

بررسی اثر کمبود آب بر عملکرد دانه و برخی صفات مورفوفیزیولوژیکی ارقام امیدبخش آفتابگردان

محمد مهدی مطیعی^۱، علیرضا سیروس مهر^{۲*}، عیسی خمیری^۳ و احمد نادری^۴

(۱) دانشجوی دکتری گروه زراعت، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

(۲) دانشیار گروه زراعت، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

(۳) استادیار گروه زراعت، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

(۴) دانشیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران.

*نویسنده مسئول: asirousmehr@uoz.ac.ir

این مقاله برگرفته از رساله دکتری می باشد.

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۱۷

چکیده

یکی از مهم ترین مدیریت های مزرعه برای دستیابی به شرایط مطلوب رشد جامعه گیاهی و عملکرد مناسب، تأمین آب کافی می باشد تا گیاه در مراحل حساس رشد دچار تنش رطوبتی نگردد. این مطالعه به صورت کرت های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک های کامل تصادفی با ۴ تکرار در مرکز تحقیقات کشاورزی اهواز طی دو سال ۹۶-۱۳۹۵ اجرا شد. رژیم آبیاری پس از تبخیر ۵۰، ۷۰ و ۹۰ میلی متر از تشت تبخیر کلاس A در کرت های اصلی و شش رقم پروگرس، فرخ، برزگر، رکورد، آذرگل و لاکومکا در کرت های فرعی قرار گرفتند. نتایج نشان داد ارتفاع بوته، قطر طبق، وزن هزاردانه، درصد روغن، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، رنجدانه های فتوسنتزی با افزایش رژیم آبیاری از ۵۰ به ۹۰ میلی متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A به طور معنی داری کاهش و صفات پرولین و مالون دی آلدئید افزایش یافتند. همچنین اثرات سه جانبه سال، رژیم آبیاری و رقم برای صفات وزن هزار دانه، عملکرد دانه و پرولین معنی دار به دست آمد. بیش ترین وزن هزاردانه (۸۰/۳ گرم) و عملکرد دانه (۲۵۲۹ کیلوگرم در هکتار) از ترکیب تیماری ۵۰ میلی متر تبخیر از تشت تبخیر و رقم رکورد طی دو سال آزمایش و بیش ترین غلظت پرولین (۲۰/۸ میلی گرم بر گرم تر برگ) در ترکیب تیماری ۹۰ میلی متر تبخیر از تشت تبخیر و رقم رکورد طی دو سال به دست آمد. لذا با توجه به نتایج برای منطقه اهواز رقم رکورد و آبیاری ۵۰ میلی متر از تشت تبخیر قابل توصیه می باشد.

واژه های کلیدی: پرولین، درصد روغن، رقم رکورد و مالون دی آلدئید.

مقدمه

آفتابگردان^۱ یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی جهت تولید روغن خوراکی در جهان است که در سطح وسیعی کشت می‌گردد. حدود هشت درصد از کل تولید روغن جهان به آفتابگردان اختصاص دارد. مزیت‌های نسبی آفتابگردان در مقایسه با برخی دیگر از گیاهان دانه روغنی طول دوره رشد کوتاه، رشد و نمو سریع، سازگاری با شرایط آب و هوایی و بی‌تفاوت بودن نسبت به طول روز است. در واقع، آفتابگردان یکی از دانه‌های روغنی عمده در جهان است که به دلیل مناسب بودن نیازهای زراعی، عملکرد بالای روغن، بالا بودن ارزش غذایی و نداشتن عوامل ضد تغذیه‌ای، سطح زیر کشت آن افزایش یافته است (Machekposhti *et al.*, 2017). نتایج تحقیقات Phiri و Zimba (۲۰۱۸) نشان داد که پارامترهای رشد از جمله بیوماس و عملکرد دانه با کاهش آبیاری اعمال شده کاهش می‌یابد. همچنین عملکرد و اجزای عملکرد به دلیل کاهش میزان آبیاری برای هر دوره آبیاری کاهش یافت. نتایج Buriri و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد که کم آبیاری و کاهش تعداد آبیاری باعث کاهش تعداد روز گلدهی (تا ۷۵ درصد) شد. در شرایط تنش خشکی با کاهش مقدار آب قابل دسترس، فتوسنتز کاهش یافته و متعاقب آن تولید ماده خشک گیاه نیز کاهش می‌یابد (Yang *et al.*, 2007). مقدار رنگیزه فتوسنتزی کلروفیل در گیاهان زنده یکی از فاکتورهای مهم حفظ ظرفیت فتوسنتزی است (Gusegnova *et al.*, 2011). دوام فتوسنتز و حفظ کلروفیل برگ تحت شرایط تنش از جمله شاخص‌های فیزیولوژیکی مقاومت به تنش است. تنش خشکی باعث تولید اکسیژن فعال همراه با کاهش و تجزیه کلروفیل می‌شود. در طی تنش، کلروفیل‌ها در کلروپلاست تجزیه و ساختارهای تیلاکوئید ناپدید می‌گردند (Sharifa and Muriefah, 2015). طاهری و همکاران (۱۳۹۷) نشان دادند که تنش آبی باعث کاهش معنی‌دار صفات مورد بررسی ارقام گلرنگ در مقایسه با عدم تنش کم‌آبی شد، به طوری که تنش شدید آبی باعث کاهش ارتفاع بوته (۱۵ درصد)، عملکرد دانه (۲۹ درصد)، تعداد دانه در طبق (۲۲ درصد)، وزن طبق (۱۷ درصد)، درصد روغن دانه (۴ درصد)، عملکرد روغن (۳۶ درصد) و کلروفیل کل (۳۲ درصد) نسبت به شرایط عدم تنش شد. انباشت پرولین در گیاهان تحت تنش به واسطه سنتز پرولین و غیر فعال شدن تخریب آن است. افزایش محتوای پرولین در شرایط تنش باعث محافظت غشای سلولی، پروتئین‌ها، آنزیم‌های سیتوپلاسمی و مهار گونه‌های فعال اکسیژن و حذف رادیکال‌های آزاد می‌گردد (Liang *et al.*, 2013). رادیکال‌های آزاد اکسیژن یا واکنش‌های پراکسیداسیون لیپیدها در غشای گیاه به طور انتخابی اسیدهای چرب غیراشباع را تجزیه کرده، باعث انباشت آلدئیدها و هیدروکربن‌ها می‌شود. برای سنجیدن میزان تنش وارد شده به سلول‌های گیاهی و پی بردن به دخیل بودن رادیکال‌های آزاد اکسیژن در اثر تنش، میزان مالون‌دی‌آلدئید (MDA) به عنوان فراوان‌ترین محصول حاصل از تجزیه لیپید آلدئیدی که نتیجه پراکسیداسیون

1- *Helianthus annuus* L.

لبپیدی است اندازه گیری می شود (Davey et al., 2005). با توجه محدودیت منابع آب از یک سو و افزایش نیاز به دانه های روغنی از سوی دیگر، تعیین یک الگوی بهینه آبیاری برای آفتابگردان در منطقه خوزستان چندان مورد توجه قرار نگرفته است. هدف از این تحقیق یافتن رژیم آبیاری برای آفتابگردان در شرایط آب و هوایی خوزستان و معرفی ارقام با عملکرد بالا و سازگار با شرایط آب و هوایی این استان می باشد.

مواد و روش ها

این تحقیق در مرکز تحقیقات کشاورزی اهواز طی دو سال ۹۶-۱۳۹۵ انجام شد. شهر اهواز از نظر تقسیمات اکولوژیکی جزء مناطق نیمه بیابانی (در قسمت جنوبی) و استپ گرم (در قسمت شمال شرق) محسوب می شود. مشخصات اقلیمی منطقه طرح در طی دو سال مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. قبل از اجرای آزمایش، از خاک در چهار عمق ۱۵-۰، ۳۰-۱۵، ۴۵-۳۰ و ۶۰-۴۵ سانتی متر نمونه گیری مرکب به عمل آمد و نمونه های مورد نظر در آزمایشگاه خاک شناسی مرکز تحقیقات کشاورزی اهواز مورد تجزیه قرار گرفت (جدول ۲).

جدول ۱: مشخصات اقلیمی منطقه طی دوره رشد در دو سال آزمایش

ماه	بارندگی (میلی متر)	میانگین دمای (درجه سانتی گراد)	رطوبت نسبی (درصد)	سرعت باد (کیلومتر بر ساعت)	بارندگی (میلی متر)	میانگین دمای (درجه سانتی گراد)	رطوبت نسبی (درصد)	سرعت باد (کیلومتر بر ساعت)
مرداد	۰	۳۷	۳۱/۶	۲۷/۵۳	۰	۳۹	۳۲	۲۶/۵۴
شهریور	۰/۱	۳۳/۵	۳۲/۶	۲۵/۲۳	۰	۳۴	۳۰	۲۶/۲۱
مهر	۸	۲۷/۵	۳۷	۲۲/۵۲	۷	۲۸	۳۶/۵	۲۱/۵۲
آبان	۳۶	۲۰	۵۰	۲۱/۹	۳۶	۲۱	۴۵	۲۱/۸

جدول ۲: خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در چهار عمق مورد بررسی

عمق (سانتی متر)	بافت	شن	رس	سیلت	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس/متر)	CHC (emol/gr)	کربن	نیترژن	پتاسیم	فسفر
			(درصد)	اسیدیته			(درصد)	(درصد)	(میلی گرم/کیلوگرم)	(میلی گرم/کیلوگرم)
۰-۱۵	لوم رسی	۱۶	۴۰	۴۴	۷/۳	۱/۸	۰/۷۸	۰/۷۶	۲۴۵	۱۱/۳۸
۱۵-۳۰	لوم رسی	۱۸	۳۸	۴۴	۷/۱	۱/۴	۰/۵۶	۰/۴۲	۲۲۴	۱۰/۲۱
۳۰-۴۵	لوم رسی	۱۱	۴۸	۴۱	۷/۲	۱/۲	۰/۳۸	۰/۲۶	۱۹۶	۸/۳
۴۵-۶۰	لوم رسی	۱۳	۵۳	۳۵	۷/۲	۳/۵	۰/۳۲	۰/۲۰	۱۷۲	۵/۳

ابتدا به عمق ۳۰ سانتی متر شخم و سپس عملیات دیسک زنی و تسطیح انجام گرفت. کودپاشی بر اساس نتایج تجزیه خاک (۱۵۰ کیلوگرم اوره و ۲۰۰ کیلوگرم فسفات پتاسیم در هکتار) بود. رژیم آبیاری پس از تبخیر ۵۰، ۷۰ و ۹۰ میلی متر

از تست تبخیر کلاس A به ترتیب به عنوان عدم تنش، تنش ملایم و شدید، در کرت‌های اصلی و شش رقم پروگرس (مبدا یوگسلاوی، آزاد گرده افشان و پرمحصول)، فرخ (زودرس)، برزگر (پرمحصول)، رکورد (تجاری، مبدا رومانی، دیررس، آزاد گرده افشان و پرمحصول)، آذرگل (درصدروغن بالا و پرمحصول) و لاکومکا (آبی و تابستانه) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. کرت فرعی شامل ۶ ردیف کاشت، فاصله ردیف‌ها ۶۰ سانتی‌متر و به صورت جوی پشته و فاصله بین بوته‌ها ۱۷ سانتی‌متر و با ترکم ۱۰ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد. کاشت در ۱۵ مرداد ماه انجام گرفت. بذر مورد استفاده از مرکز تحقیقات کشاورزی اهواز تهیه شد. اعمال تیمارهای آبیاری پس از استقرار کامل گیاهچه‌ها (دو هفته پس از کاشت در مرحله شش برگی) صورت گرفت. مراقبت‌های پس از کاشت شامل آبیاری، وجین (به صورت دستی) و سله‌شکنی به طور منظم انجام شد. طبق‌های واقع در ردیف‌های کاشت مورد نمونه‌برداری، پس از پایان دوران گرده‌افشانی توسط کاغذ روزنامه پوشانیده شد تا از خسارت گنجشک محفوظ بمانند. برداشت در تاریخ ۱۵ آبان و در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک (مرحله‌ای که طبق‌ها زرد و براکت‌ها قهوه‌ای شد) با حذف اثر حاشیه‌ای انجام شد. برای اندازه‌گیری رنگی‌های فتوسنتزی (کلروفیل a, b، کاروتنوئید و کلروفیل کل) از روش Rangana (۱۹۷۷) استفاده شد.

اندازه‌گیری غلظت مالون‌دی‌آلدهید برگ از روش Heath و Packer (۱۹۶۸) به دست آمد. پرولین از روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) و درصد روغن دانه نیز با دستگاه سوکسله (در دمای ۴۵ درجه سلسیوس و حلال دی اتیل اتر خشک) اندازه‌گیری شد (Huang et al., 2006). تجزیه و تحلیل داده‌ها با کمک نرم‌افزار MSTATC و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد. قبل از تجزیه واریانس داده‌ها، آزمون یکنواختی واریانس اشتباهات آزمایشی انجام شد و نتیجه نشان داد که اشتباهات آزمایشی همگن می‌باشد. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

با توجه به نتایج اثر ساده رژیم آبیاری و رقم، برهم‌کنش رژیم آبیاری و رقم در سطح احتمال یک درصد و برهم‌کنش سال و رقم در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار و بقیه اثرها برای ارتفاع بوته غیرمعنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین برهم‌کنش سال و رقم بر ارتفاع بوته نشان داد که بیش‌ترین ارتفاع بوته (۱۶۹/۳ سانتی‌متر) در سال اول و رقم پروگرس مشاهده شد و در سال دوم همین رقم در رتبه بعدی قرار گرفت که با رقم رکورد در سال اول باهم اختلاف معنی‌دار نداشت (جدول ۴). همچنین برهم‌کنش رژیم آبیاری و رقم نشان داد که بیش‌ترین ارتفاع گیاه در شرایط تیماری آبیاری بعد از ۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر (شاهد) و رقم پروگرس به دست آمد (جدول ۵). به‌طور کلی با افزایش سطح آبیاری (از ۵۰

به ۷۰ و ۹۰ میلی متر تبخیر) از ارتفاع بوته گیاه آفتابگردان کاسته می شود که با نتایج یدالهی و همکاران (۱۳۹۶) مطابقت دارد. طبق نتایج پژوهش های پیشین، از آنجا که در شرایط تنش خشکی فشار تورژسانس سلول های ساقه که در حال ازدیاد طول می باشند، کاهش می یابد و از طرفی تولید مواد اصلی فتوسنتز نیز کم می شود، لذا طول میانگره های ساقه و در نتیجه ارتفاع بوته تحت تأثیر خشکی کاهش می یابد (امام و نیک نژاد، ۱۳۹۰).

قطر طبق

نتایج تجزیه مرکب داده ها نشان داد برای این صفت برخی منابع تغییر معنی دار و برخی غیر معنی دار به دست آمد (جدول ۳). اثر متقابل سال و رقم بر میانگین قطر طبق نشان داد که بیش ترین قطر طبق از سال اول و رقم رکورد به دست آمد (جدول ۴). با توجه به نتایج برهم کنش سال و رژیم آبیاری بر میانگین قطر طبق، بیش ترین قطر طبق از ترکیب ۷۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر و سال اول به دست آمد (جدول ۶). در شرایط آبیاری محدود، کمبود رطوبت قابل دسترس خاک موجب اختلال در فتوسنتز و عدم رشد کافی به همراه بیشتر شدن رقابت برای تخصیص مواد فتوسنتزی بین اندام های گیاه و در نهایت کاهش وزن و میزان حجم تولیدی اندام زایشی (طبق) می شود (حمزهئی و همکاران، ۱۳۹۵). نتایج اثر اصلی تنش کم آبی در مرحله رشد رویشی، کاهش تعداد و اندازه برگ ها (کاهش فتوسنتز) است. ادامه تنش کم آبی، ریزش برگ های پایینی بوته را باعث می شود، با ادامه تنش کم آبی تعداد زیادی از گلچه ها و سلول های زایشی آسیب دیده و از حجم و تعداد آن ها کاسته می شود، در چنین شرایطی قطر طبق و تعداد دانه به طرز چشم گیری کاهش می یابد. در بررسی برهم کنش سال در رقم برای این صفت نشان داد که بیش ترین قطر طبق در سال های اول و دوم مربوط به رقم آذرگل می باشد (جدول ۷). با افزایش تنش از قطر طبق کاسته شده به طوری که بیش ترین مقدار آن در رقم آذرگل و سطح تنش ۵۰ میلی متر از تشتک تبخیر مشاهده شد. توضیح اینکه چنانچه تنش در مرحله زایشی رخ دهد کاهش قطر طبق به واسطه کاهش دوره پر شدن دانه ها و کاهش وزن دانه ها قابل توجیه است (یدالهی و همکاران، ۱۳۹۶).

وزن هزاردانه

نتایج تجزیه مرکب داده ها نشان داد که برخی اثرها معنی دار و برخی غیرمعنی دار برای این صفت به دست آمد (جدول ۳). اثرهای سه جانبه سال، رژیم آبیاری و رقم بر میانگین وزن هزاردانه نشان می دهد که بیش ترین مقدار وزن هزاردانه (۸۰/۳ گرم) از ترکیب تیماری ۵۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر و رقم رکورد طی سال اول به دست آمد (جدول ۷). کاهش وزن هزار دانه به دنبال افزایش سطح آبیاری نیز به دلیل کاهش جذب آب و املاح توسط گیاه و به دنبال آن کاهش ساخت و انتقال مواد فتوسنتزی و آسیمیلات ها به دانه ها بوده است که در این شرایط گیاه حتی با انتقال مجدد ذخایر اندوخته شده خود نیز نتوانسته کاهش آسیمیلات ناشی از تنش را جبران نماید و این وضعیت منجر به کاهش وزن دانه ها

گردیده است، نتایج فنائی و همکاران (۱۳۹۴) و باغبان خلیل‌آباد و همکاران (۱۳۹۸) بر روی گلرنگ مبنی بر کاهش وزن هزار دانه در اثر تنش خشکی، با نتایج این آزمایش مطابقت داشت.

جدول ۳: نتایج تجزیه مرکب برخی صفات مورد بررسی در گیاه آفتابگردان

میانگین مربعات							منابع تغییر
عملکرد بیولوژیک	عملکرد دانه	درصد روغن	وزن هزاردانه	قطر طبق	ارتفاع بوته	درجه آزادی	
۱۹۱۶۷۷/۴۷۸ ^{NS}	۱۱۹۷۲/۰۰۷ ^{NS}	۲۷/۸۲۶ ^{NS}	۴۷/۰۱۴*	۵۶/۵**	۳۱۳/۸۹۱ ^{NS}	۱	سال
۲۵۴۹۲۰/۲۰۲ ^{NS}	۲۰۸۹۲/۵۱۶*	۴/۷۰۷ ^{NS}	۳۵/۲۳۳*	۴/۸۸۲*	۹۱/۱۷ ^{NS}	۶	تکرار (سال)
۶۰۸۰۲۲۷۱/۶۹**	۲۴۲۲۴۹۱/۵۹**	۱۱۵۹/۷۵۹**	۳۴۳۸/۲۰۹**	۸/۷۳۱*	۵۴۷۴/۹۲۸**	۲	تنش
۳۶۵۷۶۰/۸۹۳ ^{NS}	۲۸۱۷/۵۹ ^{NS}	۱۷/۳۰۲ ^{NS}	۱۱/۹۹۸ ^{NS}	۱۵/۶۹۶**	۳/۵۴۳ ^{NS}	۲	سال×تنش
۲۴۱۴۰۳۰/۰۷	۶۷۱۰/۵۱۶	۷/۰۰۷ ^{NS}	۷/۹۵۸	۱/۳۶۶	۷۲/۲۴۱	۱۲	اشتباه آزمایشی
۲۲۹۱۶۱۲۶/۱۷۳**	۴۳۸۸۱۰۳/۰۷۴**	۱۵۰/۳۴۸**	۱۳۳۲/۶۲۱**	۲۰۶/۰۴۵**	۵۴۷۰/۲۷**	۵	رقم
۱۵۴۶۹۵۲/۳۴۱ ^{NS}	۲۶۲۲۶۸/۳۷۴**	۷/۶۶۹ ^{NS}	۲۵/۰۳۷**	۱۱/۲۲**	۳۴۶/۲۰۱*	۵	سال×رقم
۴۹۰۸۵۹۲/۴۷۱*	۷۱۷۵۵/۴۵۷**	۱۵/۹۵۸**	۶۹/۷۲۲**	۷/۵۰۱**	۸۰۶/۱۹۷**	۱۰	تنش×رقم
۴۳۴۶۷۸/۷۳۱ ^{NS}	۱۵۵۴۶/۳۰۶**	۷/۶۷۵ ^{NS}	۱۷/۲۵۴*	۲/۷۸۳ ^{NS}	۱۱۶/۱۰۵ ^{NS}	۱۰	سال×تنش×رقم
۲۲۶۴۶۵۵/۶۰۴	۳۶۸۱/۹۱۱	۵/۹۷۶	۷/۱۳	۱/۸۹۵	۱۴۱/۶۲۳	۹۰	اشتباه آزمایشی
۱۶/۷۹	۳/۴۳	۶/۱۲	۴/۲۹	۷/۰۴	۸/۵		ضریب تغییرات (/.)

NS، * و ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد می باشند.

جدول ۴: مقایسه میانگین اثرات متقابل سال در رقم برخی صفات مورد بررسی در گیاه آفتابگردان

ارتفاع بوته	قطر طبق	کلروفیل a	کلروفیل b	کاروتنوئید	کلروفیل کل	مالون دی آلدئید	
(سانتی متر)				(میلی گرم بر گرم وزن تر)		(میکرومول بر گرم وزن تر)	
۱۶۹/۳a	۱۷/۰۹gh	۷/۵۹۳e	۲/۸۳۱de	۲/۳۸e	۱۰/۲۷ e	۵/۹۱۸ bc	پروگرس
۱۱۷/۷f	۱۹/۵۹de	۷/۷۰۹e	۲/۷۴۸de	۲/۰۵۸ fg	۱۰/۵۲ e	۶/۲۱۱ ab	فرخ
۱۳۴/۹de	۲۰/۶۵cd	۹/۰۳۸d	۳/۶۴۶bc	۲/۶۳۱d	۱۲/۳۷ d	۵/۸۰۸ bc	برزگر
۱۵۳/۴b	۲۰/۸۳c	۱۴/۸۵a	۵/۱۴۷a	۵/۰۱۵a	۲۰/۳۲ a	۲/۸۴۹ f	رکورد
۱۳۵/۱de	۲۶a	۱۱/۰۹c	۳/۴۶۸c	۳/۲۲۳c	۱۴/۶۳ c	۳/۷۴۳ e	آذرگل
۱۳۶/۷d	۱۶/۹۸hi	۱۲/۱۸b	۴/۰۵۸b	۳/۷۹۶b	۱۶/۵۶ b	۳/۶۴۸ e	لاکومکا
۱۵۶/۱b	۱۶/۶۳hi	۹/۱۰۴d	۳/۱۳۲cd	۲/۶۳۷d	۱۲/۲۶ d	۴/۸۰۷ d	پروگرس
۱۲۲/۶f	۱۸/۷۷ef	۷/۸۰۴e	۲/۶۱۴de	۲/۲۶۹ef	۱۰/۵۹ e	۵/۵۹۴ c	فرخ
۱۲۵/۸ef	۱۸/۱۵fg	۶/۶۰۹f	۲/۴۴۳e	۱/۹۶۷g	۱۰/۲۷ e	۶/۴۴۹ a	برزگر
۱۴۸/۹bc	۲۱/۳۶c	۱۴/۸۴a	۵/۱۳۶a	۴/۹۸a	۲۰/۲۷ a	۲/۸۹۲ f	رکورد
۱۳۹/۲d	۲۲/۸b	۱۲/۱۶b	۴/۰۹۶b	۳/۸۴۳b	۱۶/۴۵ b	۳/۴۳۹ e	آذرگل
۱۳۹/۷cd	۱۵/۹۳i	۱۰/۸۳c	۳/۵۵۴bc	۳/۱۳۴c	۱۴/۴۴ c	۳/۷۹۲ e	لاکومکا

در هر ستون میانگین‌های با حروف مشترک در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ۵: مقایسه میانگین اثرات متقابل رژیم آبیاری در رقم برخی صفات مورد بررسی گیاه آفتابگردان

رژیم آبیاری	صفات	ارتفاع بوته	قطر طبق	درصد روغن	عملکرد بیولوژیک	کاروتنوئید	مالون دی آلدئید
		(سانتی متر)			(کیلوگرم در هکتار)	(میلی گرم بر گرم وزن تر)	(میکرومول بر گرم وزن تر)
۵۰ میلی متر تبخیر	پروگرس	۱۷۷/۳۱۳a	۱۶/۴۴f	۴۲/۰۳cde	۹۲۹۳ bc	۲/۸ f	۴/۳۵۲d
	فرخ	۱۳۶/۴ef	۱۸/۶۴e	۴۱/۹۳cde	۹۲۳۴ bc	۲/۳۲ g	۴/۵۸۱d
	برزگر	۱۴۵/۸de	۲۰/۳۵cd	۴۲/۳۷bc	۹۴۰۵ bc	۲/۴۹۷ g	۴/۷۱۱d
	رکورد	۱۵۸/۶bc	۲۲/۹۹b	۴۹/۹۲a	۱۲۸۱۰ a	۵/۹۷۷ a	۲/۴۶۵g
	آذرگل	۱۴۳/۲de	۲۵/۶a	۴۵/۰۹b	۹۷۰۴ bc	۳/۹۱۲ d	۳/۰۱۴ef
	لاکومکا	۱۴۴/۸de	۱۶/۳۳f	۴۴/۴۸b	۸۵۹۵ c	۳/۷۷۶ d	۳/۰۳۵ef
۷۰ میلی متر تبخیر	پروگرس	۱۶۵/۳b	۱۷/۰۴f	۳۷/۲۸f	۸۹۸۵ bc	۲/۳۵۳ g	۵/۴۱۵c
	فرخ	۱۰۲/۲i	۱۹/۲۵de	۴۰/۱۸e	۹۰۹۴ bc	۱/۹۴ h	۶/۱۵۹b
	برزگر	۱۱۶/۵h	۱۸/۴۹e	۴۰/۴۶e	۹۰۲۳ bc	۱/۹۳۳ h	۶/۳۹۱b
	رکورد	۱۵۰/۲cd	۲۰/۹۹c	۴۲/۹bcd	۱۰۳۴۰ b	۴/۷۶۲ b	۲/۸۳۶fg
	آذرگل	۱۲۱/۴gh	۲۲/۷۷b	۴۱/۹۹cde	۹۳۴۹ bc	۳/۴۶۳ e	۳/۴۶e
	لاکومکا	۱۲۲/۷gh	۱۶/۳۱f	۴۱/۰۶cde	۹۳۶۹ bc	۳/۳۳۶ e	۳/۴۶e
۹۰ میلی متر تبخیر	پروگرس	۱۴۵/۶de	۱۷/۱f	۳۲/۵۹g	۶۵۳۳ d	۲/۳۷۳ g	۶/۳۲۱b
	فرخ	۱۲۱/۸gh	۱۹/۶۵cde	۳۱/۷۶g	۶۶۴۰ d	۲/۲۳۱ gh	۶/۹۶۹a
	برزگر	۱۲۸/۸fg	۱۹/۳۶de	۳۵/۳۵f	۶۵۴۸ d	۲/۴۶۶ g	۷/۲۸۴a
	رکورد	۱۴۴/۶de	۱۹/۳۱de	۴۰/۵۱de	۹۲۹۰ bc	۴/۲۵۴ c	۳/۳۱۱ef
	آذرگل	۱۴۶/۸de	۲۲/۸۳b	۳۲/۷۱g	۸۴۸۹ c	۳/۲۲۵ e	۴/۳d
	لاکومکا	۱۴۷/۲cde	۱۶/۷۱f	۳۵/۳۶f	۸۶۷۵ c	۳/۲۸۳ e	۴/۶۶۵d

در هر ستون میانگین‌های با حروف مشترک در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ۶: مقایسه میانگین اثر متقابل سال و رژیم آبیاری بر قطر طبق (سانتی‌متر) در گیاه آفتابگردان

سال	تنش		
	۵۰ میلی لیتر تبخیر از	۷۰ میلی لیتر تبخیر از تشتک	۹۰ میلی لیتر تبخیر از تشتک
اول	۲۰/۰۴ a	۲۰/۳۸ a	۲۰/۱۵ a
دوم	۲۰/۰۸ a	۱۸/۲۴ b	۱۸/۵ b

در هر ستون میانگین‌های با حروف مشترک در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

درصد روغن

نتایج تجزیه مرکب داده‌ها برای این صفت در جدول ۳ آمده است. با توجه به جدول ۵ با افزایش سطوح رژیم آبیاری از درصد روغن کاسته می‌شود، به‌طوری که بیش‌ترین مقدار آن (۴۹/۹۲ درصد) از ترکیب رقم رکورد و سطح آبیاری ۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر به‌دست آمد و کم‌ترین آن (۳۱/۷۶ درصد) از سطح آبیاری ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر (تنش شدید) رقم فرخ به‌دست آمد. می‌توان بیان کرد که درصد روغن به رقم و رژیم آبیاری واکنش نشان داد. Saleh و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند افزایش تنش خشکی در گیاه آفتابگردان باعث کاهش درصد روغن در این گیاه می‌شود.

عملکرد دانه

با توجه به نتایج جدول ۳ اثرات سه جانبه سال، رژیم آبیاری و رقم و برخی اثرات دیگر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. به‌طور کلی با افزایش سطوح تبخیر از تشتک از عملکرد دانه کاسته شد به‌طوری که بیش‌ترین مقدار آن (۲۵۲۹ کیلوگرم) از ترکیب تیماری سال اول، رقم رکورد و سطح تنش ۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر به‌دست آمد (جدول ۷). در مجموع رقم رکورد در دو سال آزمایش و رژیم آبیاری ۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر، عملکرد بیشتری تولید نمود. به‌نظر می‌رسد یکی از دلایل کاهش عملکرد دانه در تیمارهای سطح آبیاری ۷۰ و ۹۰ میلی‌متر تبخیر، کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی، کاهش جذب عناصر غذایی و کاهش وزن دانه بود. کاهش عملکرد دانه در نتیجه تنش خشکی و افزایش فواصل آبیاری توسط Ohashi و همکاران (۲۰۰۹) نیز گزارش شده است. در این گزارش دلایل عمده کاهش عملکرد گیاهان در شرایط تنش‌های کم‌آبی، کاهش طول دوره رشد، کاهش سطح اندام اصلی فتوسنتز کننده (برگ)، کاهش تعداد گل‌ها (اندام‌های اصلی زایشی) و وزن دانه‌ها (به دلیل کاهش انتقال اسمیلات و فتوسنتز جاری) عنوان شده است. تحقیقات Banwari و همکاران (۲۰۱۹) نشان داد که تنش خشکی در مرحله رویشی به‌طور معنی‌داری باعث کاهش انتقال مجدد ماده خشک و فتوسنتز می‌شود که نهایتاً منجر به کاهش عملکرد دانه در گیاه برنج می‌گردد. همچنین نتایج تحقیقات یدالهی و همکاران (۱۳۹۶) نشان داد که اعمال تنش خشکی باعث کاهش عملکرد دانه گردید.

عملکرد بیولوژیک

نتایج تجزیه مرکب داده ها در جدول ۳ آمده است. با افزایش میزان تبخیر از تشتک از مقدار عملکرد بیولوژیک در ارقام مورد بررسی کاسته شد. بیشترین عملکرد (۱۲۸۱۰ کیلوگرم در هکتار) از سطح ۵۰ میلی لیتر تبخیر از تشتک تبخیر و رقم رکورد به دست آمد (جدول ۵). با توجه به اینکه ارقام آفتابگردان از نظر طول مراحل مختلف فنولوژیکی تفاوت نشان می دهند و از ویژگی رشد و حجم بوته متفاوتی برخوردار هستند، لذا واکنش رشدی آنها یکسان نیست، که با نتایج رشدی و همکاران (۱۳۹۳) همخوانی داشت، به نظر می رسد رقم رکورد به دلیل ارتفاع بوته و طول دوره رشد طولانی تر، عملکرد بیولوژیک بیشتری دارد (یدالهی و همکاران، ۱۳۹۶). در شرایط تنش خشکی پیری زودرس اندامهای فتوسنتز کننده و همچنین کاهش فتوسنتز جاری گیاه باعث کاهش کل زیست توده تولیدی می گردد. سایر پژوهشگران نیز نتایج مشابه مبنی بر کاهش معنی دار عملکرد بیولوژیک در اثر تنش خشکی گزارش کردند که این کاهش احتمالا به دلیل کاهش شاخص سطح برگ و کاهش سرعت رشد محصول و سرانجام کاهش تجمع ماده خشک در گیاه می شود (کریمزاده و همکاران، ۱۳۹۱؛ Pireivatlou et al., 2010).

رنگدانه های فتوسنتزی

نتایج تجزیه مرکب داده ها نشان داد که برخی اثرات ساده و متقابل معنی دار و برخی از اثرهای ساده، دوگانه و سه جانبه غیرمعنی دار بود (جدول ۸). با توجه به جدول مقایسه میانگین برهم کنش سال در رقم برای رنگدانه های فتوسنتزی در گیاه آفتابگردان بیشترین مقدار کلروفیل a، b، کاروتنوئید و کل به ترتیب ۱۴/۸۵، ۵/۱۴، ۵/۰۱۵ و ۲۰/۳۲ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ از رقم رکورد در طی سال اول به دست آمد (جدول ۴). همچنین مقایسه میانگین برهم کنش رژیم آبیاری و رقم نشان داد که بیشترین مقدار کاروتنوئید (۵/۹۷۷ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ) از شرایط ۵۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر (شاهد) و رقم رکورد به دست آمد (جدول ۵). با افزایش سطح تبخیر از تشتک در ارقام مختلف از مقدار کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید گیاه آفتابگردان کاسته می شود که با تحقیقات مجدم (۱۳۹۵) و فرخی و همکاران (۱۳۹۸) مطابقت دارد. کاهش فتوسنتز تحت اثر افزایش دور آبیاری به دلیل اختلال در فرآیندهای شیمیایی مسیر فتوسنتزی است. هرچند فتوسیستم II تا حد زیادی نسبت به خشکی متحمل است، اما تنش خشکی می تواند مانع انتقال الکترون در این نظام شود، از این رو از کارایی فتوسنتز کاسته می شود (لشکری، ۱۳۹۲). علاوه بر این در شرایط تنش، کمبود آب باعث تجزیه کلروفیل گردیده و گلوتامات که پیش ماده کلروفیل و پرولین است در اثر این تنش به پرولین تبدیل شده و در نتیجه از محتوی کلروفیل کاسته می گردد (Lawlor and Cornic, 2002). Manivannan و همکاران (۲۰۱۵) ضمن بررسی تاثیر تنش خشکی بر رشد و تغییرات بیوشیمیایی پنج رقم آفتابگردان مشاهده نمودند که مقدار کلروفیل در واحد

سطح برگ گیاهان در معرض تنش افزایش و کل محتوای کلروفیل این گیاهان در مقایسه با گیاهان شاهد کاهش یافت. یکی از دلایل کاهش میزان کلروفیل این است تنش خشکی تولید گونه‌های فعال اکسیژن از قبیل O_2^- و H_2O_2 را افزایش داده که این امر منجر به پراکسیداسیون لیپدها و در نهایت تخریب کلروفیل می‌شود (Tatrai et al., 2016). کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش خشکی ممکن است بدلیل ناپایداری کمپلکس‌های پروتئینی و تخریب کلروفیل به-وسیله افزایش فعالیت آنزیم کلروفیل‌لاز باشد (El-Tayeb, 2005). تاثیرپذیری میزان کلروفیل در گیاهان تحت تنش خشکی بسته به شدت، مدت و مرحله رشدی گیاه متفاوت است. در واقع کاهش کلروفیل a بر اثر تنش تنش خشکی مربوط به افزایش تولید رادیکال‌های اکسیژن در سلول می‌شود که این رادیکال‌ها سبب پراکسیداسیون و در نتیجه تجزیه کلروفیل a می‌شوند (Sadeghipour and Aghaei, 2012).

پرولین

با توجه به نتایج به‌جز اثر سال و برهم‌کنش سال و رژیم آبیاری سایر اثرهای بر پرولین معنی‌دار شدند (جدول ۸). به-طور کلی با افزایش سطوح تبخیر از تشتک تبخیر مقدار پرولین افزایش می‌یابد و ارقام مورد بررسی عکس عمل‌های متفاوت به مقدار این ماده در طی دو سال زراعی داشتند. بیش‌ترین میانگین پرولین (۲۰/۸ میلی گرم بر گرم وزن تر) در شرایط ۹۰ میلیمتر تبخیر از تشتک تبخیر (تنش شدید) و رقم رکورد طی سال اول به‌دست آمد (جدول ۷). یکی از مهم-ترین موادی که تجمع آن‌ها در یاخته‌های گیاهی تحت تنش خشکی افزایش می‌یابد می‌توان به آمینواسید آزاد پرولین اشاره کرد که تحت شرایط تنش کم‌آبی، مقدار آن افزایش یافته و در حفظ پتانسیل اسمزی نقش دارد (Zafari et al., 2012; Per et al., 2017). توزیع پرولین در درون و بیرون سلول نقش مهمی در مقاومت اسمزی بافت‌های مختلف نسبت به تنش‌ها ایفا می‌کند. در شرایط کمبود آب اغلب بیوسنتز پرولین از گلوتامیک اسید در سیتوزول و کلروپلاست سلول‌های گیاهی اتفاق می‌افتد، بنابراین پرولین در سیتوزول تجمع یافته تا توزیع آب به درون سلول انجام شود. در شرایط نرمال پرولین به اندامک‌ها به ویژه واکوئل و پلازمید انتقال می‌یابد و در صورتی که گیاه تحت شرایط تنش خشکی قرار گیرد پرولین از واکوئل به سیتوزول انتقال می‌یابد (Lehmann et al., 2010). گیاهانی که در تحت تنش خشکی قرار می‌گیرند مقدار زیادی از منابع کربن و نیتروژن خود را صرف سنتز تنظیم‌کننده‌های اسمزی از قبیل پرولین می‌کنند تا بتوانند فشار تورژسانس سلول‌های خود را حفظ نمایند (Aranjuelo et al., 2011).

جدول ۷: مقایسه میانگین اثرات سه جانبه سال، رژیم آبیاری و رقم برخی صفات مورد بررسی آفتابگردان

وزن ۱۰۰۰ دانه		عملکرد دانه		پرولین	
(گرم)		(کیلوگرم در هکتار)		(میلی گرم بر گرم وزن تر)	
پر وگرس	۵۷/۷۵ijk	۱۵۷۵jk	۳/۵۴۵q	۵۰ میلی متر تبخیر	
فرخ	۵۸/۷۵hijk	۱۶۴۶j	۴/۷۳۵p		
برزگر	۷۳/۰۴c	۱۹۵۸ghi	۶/۱۱۰		
رکورد	۸۰/۳a	۲۵۲۹a	۹/۳۵f		
آذرگل	۷۴/۳۹bc	۲۱۵۳cd	۶/۰۷۰		
لاکومکا	۷۴/۵۷bc	۲۳۰۶b	۷/۰۴۸klmno	۷۰ میلی متر تبخیر	
پر وگرس	۵۹/۲۱ghij	۱۱۸۳no	۴/۹۳۲p		
فرخ	۵۶/۷۶jk	۱۳۲۶m	۶/۴۸۸mno		
برزگر	۶۰/۶۹fghi	۱۴۹۰l	۷/۴۳۸ijklm		
رکورد	۷۸/۵۱a	۲۳۴۸b	۱۱/۵۶e		
آذرگل	۶۸/۲۲d	۱۹۹۰gh	۸/۱۲۵ghij	۹۰ میلی متر تبخیر	
لاکومکا	۶۵/۹de	۲۱۱۸de	۸hijk		
پر وگرس	۴۵/۶pq	۱۰۵۱q	۷/۴۹ijklm		
فرخ	۴۳/۸۳q	۱۰۸۷pq	۸/۱۲ghij		
برزگر	۵۲lmn	۱۱۶۹op	۷/۶۴۸hijkl		
رکورد	۶۲/۸۳efg	۲۱۳۲cd	۲۰/۸a	۵۰ میلی متر تبخیر	
آذرگل	۵۹/۷ghij	۱۹۴۸ghi	۱۴/۱۹c		
لاکومکا	۵۸/۲۸ijk	۲۰۳۳efg	۱۵/۴۹b		
پر وگرس	۵۸/۰۸ijk	۱۹۷۱ghi	۶/۵۱۵mno		
فرخ	۵۹/۱۵ghij	۱۶۵۸j	۵p		
برزگر	۷۳/۵۳bc	۱۵۰۶kl	۳/۴۷۵q	۵۰ میلی متر تبخیر	
رکورد	۸۰/۲۲a	۲۵۲۷a	۹/۰۷۵fg		
آذرگل	۷۳/۴۵bc	۲۲۰۵c	۷/۲۷۵jklmn		
لاکومکا	۷۳/۸۸bc	۲۱۲۷cd	۶/۲۲۵no		
پر وگرس	۵۶/۹jk	۱۵۱۲kl	۶/۹۲۵lmno	۷۰ میلی متر تبخیر	
فرخ	۵۵kl	۱۳۰۲m	۶/۵۲۵mno		
برزگر	۵۸/۶hijk	۱۱۵۸op	۴/۹۶۵p		
رکورد	۷۶/۹۵ab	۲۲۹۹b	۱۱/۶e		
آذرگل	۶۳/۹۵ef	۲۰۹۰de	۸/۴۲۵fghi		
لاکومکا	۶۵/۴۷de	۱۹۴۲hi	۷/۷۵hijkl	۹۰ میلی متر تبخیر	
پر وگرس	۴۸/۸۲nop	۱۲۶۲mn	۸/۵۷۵fgh		
فرخ	۵۰/۲۲mno	۱۱۲۱opq	۷/۴۷۵ijklm		
برزگر	۴۷/۷۵op	۱۰۵۱q	۷/۰۲klmno		
رکورد	۶۲/۳efgh	۲۰۵۶def	۲۰/۵۱a		
آذرگل	۵۲/۷۵lm	۲۰۰۲fgh	۱۴/۶۵bc	۵۰ میلی متر تبخیر	
لاکومکا	۵۲/۷۲lm	۱۸۹۵i	۱۳/۱d		

در هر ستون میانگین‌های با حروف مشترک در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

مالون‌دی‌آلدئید

نتایج تجزیه مرکب داده‌ها در جدول ۸ آمده است. بیش‌ترین میانگین غلظت مالون‌دی‌آلدئید (۶/۴۴۹) میکرومول بر

گرم وزن تر) از رقم برزگر و در سال دوم به‌دست آمد. کمترین غلظت مالون‌دی‌آلدئید در سال اول و دوم در رقم رکورد

مشاهده شد (جدول ۴). همچنین مقایسه میانگین اثرات متقابل رژیم آبیاری و رقم نشان داد که بیشترین غلظت مالون دی‌آلدئید (۷/۲۸۴ میکرومول بر گرم وزن تر) از ترکیب تیماری رقم برزگر و شرایط ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر به- دست آمد (جدول ۵). با افزایش سطح تبخیر مقدار غلظت مالون دی‌آلدئید افزایش می‌یابد اما این افزایش در ارقام رکورد، آذرگل و لاکومکا با شدت کمتری اتفاق می‌افتد. پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی که نتیجه اثرات رادیکال‌های آزاد هستند، نشان دهنده آسیب تنش در سطح سلولی می‌باشد. بنابراین سطح MDA حاصل از پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی، اغلب به عنوان یک شاخص برای آسیب اکسیداتیو به کار می‌رود (Antoniou *et al.*, 2017). افزایش مالون دی‌آلدئید نشان دهنده این است که تحت تنش خشکی ساختار غشاء آسیب دیده و لیپیدهای آن آزاد شده، از طرفی با وجود ترکیبات ROS که تحت تنش زیاد می‌شود این لیپیدها پراکسیده شده و مالون دی‌آلدئید تولید می‌شود. وجود سیستم آنتی اکسیدان توانمند باعث تقلیل ترکیبات ROS شده و به نوعی می‌تواند باعث کاهش پراکسیداسیون لیپیدی شود (Zafari *et al.*, 2012). بررسی محققان نشان داده است که در شرایط تنش خشکی، میزان پراکسیداسیون لیپیدها افزایش یافته و در نتیجه میزان مالون دی‌آلدئید در سلول‌های تحت تنش افزایش می‌یابد (Gunes *et al.*, 2006). پایین بودن مقدار مالون دی‌آلدئید در رقم رکورد نسبت به ارقام فرخ و برزگر نشان دهنده توان دفاع آنتی‌اکسیدانتی آنزیمی بالای این رقم در برابر تنش اکسیداتیو و کاهش میزان تخریب اکسیداتیو غشاءهای زیستی در بود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که رقم رکورد در مقایسه با ارقام فرخ و برزگر از میزان تحمل بالایی در برابر تنش خشکی برخوردار است که با تحقیقات مظفری و همکاران (۱۳۹۵) مطابقت دارد.

جدول ۸: نتایج تجزیه مرکب برخی صفات مورد بررسی در گیاه آفتابگردان

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					مالون دی‌آلدئید
		کلروفیل a	کلروفیل b	کاروتنوئید	کلروفیل کل	پروлін	
سال	۱	۱/۳۲۶ ^{NS}	۰/۸۴۹ ^{NS}	۰/۰۷۵ ^{NS}	۰/۱۵۱ ^{NS}	۰/۶۱۵ ^{NS}	۱/۴۵۱ [*]
سال (تکرار)	۶	۲/۴۸۶ ^{**}	۲/۶۴۳ [*]	۰/۶۴۴ [*]	۸/۵۳۸ [*]	۱۴/۱۶۹ ^{**}	۰/۵۸۳ ^{NS}
رژیم آبیاری	۲	۱۰۷/۱۰۳ ^{**}	۳/۶۲۵ [*]	۵/۳۵۳ ^{**}	۱۵۳/۲۲۵ ^{**}	۴۵۲/۲۵۴ ^{**}	۳۸/۱۲۱ ^{**}
سال*رژیم آبیاری	۲	۰/۰۷۲ ^{NS}	۰/۰۹۳ ^{NS}	۰/۱ ^{NS}	۰/۰۹۴ ^{NS}	۱/۰۱۶ ^{NS}	۰/۵۵۲ ^{NS}
اشتباه آزمایشی	۱۲	۰/۴۴	۰/۷۷۳	۰/۱۴۹	۱/۸۶۶	۰/۹۶۸	۰/۲۲۴
رقم	۵	۱۹۳/۳۷۹ ^{**}	۱۹/۱۱۹ ^{**}	۲۷/۶۸۶ ^{**}	۳۳۹/۲۴۴ ^{**}	۲۱۸/۸۰۷ ^{**}	۴۵/۱۰۹ ^{**}
سال*رقم	۵	۱۳/۱۵ ^{**}	۲/۴۷۲ ^{**}	۱/۶۳۶ ^{**}	۱۹/۳۳۲ ^{**}	۱۱/۷۷۶ ^{**}	۲/۲۷۸ ^{**}
رژیم آبیاری*رقم	۱۰	۱/۰۵۴ ^{NS}	۰/۴۳۵ ^{NS}	۰/۸۲۱ ^{**}	۱/۸۵۶ ^{NS}	۳۱/۹ ^{**}	۱/۱۳۳ ^{**}
سال*رژیم آبیاری*رقم	۱۰	۰/۲۴۶ ^{NS}	۰/۴۰۶ ^{NS}	۰/۱۶۱ ^{NS}	۰/۷۱۵ ^{NS}	۱/۱۹۶ [*]	۰/۲۱۶ ^{NS}
اشتباه آزمایشی	۹۰	۰/۶۶۶	۰/۴۷۶	۰/۰۹۳	۱/۴۵۱	۰/۵۷۲	۰/۲۴۸
ضریب تغییرات (%)	-	۷/۹۱	۱۹/۳۲	۹/۶۴	۸/۵۶	۸/۷۱	۱۰/۸۳

NS، * و ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد می‌باشند.

نتیجه‌گیری

رژیم آبیاری ۷۰ و ۹۰ میلی‌متر تبخیر سبب آثار منفی بر صفات ارتفاع بوته، قطر طبق، درصد روغن، وزن هزار دانه، رنگدانه‌های فتوسنتزی گردید که منجر به کاهش عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک می‌شود. در بین شش رقم مورد مطالعه، رقم رکورد با بالاترین میانگین درصد روغن، عملکرد دانه، وزن هزار دانه و عملکرد بیولوژیک تحت شرایط عدم تنش آبی، رقم مناسب می‌باشد. گیاه آفتابگردان به هنگام مواجه با تنش خشکی، مکانیزم تنظیم اسمزی را با افزایش تجمع پرولین و قندهای محلول به کار گرفته و از این طریق شرایط کمبود آب را تا حدی تحمل می‌کند.

سپاسگزاری

بخشی از هزینه اجرای این آزمایش از محل اعتبار پژوهانه شماره UOZ-GR-38-9718 معاونت محترم پژوهشی دانشگاه زابل تامین شده است.

منابع

- امام، ی. و نیک‌نژاد، و. ۱۳۹۰. مقدمه‌ای بر فیزیولوژی عملکرد گیاهان زراعی. انتشارات دانشگاه شیراز. ۵۹۴ ص.
- باغبان خلیل‌آباد، ص.، خزاعی، ح.ر. و کافی، م. ۱۳۹۸. اثر کم آبیاری بر عملکرد، اجزای عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیک ارقام مختلف گندم نان و گندم دوروم. نشریه پژوهش‌های کاربردی زراعی. ۳۲(۱): ۱-۱۲.
- حمزه‌ئی، ج.، نجفی، ح. و بابایی، م. ۱۳۹۵. اثر آبیاری و نیتروژن بر پارامترهای زراعی، عملکرد دانه، کیفیت دانه و کارایی زراعی نیتروژن در آفتابگردان. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. ۱۴(۴): ۶۹۸-۶۸۶.
- طاهری، ش.، غلامی، ا.، عباس‌دخت، ح. و مکاریان، ح. ۱۳۹۷. پاسخ عملکرد، اجزای عملکرد و کیفیت دانه ارقام گلرنگ به تنش کم‌آبی و پرایمینگ بذر. نشریه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۱۰(۳۸): ۵۸-۳۹.
- فرخی، غ.، معاونی، پ.، مظفری، ح.، مجیدی رهروان، ا. و ثانی، ب. ۱۳۹۸. بررسی قطع آبیاری در دوره‌های مختلف آبیاری بر عملکرد و شاخص‌های فیزیولوژیک چهار رقم ذرت. نشریه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۱۱(۴۳): ۴۵-۲۵.
- فنائی، ح.ر.، کیخا، ه. و پیری، ع. ۱۳۹۴. اثر پرایمینگ بذر بر عملکرد دانه و روغن گلرنگ تحت شرایط کم‌آبیاری. نشریه علوم و تحقیقات بذر ایران. ۲(۲): ۵۹-۴۹.

- کریمزاده، ه.، امام، ی. و موری، س. ۱۳۹۱. تاثیر تنش خشکی آخر فصل بر عملکرد، اجزای عملکرد و دمای سایه‌انداز گیاهی ارقام گندم نان. نشریه فرآیند و کارکرد گیاهی. ۱(۱): ۳۸-۵۶.
- لشکری، ف. ۱۳۹۲. تأثیر پلیمر سوپر جاذب، پتاسیم و کود دامی بر خصوصیات کمی و کیفی گیاه دارویی کارلا در دوره‌های مختلف آبیاری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد زراعت. دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل. ۱۱۲ ص.
- مجدم، م. ۱۳۹۵. تأثیر تنش خشکی بر خصوصیات فیزیولوژیکی و عملکرد دانه آفتابگردان در سطوح مختلف نیتروژن. نشریه تولید گیاهان زراعی. ۹(۴): ۱۳۶-۱۲۱.
- مظفری، ا.، حبیبی، د.، اصغرزاده، ا. و مشهدی اکبر بوجار، م. ۱۳۹۵. بررسی تحمل به تنش خشکی دو رقم گندم تلقیح شده با رایزوباکتری‌های محرک رشد گیاه تحت شرایط گلخانه. نشریه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۸(۳۱): ۳۹-۲۱.
- یدالهی، پ.، اصغری پور، م. ر.، مروانه، ه.، خیری، ن. و امیری، ا. ۱۳۹۶. اثر تنش خشکی بر عملکرد دانه و روغن دو رقم آفتابگردان. نشریه تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک. ۱(۱): ۶۵-۷۶.

Antoniou, C., Chatzimichail, G., Xenofontos, R., Pavlou, J.J., Panagiotou, E., Christou, A. and Fotopoulos, V. 2017. Melatonin systemically ameliorates drought stress induced damage in *Medicago sativa* plants by modulating nitro oxidative homeostasis and proline metabolism. *Journal of Pineal Research*. 62(4): 53-68.

Aranjuelo, I., Molero, G., Erice, G., Christophe Avice, J. and Nogues, S. 2011. Plant physiology and proteomics reveals the leaf response to drought in alfalfa (*Medicago sativa* L.). *The Journal of Experimental Botany*. 62:111-123.

Banwari, L., Priyanka, G., Amaresh, K. Nayak, S., Maharana, Rahul, T., Mohammad S. and Mirza, J. 2019. Tolerant varieties and exogenous application of nutrients can effectively manage drought stress in rice. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 66: 13-32.

Bates, L. S., Waldren, S. and Teare, I. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant Soil*. 39(4): 205-207.

Buriro, M., Sanjrani, A.S., Chachar, Q.I., Chachar, N.A. and Chach, S. 2015. Effect of water stress on growth and yield of sunflower. *Journal of Agricultural Technology*. 11(7): 1547-1563.

Davey, M., Stals, E., Panis, B., Keulemans, J. and Swennen, R. 2005. High throughput determination of malondialdehyde in plant tissues. *Analytical Biochemistry*. 347(2): 201-207.

El-Tayeb, M. 2005. Response of barley gains to the interactive effect of salinity and salicylic acid. *Plant Growth Regulation*. 45: 215-225.

Gunes, A., Cicek, N., Inal, A., Alpaslan, M., Eraslan, F., Guneri E. and Guzelordu, T. 2006. Genotypic response of chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars to drought stress implemented at pre-and post anthesis stages and its relations with nutrient uptake and efficiency. *Journal of Plant Soil Environment*. 52: 868-876.

Gusegnova, I., Suleymanov S. and Aliyev J. 2011. Protein composition and native state of pigments of thylakoid membrane of Wheat genotypes differently tolerant to water stress. *Journal of Biochemistry Research*. 71: 223-228.

Heath, R.L. and Packer, I. 1968. Photoperoxidant in isolated chloroplast. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 125:189-198.

Huang, Z., Wang, B. and Crenshaw, A.A. 2006. A simple method for the analysis of trans fatty acid with GC-MS and ATTM-Silar-90 capillary column. *Food Chemistry*. 98: 593-598.

Lawlor, D.W. and Cornic, G. 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant, Cell and Environment*. 25: 275-294.

Lehmann, S., Funck, D., Szabados, L. and Rentsch, D. 2010. Proline metabolism and transport in plant development. *Amino Acids*. 39: 949-962.

Liang, X., Zhang, L., Natarajan, S.K. and Becker, D.F. 2013. Proline Mechanisms of Stress Survival. *Antioxid Redox Signal*. 19 (9): 998-1011.

Machekposhti, M.F., Shahnazari, A., Ahmadi, M.Z., Aghajani, G. and Ritzema, H. 2017. Effect of irrigation with sea water on soil salinity and yield of oleic sunflower. *Agricultural Water Management*. 188: 69-78.

Manivannan, P., Jaleel, C.A., Sankar, B., Kishorekumer, A., Somasundaram, R., Lakshmanan, G.M.A. and Panneerselvam, R. 2015. Growth, biochemical and Surfaces, modification and proline metabolism in (*Helianthus annuus* L.) as induced by drought stress. *Journal of Plant Nutrition*. 59: 141-149.

Ohashi, Y., Nakayama, N., Saneoka, H., Mohapatra, P.K. and Fujita, K. 2009. Differences in the responses of stem diameter and pod thickness to drought stress during the grain filling stage in soybean plants. *Acta Physiologiae Plantarum*. 31(2):271-277.

Per, T. S., Khan, N. A., Reddy, P. S., Masood, A., Hasanuzzaman, M., Khan, M. I. R. and Anjum, N. A. 2017. Approaches in modulating proline metabolism in plants for salt and drought stress tolerance: Phytohormones, mineral nutrients and transgenics. *Plant Physiology and Biochemistry*. 115: 126-140.

Phiri, E. and Zimba, S. 2018. Root-Zone Soil Water Balance and Sunflower Yield under Deficit Irrigated in Zambia, *Journal of Soil Science*. 8(3): 61-73.

Pireivatlou, A., Dehdar Masjedlou B. and Ramiz. T. 2010. Evaluation of yield potential and stress adaptive trait in wheat genotypes under post anthesis drought stress conditions. African Journal of Agricultural Research. 5: 2829-2836.

Rangana, S. 1977. Mannual for analysis of fruit and vegetable products. Tata McGraw Hill Co. Pvt.Ltd., New Delhi.

Sadeghipour, O. and Aghaei, P. 2012. Response of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) to exogenous application of salicylic acid (SA) under water stress conditions, Advances in Environmental Biology. 6 (3):1160-1168.

Saleh, M., Ismail, M. and El-Nakhlawy, S. 2018. Optimizing water productivity and production of sunflower crop under arid land conditions. Journal of Water Supply. 18(5): 1861-1868.

Sharifa, S. and Muriefah, A. 2015. Effects of paclobutrazol on growth and physiological attributes of Soybean (*Glycine max*) plants grown under water stress conditions. International Journal of Advanced Research in Biological Science. 2: 81-93.

Tatrai, Z.A, Sanoubar, S., Pluhar, Z., Mancarella, S., Orsini, F. and Gianquinto, G. 2016. Morphological and physiological plant responses to drought stress in *Thymus citriodorus*. International Journal of Agronomy. 1-9.

Yang, Y., He, F., Yu, L., Chen, X., Lei, J. and Ji, J. 2007. Influence of drought on oxidative stress and flavonoid production in cell suspension culture of *Glycyrrhiza inflata* Batal. Journal for Nature Research 62(4): 410-416.

Zafari, S., Niknam, V., Musetti, R. and Noorbakhsh, S. N. 2012. Effect of phytoplasma infection on metabolite content and antioxidant enzyme activity in lime (*Citrus aurantifolia*). Acta Physiologiae Plantarum 34(2):561-568.