



تأثیر تنش خشکی بر خصوصیات فیزیولوژیکی و عملکرد دانه آفتابگردان در سطوح مختلف نیتروژن

مانی مجدم*

استادیار گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

تاریخ دریافت: ۹۴/۵/۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱/۱۹

چکیده

سابقه و هدف: در شرایطی که گیاه آفتابگردان با تنش رطوبت مواجه باشد لازم است که مدیریت کاشت به گونه‌ای تغییر یابد که ضمن به دست آوردن عملکرد قابل قبول بر بازده مصرف منابع تولید افزوده گردد، این امر از یک طرف از هزینه تولید می‌کاهد و از طرف دیگر ممکن است از مصرف بی‌مورد نیتروژن که با افزایش عملکرد همراه نیست جلوگیری به عمل آورد و در ضمن به حفظ یا بهبود کیفیت آب‌های زیرزمینی کمک کند.

مواد و روش‌ها: این پژوهش در تابستان سال ۱۳۸۹ در مزرعه‌ای واقع در شهرستان حمیدیه که از شهرستان‌های استان خوزستان می‌باشد (عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۳ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۱۰ دقیقه با ارتفاع ۱۳ متر از سطح دریا) اجرا شد. خاک محل انجام پژوهش دارای بافت رسی - لومی با $pH=7.7$ ، هدایت الکتریکی $1/3$ دسی‌زیمنس بر متر و نیتروژن کل 0.08 درصد بود. به منظور بررسی اثر تنش خشکی بر خصوصیات فیزیولوژی و عملکرد گیاه آفتابگردان در سطوح مختلف نیتروژن این پژوهشی با استفاده از آفتابگردان هیبرید میان‌رس ایروفلور اجرا شد. این پژوهش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمار آبیاری به‌عنوان کرت اصلی در سه سطح آبیاری مطلوب، تنش ملایم رطوبتی و تنش شدید رطوبتی که به ترتیب آبیاری بر اساس تخلیه ۵۰، ۷۰ و ۹۰ درصد رطوبت قابل استفاده اعمال گردید و تیمار نیتروژن به‌عنوان کرت فرعی در سه سطح ۸۰، ۱۴۰ و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار اعمال شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد عملکرد دانه و مقادیر پرولین و کلروفیل a و b تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفتند. تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه، میزان کلروفیل a و b و میزان رطوبت نسبی برگ گردید، اما

* مسئول مکاتبه: manimojaddam@yahoo.com

میزان پرولین گیاه را افزایش داد. علت اصلی کاهش عملکرد دانه در تیمارهای تنش خشکی، کاهش تعداد دانه در طبق و وزن دانه بود. بین مقادیر مختلف مصرف نیتروژن از لحاظ عملکرد دانه، درصد پروتئین و میزان کلروفیل a و b اختلاف معنی دار بود. با افزایش کاربرد نیتروژن در شرایط آبیاری مطلوب و تنش ملایم خشکی، این صفات به طور معنی دار افزایش یافتند.

نتیجه گیری: در این پژوهش در شرایط تنش شدید خشکی مصرف مقادیر کم نیتروژن و در شرایط مطلوب تا تنش ملایم خشکی مصرف مقدار ۱۴۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار مناسب بود. بنابراین با توجه به گوناگونی شرایط محیطی از نظر آبیاری، مقادیر مختلف نیتروژن (کاربرد ۸۰، ۱۴۰ و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار) برای افزایش عملکرد دانه آفتابگردان رقم ایروفلور ایجاد شرایط مطلوب از نظر تامین آب و مدیریت در مصرف نیتروژن دارای اهمیت می باشد.

واژه های کلیدی: آفتابگردان، تنش خشکی، رقم ایروفلور، عملکرد، نیتروژن

مقدمه

سازگاری وسیع به شرایط مختلف محیطی و عملکرد روغن بالا در آفتابگردان موجب شده است که این گیاه به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین گیاهان تولیدکننده روغن در جهان محسوب شود (۲۲). از میان دانه‌های روغنی گیاه آفتابگردان در مجموع از نظر محصول و تجارت جهانی به‌عنوان پنجمین منبع تولید روغن خوراکی بعد از سویا، کلزا، پنبه و بادام‌زمینی به حساب می‌آید (۶). در میان تنش‌های محیطی، تنش خشکی به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین عوامل کاهش عملکرد در گیاهان زراعی محسوب می‌شود. کاهش شدید عملکرد دانه و طول دوره رویشی در آفتابگردان در اثر تنش خشکی توسط پژوهشگران متعددی گزارش شده است. نیتروژن یکی از عناصر غذایی مهم محسوب می‌شود. این عنصر، اساس تشکیل پروتئین و اسیدنوکلئیک می‌باشد و به‌صورت کودهای شیمیایی در سطح وسیع مورد استفاده اکثر گیاهان زراعی قرار می‌گیرد. به‌طوری‌که کمبود آن بیش از سایر عناصر غذایی عملکرد کمی و کیفی گیاهان را محدود می‌کند (۲۴). حیدری و کرمی (۲۰۱۳) در آزمایشی بر روی آفتابگردان بیان نمودند در شرایط تنش خشکی عملکرد دانه نسبت به شرایط آبیاری مطلوب کاهش معنی‌داری یافت (۱۰). ناصر و ال‌گیزاوی (۲۰۰۹) بیان نمودند کاربرد کود نیتروژن به‌طور معنی‌داری عملکرد دانه را افزایش داد (۱۸). دانیل و تربیوی (۲۰۰۸) در آزمایش‌های جداگانه بر روی ذرت و گندم به این نتیجه رسیدند که تنش خشکی موجب افزایش درصد پروتئین دانه نسبت به شرایط مطلوب آبیاری گردید (۵). مانی‌وان‌نان و همکاران (۲۰۱۵) ضمن بررسی تأثیر 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 (۱۵). تجمع پرولین آزاد، پاسخی متداول به تنش در گیاهان عالی می‌باشد گزارش‌های متعددی مبنی بر وجود همبستگی مثبت بین تجمع پرولین و سازش به شرایط تنش اسمزی تحت تنش‌های خشکی و شوری گیاهان وجود دارد. پرولین حلالیت پروتئین‌ها و آنزیم‌های مختلف را تحت تأثیر قرار می‌دهد و از تغییر ماهیت آن‌ها جلوگیری می‌کند (۲۳). مجیری و ارزانی (۲۰۰۵) در بررسی چهار میزان کود نیتروژن بر گیاه آفتابگردان گزارش کردند که کود نیتروژن تا سقف ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار، افزایش عملکرد دانه و میزان کلروفیل را به همراه داشت، در حالی که سطح بالاتر کودی موجب کاهش آن‌ها شد (۱۶). گود و زاپالاچینسکی (۲۰۰۰) بیان کردند تجمع ترکیباتی همانند پرولین و اسیدهای آمینه در بافت سبز کلزا تحت تنش خشکی تا حدی شرایط لازم برای ادامه جذب آب از محیط ریشه را برای این گیاه فراهم نموده و منجر به کاهش رشد گیاه گردید (۸).

این پژوهش با توجه به چالش‌های موجود در کشور و منطقه در رابطه با میزان مصرف کود نیتروژن در رابطه با وقوع تنش رطوبتی در صورت محدودیت منابع آبی منطقه و رسیدن به یک عملکرد مناسب با یک مدیریت صحیح صورت پذیرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در تابستان سال ۱۳۸۹ در مزرعه‌ای واقع در شهرستان حمیدیه که از شهرستان‌های استان خوزستان می‌باشد (عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۳ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۱۰ دقیقه با ارتفاع ۱۳ متر از سطح دریا) اجرا شد. خاک محل انجام پژوهش دارای بافت رسی-لومی با $pH=7.7$ ، هدایت الکتریکی $1/3$ دسی‌زیمنس بر متر و نیتروژن کل $0/08$ درصد بود. این پژوهش به صورت کرت‌های یک بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمار آبیاری به عنوان کرت اصلی در سه سطح آبیاری مطلوب، تنش ملایم رطوبتی و تنش شدید رطوبتی که به ترتیب آبیاری بر اساس تخلیه ۵۰، ۷۰ و ۹۰ درصد رطوبت قابل استفاده اعمال گردید و تیمار نیتروژن با عنوان کرت فرعی در سه سطح ۸۰، ۱۴۰ و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار اعمال شد. جهت تعیین دقیق زمان آبیاری در هر تیمار، با گذشت ۴۸ ساعت از زمان آبیاری به صورت روزانه و متوالی توسط آگر از خاک مزرعه در عمق توسعه ریشه نمونه برداری انجام شد تا درصد رطوبت وزنی خاک مشخص شود. بر این اساس زمان آبیاری هنگامی بود که رطوبت وزنی خاک در تیمارهای آبیاری مطلوب، تنش ملایم رطوبتی و تنش شدید رطوبتی به ترتیب به ۱۷، ۱۴/۶ و ۱۲/۲ درصد رسید. تا مرحله هشت برگی آبیاری‌ها بر اساس تخلیه ۵۰ درصد رطوبت از ظرفیت زراعی خاک با توجه به عمق توسعه ریشه در همه تیمارها، انجام واز این مرحله به بعد تیمارهای آبیاری دقیقاً اعمال گردید. برای تعیین عمق توسعه ریشه با توجه به خصوصیات رشدی گیاه به صورت تخمینی در نظر گرفته شد. با توجه به این که کشت در کرت‌های کوچک انجام و مدیریت آبیاری خوب اعمال گردید، راندمان آبیاری بر اساس نتایج آزمایش‌های پژوهشگران ۹۰ درصد تعیین گردید. بذر مورد استفاده هیبرید ایروفلور بود که دارای پتانسیل عملکرد بالا، قدرت جوانه‌زدن سریع، رشد منظم، مقاومت بالا به خوابیدگی و سازگاری بسیار خوب به شرایط گرم و خشک می‌باشد. عملیات خاک‌ورزی و آماده‌سازی زمین شامل آبیاری قبل از تهیه زمین، یک شخم عمیق و دو دیسک عمود بر هم، تسطیح، ایجاد جوی و پشته و کرت‌بندی بود. مقدار کود فسفره بر مبنای ۹۰ کیلوگرم فسفر (P_2O_5) در هکتار از منبع سوپر فسفات تریپل محاسبه و مصرف شد. تمامی کود فسفره هم‌زمان با تسطیح نهایی به صورت یکنواخت و نصف نیتروژن از منبع اوره قبل از کاشت همراه با دیسک در مزرعه

پخش شد نصف دیگر نیتروژن در تیمارهای نیتروژن در مرحله ۸ برگی به صورت نواری توزیع گردید (لازم به ذکر است میزان نیتروژن اندازه‌گیری شده در خاک ۵/۹ پی‌پی‌ام بود). هر کرت دارای ۶ خط هر کدام به طول ۶ متر و با فاصله ۷۵ سانتی‌متر از یکدیگر و فاصله میان هر دو کرت به صورت یک خط نکاشت بود. فاصله بین بوته‌ها ۱۸ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. کاشت در ۸۹/۴/۳۱ با دست انجام شد. هنگامی که پشت طبق در ۹۰ درصد بوته‌ها به رنگ زرد مایل به قهوه‌ای درآمد بذور رطوبتی معادل ۲۰ درصد داشتند (رسیدگی فیزیولوژیک) برداشت نهایی از سطحی معادل ۲ مترمربع انجام شد. حجم آب مصرفی مورد نیاز هر تیمار از رابطه زیر محاسبه شد. پارامترهای رابطه عبارتند از:

$$V = (Fc - \Theta m) \times Pb \times D_{root} \times A \quad (1)$$

E_i

که در آن، V : حجم آب آبیاری بر حسب مترمکعب، Fc : درصد رطوبت وزنی در حد ظرفیت زراعی، Θm : درصد رطوبت وزنی قبل از آبیاری، Pb : وزن مخصوص ظاهری خاک بر حسب گرم بر سانتی‌مترمکعب، A : مساحت آبیاری شده بر حسب مترمربع، D_{root} : عمق توسعه ریشه بر حسب متر و E_i = راندمان آبیاری.

میزان پرولین تجمع‌یافته در گیاه در مرحله گلدهی (ابریشم‌دهی) با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر و با توجه به منحنی استاندارد به دست آمده از غلظت‌های مختلف پرولین در مرحله ۵۰ درصد طبق‌دهی، بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ محاسبه شد (۲). برای محاسبه رطوبت نسبی برگ از رابطه زیر استفاده شد (۷).

$$RWC = \frac{wf - sd}{ws - wd} \times 100 \quad (2)$$

که در آن، Wf : وزن تر برگ، Wd : وزن خشک برگ و Ws : وزن اشباع برگ. جهت اندازه‌گیری درصد پروتئین خام دانه، ابتدا با استفاده از دستگاه کجلدال در آزمایشگاه درصد نیتروژن کل دانه‌ها محاسبه و سپس با ضرب کردن درصد نیتروژن دانه در ضریب ۶/۲۵ میزان پروتئین موجود در دانه به دست آمد (۲۱). جهت اندازه‌گیری غلظت کلروفیل a و b از روش توصیه شده توسط آرنون (۱۹۷۵) و دستگاه اسپکتروفتومتر (Zeletex Zx 50 ساخت آلمان)، استفاده شد (۱).

$$(۳) \quad \text{میلی گرم کلروفیل } a \text{ در هر گرم برگ} = [12/7(D_{663}) - 2/59(D_{645})] \times \frac{V}{1000 \times W}$$

$$(۴) \quad \text{میلی گرم کلروفیل } b \text{ در هر گرم برگ} = [22/9(D_{645}) - 4/69(D_{663})] \times \frac{V}{1000 \times W}$$

تجزیه واریانس داده‌ها توسط نرم‌افزار آماری SAS انجام و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD در سطح پنج درصد استفاده گردید.

نتایج و بحث

تعداد دانه در طبق: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمار آبیاری و نیتروژن بر تعداد دانه در طبق، معنی‌دار بود (جدول ۱). بر خورد دوران رشد رویشی و زایشی گیاه با تنش رطوبتی به‌خصوص در مرحله گلدهی و در نتیجه سقط گلچه‌های درون طبق یکی از دلایل کاهش تعداد دانه در طبق بود. به عبارتی به نظر می‌رسد مصرف مناسب آب در آبیاری مطلوب منجر به تولید گلچه‌های بارور در مرحله زایشی گردید. در صورتی که بروز تنش خشکی از طریق کاهش سطح برگ‌ها و ریزش آن‌ها منجر به کاهش منبع فتوسنتزی و افت فعالیت آنزیم‌های مؤثر بر این فرآیند می‌گردد. همچنین طی مرحله زایشی کمبود آب باعث کاهش قدرت مخزن در جذب مواد فتوسنتزی شده و همین عامل در افت تعداد گلچه‌های بارور طبق مؤثر می‌باشد. رشدی و همکاران (۲۰۰۶) بیان نمودند وقوع تنش در مراحل مختلف رشد باعث کاهش تعداد دانه در طبق می‌شود. ولی درصد نزول این تعداد طی مراحل زایشی شدیدتر می‌باشد که با نتایج این پژوهش مطابقت داشت (۲۲). به نظر می‌رسد که در شرایط کمبود نیتروژن و در نتیجه نقصان مقدار تخصیص این ماده به برگ‌ها، دو عامل شاخص سطح برگ و همچنین دوام آن کاهش یافته و در نتیجه آن مواد پرورده لازم برای تشکیل دانه در طبق کم‌تر شده است که ناصر و ال‌گیزاوی (۲۰۰۹) این نتایج را تأیید نمودند (۱۸).

وزن هزاردانه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمار آبیاری و نیتروژن بر وزن هزاردانه، معنی‌دار بود (جدول ۱). با افزایش شدت تنش خشکی، وزن هزاردانه به‌طور معنی‌دار کاهش یافت (جدول ۲). بر خورد دوره پرشدن دانه با تنش رطوبتی در تیمارهای تنش آب و کوتاه شدن این دوره به دلیل کاهش دوام سطح برگ عامل اصلی کاهش وزن دانه بود، این یافته با نتایج دانشیان و همکاران (۲۰۰۵) مطابقت داشت (۴). از آن‌جا که افزایش نیتروژن موجب افزایش تولید ماده خشک و دوام سطح برگ و

در نتیجه افزایش فتوسنتز جاری در طول دوره پرشدن دانه گردید قابل انتظار بود که وزن دانه با افزایش مصرف نیتروژن افزایش یابد. این نتیجه با نتایج ویس (۲۰۰۹) مطابقت داشت (۲۵).

عملکرد دانه: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تیمار آبیاری و سطوح نیتروژن و اثرات متقابل آن‌ها بر عملکرد دانه، معنی‌دار بود (جدول ۱). بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد دانه به ترتیب با میانگین ۳۴۴ و ۱۵۶ گرم بر مترمربع متعلق به تیمار آبیاری مطلوب و تنش شدید خشکی بود (جدول ۲). به نظر می‌رسد مصرف متعادل آب طی مراحل مختلف نمو از جمله گلدهی و دانه‌بندی منجر به بهبود عملکرد دانه آفتابگردان می‌گردد. زیرا که طی این مراحل دو جزء مهم عملکرد دانه (تعداد دانه در طبق و وزن صدانه) شکل می‌گیرد. در ضمن آبیاری کافی در مرحله رویشی باعث توسعه مطلوب سطح برگ‌ها و فتوسنتزکننده گیاه می‌شود. رشدی و همکاران (۲۰۰۶) نشان دادند که با افزایش فواصل آبیاری قطر طبق، عملکرد دانه و عملکرد روغن کاهش یافت (۲۲). خماری و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند که عملکرد دانه در شرایط آبیاری محدود را می‌توان به کاهش طول دوره رشد و پرشدن دانه، قطر طبق، تعداد دانه در طبق، وزن هزاردانه و افزایش درصد پوکی طبق نسبت داد (۱۲). هیومن و همکاران (۱۹۹۸) نیز گزارش دادند بروز تنش شدید کمبود آب در مراحل گلدهی، گرده‌افشانی و دانه‌بندی باعث بیش‌ترین کاهش عملکرد دانه آفتابگردان گردید (۱۱). همچنین بر اساس جدول مقایسه میانگین بیش‌ترین عملکرد دانه از تیمار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن با میانگین ۲۷۱/۱ گرم در مترمربع و کم‌ترین عملکرد دانه با میانگین ۲۱۹ گرم در مترمربع از تیمار ۸۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به دست آمد. ناصر و ال‌گیزاوی (۲۰۰۹) بیان نمودند کاربرد کود نیتروژن به‌طور معنی‌داری عملکرد دانه را افزایش داد (۱۸). مجیری و ارزانی (۲۰۰۵) در بررسی چهار میزان کود نیتروژن بر گیاه آفتابگردان گزارش کردند که کود نیتروژن تا سقف ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار، افزایش عملکرد دانه و میزان کلروفیل را به همراه داشت، در حالی که سطح بالاتر کودی موجب کاهش آن‌ها شد (۱۶). در این پژوهش افزایش کاربرد میزان نیتروژن در تنش شدید خشکی هیچ‌گونه تأثیر معنی‌داری بر افزایش عملکرد دانه نشان نداد هر چند که کاربرد بالای نیتروژن عملکرد دانه را به‌صورت غیرمحسوس افزایش داد. به‌عبارتی در صورت کمبود شدید رطوبت خاک جذب نیتروژن توسط گیاه دچار اختلال می‌گردد و نیتروژن مورد نیاز برای مراحل بحرانی رشد حتی در صورت افزایش نترات خاک فراهم نمی‌گردد. در این رابطه ملکوتی و همایی (۲۰۰۳) بیان نمودند که رطوبت مناسب خاک باعث گسترش ریشه‌ها شده و مواد غذایی از جمله نیتروژن از سطح بیش‌تری از خاک دریافت می‌شود، از طرفی جریان آب در خاک باعث انتقال مواد غذایی به طرف ریشه‌ها می‌شود (۱۸).

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر آبیاری و کود نیتروژن بر عملکرد برخی شاخص های فیزیولوژیکی آفتابگردان.

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	تعداد دانه در طبق (No. of seed in head)	وزن هزار دانه (1000 Seed weight)	عملکرد دانه (Seed yield)	نسبت رطوبت نسبی Relative water content	میزان کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل Chlorophyll	درصد پروتئین protein Percent	پرولین Proline
تکرار Replication	2	906 ^{ns}	150.58*	8857*	11.62 ^{ns}	0.05 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.13*	0.13*	0.17 ^{ns}
آبیاری Irrigation	2	65713**	1519.80**	79641**	351.40**	9.51**	5.62**	3.23**	20.81**	
خطای اصلی Main error	4	1396	15.12	1257	23.64	0.15	0.082	0.41	0.08	
نیتروژن (N) Nitrogen	2	12535**	133.70**	6287*	15.15 ^{ns}	0.56**	0.16**	1.96*	14.26*	
آبیاری × نیتروژن Irrigation* Nitrogen	4	1187 ^{ns}	12.27 ^{ns}	5962*	4.61 ^{ns}	0.09**	0.04*	1.85*	5.54 ^{ns}	
خطای فرعی Sub error	12	1238	14.70	1179	7.48	0.01	0.09	0.32	2.90	

^{ns}، * و ** به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال 5 و 1 درصد.

^{ns}، * and ** Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

میزان رطوبت نسبی برگ: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمار آبیاری بر رطوبت نسبی برگ، معنی‌دار بود (جدول ۱). با افزایش شدت تنش آب، رطوبت نسبی برگ کاهش چشم‌گیری یافت، بالاترین مقدار رطوبت نسبی برگ با میانگین ۸۸/۱۲ درصد در تیمار آبیاری مطلوب و پائین‌ترین آن در تیمار تنش شدید خشکی با میانگین ۷۵ درصد به‌دست آمد (جدول ۲). خماری و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند که افزایش دور آبیاری (تنش خشکی) باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ برگ‌های میانی و فوقانی گردید (۱۲). نتایج پژوهش‌های دانشیان و همکاران (۲۰۰۶)، نیز نشان می‌دهد با افزایش تنش خشکی به‌طور معنی‌داری میزان محتوای نسبی آب برگ را کاهش داد. یکی از سازوکارهای کارآمدی که گیاه به هنگام مواجهه با خشکی، برای حفظ آماس سلولی به‌کار می‌گیرد، تنظیم اسمزی است که این نتایج با یافته‌های حاصل از این پژوهش مطابقت داشت (۴).

مقدار کلروفیل a و b: تأثیر سطوح مختلف آبیاری بر مقادیر کلروفیل a و b معنی‌دار بود (جدول ۱). بیش‌ترین مقادیر کلروفیل a و b در تیمار آبیاری مطلوب به‌ترتیب با میانگین‌های ۲/۸۴ و ۱/۳۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه برگ و کم‌ترین مقادیر کلروفیل a و b به‌ترتیب با میانگین‌های ۰/۸۱ و ۰/۴۳ میلی‌گرم بر گرم در تیمار تنش شدید خشکی به‌دست آمد (جدول ۲). مانی‌وانان و همکاران (۲۰۱۵) ضمن بررسی تأثیر 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 (۱۵). اثر مقادیر مختلف نیتروژن بر مقادیر کلروفیل a و b معنی‌دار بود (جدول ۲). با افزایش کاربرد میزان نیتروژن، مقادیر کلروفیل a و b افزایش معنی‌دار یافت. بیش‌ترین مقادیر کلروفیل a و b مربوط به تیمار کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بود که با کاربرد ۱۴۰ کیلوگرم اختلاف معنی‌دار نداشت، کم‌ترین مقادیر کلروفیل a و b به کاربرد ۸۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار تعلق داشت (جدول ۲). با توجه با این‌که نیتروژن در ساختمان مولکول کلروفیل شرکت داد به‌نظر می‌رسد که در شرایط کمبود نیتروژن هم‌چنان که ناصر و ال‌گیزاوی (۲۰۰۹) گزارش نمود به‌دلیل کاهش میزان نیتروژن برگ، تولید کلروفیل کاهش یافت (۱۸). اثر متقابل آبیاری و نیتروژن بر مقادیر کلروفیل a و b معنی‌دار بود (جدول ۳). در شرایط آبیاری مطلوب و تنش ملایم خشکی، افزایش کاربرد نیتروژن باعث افزایش مقادیر کلروفیل a و b گردید ولی تأثیر مثبت نیتروژن در شرایط تنش شدید خشکی، با افزایش کاربرد نیتروژن معنی‌دار نبود. بالاترین مقادیر کلروفیل a و b به‌ترتیب با میانگین‌های ۲/۴۴ و ۱/۱۵ به اثر متقابل تیمار آبیاری مطلوب و کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار و پایین‌ترین مقادیر کلروفیل a و b به‌ترتیب با میانگین‌های ۰/۷۹ و ۰/۴۰ به اثر متقابل تیمار تنش شدید خشکی و کاربرد ۸۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار

مربوط بود که تیمار اخیر با تیمارهای تنش شدید خشکی و کاربرد ۱۴۰ و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار اختلاف معنی‌دار نداشت. محدودیت جذب نیتروژن و کاهش اثرات مثبت افزایش مصرف کود نیتروژن بهنگام کاهش رطوبت خاک توسط مجتبی و علم‌نیا (۲۰۰۲) گزارش شده است (۱۷).

درصد پروتئین: تأثیر سطوح مختلف آبیاری بر درصد پروتئین معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین مربوط به سطوح آبیاری نشان داد که بیش‌ترین درصد پروتئین دانه در شرایط تنش شدید خشکی با متوسط ۱۸/۵۴ درصد به‌دست آمد که اختلاف معنی‌دار را با درصد پروتئین در شرایط آبیاری مطلوب داشت (جدول ۲). در این زمینه دانبل و تریبوی (۲۰۰۸) در آزمایش‌های جداگانه بر روی ذرت و گندم به این نتیجه رسیدند که تنش خشکی موجب افزایش درصد پروتئین دانه نسبت به شرایط مطلوب آبیاری گردید، آن‌ها دلیل این امر را کاهش انتقال مواد فتوسنتزی اعلام نمودند که باعث کاهش نسبت حجم آندوسپرم نشاسته‌ای به کل حجم دانه می‌شود و از آن‌جائی‌که درصد پروتئین در پوسته و جنین نسبت به آندوسپرم نشاسته‌ای بیش‌تر است بنابراین درصد پروتئین دانه در شرایط تنش خشکی افزایش می‌یابد (۵). نورمحمدی و همکاران (۲۰۰۰) بیان نمودند که هنگام بروز تنش خشکی شدت تنفس افزایش یافته و جذب مواد تغذیه و در نتیجه هیدرات‌های کربن ذخیره شده کاهش و پروتئین افزایش می‌یابد (۱۹). پژوهشگران دیگر بیان داشتند که افزایش درصد پروتئین دانه در جهت کمک به تنظیم و تعادل اسمزی سلول در شرایط تنش رطوبتی روی می‌دهد (۹). نتایج این پژوهش نشان داد که میان مقادیر مختلف نیتروژن از نظر درصد پروتئین اختلاف معنی‌دار وجود دارد (جدول ۱). با مصرف بیش‌تر نیتروژن درصد پروتئین افزایش یافت به‌طوری‌که بیش‌ترین و کم‌ترین درصد پروتئین دانه به‌ترتیب مربوط به تیمارها ۲۰۰ و ۸۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار بود (جدول ۲). مقادیر بالای نیتروژن علاوه بر انباشت بیش‌تر نیتروژن در اندام‌های رویشی میزان انتقال نیتروژن را به دانه در مقایسه با کربوهیدرات‌ها بیش‌تر افزایش می‌دهد و در نتیجه پروتئین دانه افزایش می‌یابد (۷). پژوهش‌های اورمن و همکاران (۱۹۹۵) نشان داد که با افزایش مصرف نیتروژن، در مرحله رشد رویشی غلظت این عنصر در اندام‌های گیاه بالا می‌رود و در زمان پرشدن دانه از طریق انتقال مجدد مواد نیتروژن بیش‌تری به دانه‌ها منتقل می‌گردد، که نتیجه آن افزایش درصد پروتئین دانه می‌باشد (۲۰). اثر متقابل آبیاری و نیتروژن بر درصد پروتئین دانه معنی‌دار بود (جدول ۱). با افزایش مصرف نیتروژن درصد پروتئین دانه در شرایط آبیاری مطلوب و تنش ملایم خشکی به‌طور معنی‌دار افزایش یافت ولی در شرایط تنش شدید خشکی درصد پروتئین دانه با افزایش مصرف نیتروژن به‌دلیل محدودیت جذب این عنصر در شرایطی که خاک با کمبود رطوبت شدید مواجه بود افزایش معنی‌دار نداشت (جدول ۳).

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر تنش خشکی و نیتروژن بر صفات مورد مطالعه در آفتابگردان.
Table 2. Mean comparison of the effects of irrigation and nitrogen on the studied traits of sun flower.

تیمار (No. of seed in head)	تعداد دانه در طبق (g)	وزن هزار دانه (g.m ³)	عملکرد دانه (گرم در مترمربع) (g.m ²)	کلروفیل a (میلی گرم بر گرم) (mg/g)	میان رطوبت نسبی (درصد) (%)	کلروفیل b (میلی گرم بر گرم) (mg/g)	درصد پروتئین (%) (%)	پروتئین (میلی گرم بر گرم وزن تر برگ) Proline mg/ g on fresh weight
آبیاری (Irrigation)								
۱= آبیاری مطلوب Optimum irrigation	690.00 ^a	66.04 ^a	344.10 ^a	2.84 ^a	88.12 ^a	1.36 ^a	17.75 ^a	4.30 ^c
۲= تنش ملایم خشکی Moderate drought stress	624.40 ^b	51.47 ^b	242.30 ^b	1.58 ^b	83.26 ^b	0.74 ^b	18.33 ^b	5.80 ^b
۳= تنش شدید خشکی Severe drought stress	520.80 ^c	40.11 ^c	156.20 ^c	0.81 ^c	75.72 ^c	0.43 ^c	18.54 ^c	7.80 ^a
نیتروژن (Nitrogen)								
N ₁ =80	593.00 ^b	48.45 ^b	219.00 ^b	1.48 ^b	81.46 ^a	0.70 ^b	17.80 ^c	4.80 ^c
N ₂ =140	621.00 ^a	53.07 ^a	252.50 ^a	1.88 ^a	81.78 ^a	0.90 ^a	18.30 ^{ab}	5.62 ^b
N ₃ =200	623.10 ^a	56.10 ^a	271.10 ^a	1.91 ^a	83.85 ^a	0.95 ^a	18.50 ^b	6.15 ^a

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون تفاوت معنی داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.
In each column means with same letter according to LSD test are not significantly different at 5% level of probability.

جدول ۳- برش دهی اثر متقابل مجموع مربعات سطوح نیتروژن در هر سطح از سطوح آبیاری بر صفات مورد مطالعه.

Table 3. Cut the sum of the squares of the interaction between nitrogen levels in each level of irrigation levels on the traits.

منابع تغییر Sources of variations	درجه آزادی (df)	عملکرد دانه (Seed yeild)	کلروفیل a Chlorophylla	کلروفیل b Chlorophyllb	پروتئین (درصد) Protein percent
I ₁ = آبیاری مطلوب Optimum irrigation	2	8757*	0.09**	0.04 ^{ns}	0.23*
I ₂ = تنش ملایم خشکی Moderate drought stress	2	77541**	8.51**	5.82**	4.23**
I ₃ = تنش شدید خشکی Severe drought stress	2	1157**	0.25**	0.07 ^{ns}	0.51 ^{ns}

^{ns}, * و ** به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

^{ns}, * and ** Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

میزان پرولین: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمار آبیاری و نیتروژن بر میزان پرولین، معنی دار بود (جدول ۱). با افزایش شدت تنش آب، میزان پرولین افزایش چشمگیری یافت، بالاترین میزان پرولین با میانگین ۷/۸ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ در تیمار تنش شدید خشکی و پائین ترین آن در تیمار آبیاری مطلوب با میانگین ۴/۳ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ به دست آمد (جدول ۲). گود و زاپالاچینسکی (۲۰۰۰) بیان کردند تجمع ترکیباتی همانند پرولین و اسیدهای آمینه در بافت سبز کلزا تحت تنش خشکی تا حدی شرایط لازم برای ادامه جذب آب از محیط ریشه را برای این گیاه فراهم نموده و از کاهش رشد کاست (۸).

حیدری و کرمی (۲۰۱۳) با بررسی اثر خشکی بر آفتابگردان گزارش نمودند که تیمار خشکی سبب افزایش مقادیر کربوهیدرات و پرولین در برگ‌های گیاه گردید و به صورت معنی داری منجر به کاهش وزن طبق، تعداد دانه پر در طبق و وزن هزاردانه و در نهایت عملکرد دانه شد که این نتایج با یافته‌های به دست آمده از این پژوهش مطابقت داشت (۱۰). لازکانو فرات و لوات (۱۹۹۹) در لوبیا و سویا گزارش نمودند که با کاهش پتانسیل آب، افزایش معنی داری در میزان پرولین مشاهده گردید (۱۳).

همچنین مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین میزان پرولین از تیمار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن با میانگین ۶/۱۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ و کم‌ترین میزان پرولین با میانگین ۴/۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ از تیمار ۸۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن به‌دست آمد. کاربرد ازت باعث تغییر میزان پرولین آزاد برگ‌ها شد به‌طوری‌که در گیاهان تیمار شده با مقادیر بیش‌تر نیتروژن میزان پرولین نسبت به گیاهانی که با مقادیر کم‌تر نیتروژن تیمار شده بودند افزایش نشان داد. هم‌چنان که وندرسکولو و همکاران (۲۰۰۷) بیان نمودند ترکیباتی نظیر پرولین دارای ساختار نیتروژنی هستند از این‌رو استفاده از نیتروژن می‌تواند تا حد زیادی سبب افزایش مقدار آن‌ها در گیاه گردد که با نتایج این پژوهش مطابقت داشت (۲۴).

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری و نیتروژن بر صفات مورد مطالعه در آفتابگردان.

Table 4. Mean comparison of the interaction effects of irrigation and nitrogen on the studied traits of sunflower.

تیمار آبیاری (Irrigation)	نیتروژن (کیلوگرم در هکتار) Nitrogen (Kg.h)	عملکرد دانه (گرم در مترمربع) Seed yeild (g.m ²)	کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم) Chlorophyl a (mg/g)	کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم) Chlorophyl b (mg/g)	پروتئین (درصد) Protein percent (%)
I ₁ =آبیاری مطلوب Optimum irrigation	N ₁ =80	291.30 ^c	2.44 ^b	1.15 ^b	17.42 ^b
	N ₂ =140	346.40 ^b	3.01 ^a	1.42 ^a	18.15 ^a
	N ₃ =200	394.70 ^a	3.10 ^a	1.50 ^a	18.17 ^a
I ₂ =تنش ملایم خشکی Moderate drought stress	N ₁ =80	214.90 ^b	1.28 ^b	0.53 ^c	18.01 ^b
	N ₂ =140	253.10 ^a	1.77 ^a	0.78 ^b	18.48 ^a
	N ₃ =200	258.80 ^a	1.81 ^a	0.91 ^a	18.49 ^a
I ₃ =تنش شدید خشکی Severe drought stress	N ₁ =80	150.70 ^b	0.79 ^b	0.40 ^a	18.50 ^a
	N ₂ =140	158.10 ^a	0.84 ^a	0.45 ^a	18.52 ^a
	N ₃ =200	159.80 ^a	0.83 ^a	0.44 ^a	18.56 ^a

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون LSD تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند. حروف نشان‌دهنده مقایسه میانگین به روش برش‌دهی می‌باشند.

In each column means with same letter according to LSD test are not significantly different at 5% level of probability. The letters shows sliced mean comparisons, respectively.

نتیجه گیری کلی

نتایج نشان داد که عملکرد دانه و صفات فیزیولوژیکی رشد تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفتند. تنش خشکی باعث کاهش معنی دار میزان کلروفیل a و b و میزان رطوبت نسبی برگ گردید. بین مقادیر مختلف مصرف نیتروژن از لحاظ میزان کلروفیل a و b اختلاف معنی دار بود. با افزایش کاربرد نیتروژن در شرایط آبیاری مطلوب و تنش ملایم خشکی، این صفات به طور معنی داری افزایش یافتند. تنش خشکی باعث افزایش معنی دار میزان پرولین گیاه و کاهش معنی دار عملکرد دانه گردید. هنگامی که آب کافی در اختیار نباشد و گیاه در طول دوره رشد با تنش ملایم خشکی مواجه شود، با افزایش کاربرد نیتروژن می توان اثرات منفی کمبود آب بر صفات فیزیولوژیکی مؤثر بر عملکرد را کاهش داد. در این پژوهش در هنگام شرایط تنش شدید خشکی مصرف مقادیر کم نیتروژن و در شرایط مطلوب تا تنش ملایم خشکی مصرف مقدار ۱۴۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار مناسب می باشد.

منابع

1. Arnon, D.I. 1975. Copper enzymes increased insolated chloroplast polyphenoxidase increased (*Beta vulgaris* L.). Plant Physiol., 45: 1-15.
2. Bates, L.S., Waldren, R.P., and Teare, L.D. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. J. Plant Soil., 39: 205-207.
3. Cox, W.J., Kalonge, S., Cherney, D.J.R., and Reid, W.S. 1993. Growth yield and quality of forage maize under - different nitrogen management practices. Agron. J., 85: 341-347.
4. Daneshiyan, G., Jabari, H., and Farokhi, A. 2006. Effects of water stress and plant density on yield and agronomic characteristics of sunflower second crop. Abstract Crop Sci. Congress Ayran. danshgah Tehran, Rayhan campus. 500p.
5. Daniel, C., and Triboi, E. 2008. Changes in wheat protein aggregation during grain development: effects of temperature and water stress. Eur. J. Agron., 16: 1-12.
6. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2014. Available in: <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/Q/QC/E>. (accessed august 2014).
7. Gardner, F.P.R., and El Mishel, R. 2001. Crop Physiology . Translation Gh. Srmdyna and AS. Small. Mashhad University Jahad Publications. 467p.
8. Good, A., and Zaplachiniski, S. 1994. The effects of drought on free amino acid accumulation and protein synthesis in (*Brassica napus* L.). J. Physiol Plant., 90: 9-14.

9. Gusta, L.V., and Chen, T.H. 1987. The physiology of water and temperature stress wheat and wheat improvement. Amer. Soc. Agron. Public.
10. Heydari, M., and Karami, V. 2013. Effects of water stress and different mycorrhiza species on yield and yield components, chlorophyll and biochemical components of sunflower. J. Environ. Stress. Crop Sci., 6: 1. 17-28.
11. Human, J., Dutoit, D., Benzuid enhout, L., and Bruyn, P. 1998 . The influence of plant water stress on net photosynthesis and yield of sunflower. Agric. Union. Afr. Crop Sci., 164: 4. 231-241.
12. Khamari, S., Ghasemi, K., Alyari, H., and Zehtab Salmasi, S. 2007. The effect of irrigation on phenology and yield of three sunflower cultivars in Tabriz. J. Agric. Sci. Nat. Res., 14: 6. 72-80.
13. Lazcano-Ferrat, I., and Lovatt, C.V. 1999. Relationship between reative water content, nitrogen pools and growth of (*Phaseolus vulgaris* L.) and *p. acutifolius* A. Gray during water deficit. Crop Sci., 39: 467-475.
14. Malakoti, M., and Homaei, M. 2003. Arid and semiarid soils fertility problems and solutions. Tarbiat Modarres University Press.
15. 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 annus* L.) as induced by drought stress. J. Plant Nut., 59: 141-149.
16. Mojiri, A., and Arzani, A. 2005. The effect of different levels of nitrogen and plant density on yield and its components in sunflower. J. Sci. Technol. Agric. Nat. Res., 7: 2. 22-34.
17. Mujtaba, S.M., and Alam Nia, S.M. 2002. Drought phenomenon and crop growth. Pakistan leading magazine for the last 25 years.
18. Nasser, K.H., and El-Gizawy, B. 2009. Effects of nitrogen rate and planting density on agronomic nitrogen efficiency and maize yields following wheat and faba bean. Amer. Eur. J. Agric. Environ. Sci., 5: 378-386.
19. Normohamadi, Gh., Siyadat, S.A., and Kashani, A. 2000. The Cultivation of Crops. First volume. Shahid Chamran University Press. 446p.
20. Overman, A.R., Wilson, D.M., Vidak, W., Allhands, M.N., and Perry, T.C. 1995. Model for partitioning of dry matter and nutrients in corn. J. Plant Nut., 18: 15. 959-968.
21. Payegozar, Y. 2008. Effect of foliar application of micro nutrients on quantitative and qualitative characteristics of pearl millet under drought stress. M.Sc. Thesis, Department of Agric. Union Zabol.
22. Roshdi, M., Heidari Sharifabad, H., Karimi, M., Nourmohammadi, G.H., and Darvish, F. 2006. A Syrvey on the impact of water deficiency over the yield of sunflower seed cultivar and its components. J. Agric. Sci., 12: 1. 109-121.

23. Shafi, M., Bakht, J., Yousaf, M., and Khan, M.A. 2013. Effects of irrigation regime on growth and seed yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.). J. Bot., 45: 1995-2000.
24. Vendruscolo, A.C.G., Schuster, I., Pileggi, M., Scapim, C.A., and Molinari, H.B. 2007. Stress-induced synthesis of proline confers tolerance to water deficit in transgenic wheat. J. Plant Physiol., 164: 1367-1376.
25. Weiss, E.A. 2009. Oil Seed Crop. Blackwell Sci Ltd, UK. 159p.