نشان دادند با کم-آبیاری در اوایل گل‌دهی این مقدار کاهش‌یافته و در مراحل بعدی افزایش می‌یابد. به‌طوری‌که با کم‌آبیاری در اوایل تشکیل دانه به بالاترین مقدار رسید. در اغلب گیاهان زراعی بازده استفاده از آب بیشتر برای دانه، مربوط به بهبود زیست‌توده نیست بلکه عمدتاً مربوط به بهبود شاخص برداشت[8] (HI) است. در بررسی ارقام جدید و قدیم اغلب گیاهان زراعی، شاخص برداشت مسئول افزایش عملکرد بوده است (ریچاردز[9] و همکاران، ۱۹۹۳). ریچاردز و همکاران (۲۰۰۲) معتقدند شاخص برداشت در شرایط خشکی تابع مقدار آب استفاده شده پس از گرده افشانی بوده که هر چه بیشتر باشد شاخص برداشت نیز بیشتر خواهد بود.

در مناطق خشک و نیمه‌خشک، دست‌یابی به ارقامی که در شرایط محدودیت آب و کم‌آبیاری تحمل بیشتری نشان داده و کاهش عملکرد کمتری داشته باشند، بسیار مهم است. به‌طوری‌که می‌توان از اتلاف منابع آب جلوگیری نمود و درعین‌حال در شرایط محدودیت آب عملکرد مطلوبی به دست آورد (سالمی و افیونی ۱۳۸۴). انتخاب مستقیم برای عملکرد معمولاً ساده‌ترین راه برای بهبود عملکرد و افزایش بازده استفاده از آب در گیاهان زراعی و در شرایط تنش کم آبی است. در این رابطه فیشر و مورر[10] (۱۹۷۸) شاخص حساسیت به تنش[11] (SSI) را

[1] -Deficit irrigation
[2] -English, Musick, & Murty
[3] -Göksoy
[4] -Doorenbos & Kassam
[5] -Ehdaie & Waines
[6] -Water use efficiency
[7] -Karam, Lahoud, Masaad, Kabalan, Breidi, Chalita, & Rouphael
[8] -Harvest Index
[9] -Richards, Rebetzke, Condon & van Herwaarden
[10] -Fisher & Maurer
[11] -Stress Susceptibility Index

معرفی کردند. هم‌چنین رزلی و هامبلین[1] (۱۹۸۱) شاخص تحمل به تنش[2] (TOL) و نیز شاخص متوسط محصول‌دهی یا بهره‌وری[3] (MP) را ارائه دادند. هرچه TOL و SSI کمتر باشد، نشان‌دهنده این است که گیاه مقاومت بیشتری نسبت به تنش دارد. انتخاب بر اساس TOL و SSI باعث انتخاب ژنوتیپ‌هایی می‌شود که در شرایط تنش عملکرد بالایی دارند، ولی پتانسیل عملکردشان کم است (فرناندز، ۲۰۱۷: فرناندز و همکاران[4]، ۲۰۱۸). انتخاب بر اساس MP باعث افزایش عملکرد در هر دو محیط می‌شود. البته درصورتی‌که هم‌بستگی عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش شدیداً منفی باشد، انتخاب بر اساس MP باعث کاهش عملکرد در شرایط تنش می‌شود (رزلیه و هامبلین[5]، ۱۹۸۱). فرناندز (۱۹۹۲) شاخص تحمل به تنش[6] (STI) و میانگین هندسی محصول‌دهی[7] (GMP) را ارائه نمود. شاخص GMP در مقایسه با MP قدرت بیشتری دارد. بنابراین در صورت اختلاف زیاد بین عملکرد در شرایط مطلوب و عملکرد در شرایط تنش، گیاه نسبت به مقادیر آستانه‌ای حساسیت کمتری دارد. ژنوتیپ‌هایی که مقادیر STI آن‌ها بالاتر است، هم تحمل به خشکی و هم پتانسیل عملکرد بالاتر دارند. در مطالعه غفاری (۱۳۸۶) روی ارقام آفتابگردان در شرایط تنش کم آبی و بدون تنش، شاخص STI با شاخص برداشت هم‌بستگی مثبت و شاخص SSI با شاخص برداشت همبستگی منفی داشت.

با توجه به اهمیت آب آبیاری در کشت تابستانه گیاهان، کمبود آب در این زمان و نیاز سایر محصولات زراعی به آب، اعمال کم آبیاری تا حدی که به گیاه تنش شدیدی وارد نشود، از اهمیت خاصی برخوردار است. پژوهش حاضر به بررسی کارآیی مصرف آب و تحمل خشکی ارقام جدید آفتابگردان در شرایط کم آبیاری آخر فصل پرداخته است.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در منطقه برآآن جنوبی در استان اصفهان طی دو سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ انجام گرفت. این منطقه بر اساس طبقه‌بندی کوپن دارای اقلیم خشک بسیار گرم با تابستان‌های خشک است. تعداد پنج هیبرید جدید آفتابگردان روغنی به اسامی کیارا، اسکار، فانتازیا، های سان ۳۳ و شمس تحت شرایط مختلف رطوبتی مورد ارزیابی قرار گرفتند. مطالعه فوق در قالب طرح اسپلیت کرت بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. رژیم‌های مختلف آبیاری سطحی در سه سطح شامل آبیاری معمول(شاهد) یا آبیاری بر اساس ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر، آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر به‌عنوان کرت-های اصلی و پنج رقم آفتابگردان به‌عنوان کرت‌های فرعی در نظر گرفته شدند. کاشت با تراکم ۱۰ بوته در مترمربع و در تاریخ ۲۰ تیرماه به‌عنوان کشت دوم صورت پذیرفت. بین تکرارها نیز سه متر فاصله به‌منظور عدم تأثیرگذاری رطوبت از تیمارهای مجاور مدنظر قرار گرفت. کشت بذور در وسط پشته‌های ۵۰ سانتی‌متری و با فاصله ۲۰ سانتی‌متر از یکدیگر (چیت بند و همکاران، ۱۳۹۴) و در تاریخ دهم تیرماه هر سال به‌عنوان کشت دوم انجام گردید. این تراکم بوته برای غالب ارقام زودرس در کشت دوم مناسب است. آبیاری هر یک از کرت‌های اصلی با رسیدن میزان تبخیر انجام‌شده به حد در نظر گرفته‌شده در آزمایش از تشتک تبخیر کلاس A که در محل انجام طرح نصب شد، به‌طور یکنواخت صورت پذیرفت. مقدار آب استفاده‌شده در هر بار آبیاری به‌وسیله کنتورهای مزرعه‌ای که در محل مجرای ورودی آب به کرت‌های اصلی نصب‌شده بود، اندازه‌گیری و ثبت گردید. آزمون خاک (عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر) برای تعیین میزان کودشیمیایی مصرفی انجام شد (جداول ۱ و ۲) و پس از اختلاط میزان کود لازم با خاک در زمان

[1] -Rosielle & Hamblin
[2] -Tolerance Index
[3] -Mean Productivity
[4] -Fernandez, Alcon, Diaz-Espejo, Hernandez-Santana, & Cuevas
[5] -Rosielle & Hamblin
[6] -Stress Tolerance Index
[7] -Geometric Mean Productivity

کاشت، یک سوم از کود ازت نیز به‌عنوان سرک و در مرحله شش تا هشت برگی بوته‌ها در اختیار خاک قرارگرفت. کودهای مورد نیاز بر اساس نتایج آزمایشگاه خاک‌شناسی و بر اساس توصیه کودی، به میزان ۲۰۰ کیلوگرم فسفات آمونیوم، ۱۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم و ۱۵۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار استفاده شد. تمام کودهای فسفردار و پتاس و یک سوم کود نیتروژن دار قبل از کاشت و مابقی آن در مرحله شش تا هفت برگی به خاک اضافه شد. تمام کرت‌ها عاری از آفت و بیماری بوده و کنترل علف‌های هرز به‌طور کامل طی دو مرحله در دوره رشد رویشی با دست انجام شد.

جدول ۱- نتایج آزمون خاک و آب در منطقه مورد مطالعه

مشخصه	رطوبت در نقطه پژمردگی دائم (FC)	کاتیون ظرفیت تبادل	رطوبت در ظرفیت زراعی (PWP)	اشباع خاک	pH	EC	مواد آلی	کربنات کلسیم	نیتروژن	منگنز	روی	آهن	فسفر	پتاسیم	سدیم	سولفات	بافت خاک		
واحد	درصد حجمی	cmol+.kg-1	درصد حجمی	%	-	$dS\ m^{-1}$	%	-	%	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	$meq\ l^{-1}$	$meq\ l^{-1}$	رس	سیلت	شن
مقدار	۹	۱۰/۴۰	۲۱	۴۵	۷/۳۸	۳/۱	۰/۸۲	۲۰	۰/۰۵۱	۲/۹	۳/۸	۲/۴۱	۴۶/۱۱	۴۴۷	۴/۷	۲/۱	۳۲	۳۸	۳۰

جدول ۲- تغییرات ماهیانه دمای هوا و بارندگی طی فصل رشد در سال‌های ۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹

ماه‌های فصل رشد	میانگین دما (درجه سانتی‌گراد)		مجموع بارندگی (میلی‌متر)		دمای مطلق (درجه سانتی‌گراد)			
	۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱۳۹۸		۱۳۹۹	
					حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر
فروردین	۱۲/۳	۱۲/۴	۴۵/۵	۲۴/۶	-۸	۲۹	-۷	۲۸
اردیبهشت	۱۶/۴	۱۶/۱	۱۹/۶	۲۱/۴	-۴	۳۲	-۴	۳۳
خرداد	۲۲/۲	۲۲/۵	۱۸/۸	۱۹/۲	۴/۵	۳۷/۶	۴/۸	۳۷/۴
تیر	۳۰/۵	۳۰/۶	۹/۳	۱۰/۱	۱۰	۴۱	۱۱	۴۰
مرداد	۳۴/۴	۳۴/۶	۲/۳	۳/۵	۱۳	۴۳	۱۲	۴۲
شهریور	۲۴/۷	۲۴/۱	۴/۵	۱/۱	۱۱	۴۲	۱۱	۴۱
مهر	۱۹/۴	۱۹/۷	۵/۶	۷/۱	۵	۳۹	۶	۴۰

در مرحله رسیدگی (مرحله‌ای که طبق‌ها زرد و براکته‌ها قهوه‌ای بودند) ده بوته متوالی از چهار ردیف وسطی هر کرت انتخاب شد. بعد از تعیین قطر طبق، تعداد دانه‌های پر و توخالی شمارش گردید. به‌منظور تعیین عملکرد دانه و شاخص برداشت در مرحله رسیدگی‌نمونه-هایی از محل خروج ساقه از ردیف‌های دوم تا چهارم و با حذف نیم متر طولی از ابتدا و انتهای ردیف‌ها به‌عنوان اثر حاشیه‌ای برداشته شد. طبق‌ها در هوای آزاد خشک‌شده و دانه‌ها جدا گردیدند. پس از خشک شدن دانه‌ها وزن صد دانه تیمارها و درصد مغز دانه به همراه عملکرد دانه و سایر صفات تعیین گردید. درصد روغن نمونه‌های حاصل از دانه‌های کامل هر کرت در آزمایشگاه با روش سوکسله[1] و با استفاده از حلال پترولیوم اتر[2] (ACS) برآورد شد (کاظمی و عبدالحسینی، ۱۳۹۱).

در این مطالعه هر کرت فرعی شامل پنج خط کاشت به طول چهار متر بوده که سه خط میانی به‌عنوان

[1] -Soxhlet extractor دستگاهی برای جداسازی چربی ها (لیپیدها) از مواد جامد

[2] -Petroleum ether

ردیف برداشت و دو خط کناری به‌عنوان حاشیه در نظر گرفته شدند (شکل ۱). همچنین کاشت با تراکم ده بوته در مترمربع در وسط پشته‌های ۵۰ سانتی‌متری و با فاصله ۲۰ سانتی‌متر از یکدیگر انجام گرفت. در طول فصل رشد صفات رویشی شامل تاریخ ظهور هر یک از مراحل نموی، سبز شدن کامل، ستاره‌ای شدن، غنچه‌دهی، شروع و پایان گل‌دهی و رسیدگی فیزیولوژیک همچنین ارتفاع بوته، قطر ساقه و قطر طبق اندازه‌گیری و ثبت شد.

ضریب گیاهی دو جزئی

ضریب گیاهی پایه (K_{cb}) برای گیاه آفتابگردان از جدول ۱۷ فائو ۵۶ برای مراحل اولیه، میانی و انتهایی رشد انتخاب می‌شوند (جدول ۳). در شرایطی که لایه خاک سطحی خشک بوده، اما مقدار آب برای تعرق کامل به میزان کافی برای گیاه وجود داشته باشد، ضریب گیاهی پایه را از نسبت تبخیر تعرق گیاه به تبخیر تعرق مرجع به دست می‌آورند، لذا ضریب گیاهی پایه همان ضریب گیاهی یک جزئی در شرایطی است که اثر تبخیر اضافی ناشی از خیس شدن سطح خاک با آبیاری و یا بارندگی وجود نداشته باشد.

جدول ۳- ضرایب گیاهی ارائه‌شده توسط فائو برای مراحل مختلف رشد آفتابگردان

مراحل رشد	اولیه	میانی	پایانی
ضریب گیاهی پایه	۰/۱۵	۰/۹۵-۱/۱	۰/۲۵

با تعیین تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_0) به روش فائو- پنمن مونتیث با استفاده از داده‌های ۳۰ ساله اداره هواشناسی سینوپتیک و جو باران‌سنجی برآآن جنوبی و نیز تعیین ضرایب گیاهی (K_c) در مراحل مختلف رشد به روش فائو-پنمن مونتیث، نیاز آبی گیاه در منطقه (ET_{Crop}) در منطقه مورد آزمایش از رابطه ۱ تعیین‌شده (آلن[1] و همکاران، ۱۹۹۸) و سپس با در نظر گرفتن بارندگی مؤثر، راندمان آبیاری (۶۰ درصد: درصدی از مقدار آب تأمین‌شده برای مزرعه است که بتواند مفید واقع گردد. با محاسبه نسبت ماده خشک تولیدی به مقدار آب مصرفی بر حسب تبخیر و تعرق پتانسیل) (کریمی کاخکی و سپهری، ۱۳۸۸) و ۴۵ درصد تخلیه مجاز رطوبتی در منطقه توسعه ریشه برآورده شد (دورنبوس و کسام، ۱۹۷۹):

$$ET_{Crop} = K_C * ET_0 \quad (۱)$$

آبیاری با استفاده از لوله پلی‌اتیلن انجام و مقدار آب مصرفی در هر بار آبیاری با استفاده از کنتور حجمی کنترل گردید برای محاسبه کارآیی مصرف آب و شاخص برداشت از روابط زیر استفاده شد (کرم و همکاران، ۲۰۰۷):

$$WUE = \frac{EY}{ET_{Crop}} \quad (۲)$$

$$HI = \frac{EY}{BY} * 100 \quad (۳)$$

در این روابط: WUE کارآیی مصرف آب برحسب کیلوگرم در مترمکعب، EY عملکرد اقتصادی برحسب کیلوگرم در هکتار، ETCrop نیاز آبی برحسب مترمکعب در هکتار، HI شاخص برداشت برحسب درصد و BY عملکرد بیولوژیک برحسب کیلوگرم در هکتار است. هم‌چنین برای محاسبه شاخص‌های تحمل به خشکی از روابط زیر استفاده شد (ردی[2] و همکاران، ۲۰۲۰):

$$SI = 1 - \left(\frac{\bar{Y}_S}{\bar{Y}_P}\right) \quad (۴)$$

$$SSI = \frac{1-\left(\frac{Y_S}{Y_P}\right)}{SI} \quad (۵)$$

$$TOL = Y_P - Y_S \quad (۶)$$

$$MP = \frac{Y_S+Y_P}{2} \quad (۷)$$

$$STI = \frac{Y_S \times Y_P}{\bar{Y}_P{}^2} \quad (۸)$$

$$GMP = \sqrt{Y_S \times Y_P} \quad (۹)$$

[1] -Allen

[2] -Reddy

در این روابط: YS عملکرد دانه در شرایط تنش، YP عملکرد دانه در شرایط بدون تنش کم‌آبی (بدون تنش)، $\bar{Y}_S$ میانگین عملکرد در شرایط تنش و $\bar{Y}_P$ میانگین عملکرد دانه در شرایط بدون تنش می‌باشد.

تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار MSTATC انجام و مقایسه میانگین داده‌ها نیز با استفاده از آزمون LSD صورت گرفت.

شکل ۱- نمایی از مزرعه آفتابگردان

نتایج و بحث

عملکرد بیولوژیک

عملکرد بیولوژیک شامل کل زیست‌توده اندام هوایی که ملاحظه می‌شود اثر تیمارهای آبیاری و رقم بر عملکرد بیولوژیک در سطح یک درصد معنی‌دار است (جدول ۴). براین اساس بیشترین عملکرد بیولوژیک در بین تیمارهای آبیاری از تیمار آبیاری پس از ۹۰ میلی‌متر تبخیر با ۱۳۴۵۷/۳ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. همچنین با توجه به تأثیر معنی‌دار هر دو عامل آزمایشی بر عملکرد بیولوژیک آفتابگردان، مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با کاهش مصرف آب و اعمال تنش کم‌آبی، مخصوصاً در تیمار آبیاری پس از ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از وزن خشک اندام‌های هوایی کاسته شد (جدول ۵). نتایج آزمایش نشان داد که در تیمارهای تنش ۱۲۰ و ۱۵۰ میلی‌متر؛ عملکرد بیولوژیک نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۱۱ و ۲۷/۳۴ درصد کاهش‌یافته است. البته چنین نتیجه‌ای را می‌توان از مقایسه میانگین‌های مربوط به ارتفاع بوته، قطر ساقه و عملکرد دانه نیز استنباط نمود، زیرا که بوته‌هایی با ارتفاع بلند ساقه‌های ضخیم و محصول دانه بلند توانستند حداکثر عملکرد بیولوژیک را تولید نمایند (جدول ۵). در آزمایش فلنت[1] و همکاران (۱۹۹۷) معلوم شد که تنش خشکی ملایم و شدید عملکرد بیولوژیکی آفتابگردان را به ترتیب ۴۳ و ۶۹ درصد کاهش داد. مقایسه میانگین‌های مربوط به عملکرد بیولوژیک ارقام آزمایشی نشان داد که ارقام فانتازیا و های-سان ۳۳ (به ترتیب با عملکرد ۱۲/۲۶۸ و ۱۲/۱۳۱ تن در هکتار) بالاترین عملکرد را داشتند. پس از آن‌ها ارقام اسکار، شمس وکیارا (به ترتیب ۱۱۶۹۴/۳، ۱۱۲۷۴/۲ و ۱۱۱۹۸/۵) تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۵). به نظر می‌رسد ارقام فانتازیا و های‌سان ۳۳ در مقایسه با ارقام دیگر از تجمع ماده خشک بالاتری برخوردار باشد. می‌توان نتیجه‌گیری کرد که ارقام فانتازیا و های سان ۳۳ پتانسیل بیشتری در انتقال مواد از اندام‌ها به دانه دارند که موجب

[1] -Flénet, Bouniols & Saraiva

افزایش عملکرد دانه می‌شود (علی پور و همکاران، ۱۳۹۳). نتایج مقایسات میانگین‌ها نشان داد که زیست‌توده تولیدی در تیمار شاهد از بقیه تیمارها به‌طور غیر معنی‌داری بیشتر بود. عملکرد بیولوژیک در تیمار ۱۵۰ میلی‌متر نسبت به بقیه تیمارها کمتر بود. کاهش ماده خشک تجمعی یا عملکرد بیولوژیک با قطع آبیاری در بسیاری از آزمایش‌ها از جمله توسط رئوف[1] و همکاران (۲۰۱۲) و یوسفی و بش[2] نیز گزارش‌شده است. در تحقیقات کریمی کاخکی و همکاران (۲۰۱۰)، سی و سه مرده و همکاران (۲۰۱۱) و چراغی زاده و همکاران (۱۳۹۷) شدت تولید ماده خشک آفتابگردان در تیمار آبیاری محدود، به‌طور معنی‌داری کمتر از شرایط آبیاری مطلوب بود. کاهش تجمع ماده خشک در شرایط کم‌آبیاری آفتابگردان توسط کرم و همکاران (۲۰۰۷) گزارش شد. آن‌ها با اعمال کم آبیاری در اوایل و اواسط گل‌دهی و اوایل تشکیل دانه نتیجه گرفتند که تجمع نهایی ماده خشک در کم آبیاری اوایل گل‌دهی نسبت به سایر تیمارهای کم آبیاری و بدون تنش کم‌آبی کمتر بود.

جدول ۴- تجزیه واریانس عملکرد بیولوژیک، عملکرد اقتصادی، شاخص برداشت و کارآیی مصرف آب ارقام آفتابگردان

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		شاخص برداشت (٪)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد اقتصادی (کیلوگرم در هکتار)	کارآیی مصرف آب (کیلوگرم در مترمکعب)
تکرار	۲	۰/۰۰۳**	۵۴۹۸۴۶۱/۴**	۲۷۳۵۱۲/۴**	۰/۰۱۵**
آبیاری	۲	۰/۰۰۵۷ **	۳۲۳۶۴۰۵۴/۳۶**	۸۱۴۹۸۲۱/۳**	۰/۲۷۸**
خطای فرعی	۴	۰/۰۰۰۲	۵۴۱۷۶۵/۱۲	۵۲۱۷۷/۶	۰/۰۰۶
رقم	۴	۰/۰۰۱۷ **	۱۱۶۴۶۰۵۳/۳۶**	۲۲۵۱۴۷۶/۶**	۰/۳۹۴**
آبیاری×رقم	۸	۰/۰۰۰۳	۱۸۵۴۶۲۴/۳۸$^{n.s}$	۱۴۱۴۶۰/۹**	۰/۰۸۴**
خطای اصلی	۲۰	۰/۰۰۰۵ $^{n.s}$	۲۱۳۲۲۴۱/۱۶	۷۴۱۲۵/۲	۰/۰۰۴
ضریب تغییرات (٪)		۷/۱۱	۸/۸۹	۶/۹۴	۷/۳۱

$^{n.s}$، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪

شاخص برداشت

بر اساس نتایج تجزیه واریانس صفت شاخص برداشت، اثر تیمارهای آبیاری و رقم در سطح یک درصد معنی‌دار شد. ولی اثرات متقابل آبیاری و رقم در سطح پنج درصد معنی‌دار نبود (جدول ۴). نتایج آزمایش نشان داد که شاخص برداشت در ۱۲۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر نسبت به تیمار شاهد (آبیاری پس از ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک) به ترتیب برابر ۹۵/۱۲ ٪ و ۸۷/۸۰ ٪ شاخص برداشت شاهد است.

نتایج نشان داد که با افزایش محدودیت آبی، شاخص برداشت در تیمارها کاهش یافت. ولی این کاهش از نظر آماری معنی‌دار نبود. عدم معنی‌دار شدن شاخص برداشت در تیمارهای مختلف آبیاری می‌تواند بیانگر این مسئله باشد که عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه تیمارها در تیمارهای مختلف به‌طور یکسان تغییر کرده‌اند. هاشم و همکاران[3] (۱۹۹۸) نیز با بررسی اثر تنش خشکی در مراحل مختلف رشد گلرنگ نتیجه گرفتند که شاخص برداشت در تیمارهای مختلف تنش به‌طور معنی‌دار تحت تأثیر قرار نگرفت. اثر متقابل رقم در سطوح تنش نیز معنی‌دار نبود (جداول ۲ تا ۴).

[1] -Rauf, Maqsood, Ahmad, & Gondal
[2] -Yousefi & Besh
[3] -Hashem, Amin Majumdar, & Hossain

جدول ۵- تجزیه واریانس عملکرد بیولوژیک، عملکرد اقتصادی، شاخص برداشت و کارآیی مصرف آب ارقام آفتابگردان تحت تأثیر تیمارهای آبیاری طی دو سال تحقیق

فاکتورهای آزمایشی	شاخص برداشت	عملکرد بیولوژیک	عملکرد اقتصادی (کیلوگرم در هکتار)	کارآیی مصرف آب (کیلوگرم در مترمکعب)
سطوح آبیاری پس از				
۹۰ میلی‌متر تبخیر	۰/۴۱^{a}	۱۳۴۵۷/۳^{a}	۴۸۵۴^{a}	۰/۶۵^{c}
۱۲۰ میلی‌متر تبخیر	۰/۳۹^{b}	۱۱۹۸۴/۴^{a}	۳۳۱۳/۲^{b}	۰/۸۵^{a}
۱۵۰ میلی‌متر تبخیر	۰/۳۷^{b}	۹۷۷۸/۸^{b}	۲۹۲۰/۴^{c}	۰/۷۲^{b}
رقم				
کیارا	۰/۴^{b}	۱۱۱۹۸/۵^{c}	۳۲۷۴/۷^{c}	۰/۷۵^{e}
های سان	۰/۳۸^{b}	۱۲۱۳۱/۴^{a}	۳۶۷۱/۳^{b}	۱/۰۴^{a}
اسکار	۰/۴۲^{a}	۱۱۶۹۴/۳^{b}	۳۵۲۷/۶^{b}	۰/۸۱^{d}
فانتازیا	۰/۴۳^{a}	۱۲۲۶۸/۷^{a}	۴۰۸۱/۵^{a}	۰/۹۶^{b}
شمس	۰/۳۹^{b}	۱۱۲۷۴/۲^{c}	۳۴۳۵/۶^{b}	۰/۸۴^{c}

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون چند دامنه ایی دانکن در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند

میانگین‌های برخوردار از حروف مشابه نشانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد با آزمون دانکن است. همچنین نتایج مربوط به صفت شاخص برداشت نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین ارقام و تیمارهای مختلف آبیاری وجود ندارد. بالاترین شاخص برداشت مربوط به ارقام فانتازیا و اسکار (به ترتیب ۰/۴۳ و ۰/۴۲) و کمترین شاخص برداشت مربوط به ارقام کیارا، شمس و های سان ۳۳ (به ترتیب ۰/۴۰، ۰/۳۹ و ۰/۳۸) بود. در بین تیمارهای آبیاری، بیشترین شاخص برداشت (۴۱ درصد) از آبیاری پس از ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک به دست آمد (جدول ۴). با اعمال کم آبیاری، شاخص برداشت کاهش یافت. بیشترین کاهش با آبیاری پس از ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک با شاخص برداشت ۰/۳۸ دیده شد. این امر نشان می‌دهد که با وقوع تنش خشکی از مرحله زایشی، تخصیص مواد فتوسنتزی گیاه در بخش زایشی (دانه‌ها) در مقایسه با شاهد کمتر بوده است. علت کاهش شاخص برداشت، کاهش بیشتر عملکرد دانه نسبت به عملکرد بیولوژیک در شرایط تنش کم‌آبی و به‌ویژه در زمان گل‌دهی است. این نتیجه با نتایج سادراس و همکاران (۱۹۹۳)، سوریانو[1] و همکاران (۲۰۰۴) و غفاری (۱۳۸۶) هم‌آهنگی دارد. کاهش شاخص برداشت بر اثر تنش کم آبی در مطالعات پرونتی (۱۹۸۳)، کاکس و جولیف (۱۹۸۶)، جیمنز و فررس (۱۹۸۶) دی آندریا و همکاران (۱۹۹۵)، راضی و آساد (۱۳۷۷)، رشدی و رضادوست (۱۳۸۳) و صارمی راد و مصطفوی (۲۰۲۰) نیز گزارش شد. این در حالی است که کرم و همکاران (۲۰۰۷) تغییر معنی‌داری را در شاخص برداشت آفتابگردان مشاهده نکردند.

عملکرد اقتصادی

در آفتابگردان وزن دانه، که حاصل تبدیل انرژی نورانی، آب و عناصر غذایی به مواد فتوسنتزی است، به‌عنوان عملکرد اقتصادی گیاه در نظر گرفته می‌شود. با توجه به نتایج حاصل از تجزیه واریانس عملکرد دانه یا اقتصادی اثر تیمارهای آبیاری و رقم در سطح یک درصد معنی‌دار است. هم‌چنین آثار متقابل آبیاری و رقم در سطح پنج درصد معنی‌دار است (جدول ۴). بیشترین عملکرد اقتصادی بین تیمارهای آبیاری از آبیاری پس از ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک با ۴۸۵۴ کیلوگرم در هکتار به دست آمد (جداول ۲ و ۳). با اعمال کم آبیاری عملکرد اقتصادی کاهش یافت. نتایج آزمایش نشان داد که عملکرد اقتصادی در آبیاری پس از ۱۲۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر نسبت به تیمار شاهد (آبیاری پس از ۹۰ میلی‌متر تبخیر از

[1] -Soriano

تشتک) به ترتیب برابر ۶۸/۲۵ ٪ و ۶۰/۱۶ ٪ عملکرد اقتصادی شاهد است. کمترین کاهش در پس از ۱۲۰ میلی-متر تبخیر از تشتک با ۳۳۱۳/۲ کیلوگرم در هکتار اتفاق افتاد. تیمار آبیاری پس از ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک با ۲۹۲۰/۴ کیلوگرم در هکتار در جایگاه بعدی قرار گرفت. در بین ارقام آفتابگردان، بیشترین عملکرد اقتصادی از رقم فانتازیا با ۴۰۸۱/۵ کیلوگرم در هکتار به دست آمد (جدول ۵). رقم‌های سان، اسکار، شمس و کیارا به ترتیب با ۳۶۷۱/۳، ۳۵۲۷/۶ ، ۳۵۳۴/۶ و ۳۲۷۴/۷ کیلوگرم در هکتار پس از فانتازیا در جایگاه بعد قرار گرفتند.

با توجه به کاهش عملکرد بیولوژیک با اعمال کم آبیاری، کاهش عملکرد دانه که جزئی از آن است، قابل توجیه است. کانور و سادراس (۱۹۹۲)، دی آندریا و همکاران (۱۹۹۵)، فلنت و همکاران (۱۹۹۶)، مظفری و همکاران (۱۳۷۵)، راضی و آساد (۱۳۷۷)، غفاری (۱۳۸۶) و جامی و همکاران (۱۳۹۸) در بررسی واکنش آفتابگردان به کم‌آبیاری، کاهش عملکرد دانه را با اعمال کم آبیاری گزارش نمودند. گوکسوی و همکاران (۲۰۰۴) بیشترین عملکرد دانه را از بدون تنش کم‌آبی، آبیاری محدود در مرحله غنچه‌دهی و ۶۰ درصد کم‌آبیاری در مرحله شیری شدن دانه به دست آوردند. آن‌ها گزارش کردند که عملکرد دانه با کاهش مقدار و تعداد آبیاری کاهش یافت. به‌طوری‌که کمترین عملکرد دانه از تیمار بدون آبیاری به دست آمد و کمبود آب در زمان گل‌دهی به‌طور معنی‌داری عملکرد بذر را کاهش داد. کرم و همکاران (۲۰۰۷)، کاهش ۲۰ و ۱۵ درصدی عملکرد دانه را با کم‌آبیاری در اوایل و اواسط گل-دهی آفتابگردان گزارش نمودند. هم‌چنین آن‌ها کاهش معنی‌داری را از کم‌آبیاری مرحله دانه‌بندی در مورد عملکرد دانه مشاهده نکردند.

کارآیی مصرف آب

نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفت کارآیی مصرف آب بر حسب کیلوگرم دانه در مترمکعب آب مصرفی در این طرح نشان داد اثر تیمارهای آبیاری و رقم، هم‌چنین آثار متقابل آبیاری و رقم در سطح یک درصد معنی‌دار است (جدول ۴). براین اساس بیشترین کارآیی مصرف آب در بین تیمارهای آبیاری، آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر به مقدار ۰/۸۵ کیلوگرم در مترمکعب به دست آمد (جداول ۲ و ۳). پس از آن آبیاری پس از ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر به مقدار ۰/۷۲ کیلوگرم جای داشت. کمترین مقدار نیز از آبیاری پس از ۹۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر با ۰/۶۵ کیلوگرم در مترمکعب حاصل شد.

در بین ارقام آفتابگردان بیشترین کارآیی مصرف آب متعلق به رقم های‌سان ۳۳ با ۱/۰۴ کیلوگرم در مترمکعب بود (جدول ۵). رقم فانتازیا با ۰/۹۶ کیلوگرم در مترمکعب و رقم شمس با ۰/۸۴ کیلوگرم در مترمکعب با اختلاف معنی‌داری در رتبه‌های بعد قرار گرفتند. هم‌چنین کمترین مقادیر مربوط به ارقام اسکار و کیارا به ترتیب با مقدار ۰/۸۱ و ۰/۷۵ کیلوگرم در مترمکعب بود. مقادیر کارآیی مصرف آب در این پژوهش با مقادیر کارآیی مصرف آب به‌دست‌آمده برای آفتابگردان توسط کانور[1] و همکاران (۱۹۸۵)، رینالدی[2] (۲۰۰۱)، کرام و همکاران (۲۰۰۷) و کانور و همکاران (۲۰۱۴)، به ترتیب برابر با ۰/۸۹، ۰/۹۹ و ۰/۸۵ مطابقت دارد. افزایش کارآیی مصرف آب آفتابگردان در شرایط تنش کم‌آبی نسبت به بدون تنش کم‌آبی توسط فلنت و همکاران (۱۹۹۶) و جامی و همکاران (۱۳۹۸) نیز مورد تأیید قرار گرفته است. این در حالی است که استون[3] و همکاران (۱۹۹۶) و گوکسوی[4] و همکاران (۲۰۰۴) تغییرات معنی‌داری را گزارش نکردند.

[1] -Connor, Jones & Palta
[2] -Rinaldi
[3] -Stone
[4] -Göksoy, Demir, Turan, & Dagustu

جدول ۶- مقایسه میانگین صفات دانه تحت تأثیر اثرات متقابل تنش کمبود آب و رقم و نیز شاخص‌های خشکی ارقام آفتابگردان

سطح تنش کمبود آب	رقم	رسیدگی فیزیولوژیک		زمان برداشت (روز بعد از کاشت)	مقدار آب مصرفی (مترمکعب در هکتار)	آب صرفه‌جویی شده (٪)
		روز بعد از کاشت	درجه-روز رشد			
آبیاری پس از ۹۰ میلی‌متر تبخیر	کیارا	۱۱۰	۱۷۵۱	۱۲۴	۷۶۲۴	-
	های سان	۹۶	۱۵۸۶	۱۱۱	۵۸۱۷	-
	اسکار	۱۰۵	۱۷۱۹	۱۱۹	۶۷۹۱	-
	فانتازیا	۱۰۳	۱۶۸۸	۱۱۷	۶۶۷۳	-
	شمس	۹۹	۱۶۳۲	۱۱۳	۶۱۴۴	-
آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر	کیارا	۹۹	۱۷۳۶	۱۲۱	۵۰۲۷	۱۱
	های سان	۹۷	۱۵۶۳	۱۰۹	۵۰۴۳	۱۸
	اسکار	۹۴	۱۷۱۱	۱۱۷	۵۰۸۱	۱۳
	فانتازیا	۱۰۲	۱۶۶۴	۱۱۵	۵۱۴۹	۱۴
	شمس	۱۰۵	۱۶۲۴	۱۱۱	۵۷۶۳	۱۵
آبیاری پس از ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر	کیارا	۱۰۲	۱۷۱۱	۱۲۰	۴۷۸۸	۴۷
	های سان	۱۰۰	۱۵۵۱	۱۰۷	۴۸۱۵	۶۰
	اسکار	۹۷	۱۷۰۲	۱۱۵	۴۹۱۴	۵۳
	فانتازیا	۱۰۵	۱۶۶۳	۱۱۳	۴۹۷۵	۶۳
	شمس	۱۰۷	۱۶۱۹	۱۰۹	۴۹۶۳	۵۹

مقدار آب مصرفی در شرایط بدون تنش کم‌آبی و با تأمین نیاز آبی در مراحل مختلف رشد گیاه برای ارقام کیارا، اسکار، فانتازیا، شمس و های سان ۳۳ به ترتیب ۷۶۲۴ ،۶۷۹۱، ۶۶۷۳ ، و ۵۸۱۷، ۶۱۴۴ و ۵۸۱۷ مترمکعب در هکتار بود (جدول ۶). طبق گزارش فائو (۲۰۰۹) نیاز آبی آفتابگردان از ۶۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌متر بسته به اقلیم و طول دوره رشد متفاوت است (دورنبوس و کسام، ۱۹۷۹). کمترین کاهش آب مصرفی با اعمال کم آبیاری در شرایط آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر حاصل شد. این امر به دلیل میزان تبخیر و تعرق کمتر و در نتیجه نیاز آبی کمتر محصول در این مرحله از رشد است. کمترین آب صرفه‌جویی شده در این حالت مربوط به رقم فانتازیا بود که رقمی زودرس و با طول دوره رشد کوتاه است. آب صرفه‌جویی شده برای ارقام کیارا، اسکار، فانتازیا، شمس و های سان ۳۳ به ترتیب ۱۱، ۱۳، ۱۴، ۱۵ و ۱۸ درصد بود.

بیشترین کاهش آب مصرفی در شرایط آبیاری پس از ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر به دست آمد. بیشترین آب صرفه‌جویی شده در این حالت مربوط به رقم فانتازیا است. آب صرفه‌جویی شده برای ارقام کیارا، اسکار، شمس، های سان ۳۳ و فانتازیا به ترتیب به ترتیب ۴۷، ۵۳، ۵۹ ، ۶۰ و ۶۳ درصد بود. با توجه به نیاز آبی کمتر و آب صرفه‌جویی شده بیشتر، کمترین مقدار آب مصرف‌شده در این طرح متعلق به رقم فانتازیا در شرایط آبیاری پس از ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر است. در بررسی کرام و همکاران (۲۰۰۷) روی آفتابگردان، با کم‌آبیاری در اوایل و اواسط گل‌دهی و اوایل تشکیل دانه به‌ترتیب ۲۲، ۱۶ و ۹ درصد در مصرف آب صرفه‌جویی شد. با توجه به نتایج این پژوهش و سایر مطالعات چنین نتیجه می‌شود که کارآیی مصرف آب بیشتر، مربوط به آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر است که ضمن صرفه‌جویی بیشتر در مصرف آب، عملکرد

نیز کمتر تحت تأثیر قرار می‌گیرد (جامی و همکاران، ۱۳۹۸).

طول دوره رشد

ارقام کیارا، اسکار، فانتازیا، شمس و های سان ۳۳ با بدون تنش کم‌آبی به ترتیب در زمان‌های ۱۱۰، ۱۰۵، ۱۰۳، ۹۹ و ۹۶ روز بعد از کاشت و با دریافت ۱۷۵۱، ۱۶۸۸،۱۷۱۹، ۱۶۳۲ و ۱۵۸۶ درجه-روز رشد به مرحله رسیدگی فیزیولوژیک رسیدند. زمان برداشت به‌منظور کاهش رطوبت بذر ۱۴ تا ۱۵ روز بعد از رسیدن فیزیولوژیک بود (جدول ۶). با اعمال کم آبیاری، طول دوره رشد کاهش یافت. به‌طوری‌که در شرایط آبیاری پس از ۱۲۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر به ترتیب دو و پنج روز نسبت به بدون تنش کم‌آبی کمتر بود. این امر نشان‌دهنده واکنش گیاه در جهت تکمیل و اتمام زودتر دوره رشد خود با افزایش مدت تنش کم‌آبی است که واکنشی در جهت فرار از خشکی است. این نتیجه با نتایج چراغی زاده و همکاران (۱۳۹۷) در مورد آفتابگردان مطابقت دارد. به گزارش راضی و آساد (۱۳۷۷) و نیز صارمی راد و مصطفوی (۲۰۲۰) با آبیاری محدود دوره گل‌دهی به میزان کمی کوتاه-تر شد ولی زمان رسیدن فیزیولوژیک تحت تأثیر کم‌آبی به‌طور محسوسی کاهش یافت.

مقاومت به خشکی

نتایج حاصل از محاسبه شاخص‌های SSI، TOL، MP، GMP و STI در شرایط مختلف آبیاری و رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها در جدول ۷ آورده شده است. مقادیر بالای این شاخص‌ها نشان‌دهنده تحمل بیشتر ژنوتیپ‌ها به تنش کم‌آبی بوده و موجب انتخاب ارقام با پتانسیل عملکرد بالا هم در محیط تنش و هم در محیط بدون تنش می‌شود. مقادیر کمتر شاخص‌های SSI و TOL نشان‌دهندهٔ حساسیت کمتر و تحمل بیشتر ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش کم‌آبی و موجب انتخاب ارقام با پتانسیل عملکرد بالا در این شرایط می‌شود. از طرفی مقادیر بیشتر سه شاخص دیگر (MP، GMP و STI) نشان‌دهندهٔ تحمل بیشتر ژنوتیپ‌ها به تنش کم‌آبی بوده و موجب انتخاب ارقام با پتانسیل عملکرد بالا هم در محیط تنش و هم در محیط بدون تنش می‌شود (چراغی زاده و همکاران، ۱۳۹۷). مقادیر عملکرد در شرایط آبیاری پس از ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر، برای ارقام فانتازیا، های سان ۳۳، اسکار، شمس و کیارا به ترتیب برابر با ۴۵۵۲/۹، ۴۲۱۹/۷، ۴۱۷۸/۱، ۴۰۳۸/۴ و ۳۶۷۶/۱ کیلوگرم در هکتار بود. نتایج نشان داد ارقام فانتازیا و در رتبه بعدی، های سان ۳۳ بر اساس تمام شاخص‌های مورد بررسی و در همه مراحل آبیاری، هم‌چنین میانگین شرایط تنش، متحمل‌ترین ارقام به کمبود آب می‌باشند. این امر می‌تواند در ارتباط با پتانسیل عملکرد بالای این ارقام قرار گیرد.

جدول ۷- مقایسه میانگین صفات دانه تحت تأثیر اثرات متقابل تنش کمبود آب و رقم و نیز شاخص‌های خشکی ارقام آفتابگردان در مراحل مختلف آبیاری و میانگین شرایط تنش کم آبی

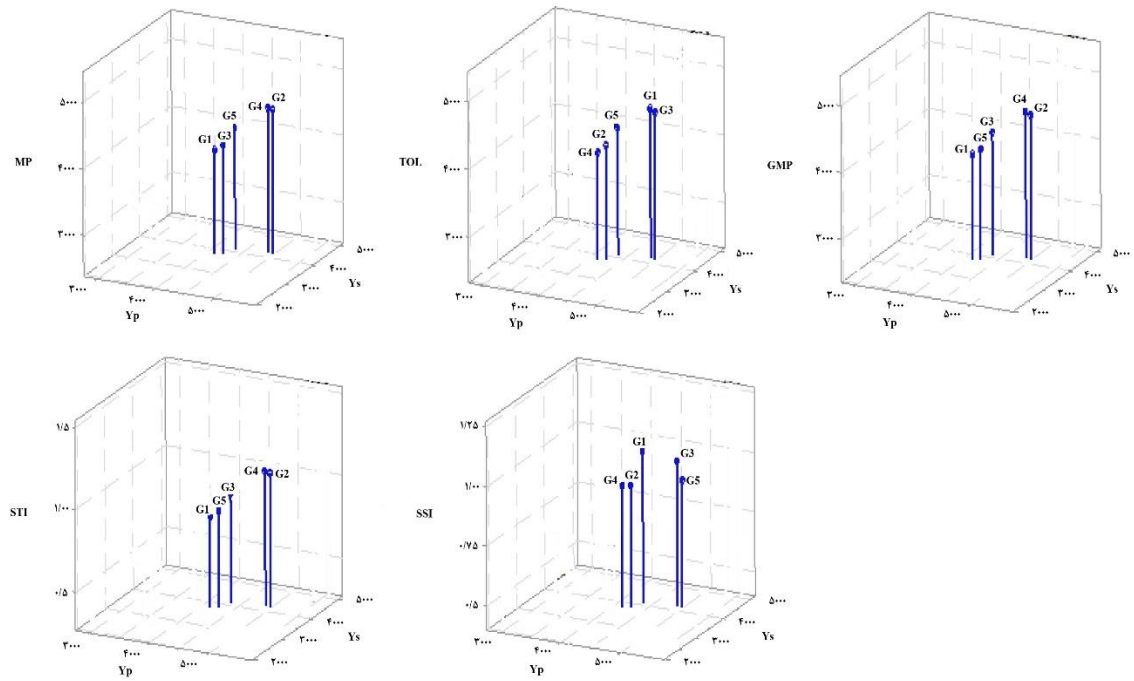
سطح تنش کمبود آب	رقم	SSI		TOL		MP		GMP		STI	
		مقدار	رتبه	مقدار	رتبه	مقدار	رتبه	مقدار	رتبه	مقدار	رتبه
آبیاری پس از ۹۰ میلی‌متر تبخیر	کیارا	۰/۹۸	۵	۱۲۰۴	۴	۴۳۰۲/۷	۴	۳۶۷۸/۱	۵	۰/۶۵	۵
	های سان	۰/۸۵	۲	۱۰۲۵/۴	۲	۴۴۱۷/۳	۲	۴۲۱۹/۷	۲	۰/۷۶	۲
	اسکار	۰/۹۳	۴	۱۲۴۶/۳	۵	۴۲۸۸/۶	۵	۴۱۷۸/۱	۳	۰/۷۴	۳
	فانتازیا	۰/۶۶	۱	۸۷۲/۲	۱	۴۵۶۱/۳	۱	۴۵۵۲/۹	۱	۰/۸۸	۱
	شمس	۰/۸۸	۳	۱۱۱۷/۵	۳	۴۳۴۷/۲	۳	۴۰۳۸/۴	۴	۰/۶۹	۴
آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر	کیارا	۱/۰۲	۵	۱۴۵۳/۹	۵	۴۱۴۷/۸	۵	۳۷۸۰/۵	۵	۰/۶۴	۵
	های سان	۰/۹۳	۲	۱۳۶۹/۴	۲	۴۲۴۳/۴	۲	۳۹۹۴/۲	۲	۰/۷۴	۲
	اسکار	۰/۹۸	۴	۱۴۳۸/۲	۴	۴۱۷۳/۴	۴	۳۹۳۳/۳	۳	۰/۷۲	۳
	فانتازیا	۰/۸۵	۱	۱۱۲۴/۲	۱	۴۴۳۲	۱	۴۱۸۸/۷	۱	۰/۸۲	۱
	شمس	۰/۹۵	۳	۱۴۱۰/۸	۳	۴۲۱۱/۷	۳	۳۸۱۵/۴	۴	۰/۶۸	۴
آبیاری پس از ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر	کیارا	۰/۹۵	۴	۱۶۸۴/۷	۴	۳۹۵۴/۷	۵	۳۳۱۵/۴	۵	۰/۵۸	۵
	های سان	۰/۸۳	۲	۱۶۲۲/۱	۲	۳۹۸۸/۳	۳	۳۳۵۹/۷	۳	۰/۷۱	۳
	اسکار	۰/۸۹	۵	۱۷۱۴/۶	۵	۳۹۷۲/۸	۴	۳۳۰۵/۱	۴	۰/۶۵	۴
	فانتازیا	۰/۸۱	۱	۱۵۰۷	۱	۴۰۲۷	۱	۳۵۱۴/۵	۱	۰/۷۵	۱
	شمس	۰/۸۵	۳	۱۶۷۰/۵	۳	۴۰۱۰/۴	۲	۳۴۴۷/۲	۲	۰/۷۳	۲

میانگین‌های برخوردار از حروف مشابه نشانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد با آزمون دانکن است

رقم های‌سان ۳۳ بر اساس تمام شاخص‌ها و در شرایط آبیاری پس از ۱۲۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر و میانگین شرایط تنش، پس از فانتازیا در رتبه دوم قرار داشت. رقم شمس بر اساس تمام شاخص‌ها و در میانگین شرایط تنش کم‌آبی، هم‌چنین شرایط آبیاری پس از ۱۲۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر در رتبه سوم بود. کم تحمل‌ترین و حساس‌ترین رقم بر اساس تمام شاخص‌ها و در تمام شرایط کم‌آبیاری، رقم کیارا بود. تنها در شرایط آبیاری پس از ۱۲۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر و با دو شاخص SSI و TOL این رقم جایگاه خود را به اسکار داد.

با شناسایی شاخص‌های مناسب تحمل به تنش خشکی، به‌منظور تعیین ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه بالا و متحمل به تنش خشکی در هر دو شرایط نرمال و تنش خشکی، نمودار سه بعدی برای هر سه شاخص مناسب متحمل به خشکی (STI، GMP و MP) ترسیم و در شکل ۲ به نمایش گذاشته شد. این نمودارهای سه بعدی روابط میان سه متغیر عملکرد دانه در شرایط نرمال (Yp) روی محور X ها، عملکرد دانه تحت شرایط تنش (Ys) روی محور Y ها و یکی از شاخص‌های کمی شناسایی‌شده تحمل به خشکی (STI، GMP و MP) روی محور Z ها، را به نمایش می‌گذارد (فرناندز، ۱۹۹۲).

نمودارهای سه بعدی حاصل از شاخص‌های مطلوب شناخته‌شده، ژنوتیپ‌های فانتازیا و های سان را به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی و دارای پتانسیل عملکرد دانه بالا تحت شرایط نرمال و تنش خشکی اعلام نمودند. این ژنوتیپ‌ها در گروه A قرار گرفتند.



شکل ۲- نمودار سه بعدی عملکرد دانه ژنوتیپ‌های آفتابگردان در شرایط بدون تنش (Yp) و تنش (Ys) برای شاخص‌های شاخص میانگین هندسی بهره‌وری متوسط (GMP)، شاخص بهره‌وری متوسط (MP)، شاخص عملکرد (YI) و شاخص تحمل به تنش (STI)

به‌طورکلی در مناطق نیمه‌خشک که پراکنش بارندگی غیریکنواخت است، پایداری عملکرد در مقایسه با میزان عملکرد در شرایط تنش و مطلوب، به‌عنوان معیار مناسب‌تری برای ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌ها به تنش رطوبتی پذیرفته‌شده است. عموماً هدف از گزینش ارقام متحمل به تنش خشکی، معرفی ارقامی است که شرایط تنش را بهتر تحمل کرده و تحت شرایط تنش از ثبات عملکرد بیشتری برخوردار بوده و افت عملکرد کمتری داشته باشند (ارشدی، ۲۰۱۶: دربانی و همکاران، ۱۳۹۹). همان‌طور که در این مطالعه ملاحظه می‌شود، شاخص‌های MP، GMP و STI از کارآیی بیشتری در تعیین ارقام متحمل به خشکی برخوردار بوده و در این میان شاخص GMP از MP بهتر است. به اظهار فرناندز و همکاران (۲۰۲۰) شاخص GMP در مقایسه با MP قدرت بیشتری دارد، بنابراین در صورت اختلاف زیاد بین عملکرد در شرایط مطلوب و عملکرد در شرایط تنش نسبت به مقادیر آستانه‌ای حساسیت کمتری دارد. غفاری (۲۰۱۷) در مطالعه خود با عنوان ارزیابی و انتخاب لاین‌های اینبرد آفتابگردان در شرایط نرمال و تنش خشکی گزارش نمود از بین شاخص‌های تحمل، شاخص STI کارآیی بیشتری در شناسایی ارقام مقاوم به خشکی دارد. گنجعلی و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعات خود اظهار داشتند که گزینش برای تحمل به خشکی در بین ژنوتیپ-های نخود، می‌بایست بر اساس عملکرد ژنوتیپ‌ها در هر دو محیط تنش و بدون تنش انجام شود. بر این اساس، ژنوتیپ‌هایی که دارای عملکرد بالا در هر دو محیط تنش و بدون تنش باشند به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی قابل توصیه هستند. کریمی کاخکی و سپهری (۱۳۸۸) اعلام نمودند که از بین شاخص‌های مختلف مقاومت به خشکی شامل TOL، SSI ، MP ، GMP و STI، شاخص‌های GMP و STI از کارآیی بیشتری در تعیین ارقام متحمل به خشکی برخوردارند.

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی نتایج نشان داد کم‌آبیاری بر عملکرد، شاخص برداشت، کارآیی مصرف آب و تحمل خشکی ارقام آفتابگردان اثر داشته است. رقم فانتازیا بر اساس تمام شاخص‌های مقاومت به خشکی به‌عنوان متحمل‌ترین رقم شناسایی و کارآیی شاخص تحمل به تنش و شاخص

متوسط کارایی در شناسایی ارقام متحمل به خشکی که هم در شرایط تنش و هم بدون تنش کم آبی دارای عملکرد بالایی باشند، مورد تأیید قرار گرفت. از بین شاخص‌های مقاومت، کارآیی بیشتر شاخص‌های GMP و STI برای بررسی در مطالعات آینده مورد تأیید قرار می‌گیرد. به‌طورکلی نتایج حاصل از پژوهش حاضر حاکی از وجود تنوع میان ژنوتیپ‌های تحت بررسی از نظر تحمل به تنش خشکی بود. از اینرو با شناسایی و تعیین میزان تحمل و حساسیت به تنش خشکی ژنوتیپ‌های موردمطالعه، امکان اجرای برنامه‌های به نژادی جهت حصول ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی و نیز ژنوتیپ‌های با پتانسیل عملکرد دانه قابل قبول، در هر دو شرایط نرمال و تنش خشکی را فراهم می‌آورد. در میان پنج ژنوتیپ آفتابگردان روغنی موردبررسی، طبق این شاخص‌ها و بای پلات‌های حاصل، ژنوتیپ‌های فانتازیا و های سان ۳۳ دارای بیشترین تحمل و ژنوتیپ کیارا دارای بیشترین حساسیت در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها از نظر تنش خشکی بودند. دو ژنوتیپ فانتازیا و های سان در هر دو محیط نرمال و تنش از بیشترین پتانسیل عملکرد دانه و نیز عملکرد نسبتاً یکسان برخوردار بودند. این موضوع می‌تواند مبین وجود ژن‌های تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های نامبرده باشد؛ بنابراین می‌توان این ژنوتیپ‌ها را برای کشت در مناطقی که با محدودیت منابع آب روبرو هستند، پیشنهاد نمود.

فهرست منابع

۱. ارشدی، م،ج.، پارسا، م.، لکزیان، ا.، و کافی، م.، ۱۳۹۹. بررسی خصوصیات ریشه نخود (Cicer arietinum L.) تحت تیمارهای ریزوبیوم، میکوریزای آرباسکولار و شبه میکوریزای داخلی در شرایط خاک استریل و غیراستریل. تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک، دوره ۲، شماره ۲، صفحه‌های ۲۵۴-۲۴۱. doi: 10.22034/csrar.2021.268645.1080

۲. دربانی، س،پ.، مهرابی، ع،ا.، پورداد، س،س.، ملکی، ع.، و فرشادفر، م.، ۱۳۹۹. بررسی عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های آفتابگردان (Helianthus annuus L.) به تنش رطوبتی. تنش‌های محیطی در علوم زراعی، دوره ۱۳، شماره ۴، صفحه‌های ۱۰۷۶-۱۰۶۳.

۳. جامی، م،ق.، قلاوند، ا.، مدرس ثانوی، س،ع،م.، مختصی بیدگلی، ع.، باغبانی آرانی، ا.، و نامداری، ا.، ۱۳۹۸. واکنش صفات رویشی و کیفی دانه آفتابگردان به منابع مختلف نیتروژن (کود آلی و شیمیایی) و زئولیت تحت رژیم‌های مختلف آبیاری. تنش‌های محیطی در علوم زراعی، دوره ۱۲، شماره ۱، صفحه‌های ۱۵۲-۱۴۱.

۴. چراغی زاده، م.، شاهنظری، ع.، و ضیاءتباراحمدی، م،خ، ۱۳۹۷. بررسی اثر دور آبیاری با اعمال کم‌آبیاری بخشی ریشه و آبیاری کامل روی گیاه آفتابگردان. تحقیقات آب‌وخاک ایران، دوره ۹۴ ، شماره ۲، صفحه‌های ۴۵۱-۴۳۹.

۵. چیت بند، ع،ا.، قربانی، ر.، راشد محصل، م،ح.، عباسی، ر.، و نبی زاده، م.، ۱۳۹۴. ارزیابی دزهای مخلوط برخی از مهم‌ترین پهن‌برگ کش های اراضی چغندرقند در کنترل علف‌های هرز خرفه و تاجریزی سیاه. ششمین همایش علوم علف‌های هرز ایران، بیرجند، ۱۰ الی ۱۲ شهریور، مدیریت شیمیایی علف‌های هرز و علف‌کش‌ها، صفحه‌های ۸۸۴-۸۸۹.

۶. راضی، ه.، و آساد، م.، ۱۳۷۷. ارزیابی تغییرات صفات مهم زراعی و معیارهای سنجش تحمل به خشکی در ارقام آفتابگردان. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، شماره ۱، صفحه‌های ۴۳-۳۱.

۷. رشدی، م.، و رضادوست، س.، ۱۳۸۳. بررسی اثرات سطوح مختلف آبیاری بر خصوصیات کمی و کیفی ارقام آفتابگردان. مجله علوم کشاورزی ایران، شماره ۵، صفحه‌های ۱۲۵۰-۱۲۴۱.

۸. سی و سه مرده، ع.، رنجبر بلخکانلو، ح.، سهرابی، ی.، و بهرام نژاد، ب.، ۱۳۹۰. اثر تنش خشکی و محدودیت منبع و مخزن بر تبادلات گازی و عملکرد آفتابگردان (Helianthus annuus L.). علوم گیاهان زراعی ایران، دوره ۴۲، شماره ۳، صفحه‌های ۵۹۶-۵۸۵.

۹. صارمی راد، ع.، و مصطفوی، خ.، ۱۳۹۹. مطالعه تنوع فنوتیپی و ژنتیکی ژنوتیپ‌های آفتابگردان دانه روغنی (Helianthus annus L.) از نظر صفات اگرو-مورفولوژیکی تحت شرایط نرمال و تنش خشکی. تولیدات گیاهی، دوره ۴۳، شماره ۲، صفحه‌های ۲۲۷-۲۴۰. doi: 10.22055/ppd.2020.27588.1671

۱۰. کاظمی، م.، و عبدالحسینی، ص.، ۱۳۹۱. بهینه‌سازی استخراج روغن هسته خرما در مقیاس آزمایشگاهی و نیم صنعتی. نشریه پژوهش‌های کاربردی در شیمی، شماره ۳، صفحه‌های ۳۰-۲۵.

۱۱. گنجعلی، ع.، پرسا، ح.، و باقری، ع.ر.، ۱۳۹۰. واکنش عملکرد و خصوصیات مورفوفیزیولوژیک ژنوتیپ های زودرس نخود (Cicer arietinum L.) به تنش خشکی. نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران، جلد ۲، شماره ۱، صفحه ۸۰-۶۵.

۱۲. کریمی کاخکی، م.، و سپهری، ع.، ۱۳۸۸. اثر کم آبیاری در دوره زایشی بر کارآیی مصرف آب و تحمل خشکی ارقام جدید آفتابگردان. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب‌وخاک، سال ۱۳، شماره ۵، صفحه‌های ۱۷۶-۱۶۳.

۱۳. علی پور، ز.، محمودی، س.، گلوی، م.، و مهدیانی، ز.، ۱۳۹۳. بررسی اثر تراکم و رقم بر عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان (Helianthus annuus). دومین همایش ملی گیاهان دارویی و کشاورزی پایدار، همدان، https://civilica.com/doc/306079

۱۴. غفاری، م، ۱۳۸۶. ارزیابی و انتخاب لاین‌های اینبرد آفتابگردان در شرایط نرمال و تنش خشکی. مجله نهال و بذر، دوره ۲۳، شماره ۴، صفحه‌های ۶۴۹-۶۳۳.

۱۵. مظفری، ک.، عرشی، ی.، و زینالی خانقاه، ح.، ۱۳۷۵. بررسی اثر تنش خشکی در برخی از صفات مورفوفیزیولوژیکی و اجزای عملکرد آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.). مجله نهال و بذر، دوره ۱۲، شماره ۳، صفحه‌های ۳۳-۲۴.

۱۶. یوسفی، ع.ر.، بش، ز.، ۱۳۹۳. ارزیابی واکنش آفتابگردان به تداخل علف‌های هرز در شرایط کم آبیاری. پژوهش آب در کشاورزی (علوم خاک و آب)، دوره:۲۸، شماره:۲، صفحه‌های۴۳۱-۴۴۱.

17. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. FAO, Rome, Italy.
18. Connor, D.J., Sadras, V.O., 1992. Physiology of yield expression in sunflower. Field Crops Research, 30: 333–389.
19. Connor, D.J., Gómez-del-Campo, M., Rousseaux, M.C., Searles, P.S., 2014. Structure, management and productivity of hedgerow olive orchards: a review. Scientia Horticulturae, 169: 71–93.
20. Doorenbos, J., Kassam, A.H., 1979. Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 33. FAO, Rome, Italy.
21. Ehdaie, B., and Waines, J.G., 1993. Variation in water-use efficiency and its components in wheat: I. Well watered pot experiment. Crop Sciences, 33: 294–299.
22. English, M.J., Musick, J.T., Murty, V.V.N., 1990. Deficit irrigation. pp: 631-663. In: G.J. Hoffman, T.A. Howell, and K.H. Solomon (Eds.), Management of Farm Irrigation Systems. ASAE Monograph No. 9, American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph, MI.
23. FAO, 2009. CROPWAT 8.0 Model. FAO, Rome.

24. Fernández, J.E., 2017. Plant-based methods for irrigation scheduling of woody crops. Horticulturae, 3 (35): 37. https://doi.org/10.3390/horticulturae3020035.
25. Fernández, J.E., Diaz-Espejo, A., Romero, R., Hernandez-Santana, V., García, J.M., Padilla-Díaz, C.M., Cuevas, M.V., 2018. Precision irrigation in olive (Olea europaea L.) Tree Orchards. In: García-Tejero, I.F., Durán-Zuazo, V.H. (Eds.), Water Scarcity and Sustainable Agriculture in Semiarid Environment: Tools, Strategies and Challenges for Woody Crops. Elsevier, pp. 179–218 Chapter 9 ISBN: 978-0-12-813164-0.
26. Fernandez, J.E., Alcon, F., Diaz-Espejo, A., Hernandez-Santana, V., Cuevas, M.V., 2020. Water use indicators and economic analysis for on-farm irrigation decision: A case study of a super high-density olive tree orchard. Agricultural water management, 237: 106074. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106074
27. Fisher, R.A., and Maurer, R., 1978. Drought resistance in spring wheat, cultivar, I grain yield responses. Australian Journal of Agricultural Research, 29: 897–912.
28. Flénet, F., Bouniols, A., Saraiva, C., 1996. Sunflower response to a range of soil water contents. European Journal of Agronomy, 5: 161–167.
29. Ghaffari, M., Andarkhor, S.A., Homayonifar, M., Kalantar Ahmadi, S.A., Shariati, F., Jamali, H., Rahmanpour, S., 2020. Agronomic attributes and stability of exotic sunflower hybrids in Iran. Helia, 43(72):1-15. https://doi.org/10.1515/helia-2020-0004
30. Göksoy, A.T., Demir, A.O., Turan, Z.M., Dagustu, N., 2004. Responses of sunflower (Helianthus annuus L.) to full and limited irrigation at different growth stages. Field Crops Research, 87: 167–178.
31. Hashem, L., Amin Majumdar, M.N., Hossain, M. 1998. Drought stress on seed yield, yield attributes, growth, cell membrane stability and gas exchange of synthesized Brassica napus L. Crop Science, 180: 129-136.
32. Karam, F., Lahoud, R., Masaad, R., Kabalan, R., Breidi, J., Chalita, C., Rouphael, Y., 2007. Evapotranspiration, seed yield and water use efficiency of drip irrigated sunflower under full and deficit irrigation conditions. Agricultural water management, 90: 213–223.
33. Rauf, A., Maqsood, M., Ahmad, A., Gondal, A.S., 2012.Yield and oil content of sunflower (Helianthus annuus L.) as influenced by spacing and reduced irrigation condition. eSci Journal of Crop Production, 1:41-45.
34. Reddy, K.P., Devi, M.U., Ramulu, V., Mdhavi, M. 2020. Water productivity and economics of rabi sunflower as influenced by nitrogen and potassium fertigation schedules. Journal of Crop and Weed, 16(2): 244-248.
35. Richards, R.A., Lopez-Castaneda, C., Gomez-Macpherson, H., Condon, A.G. 1993. Improving the efficiency of water use by plant breeding and molecular biology. Irrigation Science, 14: 93–104.
36. Richards, R.A., G.J. Rebetzke, A.G., Condon, van Herwaarden, A.F. 2002. Breeding opportunities for increasing the efficiency of water use and crop yield in temperate cereals. Crop Science. 42: 111–121.
37. Rinaldi, M. 2001. Application of EPIC model for irrigation scheduling in southern Italy. Agricultural Water Management, 49: 185–196.
38. Rosielle, A.A. and J. Hamblin. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. Crop Sci. 21: 943–946.
39. Sadras, V.O., D.J. Connor and D.M. Whitfield. 1993. Yield, yield components and source-sink relationships in water stressed sunflower. Field Crops Research, 31: 27–39.
40. Soriano, M.A., Orgaz, F., Villalobos, F.J., Fereres, E., 2004. Efficiency of water use of early plantings of sunflower. European Journal of Agronomy, 21: 465–476.
41. Stone, L.R., A.J. Schlege, R.E. Gwin and A.H. Khan. 1996. Response of corn, grain sorghum, and sunflower to irrigation in the high plains of Kansas. Agricultural Water Management, 30: 251–259.
42. Viets, F.G. 1962. Fertilizer and the efficient use of water. Advances in Agronomy, 14: 223–264.
43. Shafiq, B.A., Nawaz, F., Majeed, S. et al. 2021. Sulfate-Based Fertilizers Regulate Nutrient Uptake, Photosynthetic Gas Exchange, and Enzymatic Antioxidants to Increase Sunflower

Growth and Yield Under Drought Stress. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 21: 2229–2241. https://doi.org/10.1007/s42729-021-00516-x

44. Wasaya, A., Abbas, T., Yasir, T.A. et al. 2021. Mitigating Drought Stress in Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Through Exogenous Application of β-Aminobutyric Acid. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 21: 936–948. https://doi.org/10.1007/s42729-021-00412-4

Study of Water Stress Effects on Water Use Efficiency and Drought Tolerance of New Sunflower Cultivars

M. Esmaeili, H. Madani[1], B. Majd Nassiry, S. Chavoshi, and N.A. Sajedi

Department of Agronomy, Khuzestan Science and Research Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran. **me3185@yahoo.com**
Associate Prof., Department of Agronomy, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran. **H-madani@iau.arak.ac.ir**
Assistant Prof., Agricultural Sciences Research Department, Esfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Esfahan, Iran. **N-S5959@yahoo.com**
Associate Prof., Department of Agronomy, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran. **Chavoshi.S@gmail.com**
Associate Prof., Department of Agronomy, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran. **N-sajedi@iau-arak.ac.ir**

Received: October 2022 and Accepted: February 2023

Abstract

To investigate sensitivity indicators of five new sunflower cultivars under water stress conditions in terms of drought tolerance (DT) and water use efficiency (WUE), a split plot experiment based on the randomized complete block design (RCBD) with three replications was conducted in 2020 in the Braun Area of Isfahan Province, Iran. The surface irrigation treatments included three levels based on evaporation from class A evaporation pan: 90 (no-stress), 120 (mild stress), and 150 mm (severe stress), as the main factor, and sunflower hybrids Chiara, Oscar, Fantasia, Hysun33, and Shams, as the secondary factors. Indicators such as economic yield (EY), biological yield (BY), WUE, harvest index (HI) and DT were analyzed. The highest rates of HI (43%), WPe (4854 $kg.ha^{-1}$), and BY (13457 $kg.ha^{-1}$) were obtained from no-stress treatment, followed by 120 mm treatment. Among the cultivars, Fantasia variety with BY equal to 12268 $kg.ha^{-1}$, economic yield (4081$kg.ha^{-1}$), and HI of 43% had the highest values. The highest WUE was obtained in the conditions of mild stress and severe stress equal to 0.85 and 0.72 $kg.m^{-3}$, respectively. Among sunflower cultivars, the highest WUE belonged to Hysun 33 with 1.04 $kg.m^{-3}$. Fantasia with 0.96 $kg.m^{-3}$and Shams with 0.84 $kg.m^{-3}$ ranked next. Also, the lowest values of WUE were related to Oscar and Chiara cultivars with values of 0.81 and 0.75 $kg.m^{-3}$, respectively. In total, deficit irrigation in the 120 mm treatment had the least negative effect on yield and harvest index, and it was suitable in terms of WUE. Finally, Fantasia showed the highest BY, DT, and HI with suitable WUE.

Keywords: Water use efficiency, Harvest index, Biological yield, Economic yield

[1] - Corresponding author: Department of Agronomy, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran.