بسم الله الرحمن الرحیم

دانشکده کشاورزی

رشته زراعت گرایش زراعت

پایان نامه کارشناسی ارشد

تأثیر محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید بر خصوصیات فیزیولوژیک و مرفولوژیک آفتاب‌گردان تحت تنش کم‌آبیاری

نگارنده: وحید عباسی

استاد راهنما

دکتر مهدی برادران فیروزآبادی

اساتید مشاور

دکتر احمد غلامی

دکتر منوچهر قلی‌پور

شهریور ۱۳۹۵

پیوست شماره ۲

دانشگاه شاهرود

دانشکده کشاورزی

گروه : زراعت و اصلاح نباتات

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای وحید عباسی به شماره دانشجویی: ۹۲۰۹۶۷۴

تحت عنوان:

تأثیر محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید بر خصوصیات فیزیولوژیک و مرفولوژیک آفتابگردان تحت شرایط کم آبیاری.

در تاریخ ۱۳۹۵/۶/۱۷ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه ..... مورد پذیرش قرار گرفت.

اساتید راهنما	امضاء	اساتید مشاور	امضاء
نام و نام خانوادگی : دکتر مهدی برادران فیروزآبادی		نام و نام خانوادگی : دکتر احمد غلامی	
		نام و نام خانوادگی : دکتر منوچهر قلی پور	

اساتید داور	امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء
نام و نام خانوادگی : دکتر حمید رضا اصغری		نام و نام خانوادگی : دکتر محمد هادی موحدی نژاد	
نام و نام خانوادگی : دکتر حمید عباس دخت			

ماحصل آموخته‌هایم را تقدیم می‌کنم به آنان که مهر آسمانی‌شان آرام‌بخش آلام زمینی‌ام است

به استوارترین تکیه‌گاهم، دستان پرمهر پدرم

به سبزترین نگاه زندگی‌ام، چشمان پاک مادرم

که هرچه آموختم در مکتب عشق شما آموختم و هرچه بکوشم قطره‌ای از دریای بی‌کران مهربانی‌تان را سپاس نتوانم گفت

امروز، هستی‌ام به امید شماست و فردا کلید باغ بهشتم رضای شما

باشد که حاصل تلاشم نسیم گونه غبار خستگی‌تان را بزداید.

بوسه بر دستان پرمهرتان

از دست و زبان که برآید کز عهده شکرش بدرآید

خدایا اگر آمدم اگر می روم اگر آموختم اگر نگاشتم و اگر فهمیدم از تو بود و حال اگر حمد تو را بر لب جاری دارم می دانم باز آن هم از توست.

سپاس بیکران خداوند عزوجل را که نعمت دانش اندوزی و کسب معرفت را به این حقیر عطا فرمود تا در سایه آن گامی دیگر در جهت تقرب به ذات مقدس وجودش و نیز خدمت آتی به خلق بردارم.

با سپاس فراوان از استاد راهنمای فرهیخته ام جناب آقای دکتر مهدی برادران فیروزآبادی که در طول مدت انجام این پایان نامه از رهنمودهای علمی و اخلاقی ایشان بهره مند شدم و درگاه خداوند بزرگ را شاکرم که افتخار شاگردی ایشان را نصیبم نمود. از اساتید مشاورم جناب آقای دکتر احمد غلامی و دکتر منوچهر قلی پور به خاطر رهنمودهای علمی ارزنده شان بسیار سپاس گزارم. همچنین از اساتید محترم جناب آقای دکتر حمید عباس دخت و جناب آقای دکتر حمیدرضا اصغری که زحمت داوری این پایان نامه را تقبل نموده اند، صمیمانه تشکر می نمایم.

از تمامی دوستان، همکلاسی های گرامیم که لحظاتی سرشار از صفا و صمیمیت را در کنار خود برایم به یادگار گذاشتند و همیشه این جانب را مورد لطف و محبت قرار داده و هریک به نوعی با همدلی و همکاری یاریم دادند تشکر می کنم و برایشان بهترین آرزوها را دارم. در پایان از خانواده محترمم که مرا در طی دوران تحصیل یاری نمودند کمال تقدیر و تشکر را دارم.

وحید عباسی، شهریور ۱۳۹۵

تعهد نامه

اینجانب **وحید عباسی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده **پایان نامه تأثیر محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید بر خصوصیات فیزیولوژیک و مرفولوژیک آفتابگردان تحت شرایط کم آبیاری** تحت راهنمائی **دکتر مهدی برادران فیروزآبادی** متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- *کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.*
- *استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.*

تأثیر محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید بر خصوصیات فیزیولوژیک و مرفولوژیک آفتاب‌گردان تحت تنش کم‌آبیاری

چکیده

امروزه کاربرد مواد آنتی‌اکسیدان و تنظیم‌کننده رشد گیاه به منظور کاهش اثرات منفی ناشی از تنش‌های مختلف مطرح شده است. متانول و سدیم نیتروپروساید از جمله این مواد هستند که موجب مقاومت گیاه به تنش‌های زیستی و غیر زیستی می‌شوند. جهت بررسی نقش این مواد در گیاه آفتاب‌گردان آزمایشی در سال ۱۳۹۳ به‌صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود انجام شد. فاکتور اصلی تنش کم‌آبیاری شامل ۲ سطح ۸ و ۱۶ روز آبیاری (به‌ترتیب به‌عنوان عدم تنش و تنش) و فاکتورهای فرعی شامل ۳ سطح محلول‌پاشی متانول (صفر، ۱۵ و ۳۰ درصد حجمی) و محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید در ۳ سطح (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار) مورد بررسی قرار گرفتند. در این آزمایش تنش کم‌آبیاری موجب کاهش سطح برگ، وزن خشک برگ، ساقه و طبق، قطرطبق، وزن هزار دانه، تعداد دانه در طبق، عملکرد دانه، کلروفیل a و کلروفیل کل شد. با تأخیر در آبیاری محتوای نسبی آب برگ و شاخص پایداری غشاء نیز کاهش یافت. تعداد دانه پوک در طبق در شرایط تنش (۱۶ روز) افزایش یافت. محتوای نسبی آب برگ و شاخص پایداری غشاء نیز از صفاتی بودند که با کاربرد سدیم نیتروپروساید به‌طور معنی‌داری افزایش یافتند. درصد پروتئین و روغن دانه با کاربرد بالاترین سطح سدیم نیتروپروساید (۱۰۰ میکرومولار) به ترتیب ۲/۵۸ و ۶/۱۹ افزایش یافتند. نتایج نشان داد کاربرد ترکیبی ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید و ۱۵ درصد حجمی متانول وزن هزار دانه را به میزان ۲۵ درصد افزایش و تعداد دانه پوک در طبق را به اندازه ۱۴ دانه معادل ۳۴/۰۳ درصد کاهش دهد. محلول‌پاشی با دو غلظت ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید به ترتیب موجب افزایش ۸/۲۶ و ۱۹/۰۷ درصدی عملکرد دانه در شرایط تنش نسبت به شاهد گردید. محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید و متانول توانست تا حد زیادی اثرات مضر تنش کم‌آبیاری را بهبود دهد و در نهایت در محدوده پژوهش انجام شده ترکیب تیماری ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید به همراه متانول ۱۵ درصد حجمی را می‌توان به‌عنوان بهترین ترکیب تیماری معرفی کرد.

کلمات کلیدی: اجزای عملکرد، پروتئین و روغن دانه، کلروفیل، ماده خشک

لیست مقالات مستخرج شده از پایان‌نامه

۱- عباسی، و.، برادران فیروزآبادی، م.، غلامی، ا. و قلی‌پور، م. ۱۳۹۵. تأثیر محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه آفتاب‌گردان تحت تنش کم‌آبیاری. دومین کنگره بین‌المللی و چهاردهمین کنگره ملی علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران. دانشگاه گیلان. ۹-۱۱ شهریور.

۲- عباسی، و.، برادران فیروزآبادی، م.، غلامی، ا. و قلی‌پور، م. ۱۳۹۵. تأثیر محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید بر تجمع ماده خشک در گیاه آفتاب‌گردان تحت تنش کم‌آبیاری. همایش ملی یافته‌های پژوهش و فناوری در اکوسیستم‌های طبیعی و کشاورزی. دانشگاه تهران. ۲۸ مهر.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: مقدمه	**۱**
فصل دوم: بررسی منابع	**۷**
۲-۱- آفتاب‌گردان	۸
۲-۱-۱- تاریخچه	۸
۲-۱-۲- اهمیت و موارد مصرف	۸
۲-۱-۳- گیاه‌شناسی	۹
۲-۱-۴- سازگاری	۱۰
۲-۱-۵- مراحل رشد و نمو	۱۱
۲-۱-۶- نیاز آبی	۱۲
۲-۲- نقش آب در گیاه	۱۳
۲-۳- تنش کم‌آبی	۱۴
۲-۴- اثر تنش کم‌آبی بر گیاهان زراعی	۱۵
۲-۴-۱- رشد و توسعه سلولی	۱۶
۲-۴-۲- برگ	۱۶
۲-۴-۳- فتوسنتز و کلروفیل	۱۷
۲-۴-۴- بیوماس (تر و خشک) و عملکرد	۱۸
۲-۴-۵- میزان آب نسبی و پتانسیل آب برگ	۱۹
۲-۴-۶- پایداری غشای پلاسمایی	۲۰
۲-۴-۷- پروتئین دانه	۲۰
۲-۴-۸- روغن دانه	۲۱
۲-۴-۹- آسیب‌های اکسیداتیو	۲۲

۲-۵- متانول ۲۲

۲-۶- نقش متانول در گیاهان زراعی ۲۳

۲-۶-۱- سطح برگ ۲۳

۲-۶-۲- فتوسنتز و تنفس ۲۳

۲-۶-۳- عملکرد ۲۴

۲-۷- اثر متانول بر گیاهان زراعی در شرایط تنش ۲۴

۲-۸- سدیم نیتروپروساید ۲۶

۲-۹- نقش سدیم نیتروپروساید در گیاهان ۲۸

۲-۱۰- اثر سدیم نیتروپروساید بر گیاهان زراعی در شرایط تنش ۲۸

فصل سوم: مواد و روش‌ها **۳۱**

۳-۱- زمان و مشخصات محل اجرای آزمایش ۳۲

۳-۲- مشخصات طرح آزمایشی ۳۲

۳-۳- عملیات اجرایی ۳۲

۳-۳-۱- آماده سازی زمین ۳۲

۳-۳-۲- کاشت ۳۳

۳-۳-۳- داشت ۳۵

۳-۳-۴- اعمال تیمارها ۳۵

۳-۳-۵- برداشت ۳۵

۳-۴- نمونه برداری جهت صفات زراعی و مرفولوژیک ۳۵

۳-۵- اندازه‌گیری صفات زراعی و مرفولوژیک ۳۶

۳-۵-۱- وزن خشک برگ، ساقه و طبق ۳۶

۳-۵-۲- ارتفاع و قطر ساقه ۳۶

۳-۵-۳- قطر طبق ۳۶

۳-۵-۴- شاخص سطح برگ ۳۶

۳-۵-۵- عملکرد و اجزای عملکرد ۳۷

۳-۶- اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیک ۳۷

۳-۶-۱ مقدار نسبی آب برگ ۳۷

۳-۶-۲- پایداری غشای پلاسمایی ۳۸

۳-۶-۳- کلروفیل a، b و کاروتنوئید ۳۸

۳-۷- صفات کیفی ۳۹

۳-۷-۱- درصد و عملکرد روغن ۳۹

۳-۷-۲- درصد پروتئین ۴۰

۳-۸- تجذیه و تحلیل داده‌ها ۴۱

فصل چهارم: نتایج و بحث **۴۳**

۴-۱- ماده خشک ۴۴

۴-۱-۱- وزن خشک برگ ۴۴

۴-۱-۲- وزن خشک ساقه ۴۵

۴-۱-۳- وزن خشک طبق ۴۸

۴-۲- شاخص سطح برگ ۵۰

۴-۳- صفات زراعی و مرفولوژیک ۵۲

۴-۳-۱- ارتفاع بوته ۵۲

۴-۳-۲- قطر ساقه ۵۳

۴-۳-۳- قطر طبق ۵۵

۴-۳-۴- تعداد دانه پوک در طبق ۵۷

۴-۳-۵- نسبت مغز به پوست دانه ۵۹

۴-۴- عملکرد و اجزای عملکرد ۵۹

۴-۴-۱- وزن هزار دانه ۵۹

۴-۴-۲- تعداد دانه در طبق ۶۱

۴-۴-۳- عملکرد دانه ۶۲

۴-۵- صفات فیزیولوژیک ۶۳
۴-۵-۱- محتوای نسبی آب برگ ۶۳
۴-۵-۲- شاخص پایداری غشاء ۶۵
۴-۶- کلروفیل ۶۷
۴-۶-۱- کلروفیل a ۶۷
۴-۶-۲- کلروفیل b ۷۰
۴-۶-۳- کلروفیل کل ۷۱
۴-۶-۴- کاروتنوئید ۷۳
۴-۷- صفات کیفی ۷۵
۴-۷-۱- درصد روغن ۷۵
۴-۷-۲- عملکرد روغن ۷۷
۴-۷-۳- درصد پروتئین ۷۹
۴-۸- نتیجه‌گیری ۸۰
۴-۹- پیشنهادات ۸۱
پیوست‌ها ۸۳
منابع ۹۱

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۳-۱- نقشه کاشت طرح آزمایشی مورد استفاده ۳۳

شکل ۴-۱- مقایسه میانگین وزن خشک برگ تحت تأثیر تنش کم‌آبیاری ۴۴

شکل ۴-۲- مقایسه میانگین وزن خشک برگ تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید ۴۵

شکل ۴-۳- مقایسه میانگین وزن خشک ساقه تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی متانول ۴۷

شکل ۴-۴- مقایسه میانگین وزن خشک ساقه تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید ۴۷

شکل ۴-۵- مقایسه میانگین وزن خشک طبق تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید ۴۸

شکل ۴-۶- مقایسه میانگین وزن خشک طبق تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی متانول ۴۹

شکل ۴-۷- مقایسه میانگین وزن خشک طبق تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید ۴۹

شکل ۴-۸- مقایسه میانگین شاخص سطح برگ تحت تأثیر تنش کم‌آبیاری ۵۱

شکل ۴-۹- مقایسه میانگین شاخص سطح برگ تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید ۵۱

شکل ۴-۱۰- مقایسه میانگین ارتفاع بوته تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید ۵۳

شکل ۴-۱۱- مقایسه میانگین قطر ساقه تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی متانول ۵۴

شکل ۴-۱۲- مقایسه میانگین قطر ساقه تحت تأثیر محلول‌پاشی با غلظت‌های مختلف سدیم نیتروپروساید ۵۴

شکل ۴-۱۳- مقایسه میانگین قطر طبق تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی متانول ۵۶

شکل ۴-۱۴- مقایسه میانگین قطر طبق تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید ۵۶

شکل ۴-۱۵- مقایسه میانگین تعداد دانه پوک در طبق تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از تنش‌کم‌آبیاری و محلول‌پاشی سدیم‌نیتروپروساید ۵۸

شکل ۴-۱۶- مقایسه میانگین تعداد دانه پوک در طبق تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید ۵۸

شکل ۴-۱۷- مقایسه میانگین وزن هزار دانه تحت تأثیر تنش کم‌آبیاری ۶۰

شکل ۴-۱۸- مقایسه میانگین وزن هزار دانه تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید ۶۰

شکل ۴-۱۹- مقایسه میانگین تعداد دانه در طبق تحت تأثیر تنش کم‌آبیاری ۶۱

شکل ۴-۲۰- مقایسه میانگین عملکرد دانه تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از تنش‌کم‌آبیاری و محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید ۶۲

شکل ۴-۲۱- مقایسه میانگین عملکرد دانه تحت تأثیر محلول‌پاشی با غلظت‌های مختلف متانول ۶۳

شکل ۴-۲۲- مقایسه میانگین محتوای نسبی آب برگ تحت تأثیر تنش کم‌آبیاری ۶۴

شکل ۴-۲۳- مقایسه میانگین محتوای آب نسبی برگ تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید ۶۵

شکل ۴-۲۴- مقایسه میانگین شاخص پایداری غشاء تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از تنش‌کم‌آبیاری و محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید ۶۶

شکل ۴-۲۵- مقایسه میانگین شاخص پایداری غشاء تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید ۶۷

شکل ۴-۲۶- مقایسه میانگین کلروفیل a تحت تأثیر تنش کم‌آبیاری ۶۸

شکل ۴-۲۷- مقایسه میانگین کلروفیل a تحت تأثیر محلول‌پاشی با غلظت‌های مختلف سدیم نیتروپروساید ۶۹

شکل ۴-۲۸- مقایسه میانگین کلروفیل a تحت تأثیر محلول‌پاشی با غلظت‌های مختلف متانول ۶۹

شکل ۴-۲۹- مقایسه میانگین کلروفیل b تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید ۷۰

شکل ۴-۳۰- مقایسه میانگین کلروفیل کل تحت تأثیر تنش کم‌آبیاری ۷۱

شکل ۴-۳۱- مقایسه میانگین کلروفیل کل تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید ۷۳

شکل ۴-۳۲- مقایسه میانگین کاروتنوئید تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از تنش‌کم‌آبیاری و محلول‌پاشی متانول ۷۴

شکل ۴-۳۳- مقایسه میانگین کاروتنوئید تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید ۷۴

شکل ۴-۳۴- مقایسه میانگین درصد روغن دانه تحت تأثیر تنش کم‌آبیاری ۷۵

شکل ۴-۳۵- مقایسه میانگین درصد روغن دانه تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید ۷۶

شکل ۴-۳۶- مقایسه میانگین عملکرد روغن تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از تنش‌کم آبیاری و محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید ۷۸

شکل ۴-۳۷- مقایسه میانگین عملکرد روغن تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید ۷۸

شکل ۴-۳۸- مقایسه میانگین درصد پروتئین دانه تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از تنش‌کم آبیاری و محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید ۷۹

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۳-۱- ترکیبات تیماری مورد استفاده در آزمایش ۳۴

جدول پیوست ۱- میانگین مربعات وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه، وزن خشک طبق و شاخص سطح برگ تحت تأثیر تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید ۸۴

جدول پیوست ۲- مقایسه میانگین وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه، وزن خشک طبق و شاخص سطح برگ تحت تأثیر تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید ۸۴

جدول پیوست ۳- میانگین مربعات ارتفاع بوته، قطر ساقه و قطر طبق تحت تأثیر تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید ۸۵

جدول پیوست ۴- مقایسه میانگین ارتفاع بوته، قطر ساقه و قطر طبق تحت تأثیر تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید ۸۵

جدول پیوست ۵- میانگین مربعات تعداد دانه پوک در طبق و نسبت مغز به پوست دانه تحت تأثیر تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید ۸۶

جدول پیوست ۶- مقایسه میانگین تعداد دانه پوک در طبق و نسبت مغز به پوست دانه تحت تأثیر تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید ۸۶

جدول پیوست ۷- میانگین مربعات وزن هزار دانه، تعداد دانه در طبق و عملکرد دانه تحت تأثیر تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید ۸۷

جدول پیوست ۸- مقایسه میانگین وزن هزار دانه، تعداد دانه در طبق و عملکرد دانه تحت تأثیر تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید ۸۷

جدول پیوست ۹- میانگین مربعات محتوای نسبی آب برگ و شاخص پایداری غشاء تحت تأثیر تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید ۸۸

جدول پیوست ۱۰- مقایسه میانگین محتوای نسبی آب برگ و شاخص پایداری غشاء تحت تأثیر تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید ۸۸

جدول پیوست ۱۱- میانگین مربعات کلروفیل a، کلروفیل b، مجموع کلروفیل و کاروتنوئید تحت تأثیر تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید ۸۹

جدول پیوست ۱۲- مقایسه میانگین کلروفیل a، کلروفیل b، مجموع کلروفیل و کاروتنوئید تحت تأثیر تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید ۸۹

جدول پیوست ۱۳- میانگین مربعات درصد روغن، عملکرد روغن و درصد پروتئین تحت تأثیر تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی متانول و سدیم‌نیتروپروساید ۹۰

جدول پیوست ۱۴- مقایسه میانگین درصد روغن، عملکرد روغن و درصد پروتئین تحت تأثیر تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی متانول و سدیم‌نیتروپروساید ۹۰

فصل اول

مقدمه

هر عاملی که مراحل متابولیکی طبیعی یک گیاه را متوقف یا محدود کند، تنش محسوب می‌شود. رشد و عملکرد گیاه در بسیاری از مناطق دنیا توسط تنش‌های محیطی زنده و غیرزنده متعدد محدود می‌گردد. به همین علت اختلاف قابل توجهی بین عملکرد واقعی و عملکرد بالقوه محصولات زراعی دیده می‌شود. در دهه‌های آینده با افزایش جمعیت، این محدودیت‌ها به‌صورت جدی‌تری بر کشاورزی و منابع طبیعی دنیا اثر خواهد گذاشت (کافی و مهدوی دامغانی، ۱۳۸۱).

انواع تنش‌های زنده و غیرزنده رشد گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهند. از جمله تنش‌های زنده می‌توان به تنش ناشی از آفات و بیماری‌ها اشاره کرد و از تنش‌های غیرزنده می‌توان تنش‌های کم‌آبی، شوری، گرما، سرما، عناصر سنگین و غیره را نام برد که به‌صورت طبیعی موجب کاهش عملکرد گیاهان می‌شوند (آلوارز و همکاران، ۱۹۹۷). از این میان تنش کم‌آبی تقریباً به‌عنوان مهم‌ترین عامل کاهش تولید محصولات کشاورزی مطرح شده است که به دلیل خسارات جبران ناپذیری که بر گیاه وارد می‌کند، دامنه وسیعی از تحقیقات را به خود مشغول ساخته است. تنش کم‌آبی می‌تواند موجب اختلال در یک یا چند فعالیت فیزیولوژیکی مانند تعرق، طویل شدن بافت‌ها، اندام‌ها و فعالیت‌های آنزیمی شود و یا حتی سبب توقف آن‌ها شود (ساینی و وتگات، ۲۰۰۰).

تنش کم‌آبی از طریق کاهش سطح برگ، بسته شدن روزنه‌ها، کاهش در قابلیت هدایت روزنه ها، کاهش سنتز پروتئین و کلروفیل سبب تقلیل فرآیند فتوسنتز می‌گردد (علیزاده، ۱۳۶۹). انتقال مواد فتوسنتزی نیز تحت تأثیر تنش کمبود آب قرار می‌گیرد و بدیهی است که با محدود شدن فرآورده‌های فتوسنتزی در شرایط کمبود آب، رشد گیاه و در نهایت عملکرد آن دچار نقصان می‌شود (سرمدنیا و کوچکی، ۱۳۷۱).

تنش خشکی و خشکسالی ۴۰ تا ۶۰ درصد از زمین‌های کشاورزی جهان را تحت تأثیر قرار داده است. تنش خشکی به ویژه در مناطق گرم و خشک موجب محدود شدن عملکرد گیاهان زراعی می-شود. زمانی که از دست دادن آب به صورت تعرق بر میزان آب جذب شده از خاک پیشی می‌گیرد

(بیمارائو سنکار و همکاران، ۲۰۰۷)، یا وقتی جذب آب به وسیله ریشه مشکل می‌شود تنش آب رخ می‌دهد، که این دو شرایط اغلب در محیط‌های خشک و نیمه خشک رخ می‌دهند (مانیوانان و همکاران، ۲۰۰۷). خشکی خطری برای تولید موفقیت‌آمیز محصولات زراعی در سرتاسر جهان است و موقعی اتفاق می‌افتد که ترکیبی از عوامل فیزیکی و محیطی موجب تنش در داخل گیاه شده و در نتیجه تولید را کاهش می‌دهد (اهدایی، ۱۳۷۲).

ایران به دلیل موقعیت مکانی (عرض جغرافیایی ۲۵ تا ۳۸ درجه شمالی)، وضعیت اقلیمی و ساختار طبیعی خود و با دارا بودن متوسط نزولات آسمانی ۲۴۰ میلی‌متر در سال از جمله ۶۰ کشور جهان است که در کمربند خشکی قرار گرفته است بنابراین تولیدات کشاورزی آن متأثر از شرایط نامطلوب کمربند خشکی و نیز متأثر از خشکسالی است که هر چند سال یکبار اتفاق می‌افتد. با توجه به اینکه کشور ما امروزه وارد کننده بزرگ روغن خوراکی به شمار می‌رود و هم چنین به دلیل موقعیت جغرافیایی، در اکثر نقاط آن تنش‌های مهم غیر زنده موجب کاهش عملکرد و در مواردی نیز موجب عدم موفقیت در کشاورزی گردیده است (حلاجی، ۱۳۸۴). لذا ضرورت دارد علاوه بر افزایش سطح زیر کشت دانه‌های روغنی، جهت حصول و یافتن بهترین شرایط محیطی و مناسب ترین رقم برای هر منطقه، طرح‌های پژوهشی روی دانه‌های روغنی در کشورمان انجام یابد (عباسی سیه‌جانی، ۱۳۸۷).

یکی از گیاهان روغنی مناسب برای اقلیم کشور آفتاب‌گردان است (کریم زاده و همکاران، ۲۰۰۴). آفتاب‌گردان گیاهی یکساله و بومی نواحی مرکزی قاره آمریکا است. دانه آفتاب‌گردان حاوی ۴۸ تا ۵۳ درصد روغن، ۱۴ تا ۱۹ درصد پروتئین، ۲۵ درصد کربوهیدرات و ۴ درصد مواد معدنی می‌باشد (آلیاری و همکاران، ۱۳۷۹). روغن ارقام مختلف آفتاب‌گردان به‌طور متوسط حاوی ۱۰تا ۱۲ درصد اسیدهای چرب اشباع، ۱۶ تا ۲۰ درصد اسید اولئیک، ۶۸ تا۷۲ درصد اسید لینولئیک می‌باشد و فاقد کلسترول است (خواجه پور، ۱۳۸۹). این گیاه نیز مانند سایر گیاهان ممکن است در دوره رشد خود

با انواع تنش‌های محیطی روبرو شود که منجر به صدمه به گیاه می‌شود. مطالعات زیادی نشان داده است که کم‌آبی یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده رشد آفتاب‌گردان است (چیمنتی و همکاران، ۲۰۰۲).

افزایش مقاومت به تنش‌های غیر زیستی در برخی گیاهان، از طریق کاربرد خارجی ترکیبات آلی گوناگون صورت می‌گیرد. این ترکیبات می‌توانند سبب حفاظت از گیاه در برابر عوامل محیطی تنش زا شده و در نهایت موجب افزایش محصول شوند (اشرف و فولاد، ۲۰۰۷). امروزه کاربرد ترکیبات الکلی به جهت تأثیرگذاری بر متابولیسم گیاهان از قبیل تنظیم سرعت متابولیکی مواد در گیاه و افزایش فعالیت فتوسنتزی در شرایط تنش حائز اهمیت گردیده است (راجالا و همکاران، ۱۹۹۸). متانول از جمله موادی است که به لحاظ داشتن اکسیژن، کربن و هیدروژن در فرمول شیمیایی خود موجب افزایش تثبیت CO_2 در گیاهان زراعی در واحد سطح می‌شود (صفرزاده ویشگاهی، ۲۰۰۵). متانول خاصیت ضد تنشی دارد و سبب خنک شدن کانوپی و همچنین افزایش مقدار دی اکسید کربن درون برگی می‌شود (تئودوریدو و همکاران، ۲۰۰۲).

یکی دیگر از موادی که اخیراً به منظور کاهش اثرات تنش درگیاهان مورد آزمایش و استفاده قرار گرفته است، سدیم نیتروپروساید است. سدیم نیتروپروساید به صورت پودری قرمز رنگ یک ترکیب رها کننده نیتریک اکسید است، نیتریک اکسید یک مولکول فعال زیستی است که در شرایط تنش به‌طور فزاینده‌ای در اندام‌های گوناگون گیاه دیده می‌شود (وایکزورک و همکاران، ۲۰۰۶). این ترکیب در تحریک جوانه زنی بذر، تقسیم سلولی، افزایش میزان کلروفیل و بسیاری از اعمال دیگر سلول دخالت دارد و قادر است با گونه‌های فعال اکسیژن واکنش دهد و آسیب ناشی از آن‌ها را کاهش دهد و به صورت مواد آنتی اکسیدان ایفای نقش می‌کند (بلیگنی و لاماتینا، ۲۰۰۰). گزارش شده است که سدیم نیتروپروساید می‌تواند فرآیندهای مرتبط با رشد و نمو را تنظیم کند (لشم و همکاران، ۱۹۹۷).

در این تحقیق از متانول و سدیم نیتروپروساید به عنوان دو نمونه از این ترکیبات استفاده شده است و تأثیر محلول‌پاشی این دو ماده بر خصوصیات فیزیولوژیکی و مرفولوژیکی آفتاب‌گردان تحت تنش کم‌آبی مورد بررسی قرار گرفته است.

اهداف این تحقیق شامل موارد زیر است:

۱- بررسی تأثیر متانول بر خصوصیات فیزیولوژیک و مرفولوژیک آفتاب‌گردان در شرایط تنش کم آبی و عدم تنش.
۲- بررسی تأثیر سدیم نیتروپروساید بر خصوصیات فیزیولوژیک و مرفولوژیک آفتاب‌گردان در شرایط تنش کم‌آبی و عدم تنش.
۳- یافتن مناسب‌ترین غلظت و ترکیب تیماری حاصل از متانول و سدیم نیتروپروساید به لحاظ کاهش صدمات ناشی از کم‌آبی در گیاه.

فصل دوم

بررسی منابع

۲-۱- آفتاب‌گردان

۲-۱-۱- تاریخچه

آفتاب‌گردان از گیاهان بومی نواحی مرکزی قاره آمریکا می‌باشد، که ظاهراً منشأ آن پرو و یا مکزیک است. آفتاب‌گردان در قرن شانزدهم میلادی توسط اسپانیایی‌ها به اروپاه برده شد و از آنجا به سایر نقاط دنیا راه یافت. کشورهای آرژانتین، روسیه، فرانسه و چین مهم‌ترین تولیدکنندگان آفتاب-گردان در جهان به شمار می‌روند. بر اساس گزارش فائو، مقدار تولید دانه آفتاب‌گردان در جهان در سال ۲۰۰۰ حدود ۲۶۰ میلیون تن با میانگین عملکرد ۱۲۴۰ کیلوگرم در هکتار بوده است. استان‌های اردبیل، آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی و فارس مهم‌ترین تولیدکنندگان آفتاب‌گردان آبی و مازندران و گلستان مهم‌ترین تولیدکنندگان آفتاب‌گردان دیم می‌باشند (خواجه‌پور، ۱۳۸۹).

۲-۱-۲- اهمیت و موارد مصرف

دانه آفتاب‌گردان بر اساس درصد روغن و اندازه دانه جهت روغن‌گیری، مصرف آجیلی و تغذیه پرندگان مصرف می‌شود. انواع آجیلی دانه‌های درشت‌تری نسبت به انواع روغنی دارند، ولی درصد روغن آنها معمولاً کمتر و حدود ۲۵ تا ۳۰ درصد است. پائین بودن نسبت پوسته به کل دانه اهمیت زیادی در بازارپسندی محصول دارد. میزان روغن در دانه ارقامی که جهت روغن‌گیری مصرف می‌شوند غالباً ۴۰ تا ۵۰ درصد است، هرچند درصد روغن تا ۶۵ درصد نیز می‌رسد. روغن اکثر ارقام به‌طور میانگین شامل حدود ۱۰ تا ۱۲ درصد اسیدهای چرب اشباع، ۱۶ تا ۲۰ درصد اسیدهای اولئیک، ۶۸ تا ۷۲ درصد اسیدلینولئیک و مقدار ناچیزی اسیدلینولنیک می‌باشد و فاقد کلسترول است. روغن‌های با اسید اولئیک بالا به‌عنوان طباخی جهت سرخ کردن مواد غذایی و روغن‌های با اسید لینولئیک بالا به‌عنوان روغن سالادی کاربرد دارند. روغن آفتاب‌گردان علاوه بر مصرف در صنایع غذایی، در تهیه صابون و رنگ‌های پرکیفیت و تولید لوازم آرایشی و پلاستیک کاربرد دارد (خواجه‌پور، ۱۳۸۹). دانه آفتابگردان حاوی ۴۸ تا ۵۳ درصد روغن، ۱۴ تا ۱۹ درصد پروتئین، ۲۵ درصد کربوهیدرات و ۴ درصد مواد معدنی می‌باشد (آلیاری و همکاران، ۱۳۷۹).

۲-۱-۳- گیاه‌شناسی

آفتاب‌گردان با نام علمی *Helianthus annus* گیاهی یک ساله از خانواده Asteraceae می‌باشد که به‌صورت بوته‌ای استوار رشد می‌نماید. آفتاب‌گردان داری ریشه اصلی عمقی است که در محدوده زیر یقه و در سطح خاک حاوی شبکه ریشه قوی افشان است که این بخش حدود ۵۰ الی ۷۰ درصد بیوماس کل سیستم ریشه را شامل می‌گردد. ریشه اصلی در شرایط مناسب بافت خاک می‌تواند ۲/۵ تا ۳ متر نیز در خاک نفوذ نماید. علاوه بر ریشه اصلی، ریشه‌های فرعی که تا عمق ۲۵ سانتی‌متری گسترش می‌یابند و ریشه‌های سطحی که در سطح خاک پراکنده‌اند نیز در آفتاب‌گردان قابل مشاهده است. آفتاب‌گردان دارای ساقه‌ای بلند، ضخیم، خشن و کرک‌دار است. ساقه در ناحیه پائینی بوته گرد است که به تدریج به سمت بالا زاویه‌دار می‌شود، بوته معمولاً فاقد انشعاب است. ارتفاع بوته به رقم و شرایط محیطی بستگی دارد و از ۱ تا ۶ متر متغیر است. ساقه آفتاب‌گردان، در برش قطری از یک بخش بیرونی چوبی شده با الیاف فیبری فراوان و یک مغز داخلی سلولزی کم‌آب و سفیدرنگ تشکیل شده است. اکثر ارقام زراعی آفتاب‌گردان تک ساقه‌ای هستند که انتهای ساقه به یک طبق ختم می‌شود. برگ‌های بزرگ، کرکدار و قلبی‌شکل آفتاب‌گردان دارای حاشیه مضرس و دمبرگ بلند بوده و غالباً ۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متر طول و ۵ تا ۲۰ سانتی‌متر عرض دارند. برگ‌های پائینی بوته به‌صورت متقابل و برگ‌های فوقانی به‌صورت متناوب روی ساقه توزیع شده‌اند. تبدیل آرایش متقابل به متناوب به صورت تدریجی انجام می‌شود. به‌طور عمده برگ‌ها پوشیده از کرک‌های خشن است که به کاهش تعرق کمک می‌کند. گل‌آذین آفتاب‌گردان به‌صورت طبق و شامل یک نهنج بزرگ است که ممکن است در مرحله رسیدگی به حالت محدب، مقعر و یا مسطح مشاهده شود. در حاشیه نهنج، براکته‌هایی مشاهده می‌شوند که برگ‌هایی تغییر شکل یافته‌اند (آلیاری و همکاران، ۱۳۷۹؛ عرشی، ۱۳۷۶ و خواجه‌پور، ۱۳۸۹).

۲-۱-۴- سازگاری

آفتاب‌گردان در اغلب مناطق معتدله به‌خوبی می‌روید و خصوصیت‌های مختلف فیزیولوژیکی و مرفولوژیکی این گیاه در تطبیق پذیری وسیع آن دخالت دارد. آفتاب‌گردان گیاهی گرمادوست است که برای رشد و نمو مناسب به نور فراوان نیاز دارد و از لحاظ عکس‌العمل به طول روز عمدتاً جزء گیاهان بی‌تفاوت به طول روز می‌باشد. در بین ارقام موجود سه گروه روز بلند، روز خنثی و روز کوتاه قابل تشخیص می‌باشد ولی اکثر آن‌ها قدری تمایل به روز کوتاهی دارند. دمای مطلوب برای جوانه‌زنی بذر آفتاب‌گردان حدود ۱۳ الی ۱۵ درجه و حداقل دما برای جوانه‌زنی حدود ۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. همچنین رشد مطلوب را در دامنه دمایی ۱۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد دارد. در مقام مقایسه مقاومت آفتاب‌گردان نسبت به سرما بیش از ذرت است و سرمای اول فصل را بهتر از ذرت تحمل می‌کند (عرشی، ۱۳۷۶).

در دوران گرده‌افشانی دماهای پایین با تأثیر بر فعالیت حشرات گرده افشان و دماهای بالا با کاهش حیات دانه‌های گرده می‌تواند موجب کاهش عملکرد دانه و روغن شوند. آفتاب‌گردان با ریشه توسعه یافته‌ای که دارد به خشکی نسبتاً مقاوم است. مشروط به آن که خاک عمیق بوده و ساختمان خاک عامل محدود کننده‌ای برای رشد ریشه نباشد. این گیاه به ساختمان خاک بیشتر از بافت خاک حساس می‌باشد. نیاز رطوبتی بذر برای جوانه‌زنی در حد متوسط است. تولید دیم آفتاب‌گردان با وجود حدود ۵۰۰ میلی‌متر بارندگی و توزیع مناسب آن امکان‌پذیر می‌باشد (خواجه‌پور، ۱۳۸۹).

آفتاب‌گردان جزء گیاهان نسبتاً مقاوم به شوری است و در مقام مقایسه، شوری خاک را بهتر از لوبیا تحمل می‌کند. همچنین شوری خاک درصد روغن دانه‌های آفتاب‌گردان را کاهش می‌دهد ولی بر کیفیت روغن دانه‌ها تأثیر چندانی ندارد. این گیاه حساسیت زیادی به اسیدیته خاک ندارد و در خاک‌هایی با اسیدیته‌ای معادل ۵/۷ تا بیش از ۸ رشد می‌نماید ولی در اسیدیته خنثی رشد مناسبی دارد (گوینه و هارمر، ۱۹۸۲ و رابینسون و همکاران، ۱۹۸۰).

۲-۱-۵- مراحل رشد و نمو

کامل‌ترین تقسیم‌بندی برای مراحل نمو آفتاب‌گردان توسط میلر و روت (۱۹۸۲) ارائه گردید. طبق این تقسیم بندی مراحل نمو آفتاب‌گردان به دو بخش اصلی رشد رویشی و رشد زایشی تفکیک می‌شود. رشد رویشی شامل دو مرحله جوانه‌زنی و ظهور برگ‌های حقیقی و رشد زایشی شامل ۹ مرحله می‌باشد که به‌طور مختصر شرح داده می‌شوند.

مرحله رشد رویشی: شروع این مرحله با جوانه‌زنی و پایان آن هم‌زمان با ظهور گل‌آذین است. این مرحله خود به دو بخش متمایز تفکیک می‌شود:

۱- سبز شدن (V_E): در این مرحله لپه‌ها در سطح خاک پدیدار می‌شوند و طول اولین برگ حقیقی کمتر از ۴ سانتی‌متر می‌باشد.

۲- چند برگی (V_n): این مرحله بر مبنای تعداد برگ حقیقی گیاه که طول آن‌ها حداقل به بیش از ۴ سانتی‌متر رسیده باشد (به همراه برگ‌های پیر و زرد شده به جز برگهای لپه‌ای) به مراحل فرعی‌تر V_1، V_2 ...تا V_n تفکیک می‌شود.

مرحله رشد زایشی: این مراحل با ظهور گل‌آذین شروع شده و با رسیدگی فیزیولوژیک به پایان می‌رسند.

۱- مرحله R_1: در این مرحله براکته‌های نابالغ اطراف گل‌آذین را می‌پوشاند و اگر از بالا به گیاه نگاه شود براکته‌ها به همراه گل‌آذین به شکل یک ستاره به نظر می‌رسند و به همین خاطر این مرحله را مرحله ستاره‌ای شدن یا مرحله ظهور گل‌آذین نیز می‌نامند.

۲- مرحله R_2: در طی این مرحله میان‌گره زیر گل‌آذین شروع به طویل شدن می‌کند و طول آن به ۰/۵ تا ۲ سانتی‌متر می‌رسد.

۳- مرحله R_3: با ادامه رشد میان‌گره زیر گل‌آذین طول این میان‌گره از ۲ سانتی‌متر فراتر رفته و گل‌آذین از براکته‌هایی که آن را احاطه کرده‌اند، جدا می‌شود.

۴- مرحله R_4: در این مرحله گل‌آذین شروع به باز شدن نموده و گل‌های شعاعی از درون گل‌آذین بیرون می‌آیند.

۵- مرحله R_5: این مرحله مصادف با شروع گرده‌افشانی می‌باشد. گل‌های شعاعی باز شده‌اند و تمام گل‌های طبق قابل مشاهده‌اند. گرده‌افشانی از گل‌های ردیف‌های بیرونی طبق به سمت مرکز طبق انجام می‌شود.

۶- مرحله R_6: در این مرحله گرده‌افشانی کامل شده و گل‌های شعاعی شادابی خود را از دست داده و پژمرده می‌گردند و سپس ریزش می‌کنند.

۷- مرحله R_7: پشت طبق در این مرحله تغییر رنگ داده و به زردی می‌گراید. این زرد شدن پشت طبق از مرکز شروع و به سمت بیرون طبق ادامه می‌یابد.

۸- مرحله R_8: پشت طبق کاملاً زرد شده است لیکن براکته‌ها هنوز سبز هستند.

۹- مرحله رسیدگی فیزیولوژیک R_9: براکته‌ها در این مرحله زرد و سپس قهوه‌ای می‌شوند و قسمت عمده‌ای از پشت طبق شروع به قهوه‌ای شدن می‌نماید و رسیدگی کامل می‌شود.

۲-۱-۶- نیاز آبی

حساسیت به کم‌آبی در آفتاب‌گردان از مدت کوتاهی قبل از مشاهده طبق تا هنگام رنگ‌گیری کامل دانه‌ها یا زمان کاهش رنگ سبز پشت طبق زیاد است. بیشترین حساسیت به تنش رطوبتی در مرحله گرده‌افشانی مشاهده می‌گردد. وقوع تنش رطوبتی از مرحله مشاهده طبق تا پایان گرده‌افشانی سبب نقصان اندازه دانه و درصد روغن می‌شود و عملکردهای دانه و روغن را کاهش می‌دهد. به‌طور کلی مقاومت آفتاب‌گردان نسبت به تنش رطوبتی در اواخر رشد دانه در مقایسه با غلات دانه ریز کم است (خواجه‌پور، ۱۳۸۹).

برنامه آبیاری آفتاب‌گردان را می‌توان در خاک‌های دارای بافت متوسط تا نیمه سنگین به شرح زیر پیشنهاد نمود. از زمان کاشت تا استقرار بوته‌ها (مرحله ۲ تا ۴ برگی)، آبیاری باید بر اساس بافت خاک، اقلیم و تاریخ کاشت، هر ۵ تا ۱۰ روز یکبار انجام گیرد. آبیاری‌های بعدی تا ظهور اولین آثار مشاهده طبق هنگامی به‌عمل آیند که پتانسیل آب در خاک به حدود ۱- تا ۲- اتمسفر رسیده و یا حدود ۶۰ تا ۶۵ درصد رطوبت قابل استفاده مصرف شده باشد. تبخیر حدود ۹۰ تا ۱۰۰ میلی آب از تشت تبخیر استاندارد، معیار قابل استفاده دیگری در این مرحله از رشد می‌باشد. از زمان پیدایش اولین لکه‌های زردی در پشت طبق (شروع رسیدگی) به یک یا دو آبیاری نیاز است. این آبیاری‌ها را می‌توان به ترتیب بر اساس رسیدن آب در خاک به حدود ۱- تا ۳- اتمسفر، معادل تقریبی تخلیه ۶۰ و ۷۰ درصد از رطوبت قابل استفاده از خاک و یا ۹۰ و ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر استاندارد انجام داد (خواجه پور، ۱۳۸۹).

۲-۲- نقش آب در گیاه

از بین عوامل مورد نیاز برای رشد و فعالیت گیاه، آب به‌عنوان مهم‌ترین و در عین حال محدودترین منبع برای کشاورزی محسوب می‌شود (کافی و همکاران، ۱۳۸۸). آب بیشتر از ۹۵ درصد وزن‌تر اندام‌های گیاهی را تشکیل می‌دهد و در اکثر پدیده‌های که در گیاه اتفاق می‌افتد نقش اساسی دارد. بین ۶۰ تا ۹۰ درصد آب در داخل سلول‌ها قرار دارد و تا حدودی به استحکام سلول‌ها کمک می‌کند (کوچکی و همکاران، ۱۳۷۶). آب بر خلاف برخی دیگر از مواد درون سلول گیاهی، یک جزء موقت محسوب می‌شود، زیرا سلول به‌طور دائم آب را جذب کرده و از دست می‌دهد. تقریباً ۹۵ درصد آب موجود در پیکره گیاه از طریق تعرق خارج می‌گردد و تنها کمتر از ۵ درصد آب در فرآیندهای مختلف گیاهی شرکت می‌کند (کافی و همکاران، ۱۳۸۸).

آب در اساسی‌ترین فرآیند گیاهی یعنی فتوسنتز، به‌عنوان تأمین کننده الکترون، هیدروژن و اکسیژن نقش دارد (تایز و زایگر، ۲۰۰۶). آب محیط مناسبی جهت انجام واکنش‌های شیمیایی فراهم می‌نماید و تأثیر به‌سزایی بر ساختمان مولکول‌ها و خصوصیات پروتئین‌ها، غشاءها و اسیدهای

نوکلئیک دارد. از جهت دیگر آب در خنک شدن گیاه و پراکنش انرژی و کمک به تداوم حیات گیاه نقش اساسی دارد (کافی و دامغانی، ۱۳۸۱ و سلطانی، ۱۳۸۶).

آب در اندام‌های گیاهی محیطی را فراهم می‌سازد که در آن محیط تماس بسیاری از ترکیبات و عناصر بیشتر شده و فعل و انفعالات بیوشیمیایی در چنین محیطی امکان پذیرتر می‌شود. همچنین نقش ویژه آن در گیاهان تسریع انتقال مواد غذایی از مکان جذب ریشه به سایر اندام ها می‌باشد. وجود آب در واکوئل سلول‌های گیاهی موجب به‌وجود آمدن فشار تورگر (فشارآماس) می‌گردد و سبب تورژسانس سلول‌ها می‌شود. فشار تورگر خود موجب قرارگرفتن طبیعی اندام‌ها مثل برگ یا گل‌ها روی ساقه می‌گردد و یا در باز و بسته شدن روزنه‌ها مؤثر است. همچنین کاهش فشار تورگر موجب ایجاد پلاسمولیز در سلول‌های گیاهی می‌شود که در این حالت برخی تغییرات هورمونی و فیزیولوژیکی در گیاه پدیدار می‌شود (اردکانی، ۱۳۸۸).

۲-۳- تنش کم‌آبی

در کشاورزی خشکسالی عبارت از یک دوره خشکی است که سبب کاهش عملکرد محصول در مقایسه با شرایط فراهمی آب می‌شود. از دیدگاه هیدرولوژی، خشکی کاهش ذخایر آب‌های زیرزمینی در اثر کاهش نزولات جوی است و خشکسالی اقتصادی- اجتماعی نتیجه بحران آب و کاهش تولیدات کشاورزی است که اثر منفی بر کل اقتصاد جامعه می‌گذارد (اشوک میشرا و ویجای سینگ، ۲۰۱۰). از دیدگاه لویت (۱۹۸۰) خشکی یک اصطلاح هواشناسی بوده و به معنای دوره‌ای است که در آن مقدار بارندگی از مقدار تبخیر وتعرق بالقوه کمتر باشد.

کرامر (۱۹۸۳) خشکی را به‌عنوان فقدان یا کمبود نزولات جوی و به عبارتی کمبود رطوبت در محیط ریشه تعریف نموده است که موجب کاهش محصول می‌شود. از نظر وی میزان خسارت وارده وابسته به نوع گیاه، ظرفیت نگهداری آب گیاه، خاک و شرایط جوی مؤثر بر میزان تبخیر و تعرق می‌باشد. عدم توازن بین ذخیره آب در خاک و نیاز آبی گیاهان زراعی را خشکی می‌نامند. در شرایط دیم

پدیده خشکی عبارت از ذخیره ناکافی رطوبت حاصل از بارندگی و یا کمبود ذخیره رطوبت خاک برای رشد بهینه گیاه است (بلوم، ۲۰۰۵). از نظر فیزیولوژیست گیاهی، خشکی چیزی فراتر از فقدان بارندگی است و از این منظر پاسخ گیاه به تنش در نظر گرفته می‌شود، یعنی زمانی ظهور می‌کند که اندام‌های مختلف گیاه تحت تأثیر قرار گرفته باشند (کافی و همکاران، ۱۳۸۸).

تعریف تنش کم‌آبی و این که گیاه در چه شرایطی تحت تنش کم‌آبی است، دشوار است. در یک تعریف وسیع و گسترده این گونه بیان شده است که تنش کم‌آبی به شرایطی اطلاق می‌شود که آب در دسترس گیاه کمتر از نیاز گیاه برای ماکزیمم رشد باشد (هابیک و همکاران، ۱۹۸۶). همچنین اشاره شده است که که تنش کم‌آبی، گیاه را در سطح سلولی، بافت و اندام تحت تأثیر قرار می‌دهد (بیک و همکاران، ۲۰۰۷). تنش کم‌آبی موجب کاهش محتوای آب، پتانسیل آب برگ، کاهش فشار آماس سلول‌ها، بسته شدن روزنه‌ها و در نهایت کاهش اندازه سلول و رشد می‌شود. همچنین کم‌آبی منجر به اختلال در متابولیسم، ساختار سلول‌ها، توقف واکنش‌های کاتالیزوری آنزیم‌ها و توقف فتوسنتز می‌شود و ممکن است در ادامه مرگ گیاه را به دنبال داشته باشد (وانگ و همکاران، ۲۰۰۶). درک صحیح از تغییرات فیزیولوژیکی و مرفولوژیکی ناشی از تنش می‌تواند برای انتخاب یا تولید گونه-های جدید از گیاهان برای بدست آوردن عملکرد بالاتر تحت شرایط تنش کم‌آبی مورد استفاده قرار گیرد (مارتینز و همکاران، ۲۰۰۳).

۲-۴- تأثیر تنش کم‌آبی بر گیاهان زراعی

تنش‌های محیطی موجب تغییراتی در گیاه می‌شوند. این تغییرات شامل تغییر در بیان ژن و متابولیسم سلولی می‌شود و تا پیری برگ و ایجاد پژمردگی دائم پیش می‌رود و در نهایت منجر به تغییراتی در رشد و عملکرد گیاه می‌شود. تنش کمبود آب اثرات فیزیولوژیکی مختلفی بر گیاه می-گذارد که نوع و میزان خسارات آن به شدت و مقاومت گیاه بستگی دارد (خزاعی، ۱۳۸۱).

وقتی گیاهان در شرایط کمبود آب قرار می‌گیرند تغییرات ساختاری و فیزیولوژیکی متفاوتی را از خود نشان می‌دهند. بعضی دوره زندگی خود را قبل از کاهش رطوبت خاک تکمیل می‌کنند و بدین سان از خشکی فرار می‌کنند و برخی دیگر از راه ایجاد سیستم ریشه‌ای انبوه و عمیق، کاهش رشد شاخه‌ها، کاهش سطح برگ‌ها، کاهش تعداد روزنه‌ها و افزایش تراکم کرک‌ها در اپیدرم برگ با تنش کم‌آبی مقابله می‌کنند (داون و همکاران، ۲۰۰۷).

۲-۴-۱- رشد و توسعه سلولی

کاهش تورژسانس به‌عنوان اولین اثر تنش کم‌آبی سرعت رشد سلول و اندازه نهایی آن را متأثر می‌سازد. یکی از مکانیزم‌های کارآمد به هنگام مواجه شدن با تنش کم‌آبی، برای حفظ تورژسانس و آماس سلولی، تنظیم اسمزی است. طی این پدیده فیزیولوژیکی پتانسیل اسمزی بافت‌های تحت تنش، در اثر انباشت یک سری مواد اسمزی در سلول‌ها کاهش می‌یابد و بنابراین فشار تورژسانس سلول‌ها در حد مطلوب حفظ می‌شود. این مواد اسمزی شامل برخی از عناصر (پتاسیم، سدیم و کلسیم)، برخی از متابولیت‌ها نظیر قندها، اسیدهای آمینه (پرولین) و اسیدهای آلی می‌باشند (ترک نژاد و حیدری، ۱۳۷۹).

نشت یونی از جمله صفاتی است که تحت تأثیر خشکی افزایش می‌یابد و افزایش آن به معنای افزایش میزان تراوش یونی در غشاء می‌باشد که این امر به نوبه خود می‌تواند نشان دهنده کاهش پایداری غشاء و در واقع خرابی آن باشد (باجی و همکاران، ۲۰۰۱).

۲-۴-۲- برگ

برگ‌ها به‌عنوان واحدهای فتوسنتزی درگیاه نقش ویژه‌ای دارند (کافی و همکاران، ۱۳۸۸). نخستین پاسخ گیاه به تنش کمبود آب، بسته شدن روزنه‌هاست که متعاقب آن رشد برگ‌ها کاهش می‌یابد (نیلسن و ارکات، ۱۹۹۶). تنش خشکی در طول دوره رویشی گیاه موجب کوچک شدن برگ‌ها

می‌شود. همچنین شاخص سطح برگ، دوره رسیدن محصول و میزان جذب نور توسط گیاه کاهش می‌یابد (لویت، ۱۹۸۰). یکی از راه‌کارهای گیاه در زمان وقوع تنش، کاهش سطح برگ و تعداد برگ می‌باشد. کاهش تعداد برگ به هنگام تنش به‌علت پیری زودرس گیاه و تجمع زیاد اتیلن راهی برای کاهش تعرق و رسیدگی زودتر گیاه برای فرار از تنش می‌باشد (عباسی، ۱۳۸۶). کمبود آب علاوه بر تأثیر بر توسعه برگ می‌تواند از طریق ریزش برگ‌ها در طول مراحل رشد بر سطح برگ مؤثر باشد و کاهش سطح برگ در تنش کم‌آبی مکانیسمی است تا گیاه از هدر رفتن آب از طریق تعرق جلوگیری نماید (کوچکی و سرمدنیا، ۱۳۸۸). گزارش شده است که تنش کم‌آبی به مقدار زیادی رشد و سطح برگ آفتاب‌گردان را تحت تأثیر قرار داد (مانیوانان و همکاران، ۲۰۰۷).

۲-۴-۳- فتوسنتز و کلروفیل

در گیاهان نخستین آثار کمبود آب به صورت بسته‌شدن روزنه‌ها بروز می‌کند. از آن جایی که برای انجام عمل فتوسنتز تبادلات گازی ضروری است، بنابراین در اثر کمبود آب و بسته‌شدن روزنه‌ها تبادلات گازی کاهش یافته و در نتیجه CO_2 کمتری در دسترس گیاه قرار می‌گیرد و شدت فتوسنتز کاهش می‌یابد (پاکنژاد، ۲۰۰۹). تنش کم‌آبی از طریق عوامل غیرروزنه‌ای نیز بر شدت فتوسنتز تأثیر می‌گذارد، به‌طوری که واکنش‌های بیوشیمیایی فتوسنتز و همچنین دستگاه فتوسنتزی به‌طور مستقیم تحت تأثیر کمبود آب آسیب می‌بیند و در نتیجه شدت فتوسنتز کاهش می‌یابد. علاوه بر این در شرایط خشکی سطح برگ نیز کاهش می‌یابد و این امر موجب کاهش فتوسنتز خالص می‌شود (لیانگ و همکاران، ۱۹۹۶). در اثر تنش فعالیت آنزیم روبیسکو نیز کم می‌شود (فلکاس و مدرانو، ۲۰۰۲). تنش بر هدایت مزوفیلی نیز اثر نامطلوبی دارد که از عوامل غیرروزنه‌ای مؤثر بر شدت فتوسنتز است (فیشر و همکاران، ۱۹۹۸). در بررسی اثر تنش کم‌آبی بر لوبیا، واکنش اولیه لوبیا بسته شدن روزنه‌ها بود که موجب کاهش فتوسنتز تحت این شرایط و کاهش فشار جزئی دی‌اکسیدکربن داخل برگ می‌شود (بوترا و ساندرز، ۲۰۰۱).

غلظت کلروفیل در گیاه از عوامل مهم حفظ ظرفیت فتوسنتزی است (جیانگ و هانگ، ۲۰۰۱). کاهش کلروفیل به‌عنوان عاملی غیرروزنه‌ای محسوب می‌شود و شاخص پایداری کلروفیل به معنی بی-تأثیر بودن تنش بر گیاه می‌باشد و موجب دسترسی بهتر گیاه به کلروفیل می‌شود (احمدی و سی‌وسه مرده، ۲۰۰۵).

از دیدگاه پسرکلی (۱۹۹۹) دوام فتوسنتز و حفظ غلظت کلروفیل تحت شرایط تنش از جمله شاخص‌های فیزیولوژیک تحمل به خشکی است. هر دو کلروفیل a و b تحت تأثیر تنش قرار می‌گیرند (فروغ و همکاران، ۲۰۰۹). افزایش نسبت کلروفیل a به b در شرایط تنش خشکی به‌واسطه تغییر در سیستم‌های فتوسنتزی در جهت نسبت کمتر فتوسیستم ۲ به ۱ است (استیل و همکاران، ۱۹۹۱). در آفتاب‌گردان نیز تنش کم‌آبی سبب کاهش محتوی کلروفیل a و b شده است (مانیوانان و همکاران، ۲۰۰۷).

۲-۴-۴- بیوماس (تر و خشک) و عملکرد

تولید بیوماس بالا در شرایط محدودیت رطوبت از صفات مطلوب در گیاه به شمار می‌رود. زیرا تنش کم‌آبی موجب کاهش در میزان بیوماس گیاه می‌شود (فروغ و همکاران، ۲۰۰۹). وزن خشک شاخص خوبی برای ارزیابی رشد و عملکرد گیاه محسوب می‌شود (غفاری و پاشاپور، ۲۰۰۶). در آفتاب‌گردان (تاهیر و مهید، ۲۰۰۱)، سویا (اسپیچ و همکاران، ۲۰۰۱) و لوبیا سبز (ویبر و همکاران، ۲۰۰۶) تنش کم‌آبیاری موجب کاهش در وزن خشک ساقه و برگ شد. بسیاری از فرآیندهای تعیین کننده عملکرد تحت تنش کم‌آبی قرار می‌گیرند. کمبود آب موجب کاهش صفات مربوط به عملکرد می‌شود که دلیل آن را می‌توان اختلال در تبادلات گازی برگ دانست که نه تنها سبب محدودیت در اندازه منبع و مخزن می‌شود بلکه در جذب و انتقال مواد و تسهیم ماده خشک اختلال ایجاد می‌کند (انجوم و همکاران، ۲۰۱۱).

تأثیر تنش کمبود آب، به مرحله رشد گیاه در زمان وقوع تنش بستگی دارد و تأثیر آن بر عملکرد دانه، ممکن است به اندازه شدت تنش اهمیت داشته باشد (کوچکی و سرمدنیا، ۱۳۸۸). در تعدادی از گیاهان مشاهده شده است که ماده خشک ذخیره شده در بذر یا دانه عمدتاً نتیجه فتوسنتز انجام شده بعد از گل‌دهی می‌باشد. بنابراین اثر تنش در زمان گل‌دهی بسیار زیان‌آور است (سرمدنیا و کوچکی، ۱۳۷۱). در اکثر گیاهان زراعی تنش کم‌آبی در دوره گرده‌افشانی به‌طور چشمگیری تعداد گل‌هایی که به دانه تبدیل می‌شوند را کاهش می‌دهد. تنش کمبود آب در خلال دوره رسیدگی دانه معمولاً به کوچک شدن و چروکیدگی دانه منتهی می‌شود (کوچکی و سلطانی، ۱۳۷۷). مطالعات انجام شده روی لوبیا نیز نشان داه است که تنش کم‌آبی در مرحله پرشدن دانه بر عملکرد و اجزای عملکرد تأثیر منفی می‌گذارد. در بین اجزای عملکرد، وزن هزار دانه بیشترین حساسیت را به تنش کم‌آبی نشان داد (بلوخینا و همکاران، ۲۰۰۳). دانشیان و همکاران (۱۳۸۱) مشاهده کردند که عملکرد دانه گیاه سویا بر اثر تنش، کاهش یافت که ناشی از کاهش تعداد دانه و وزن هزار دانه بود. باسرا و باسرا (۱۹۹۷) اظهار داشتند که تنش کمبود آب طی مراحل اولیه پر شدن دانه ذرت بیشترین تأثیر را روی عملکرد دانه داشت و علت آن را کاهش تعداد سلول‌های آندوسپرم و در نتیجه کاهش ظرفیت مخزن برای جمع کردن ماده خشک معرفی کردند.

۲-۴-۵- میزان آب نسبی و پتانسیل آب برگ

محتوای آب نسبی برگ، پتانسیل آب برگ، مقاومت روزنه‌ای، نسبت تعرق، دمای برگ و کانوپی بر روابط آبی گیاهی مؤثرند. محتوای آب نسبی برگ برای تعیین وضعیت آبی گیاه مورد استفاده قرار می‌گیرد و منعکس کننده فعالیت‌های متابولیکی در بافت گیاه است (انجوم و همکاران، ۲۰۱۱). بنابراین کاهش محتوای آب نسبی برگ در شرایط کمبود آب به کاهش هدایت روزنه‌ای و ورود دی اکسیدکربن و در نهایت کاهش فتوسنتز منجر می‌گردد. محتوای آب نسبی می‌تواند توانمندی گیاه را در تحمل به تنش خشکی نشان دهد (وزان و همکاران ۲۰۰۲).

کاستریلو و تروجیلو (۱۹۹۴) همبستگی مثبتی را بین مقدار آب نسبی برگ، کلروفیل، پروتئین و فعالیت رابیسکو مشاهده کردند. هنسون (۱۹۹۳) در آزمایشی روی سویا مشاهده کرد ارقام مقاوم به تنش خشکی پتانسیل آب برگ را در حد بالاتری حفظ می‌کنند. لاوئز و کورنیک (۲۰۰۲) مشاهده کردند که با کاهش محتوای آب نسبی برگ در شرایط تنش کمبود آب هدایت روزنه‌ای، فتوسنتز و تثبیت دی‌اکسیدکربن کاهش پیدا می‌کند. تنش کمبود آب طی مراحل فنولوژیک در گلرنگ اثر معنی‌داری بر محتوای نسبی آب برگ داشت (فرخی نیا و همکاران، ۱۳۹۰).

۲-۴-۶- پایداری غشای پلاسمایی

عوامل و شرایط محیطی مانند گرما، خشکی و انجماد موجب تغییر در غشای سیتوپلاسمی می‌شوند و با توجه به نقش غشای سیتوپلاسمی در کنترل آب و املاح به منظور حفظ آماس (تورم) سلول، رشد گیاه نیز تحت تأثیر قرار می‌گیرد (اینگرام و بارتت، ۱۹۹۶). تنش خشکی با افزایش پراکسیداسیون چربی‌ها، موجب کاهش پایداری غشاء سلول می‌شود (سایرام و ساکسنا، ۲۰۰۰). در اثر تنش‌های شدید، در برخی از بخش‌های فسفولیپیدی غشاهای سلولی حالت هگزاگونال (کروی) ایجاد می‌گردد و ساختار غشاء به یک ساختار منفذدار تبدیل می‌شود (میرجلیلی، ۱۳۸۴). در این حالت افزایش نفوذپذیری غشاء و کاهش شاخص پایداری آن، منجر به نشت الکترولیت‌ها به بیرون سلول می‌شود (سایرام و همکاران، ۲۰۰۲). کاهش در پایداری غشای پلاسمایی در اثر تنش خشکی در گندم (پاک نژاد و همکاران، ۲۰۰۷)، ذرت (درویش بلوچی و همکاران، ۱۳۸۹) و لوبیا (ترکان و همکاران، ۲۰۰۵) مشاهده شد.

۲-۴-۷- پروتئین دانه

شرایط تنش خشکی موجب کاهش اندک سنتز پروتئین در برگ‌ها می‌گردد و پس از رفع تنش، سنتز آن تحریک می‌شود. کمبود آب اعمال شده در مرحله گلدهی به‌طور معنی‌داری درصد پروتئین

دانه کلزا را افزایش داد (پالومو و همکاران، ۱۹۹۹). قبادی و همکاران (۲۰۰۶) در بررسی‌های خود روی تأثیر دوره‌های کوتاه مدت و بلند مدت تنش خشکی طی مراحل مختلف رشد کلزا به این نتیجه رسیدند که تنش شدید کم‌آبی بر محتوای پروتئین دانه تأثیر معنی‌داری داشت. وی اظهار داشت که دوره‌های طولانی مدت و کوتاه مدت تنش خشکی، غلظت پروتئین دانه را افزایش داد. آلیاری و همکاران (۱۳۷۹) گزارش کردند تنش خشکی به‌ویژه در هنگام رسیدگی در گیاه گلرنگ، درصد روغن را کاهش، ولی درصد پروتئین را افزایش داد که این حالت به دلیل تسریع در رسیدگی گیاه می‌باشد. در این حالت فرصت کافی برای سنتز روغن از پروتئین‌های ذخیره شده در دانه وجود ندارد و بنابراین درصد پروتئین افزایش خواهد یافت. لورنس و گیبونز (۱۹۷۶) گزارش کردند اگر چه تنش کم‌آبی موجب کاهش عملکرد ماده خشک و پروتئین در تک بوته می‌گردد، ولی درصد پروتئین دانه تحت شرایط تیمار شدید خشکی افزایش می‌یابد.

۲-۴-۸- روغن دانه

از آنجاکه درصد روغن دانه متأثر از عوامل محیطی مختلف به ویژه دما می‌باشد سطوح مختلف تنش کم‌آبی سبب کاهش درصد روغن دانه گردیده است. بر اثر تنش کم‌آبی مقدار فتوسنتز خالص به دلیل کاهش ورود CO_2 به واسطه‌ی بسته‌شدن روزنه‌ها و تأثیر مستقیم خشکی بر سیستم فتوسنتزی کاهش می‌یابد. در این صورت از میزان هیدرات‌های کربن (قندها) کاسته می‌شود، از طرفی به دلیل تسریع در رسیدگی گیاه در شرایط تنش کم‌آبی فرصت کافی جهت سنتز پروتئین‌ها و قندهای ذخیره شده دانه وجود نخواهد داشت در این شرایط درصد روغن دانه کاهش خواهد یافت (آلیاری و همکاران ۱۳۷۹). در بررسی اثر تنش کم‌آبی بر ۲۱ رقم کلزا مشاهده شد که با افزایش مقدار آب و کاهش شدت تنش مقدار عملکرد دانه و درصد روغن دانه افزایش معنی‌داری می‌یابد (کجدی و پوسای، ۱۹۳۳). دوانی (۱۹۸۳) گزارش کرد که تنش خشکی و دمای بالا سبب کاهش اسیدهای چرب اشباع نشده در روغن کلزا می‌شود.

۲-۴-۹- آسیب‌های اکسیداتیو

یکی از اثرات تنش کم‌آبی، مشابه دیگر تنش‌های محیطی ایجاد آسیب‌های اکسیداتیو می‌باشد که توسط گونه‌های فعال اکسیژن مانند رادیکال‌های سوپراکسید هیدوژن، رادیکال‌های هیدروکسیل و اکسیژن منفرد صورت می‌گیرد (اسمیرنف، ۱۹۸۸ و زو، ۲۰۰۰). تولید گونه‌های اکسیژن فعال سبب پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء (چن و همکاران ۲۰۰۰)، تخریب پروتئین‌ها (جیانگ و زانگ، ۲۰۰۱) و اسیدهای نوکلئیک می‌شود (باساگا، ۱۹۸۹). پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء می‌تواند موجب کاهش نفوذپذیری انتخابی غشاء سلولی شود (دل ریو و همکاران، ۱۹۹۱). در سلول‌های گیاهی کلروپلاست-ها، میتوکندری‌ها و پراکسی‌زوم‌ها مکان‌های مهم تولید گونه‌های اکسیژن فعال هستند (آسادا، ۱۹۹۹). گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) مولکول‌های سمی هستند که موجب خسارت به پروتئین‌ها، DNA و لیپیدها می‌شوند. در شرایط نرمال رشدی به مقدار کم در اندامک‌هایی مانند کلروپلاست، میتوکندری، پراکسی‌زوم تولید می‌شوند. ولی در زمان تنش مقدار تولید آن‌ها به‌طور چشم‌گیری افزایش می‌یابد. در کلروپلاست محدودشدن تثبیت CO_2 وکاهش انتقال الکترون عامل اصلی تولید ROS می‌باشد (سوزوکی و میتلر، ۲۰۰۶). اصلی‌ترین علت اثرات تخریبی و مضر ROS توانایی آن‌ها برای شروع واکنش‌های زنجیره‌ای اکسیداتیو اسیدهای چرب غیراشباع است که منجر به پراکسیداسیون لیپید وتخریب غشاء می‌شود (ژانگ و همکاران، ۱۹۹۶).

۲-۵- متانول

امروزه کاربرد ترکیبات الکلی به جهت تأثیرگذاری بر متابولیسم گیاهان از قبیل تنظیم سرعت متابولیکی مواد در گیاه و افزایش فعالیت فتوسنتزی در شرایط تنش حائز اهمیت گردیده است. متانول الکلی است با ترکیب فرمولی CH_3OH که در گذشته تا به اکنون مصرف پزشکی داشته و به‌عنوان ضدعوفونی کننده از آن استفاده می‌شود (داونی، ۱۹۸۳). متانول به‌عنوان ساده ترین الکل تک کربنی و منبع کربن برای گیاهان زراعی شناخته شده است. همچنین موجب همبستگی مثبت بین محتوای

آب نسبی و افزایش غلظت کلروفیل، پروتئین و فعالیت آنزیم روبیسکو در جهت یاری رساندن به گیاه در شرایط تنش می‌گردد (گوت و همکاران، ۲۰۰۰). متانول ترکیبی تأثیرگذار در متابولیسم گیاهان از قبیل تنظیم سرعت متابولیکی مواد درگیاه، نسخه برداری ژن‌ها، افزایش فعالیت فتوسنتزی، تأخیر پیری در برگ، افزایش رشد و در نهایت کاهش تنفس نوری می‌باشد (دوانی، ۱۹۸۳).

۲-۶- نقش متانول در گیاهان زراعی

۲-۶-۱- سطح برگ

متانول موجب افزایش فشار آماس سلول در برگ‌ها می‌شود که به رشد و توسعه برگ نیز کمک می‌کند (زبیک و همکاران، ۲۰۰۳). این ماده آلی می‌تواند از طریق اثر بر سرعت تولید اتیلن، پیری برگ‌ها را به تعویق اندازد (ساتر و ثیمان، ۱۹۸۰). هرناندز و همکاران (۲۰۰۰) گزارش کردند که محلول‌پاشی متانول سبب افزایش طول ساقه، سطح برگ و وزن خشک ساقه در آفتاب‌گردان شد. محلول‌پاشی متانول همچنین موجب تأخیر در پیری برگ‌ها از طریق اثر بر محرک‌های اتیلن در گیاه می‌شود که این امر موجب افزایش دوره فعال فتوسنتزی و دوام سطح برگ می‌شود (هینز، ۱۹۸۰). مخدوم و همکاران (۲۰۰۲) نیز افزایش شاخص سطح برگ را پس از محلول‌پاشی متانول در پنبه را گزارش کردند.

۲-۶-۲- فتوسنتز و تنفس

متانول اثرات مثبت فراوانی روی فتوسنتز نشان داده است. عموماً نقش اصلی این ماده جلوگیری از اثرات منفی تنش‌ها روی گیاهان از طریق کاهش تنفس نوری است (میرآخوری و همکاران، ۱۳۸۸). گزارش شده است که متانول می‌تواند روی جذب CO_2 تأثیر بگذارد. طوری که تنفس نوری با محلول-پاشی متانول کاهش می‌یابد، و به این ترتیب ۲۵ درصد از هدر رفت کربن در طول تنفس نوری نیز

کاهش می‌یابد (صفرزاده و ویشگاهی، ۲۰۰۵). زیرا متانول پس از جذب‌شدن توسط گیاه به سرعت در بافت گیاه به CO_2 تبدیل می‌شود (میرآخوردی و همکاران، ۱۳۸۸).

نخستین گام در به‌دست آوردن عملکرد بالا در واحد سطح، تولید بالای ماده‌ی خشک است. چرا که تقریبا ۹۰ درصد وزن خشک گیاه نتیجه جذب CO_2 در فرآیند فتوسنتز است. محلول‌پاشی متانول یکی از روش‌های افزایش تثبیت CO_2 در گیاه در واحد سطح است. لازم به ذکر است که چند ساعت تاریکی پس از محلول‌پاشی متانول برای جذب بهتر لازم است (میرآخوری و همکاران، ۱۳۸۸).

۲-۶-۳- عملکرد

در اوایل دهه‌ی ۱۹۹۰ میلادی گزارش شده است که کاربرد متانول روی قسمت‌های هوایی گیاهان زراعی موجب افزایش عملکرد، تسریع در رسیدگی، کاهش اثر تنش خشکی و کاهش نیاز آبی آن‌ها می‌شود (احیایی و همکاران، ۱۳۸۹). طبق گزارشات نانومورا و بنسون (۱۹۹۲) محلول‌پاشی ۱۰ تا ۵۰ درصد متانول سبب افزایش عملکرد و رشد درگیاه می‌شود. این دو محقق علت این افزایش عملکرد را کاهش میزان تنفس نوری و همچنین افزایش مقدار آماس سلولی بافت گیاهی اعلام کردند. همچنین محلول‌پاشی با غلظت ۳۰ درصدی متانول موجب افزایش ۱۲تا ۳۰ درصدی میزان عملکرد در لوبیا، کلزا و چغندرقند نسبت به شاهد شده است (زبیک و همکاران، ۲۰۰۳). از جمله اثرات مثبت محلول‌پاشی با متانول می‌توان به افزایش بیوماس گیاهان قرار گرفته در معرض کمبود آب اشاره کرد. همچنین عملکرد دانه، وزن دانه‌ها و تعداد غلاف در بوته‌هایی از سویا که با متانول تیمار شده بودند، به‌طور معنی‌داری در مقایسه با شاهد افزایش یافت (گی و همکاران، ۱۹۸۰).

۲-۷- اثر متانول بر گیاهان زراعی در شرایط تنش

در تحقیقات اخیر کاربرد متانول به‌عنوان یک منبع کربن برای گیاهان زراعی رواج پیدا کرده است (احیایی و همکاران، ۱۳۸۹). گیاهان می‌توانند متانول محلول‌پاشی شده روی برگ‌ها را به راحتی

جذب کرده و آن را به‌عنوان منبع کربنی اضافه بر کربن اتمسفر مورد استفاده قرار دهند (گوت و همکاران، ۲۰۰۰). متانول در مقایسه با CO_2 مولکول نسبتاً کوچکتری است که به راحتی توسط گیاهان جذب شده و مورد استفاده قرار می‌گیرد (دوانی و همکاران، ۲۰۰۴). گزارش شده است که محلول‌پاشی متانول در برخی از گیاهان C_3 موجب افزایش سرعت رشد، شاخص برداشت و محصول گیاهان زراعی فاریاب در مناطق خشک می‌شود (احیایی و همکاران، ۱۳۸۹).

افزایش غلظت CO_2 می‌تواند اثر ناشی از تنش خشکی را خنثی کند. بنابراین به کار بردن موادی که بتواند سبب افزایش غلظت CO_2 گردد موجب تثبیت عملکرد در شرایط خشکی می‌شود. یکی از راه‌کارهای افزایش غلظت CO_2 در گیاهان استفاده از ترکیباتی نظیر متانول، اتانول، پروپانول و بوتانول است (میرآخوری و همکاران، ۱۳۸۸). در این بین متانول به دلیل این که ساده‌ترین فرآورده‌ی گیاهی است که خود در گیاه طی فرآیندهایی تولید می‌شود و کاملاً برای گیاه شناخته شده است. این ترکیب فرار آلی پس از تولید در گیاه یا از طریق روزنه از برگ خارج می‌شود و یا توسط بافت‌های گیاهی متابولیزه می‌شود و به صورت CO_2 در اختیار گیاه قرار می‌گیرد. مهم‌ترین فایده متانول جلوگیری و کاهش اثر تنش‌های القاء شده به گیاهان زراعی در اثر انجام تنفس نوری در آن‌هاست. در شرایط تنش کم‌آبی به علت بسته بودن روزنه‌ها مقدار تعرق کاهش می‌یابد و ورود CO_2 نیز کاهش می‌یابد (حافظ، ۱۹۸۳). زیبک و همکاران (۲۰۰۳) علت کاهش تنفس نوری را در گیاهان تیمار شده با متانول، اکسیداسیون سریع متانول به CO_2 و ترکیب شدن آن با ریبولوز ۱-۵ بیس‌فسفات و کم شدن رقابت اکسیژن می‌دانند.

منبع اصلی تولید متانول در گیاه دی‌متیلاسیون پکتین سلولی است. متانول محلول‌پاشی شده روی گیاهان به سرعت وارد بافت‌های گیاهی شده و به دنبال تأثیر روی متابولیسم کربن در ترکیب اسیدآمینه‌ی سرین یافت می‌شود (گوت و همکاران، ۲۰۰۰). افزایش غلظت متانول در بافت‌های گیاهی روی کارایی تثبیت کربن تأثیر مثبتی دارد و از طریق تنظیم ژن پکتین متیل استراز موجب

توسعه و بزرگی برگ می‌شود (رامیرز و همکاران، ۲۰۰۶). کاربرد متانول محلول‌پاشی شده همانند متانول طبیعی که در برگ‌ها بر اثر فعالیت آنزیمی پکتین متیل استراز در فرآیند گسترش دیواره‌ی سلولی ایجاد می‌شود، می‌تواند موجب افزایش تولید سیتوکینین و تحریک رشد گیاه شود (احیایی و همکاران، ۱۳۸۹). نوعی باکتری همزیست (متیلوتروف) روی برگ‌های گیاهان زندگی می‌کند که محلول‌پاشی متانول به‌طور غیرمستقیم موجب تحریک آن می‌شود (ایوانووا و همکاران، ۲۰۰۱). این باکتری، متانول خارج شده از برگ‌های گیاهان را دریافت می‌کند و در عوض هورمون‌هایی از قبیل اکسین و سیتوکنین تولید می‌کنند که در رشد و توسعه‌ی برگ‌های گیاه دخالت دارند (میرآخوری و همکاران، ۱۳۸۸). همچنین این باکتری‌ها در متابولیسم نیتروژن در گیاهان از طریق تولید اوره باکتریایی شرکت دارند (ایوانونا و همکاران، ۲۰۰۱). مادهایان و همکاران، (۲۰۰۶) در بررسی‌های خود دریافتند کاربرد متانول موجب افزایش محتوای سیتوکنین در گیاهان پنبه و نیشکر می‌شود.

گزارش‌ها نشان می‌دهد محلول‌پاشی متانول سبب کاهش نیاز آبی گیاهان در شرایط گرم می‌شود و متانول خاصیت ضد تنشی دارد و سبب خنک شدن کانوپی و همچنین افزایش مقدار دی‌اکسیدکربن درون برگی می‌شود (تئودوریدو و همکاران، ۲۰۰۲). گزارش شده است محلول‌پاشی برگی با متانول ۲۵ درصد حجمی روی گیاه کنجد در شرایط تنش کم‌آبیاری سبب افزایش ۲۳/۱۸ درصدی عملکرد گردیده است (انصار، ۱۳۹۱). همچنین مطالعات مختلف روی گیاهان گوجه فرنگی، لوبیا، چغندرقند و کلزا نشان داده است که گیاهانی که با متانول محلول‌پاشی شده‌اند ۱۲ تا ۱۳ درصد محصول بیشتری نسبت به گیاهان شاهد تولید کرده‌اند و این گیاهان به میزان کمتری به کمبود آب حساس بودند (صفرزاده‌ویشگاهی و همکاران، ۲۰۰۸).

۲-۸- سدیم نیتروپروساید

سدیم نیتروپروساید به صورت پودری قرمز رنگ و یک ترکیب رها کننده نیتریک اکسید است که در حالت محلول به شدت به نور حساس می‌باشد، تجزیه آن توسط اکسیژن و دمای زیاد تسریع می-

شود (وایکزورک و همکاران، ۲۰۰۶). رها سازی نیتریک اکسید، نیازمند تابش نور یا احیای آن توسط عوامل کاهنده، مثل اسید آسکوربیک، تیول‌ها و هموپروتئین‌ها، مانند NADH و NADPH است. نیتریک اکسید (NO) یک رادیکال گازی شکل است که نیمه عمر آن در سیستم‌های بیولوژیکی ۳ تا ۵ ثانیه می‌باشد (تاتجا و همکاران، ۲۰۰۴). و مولکولی دو اتمی است که قابلیت انتشار بالایی دارد ($۴/۸ * ۱۰^{-۵}$ سانتی‌متر مربع در ثانیه در آب) و در گیاهان توسط مسیرهای آنزیمی و غیرآنزیمی تولید می‌شود (وایکزورک و همکاران، ۲۰۰۶).

نیتریک اکسید یک مولکول مهم است که در بافت‌های زیادی، فرآیندهای فیزیولوژیکی را تنظیم می‌کند و در همه گیاهان وجود دارد. وجود نیتریک اکسید در گیاهان در سال ۱۹۷۰ کشف شد، این ترکیب گاز مانند به‌عنوان یک سیگنال بزرگ در فعالیت‌های فیزیولوژیکی پدیدار می‌شود. تحقیقاتی روی نیتریک اکسید در گیاهان در سال‌های اخیر انجام شده است و نشان دهنده این است که این مولکول یک سیگنال کلیدی در گیاهان است. نیتریک اکسید یه تنظیم کننده رشد گیاهی است. در ابتدا این گاز به‌عنوان آلوده کننده محیطی مورد توجه قرار گرفت. هر چند بررسی‌های اخیر نشان داده است نیتریک اکسید می‌تواند به‌عنوان یک مولکول در فرآیندهای مختلف فیزیولوژیک، پاتوفیزیولوژیک و نموی مانند جوانه زنی، بسته شدن روزنه، پاسخ به عوامل بیماری زا و نمو ریشه دخالت می‌کند (داون و همکاران، ۲۰۰۷). از طرف دیگر، نیتریک اکسید می‌تواند به‌عنوان واسطه در عمل تنظیم کننده‌های رشد گیاهی و متابولیسم ROS شرکت کند و در بسیاری از مطالعات نشان داده شده است که در انتقال پیام و پاسخ به تنش‌های زیستی و غیرزیستی نیز دخالت دارد (دل‌ریو و همکاران، ۲۰۰۴). نیتریک اکسید یک مولکول فعال زیستی است که فعالیت متنوعی را در سیستم‌های زنده اعمال می‌کند و نقش‌های تنظیمی، سیگنالی، حفاظتی و سمی را در سلول اعمال می‌کند (بلیگنی و لاماتینا، ۲۰۰۰ و زانگ و همکاران، ۲۰۰۶).

۲-۹- نقش سدیم نیتروپروساید در گیاهان

نیتریک اکسید به‌عنوان یک سیگنال مهم در فعالیت‌های فیزیولوژیکی گیاه و در مراحل مربوط به رشد و نمو، شروع جوانه زنی، گلدهی، رسیدگی میوه‌ها و پیری اندام ها نقش دارد (آراسیمویز و وایکزورک، ۲۰۰۷). کاربرد خارجی نیتریک اکسید موجب تحریک فرآیند بسته شدن روزنه‌ها می‌شود (گراسیا ماتا و لاماتینا، ۲۰۰۱). همچنین گزارش شده است که آبسزیک‌اسید (ABA)، نیتریک اکسید را تحریک می‌کند که به عنوان یک واسطه در فرآیند بسته شدن روزنه‌ها دخالت کند (نیل و همکاران، ۲۰۰۲). کاربرد نیتریک اکسید در گیاهان موجب توسعه پیشرفت نقش واسطه‌ای آن در طویل شدن دیواره سلولی (فرر و راس بارکلو، ۱۹۹۹)، تنظیم کانال‌های یونی در سلول‌های محافظ (گراسیاماتا و همکاران، ۲۰۰۳)، اعمال میتوکندریایی و کلروپلاستی (تاکاهاشی و یاماساکی، ۲۰۰۲)، مرگ سلول (دی‌پنتو و همکاران، ۲۰۰۲) و پیری (هانگ و کائو، ۲۰۰۳) نقش دارد. واکنش نیتریک اکسید با ROS موجب جلوگیری از آسیب به غشاء می‌شود. واکنش این ماده با لیپیدها و رادیکال‌های پراکسیل سریع است و می‌تواند گسترش رادیکال و اکسیداسیون لیپید ناشی از آن را مستقیماً متوقف کند. لذا نقش آن در جلوگیری از پراکسیداسیون لیپید مشخص شده است و به عنوان جارو کننده گونه‌های اکسیژن فعال عمل می‌کند (وانگ و یانگ، ۲۰۰۵ و نصیبی و همکاران، ۱۳۸۸). اندازه کوچک و انتشار بالای این ماده از غشاءها به این معنی است که نیتریک اکسید می‌تواند به آسانی انتقال یابد (بلیگنی و لاماتینا، ۲۰۰۰).

۲-۱۰- اثر سدیم نیتروپروساید بر گیاهان زراعی در شرایط تنش

در بسیاری از مطالعات گزارش شده که کاربرد خارجی نیتریک اکسید در گیاهان موجب کاهش خسارات ناشی از برخی تنش‌ها مثل فلزات سنگین، علف‌کش‌ها، سرما، اشعه ماوراءبنفش، خشکی و تنش شوری شده است (آراسیمویز و وایکزورک، ۲۰۰۷). نیتریک اکسید آب کشیدگی برگ‌ها، نشت یون‌ها و میزان تعرق را کاهش و بسته شدن روزنه‌ها را تحریک می‌کند و بدین ترتیب موجب افزایش

تحمل به تنش‌ها می‌شود. کاربرد خارجی این ترکیب می‌تواند از گیاه در برابر صدمات ناشی از تنش اکسیداتیو که به دنبال تنش خشکی اتفاق می‌افتد محافظت کند (گراسیاماتا و لاماتینا، ۲۰۰۱). فاروق و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که کاربرد خارجی نیتریک اکسید موجب جارو کردن ROS، توسعه توانایی غشای سلولی، بهبود فتوسنتز و وضعیت آب برگ می‌شود. نیتریک اکسید می‌تواند در مراحل بحرانی در برنج تحت تنش خشکی در مزرعه استفاده شود. اخیراً اثرات نیتریک اکسید در حفاظت از برگ‌های ذرت در مقابل کمبود آهن در تنش اکسیداتیو توسط سونا و همکاران (۲۰۰۷) مورد بررسی قرار گرفته است. آن‌ها پیشنهاد کردند که نیتریک اکسید می‌تواند گیاهان ذرت را در برابر کمبود آهن از طریق واکنش با ROS به‌طور مستقیم یا تغییر فعالیت‌های آنزیمی جمع‌آوری کننده ROS، محافظت کند. نیتریک اکسید در تنش‌هایی از جمله تنش شوری (بیسوال و همکاران، ۲۰۰۱) و تنش‌آبی (میسرا و همکاران، ۲۰۰۲) موجب توسعه رشد و نمو شده است.

در تحقیقی که فاروق و همکاران (۲۰۰۹) انجام دادند مشخص شد که تنش خشکی به‌طور معنی‌دار موجب کاهش رشد گیاهچه در برنج شد. در حالی که تیمار با سدیم نیتروپروساید موجب توسعه رشد گیاه در این شرایط شد. گزارش‌ها نشان می‌دهد کاربرد خارجی سدیم نیتروپروساید به‌طور معنی‌داری جذب آب در گیاه را در تنش کم‌آبی افزایش می‌دهد. البته اثرات سدیم نیتروپروساید روی رشد و نمو گیاهان به غلظت آن بستگی دارد. حداکثر ارتفاع گیاه و وزن تر و خشک در گیاهانی دیده شد که با سدیم نیتروپروساید با غلظت ۱۰۰ میکرومولار تیمار شده بودند. نیل و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که کاربرد خارجی سدیم نیتروپروساید، بسته شدن روزنه‌ها را تحریک و سلول‌ها را در برابر تنش اکسیداتیو محافظت می‌کند. محلول‌پاشی برگی سدیم نیتروپروساید اثرات تنش خشکی را از طریق کاهش نفوذپزیری غشاء و همچنین نشت الکترولیت کاهش می‌دهد. همچنین اثر محافظتی سدیم نیتروپروساید بر خسارت غشاء تحت تنش خشکی توسط گراسیاماتا و لاماتینا (۲۰۰۱) و وانگ و همکاران (۲۰۰۴) گزارش شده است.

در گیاه گندم، سدیم نیتروپروساید با غلظت ۰/۱ میلی‌مولار با جلوگیری از تخریب کلروفیل و پروتئین‌های محلول به خصوص روبیسکو، پیری را در برگ‌ها به تأخیر انداخت. در حالی که غلظت ۰/۵ میلی‌مولار سدیم نیتروپروساید فرآیند پیری را تشویق کرد (تو و همکاران، ۲۰۰۳). همچنین در برخی بررسی‌ها گزارش شده است که در حضور نیتریک اکسید دسترسی گیاه به آهن بیشتر است و این نیز می‌تواند یکی از نقش‌های نیتریک اکسید در حفظ محتوای کلروفیل گیاه باشد (نیل وهمکاران، ۲۰۰۳). لی و همکاران (۲۰۰۸) نیز گزارش کردند غلظت ۰/۲ میلی‌مولار سدیم نیتروپروساید در گیاهچه گندم سبب افزایش رشد، افزایش مقدار کلروفیل و کاهش پرولین گردید. در حالی که غلظت ۰/۵ مولار از این ماده میزان رشد و محتوای کلروفیل را کاهش، ولی مقدار پرولین را افزایش داده است. در مطالعه مشابهی زینگ و همکاران (۲۰۰۴) اثر نیتریک اکسید و گونه‌های واکنش‌پذیر اکسیژن در محتوای آب برگ و مقدار اسید آبسزیک در گیاهچه‌های گندم مورد بررسی قرار دادند و گزارش کردند که نیتریک اکسید سبب نگهداری آب برگ می‌شود و یکی از مکانیسم‌های احتمالی آن تحریک سنتز اسید آبسزیک است. در تحقیقی که توسط نصیبی (۱۳۹۰) انجام شد مشخص شد که گیاهان گوجه‌فرنگی تیمار شده با ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید خسارت کمتری از تنش خشکی دریافت کردند ولی وقتی گیاهان با ۵۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید پیش‌تیمار شدند موجب افزایش شدت تنش شد. در واقع وقتی گیاهان با غلظت پایین سدیم نیتروپروساید (۱۰۰ میکرومولار) پیش تیمار شدند و سپس در معرض خشکی قرار گرفتند، آثار مضر خشکی بر غشاء کاهش یافت. این اثر می‌تواند به توانایی نیتریک اکسید در جمع‌آوری گونه‌های اکسیژن فعال مربوط باشد. در این مطالعه ماده رها کننده نیتریک اکسید در غلظت‌های پایین (۱۰۰ میکرومولار) مانع عملکرد اکسیژن فعال می‌شود و خسارات ناشی از این رادیکال‌های اکسیژن کاهش می‌یابد. البته باید این نکته را نیز مدنظر داشت که غلظت‌های بالای سدیم نیتروپروساید نقش همکاری با گونه‌های اکسیژن فعال را دارند و شدت تنش را افزایش می‌دهند که این غلظت در گیاهان مختلف متفاوت است.

فصل سوم

مواد و روش‌ها

۳-۱- زمان و مشخصات محل اجرای آزمایش

آزمایش در سال ۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهرود، واقع در شهر بسطام (کیلومتر ۸ جاده شاهرود آزادشهر) اجرا شد. شهر بسطام در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۹ دقیقه شمالی و ۵۵ دقیقه طول شمالی واقع شده است و میانگین ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۶۶ متر است. منطقه بسطام دارای اقلیم سرد و خشک است و میانگین بارندگی سالانه در این منطقه بین ۱۵۰ تا ۱۶۰ میلی‌متر است و بارندگی‌ها عمدتاً در فصل پاییز و بهار رخ می‌دهد. حداقل و حداکثر دمای منطقه به ترتیب ۹/۶- و ۴۰ درجه سانتی‌گراد است.

۳-۲- مشخصات طرح آزمایشی

آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل ۲ سطح آبیاری هر ۸ روز یکبار (عدم تنش) و هر ۱۶ روز یکبار (تنش کم‌آبیاری) به‌عنوان فاکتور اصلی و ۳ سطح متانول (صفر، ۱۵ و ۳۰ درصدحجمی) و ۳ سطح سدیم نیتروپروساید (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار) به‌عنوان فاکتور فرعی بودند (جدول ۳-۱). در مجموع در هر تکرار ۱۸ ترکیب تیماری وجود داشت و تعداد کل کرت‌های آزمایشی ۵۴ کرت بود. نقشه کشت در شکل ۳-۱ ترسیم گردیده است.

۳-۳- عملیات اجرایی

۳-۳-۱- آماده سازی زمین

زمین در سال قبل به‌صورت آیش بود. ده روز قبل از کاشت در تاریخ ۷ خرداد ۱۳۹۳ اقدام به آماده سازی زمین با استفاده از گاوآهن برگردان‌دار و دیسک گردید. سپس ابعاد کرت‌ها تعیین شد هر کرت شامل ۴ خط کاشت به طول ۵/۵ متر با فاصله بین خطوط ۶۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر بود. دوخط کناری به‌عنوان حاشیه و دو خط وسط جهت تعیین پارامترهای

آزمایش در نظر گرفته شد. به منظور جلوگیری از تداخل تیمار آبیاری بین بلوک‌های تنش در هر تکرار ۲ خط نکاشت قرار داده شد.

۳-۳-۲- کاشت

عملیات کاشت در تاریخ ۱۷ خرداد ۱۳۹۳ با دست انجام شد. عمق کاشت بذر ۳ تا ۵ سانتی‌متر و بذر آفتاب‌گردان مورد استفاده رقم اصلاح شده هایسان ۳۶ بود. در محل کاشت ۳ بذر آفتاب‌گردان قرار داده شد و در مرحله چهار برگی برای فراهم شدن تراکم مورد نظر عملیات تنک صورت گرفت.

تکرار۱	a_1	a_1	a_1	a_1	a_1	a_1	a_1	a_1	a_1	a_2	a_2	a_2	a_2	a_2	a_2	a_2	a_2	a_2
	b_2	b_1	b_2	b_1	b_3	b_1	b_2	b_3	b_3	b_2	b_2	b_3	b_1	b_2	b_1	b_3	b_1	b_3
	c_2	c_1	c_3	c_2	c_1	c_3	c_1	c_2	c_3	c_1	c_3	c_3	c_1	c_2	c_3	c_1	c_2	c_2
تکرار۲	a_2	a_2	a_2	a_2	a_2	a_2	a_2	a_2	a_2	a_1	a_1	a_1	a_1	a_1	a_1	a_1	a_1	a_1
	b_1	b_3	b_2	b_1	b_3	b_2	b_1	b_2	b_3	b_2	b_1	b_3	b_3	b_1	b_2	b_3	b_1	b_2
	c_3	c_3	c_1	c_1	c_2	c_3	c_2	c_2	c_1	c_3	c_2	c_3	c_1	c_1	c_1	c_2	c_3	c_2
تکرار۳	a_1	a_1	a_1	a_1	a_1	a_1	a_1	a_1	a_1	a_2	a_2	a_2	a_2	a_2	a_2	a_2	a_2	a_2
	b_2	b_3	b_1	b_2	b_3	b_1	b_2	b_3	b_1	b_1	b_2	b_3	b_1	b_2	b_3	b_1	b_3	b_2
	c_2	c_3	c_2	c_1	c_1	c_2	c_3	c_2	c_3	c_2	c_1	c_1	c_3	c_3	c_3	c_1	c_2	c_2

تنش: a_1 (۸ روز)، a_2 (۱۶روز)

غلظت متانول (درصد حجمی): b_1 (صفر)، b_2 (۱۵)، b_3 (۳۰)

غلظت سدیم نیتروپروساید (میکرومولار): c_1 (صفر)، c_2 (۵۰)، c_3 (۱۰۰)

شکل ۳-۱- نقشه کاشت طرح آزمایشی مورد استفاده

جدول ۳-۱- ترکیبات تیماری مورد استفاده در آزمایش

عدم محلول‌پاشی در شرایط عدم تنش	$a_1b_1c_1$
محلول‌پاشی با غلظت ۵۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید در شرایط عدم تنش	$a_1b_1c_2$
محلول‌پاشی با غلظت ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید در شرایط عدم تنش	$a_1b_1c_3$
محلول‌پاشی با غلظت ۱۵ درصد حجمی متانول در شرایط عدم تنش	$a_1b_2c_1$
محلول‌پاشی با غلظت ۱۵ درصد حجمی متانول و ۵۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید در شرایط عدم تنش	$a_1b_2c_2$
محلول‌پاشی با غلظت ۱۵ درصد حجمی متانول و ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید در شرایط عدم تنش	$a_1b_2c_3$
محلول‌پاشی با غلظت ۳۰ درصد حجمی متانول در شرایط عدم تنش	$a_1b_3c_1$
محلول‌پاشی با غلظت ۳۰ درصد حجمی متانول و ۵۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید در شرایط عدم تنش	$a_1b_3c_2$
محلول‌پاشی با غلظت ۳۰ درصد حجمی متانول و ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید در شرایط عدم تنش	$a_1b_3c_3$
عدم محلول‌پاشی در شرایط تنش	$a_2b_1c_1$
محلول‌پاشی با غلظت ۵۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید در شرایط تنش	$a_2b_1c_2$
محلول‌پاشی با غلظت ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید در شرایط تنش	$a_2b_1c_3$
محلول‌پاشی با غلظت ۱۵ درصد حجمی متانول در شرایط تنش	$a_2b_2c_1$
محلول‌پاشی با غلظت ۱۵ درصد حجمی متانول و ۵۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید در شرایط تنش	$a_2b_2c_2$
محلول‌پاشی با غلظت ۱۵ درصد حجمی متانول و ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید در شرایط تنش	$a_2b_2c_3$
محلول‌پاشی با غلظت ۳۰ درصد حجمی متانول در شرایط تنش	$a_2b_3c_1$
محلول‌پاشی با غلظت ۳۰ درصد حجمی متانول و ۵۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید در شرایط تنش	$a_2b_3c_2$
محلول‌پاشی با غلظت ۳۰ درصد حجمی متانول و ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید در شرایط تنش	$a_2b_3c_3$

۳-۳-۳- داشت

آبیاری به صورت جوی و پشته‌ای انجام شد. از هنگام کاشت تا استقرار کامل بوته‌ها آبیاری به‌طور مرتب هر ۸ روز یکبار انجام شد. به منظور دفع علف‌های هرز سه بار وجین دستی صورت پذیرفت.

۳-۳-۴- اعمال تیمارها

پس از استقرار کامل بوته‌ها اقدام به اعمال تیمارهای تنش کم‌آبیاری گردید. برای اعمال تیمارهای تنش و عدم تنش به ترتیب دور آبیاری ۱۶ و ۸ روز در نظر گرفته شد. محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید یک بار به ترتیب در ۴۴ و ۴۵ روز پس از کاشت (مرحله ۶ و ۷ برگی) در تاریخ ۱۳۹۳/۵/۱ و ۱۳۹۳/۵/۲ هنگام عصر و در هوای ملایم انجام شد. برای به‌دست آوردن غلظت‌های مناسب برای محلول‌ها از آب به‌عنوان حلال و به منظور جذب بهتر برگی متانول و سدیم نیترو پروساید، از تریتون X100 با غلظت ۰/۰۱ درصد به عنوان روکنش‌گر استفاده شد.

۳-۳-۵- برداشت

برداشت جهت تعیین عملکرد و اجزای عملکرد در تاریخ ۱۳۹۳/۷/۳ (۱۱۰ روز پس از کاشت) صورت گرفت. در این زمان رنگ برگک‌های کناری و قسمت اعظمی از پشت طبق قهوه‌ای و میانگین رطوبت دانه‌ها ۴۰ درصد بود.

۳-۴- نمونه برداری جهت صفات زراعی و مرفولوژیک

ده روز بعد از محلول‌پاشی اقدام به نمونه‌گیری و اندازه‌گیری صفات گردید. نمونه‌برداری‌ها به روش تخریبی در طول فصل رشد انجام شد. در کل ۴ نوبت نمونه‌برداری با فواصل ۱۰ روز صورت گرفت. از هر کرت پس از حذف یک ردیف از گیاهانی که در رقابت شرکت نداشتند (به‌عنوان حاشیه)، ۴ بوته به‌عنوان معیار آن کرت برداشت گردید. نمونه‌برداری نهایی۱۰۰ روز پس از کاشت انجام شد که

در این نمونه‌برداری پس از حذف حاشیه، تعداد ۶ بوته از هر کرت به‌عنوان نمونه آن کرت برداشت گردید. نمونه‌ها پس از برداشت در پاکت قرار داده شدند و جهت تعیین برخی صفات به آزمایشگاه انتقال داده شدند.

۳-۵- اندازه‌گیری صفات زراعی و مرفولوژیک

۳-۵-۱- وزن خشک برگ، ساقه و طبق

نمونه‌های منتقل شده به آزمایشگاه به چند بخش برگ، ساقه و طبق تفکیک شدند و به‌طور مجزا در پاکت قرار داده شده و توسط دستگاه آون در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۹۶ ساعت خشک شدند. سپس با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ وزن شدند. مقادیر به‌دست آمده بر حسب گرم در متر مربع محاسبه گردید.

۳-۵-۲- ارتفاع و قطر ساقه

ارتفاع ۶ بوته از هر کرت بر حسب سانتی‌متر اندازه‌گیری و پس از میانگین‌گیری ثبت گردید. قطر ساقه با استفاده از کولیس دیجیتالی روی ۶ بوته اندازه‌گیری سپس میانگین آن محاسبه گردید.

۳-۵-۳- قطر طبق

این صفت از این جهت مهم است که هر چه قطر طبق بیشتر باشد تعداد دانه بیشتر و بزرگتری را می‌تواند در خود جای دهد. در این آزمایش از هر بوته به‌طور تصادفی قطر ۶ طبق با استفاده از خط-کش اندازه‌گیری شد و در نهایت از میانگین آن‌ها برای انجام محاسبات استفاده گردید.

۳-۵-۴- شاخص سطح برگ

صفت شاخص برگ به منظور بررسی نسبت سطح سبز برای تولید مواد فتوسنتزی در مزرعه اندازه‌گیری می‌شود. جهت اندازه‌گیری سطح برگ بوته‌های نمونه‌برداری شده پس از جداسازی برگ‌ها

از دستگاه سطح برگ‌سنج Area Meter AM 300 (ADC Bioscientific Ltd) ساخت انگلستان استفاده شد. سپس بر حسب مترمربع سطح برگ به متر مربع سطح زمین محاسبه شد.

۳-۵-۵- عملکرد و اجزای عملکرد

مهم‌ترین عامل در تولید گیاهان زراعی میزان عملکرد دانه محسوب می‌شود. اجزای عملکرد در یک گیاه زراعی مؤلفه‌های میزان تولید نهایی می‌باشد و در هر گیاه زراعی دارای اجزای خاص خود است. اجزای عملکرد در گیاه آفتاب‌گردان شامل تعداد طبق در مترمربع، تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه می‌باشد. عملکرد و اجزای آن توسط ۶ بوته برداشت شده از هر کرت تعیین گردید.

۳-۶- صفات فیزیولوژیک

۳-۶-۱- مقدار نسبی آب برگ

به منظور تعیین مقدار نسبی آب برگ از هر کرت ۳ بوته به‌طور تصادفی انتخاب شد و از هر بوته برگی جوان و کاملاً رشد یافته قطع گردید و در یک پوشش پلاستیکی داخل یخدان به آزمایشگاه منتقل شدند. در آزمایشگاه با ترازوی با دقت ۰/۰۰۱ وزن شدند (وزن تر) و سپس به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر و در یخچال در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند (کرامر، ۱۹۸۳). بعد از این مدت برگ‌ها از آب مقطر خارج شدند و بعد از اینکه آب روی آن ها با کاغذ صافی خشک شد دوباره وزن شدند (وزن اشباع)، پس از آن به مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و سپس وزن شدند (وزن خشک). محاسبه مقدار آب نسبی با استفاده از رابطه ۳-۱ صورت گرفت.

رابطه (۳-۱) $$\text{مقدار آب نسبی} = \{(\text{وزن خشک} - \text{وزن اشباع}) / (\text{وزن خشک} - \text{وزن تر})\} \times ۱۰۰$$

۳-۶-۲- پایداری غشای پلاسمایی

در ۸۱ روز پس از کاشت به‌طور تصادفی از قسمت یک سوم بالایی کانوپی هر کرت برگ‌های هم‌سن برداشت گردید و به‌طور مجزا درون پاکت‌های پلاستیکی قرار داده و به وسیله یخدان به آزمایشگاه منتقل شدند. از نمونه‌ها دیسک برگی تهیه شد و مقدار ۰/۱ گرم از آن درون فالکون تیوپ قرار گرفت و ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر روی آن‌ها ریخته شد. فالکون تیوپ‌ها به مدت ۱۵ دقیقه درون اتوکلاو و در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد (c_2) قرار داده شدند. به‌طور مشابه یکسری دیگر نمونه در فالکون تیوپ قرار گرفتند و به مدت نیم ساعت در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد (c_1) قرار داده شدند و سپس خارج و پس از خنک شدن در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد با استفاده از دستگاه EC متر، EC مربوط به هر فالکون تیوپ اندازه‌گیری شد و در نهایت با استفاده از رابطه ۳-۲ شاخص پایداری غشاء محاسبه گردید (سایرام و سریواساوا، ۲۰۰۱).

رابطه (۳-۲) $\text{شاخص پایداری غشای پلاسمایی} = (1 - c_1/c_2) \times 100$

۳-۶-۳- کلروفیل a، b و کاروتنوئید

به منظور اندازه‌گیری کلروفیل برگ، ۸۳ روز پس از کاشت به‌طور تصادفی از برگ‌های هم‌سن در قسمت یک سوم بالا، وسط و پایین در هر کرت نمونه برداری انجام شد.

اندازه‌گیری میزان کلروفیل و کاروتنوئید با استفاده از روش بدون لهیدگی صورت گرفت. برای این‌منظور نمونه‌های برگی (۰/۵ گرم) در ۵ میلی‌لیتر از دی متیل سولفوکسید، در آون دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۴ ساعت قرار داده شدند. سپس با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدلJenway 6305 ساخت آمریکا، میزان جذب در طول موج‌های ۶۶۵، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر ثبت گردید. سپس با استفاده از روابط موجود میزان کلروفیل a، b و کاروتنوئید محاسبه گردید (پروچازکا و همکاران، ۱۹۹۸).

$$Chl\ a = (12.19\ A665) - (3.45\ A645)$$ رابطه (۳-۳)

$$Chl\ b = (21.99\ A645 - 5.32\ A665)$$ رابطه (۳-۴)

$$Chl\ t = Chl\ a + Chl\ b$$ رابطه (۳-۵)

$$Carotenoeid = (1000\ A470 - 2.14\ Chl\ a - 70.16\ Chl\ b) / 220$$ رابطه (۳-۶)

۳-۷- صفات کیفی

۳-۷-۱- درصد و عملکرد روغن

روغن موجود در دانه با استفاده از دستگاه سوکسله تعیین گردید. برای این منظور نمونه‌ها از قبل به مدت ۷۲ ساعت در آون با دمای ۷۸ سانتی‌گراد قرار گرفتند و سپس پودر شدند. مقدار ۳ گرم از هر نمونه در کاغذ صافی پیچیده شده و داخل اکسترکتور دستگاه قرار داده شد. بالن‌ها به مدت ۲ تا ۳ ساعت در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد داخل آون خشک شدند. سپس به دسیکاتور منتقل و پس از هم دما شدن با محیط توزین شدند و روی صفحه گرم کننده دستگاه قرار گرفتند. داخل بالن‌ها با مقدار مشخصی پترولیوم اتر به‌عنوان حلال آلی پر شد. اکسترکتور روی دهانه بالن قرار گرفت و سپس مبرد روی اکسترکتور قرار داده شد. دستگاه با کلید اصلی روشن و دما برای همه نمونه‌ها روی ۶۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم گردید. فرآیند استخراج ۸ ساعت به طول انجامید. پس از این مدت دستگاه خاموش و حلال جمع شده در داخل اکسترکتور از طریق شیر مخصوص تخلیه و خارج گردید. بالن‌ها به زیر هود منتقل شدند تا باقیمانده اتر از بین برود. آن‌ها را به آون منتقل کرده و به مدت ۱ ساعت با دمای ۷۰ درجه و سپس به مدت ۱/۵ ساعت با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شدند. بالن‌ها به دسیکاتور منتقل و بعد از سرد شدن توزین گردیدند. برای محاسبه درصد روغن در نمونه‌ها از رابطه ۳-۷ استفاده گردید.

رابطه (۳-۷) درصد روغن موجود در نمونه = (وزن اولیه بالن – وزن ثانویه بالن) / وزن نمونه ×۱۰۰

برای محاسبه عملکرد روغن دانه از حاصل ضرب عملکرد دانه در درصد روغن دانه استفاده گردید.

۳-۷-۲- درصد پروتئین

مقدار نیتروژن موجود در دانه پس از برداشت به روش کجلدال تعیین گردید. برای مرحله هضم کجلدال از اجاق هضم کننده 2040 Digester از شرکت Foss tecator و برای مراحل تقطیر و تیتراسیون از دستگاه تمام خودکار 2300 Kjeltec Analysis Unit از همان شرکت استفاده گردید. برای انجام عمل هضم مقدار ۱ گرم از نمونه بذر پودر شده را درون فلاسک‌های شیشه‌ای مخصوص کجلدال ریخته و یک عدد قرص کاتالیزور شامل ۱/۵ گرم سولفات پتاسیم و ۰/۱۵ گرم سولفات مس به هر فلاسک اضافه گردید. سپس به هر فلاسک ۲۰ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک ۹۸ درصد افزوده شد و فلاسک‌ها درون اجاق مخصوص قرار داده شدند. دمای اجاق به آرامی و هر بار ۴۰ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت تا به دمای ۳۸۰ درجه سانتی‌گراد رسید. این شیوه برای جلوگیری از جوشش و کف کردن مواد درون فلاسک‌ها بسیار مؤثر بود. پایان عمل هضم پس از ۲ تا ۲/۵ ساعت و با تبدیل محلول سیاه‌رنگ درون فلاسک‌ها به محلولی نسبتاً زلال به رنگ سبز بسیار کمرنگ مشخص می‌شد. مقدار نیتروژن نمونه‌ها پس از سرد شدن در دمای آزمایشگاه توسط دستگاه کجلدال سنجیده شد. دستگاه دارای ۳ مخزن آب مقطر، سود سوزآور ۴۰ درصد ومحلول دریافت کننده بود. محلول دریافت کننده از ترکیب ۱۰۰ میلی‌متر بروموکروزول سبز (۰/۱ گرم بروموکروزول سبز در ۱۰۰ میلی‌متر الکل)، ۷۰ میلی‌متر متیل قرمز (۰/۱ میلی‌گرم متیل قرمز در ۱۰۰ میلی‌متر الکل) و ۱۰ لیتر اسیدبوریک ۱ درصد تشکیل شده بود. پس از قرار گیری فلاسک‌ها در دستگاه به ترتیب ۲ میلی لیتر آب مقطر و ۳۰ میلی لیتر سود سوزآور ۴۰ درصد به نمونه‌ها اضافه شده و با فشار بخار آب عمل تقطیر انجام گرفت. طی مرحله تقطیر نیتروژن موجود در نمونه به‌صورت گاز آمونیاک حاصل به ظرفی حاوی محلول دریافت کننده منتقل شده و به همراه اسید بوریک، بورات آمونیم را تشکیل می‌دهد که معرف‌های موجود در محلول دریافت کننده آن را به صورت رنگ سبز نمایان می‌سازد.

عمل تیتراسیون نیز توسط دستگاه صورت گرفت. طی این عمل بورات آمونیم حاصل در محلول دریافت کننده توسط مقدار کافی از محلول تیتریزول اسید کلریدریک ۰/۱ نرمال وتا رسیدن یه رنگ ارغوانی تیره تیتر شد. مقدار نیتروژن موجود در نمونه بر اساس مقدار اسید کلریدریک مصرف شده در تیتراسیون توسط دستگاه مشخص گردید.

از رابطه ۳-۸ به منظور تبدیل مقدار اسید کلریدریک ۰/۱ مولار مصرف شده در تیتراسیون به نیتروژن نمونه استفاده شد.

رابطه (۳-۸) درصد نیتروژن = (A × ۰/۱۴) / وزن نمونه (گرم)

در این رابطه A حجم اسید کلریدریک ۰/۱ مولار مصرفی بر حسب میلی‌لیتر می‌باشد. برای تبدیل درصد نیتروژن به درصد پروتئین از رابطه ۳-۹ استفده گردید.

رابطه (۳-۹) درصد پروتئین نمونه = درصد نیتروزن × ضریب تبدیل نیتروژن

ضریب تبدیل پروتئین برای آفتاب‌گردان ۵/۳۶ در نظر گرفته شد.

۳-۸- تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزارهای SAS و MSTATC و رسم نمودارها توسط نرم افزار Excel انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها به روش LSD در سطح احتمال ۵ درصد صورت پذیرفت.

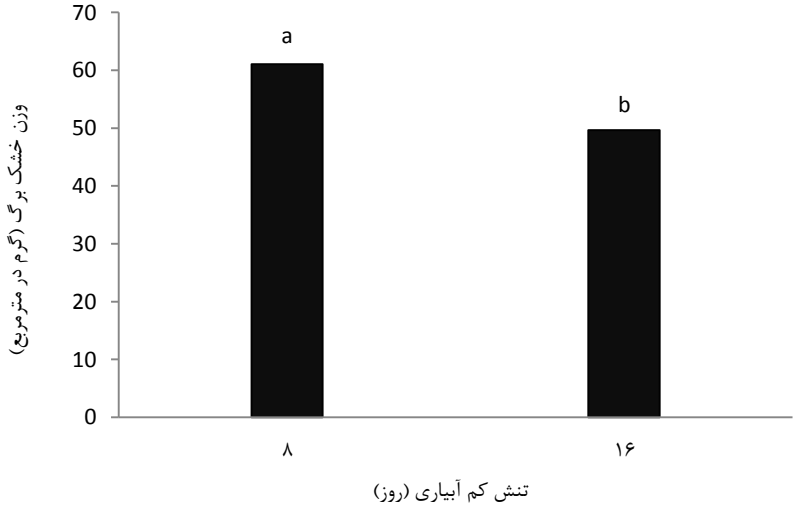
فصل چهارم

نتایج و بحث

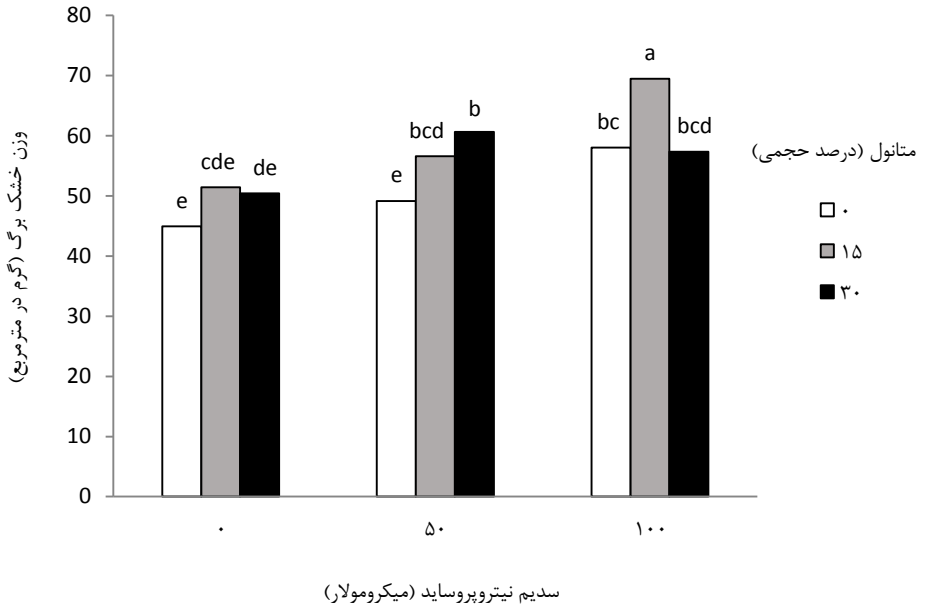
۴-۱- ماده خشک

۴-۱-۱- وزن خشک برگ

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد وزن خشک برگ تحت تأثیر محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید ($p < ۰/۰۱$) و اثر متقابل آن‌ها و تنش کم‌آبیاری ($p < ۰/۰۵$) قرار گرفت (جدول پیوست ۱). دو برابر شدن دور آبیاری از ۸ روز به ۱۶ روز موجب کاهش معنی‌دار وزن خشک برگ شد که از حدود ۶۱/۰۳ گرم در مترمربع به ۴۹/۶۵ گرم در مترمربع کاهش یافت (شکل ۴-۱). بر اساس نتایج به‌دست آمده محلول‌پاشی با متانول و سدیم نیتروپروساید هم به تنهایی و هم توأم با هم منجر به افزایش وزن خشک برگ گردید. در شرایط عدم استفاده از متانول و نیز متانول ۱۵ درصد، محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید با غلظت بالا (۱۰۰ میکرومولار) تجمع ماده خشک را در برگ به‌طور معنی‌داری افزایش داد. به ویژه تأثیر مثبت متانول با غلظت ۱۵ درصد حجمی بر وزن خشک برگ مشهودتر بود. به‌طوری‌که بالاترین مقادیر وزن خشک برگ مربوط به ترکیب تیماری محلول‌پاشی متانول با غلظت ۱۵ درصد حجمی و سدیم نیتروپروساید ۱۰۰ میکرومولار به میزان ۶۹/۵۰ گرم بر مترمربع بود. مقادیر پایینی از وزن خشک برگ در شاهد (عدم محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید) به میزان ۴۴/۹۶ گرم بر مترمربع مشاهده گردید (شکل ۴-۲).



شکل ۴-۱- مقایسه میانگین وزن خشک برگ تحت تأثیر تنش کم‌آبیاری



شکل ۴-۲- مقایسه میانگین وزن خشک برگ تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید

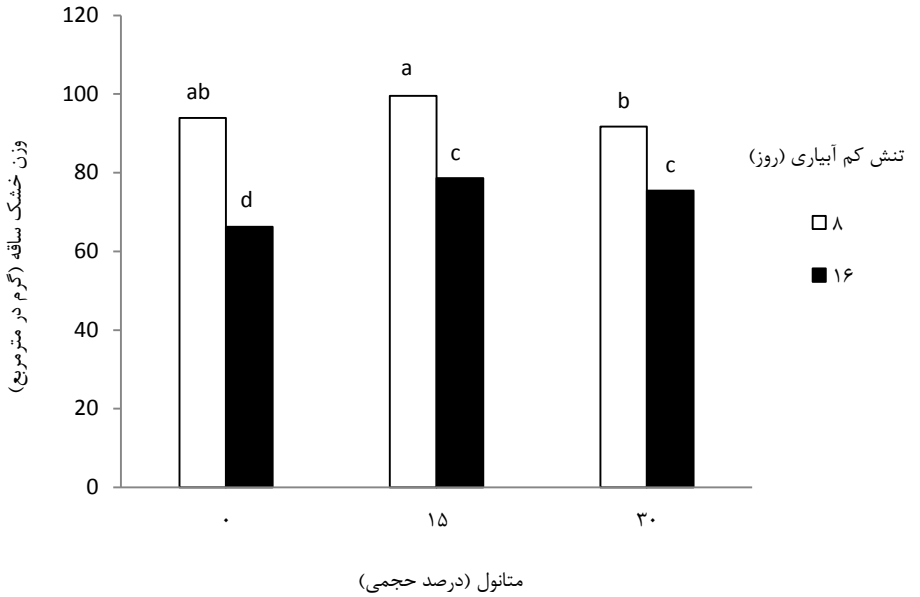
تئودوریدو و همکاران (۲۰۰۲)، معتقدند که متانول با افزایش سرعت فتوسنتز، تنفس و آماس برگ سبب افزایش تجمع ماده خشک در برگ می‌شود. این احتمال وجود دارد که یکی دیگر از دلایل افزایش وزن خشک برگ در غلظت‌های ۱۵ و ۳۰ درصد حجمی متانول به تعویق افتادن پیری و ریزش برگ باشد. در همین رابطه گزارش شده است که متانول می‌تواند از طریق اثر روی سرعت تولید اتیلن، پیری و ریزش برگ‌ها را به تعویق اندازد (نادعلی و همکاران، ۱۳۸۹).

۴-۱-۲- وزن خشک ساقه

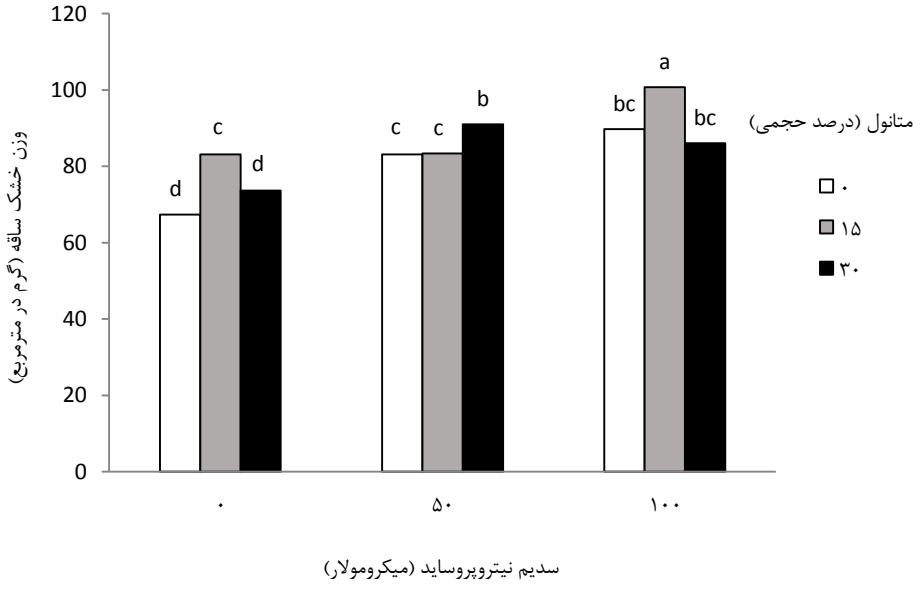
تجمع ماده خشک در ساقه از تنش کم‌آبی و اثر متقابل آن با متانول در سطح احتمال ۵ درصد و اثر محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید و متانول و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال ۱ درصد تأثیر پذیرفت (جدول پیوست ۱). در شکل ۴-۳ مشاهده می‌شود که تنش کم‌آبی موجب کاهش معنی‌دار در وزن خشک ساقه گردید. این کاهش به‌طور متوسط در سطوح تنش نسبت به سطوح عدم تنش

حدود ۲۳ درصد بود (جدول پیوست ۲). از این رو کم‌ترین وزن خشک ساقه (۶۶/۲۸ گرم در مترمربع) در شرایط تنش کم‌آبی و عدم مصرف متانول به‌دست آمد (شکل ۴-۳). گزارش شده است که مهم-ترین اثر خشکی برای گیاه، نامتناسب بودن رشد ریشه و اندام هوایی است که عمدتاً در نتیجه کاهش بیشتر رشد اندام هوایی در شرایط تنش خشکی رخ می‌دهد (برادران فیروزآبادی، ۱۳۸۱). علاوه بر این گیاه در شرایط مواجهه با تنش اسیمیلات بیشتری را جهت رشد عمقی ریشه‌ها اختصاص می‌دهد که به ضرر اندام هوایی تمام خواهد شد و به این ترتیب ماده خشک ساقه در این شرایط کاهش می‌یابد. در هر دو شرایط تنش و عدم تنش، وزن خشک ساقه در اثر محلول‌پاشی با متانول ۱۵ درصد حجمی افزایش نشان داد. البته این افزایش در شرایط عدم تنش جزئی و غیرمعنی‌دار بود. در شرایط تنش بین غلظت‌های ۱۵ و ۳۰ درصد حجمی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۴-۳). پیش از این نیز گزارش شده است که محلول‌پاشی متانول سبب افزایش وزن خشک ساقه در آفتاب‌گردان شده است (هرناندز و همکاران، ۲۰۰۰). مشابه با این نتایج راو و همکاران (۱۹۹۴) در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که محلول‌پاشی متانول موجب افزایش وزن خشک ساقه در گوجه فرنگی می‌شود.

به‌طورکلی کاربرد سدیم نیتروپروساید با غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار وزن خشک ساقه را به ترتیب ۱۴/۸۵ و ۲۳/۳۳ درصد افزایش داد (جدول پیوست ۲). مقایسه برهم‌کنش سطوح محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید نشان داد که وزن خشک ساقه در اثر محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید در همه سطوح متانول (به جز ۱۵ درصد حجمی) به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. در بین ترکیبات تیماری مورد مطالعه کاربرد توأم ۱۵ درصد حجمی متانول و ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید مشابه نتیجه وزن خشک برگ بیشترین وزن خشک ساقه (۱۰۰/۷۰ گرم بر مترمربع) را داشت و مقادیر پایینی از وزن خشک ساقه (۶۷/۴۰ گرم در مترمربع) در گیاهان شاهد (عدم محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید) مشاهده شد (شکل ۴-۴).



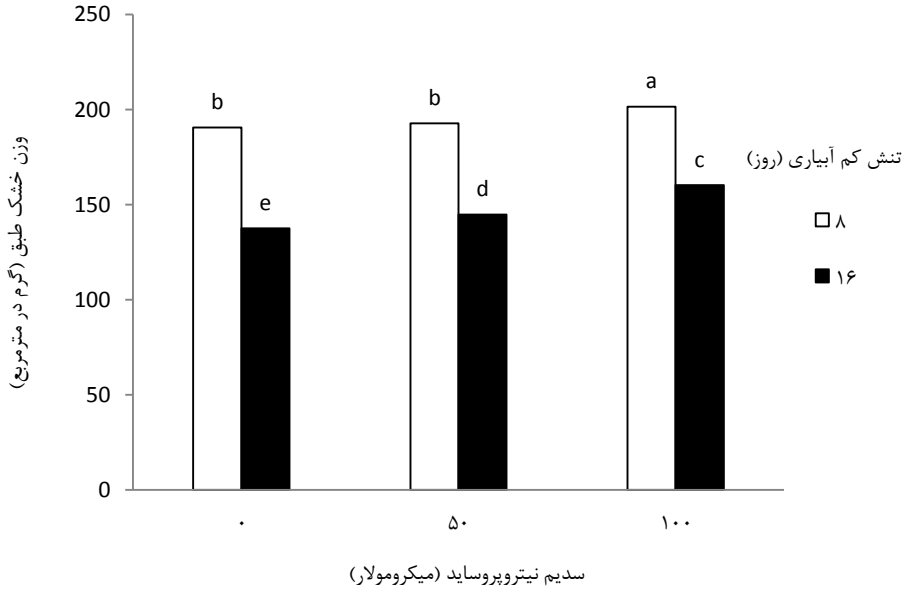
شکل ۴-۳- مقایسه میانگین وزن خشک ساقه تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی متانول



شکل ۴-۴- مقایسه میانگین وزن خشک ساقه تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید

۴-۱-۳- وزن خشک طبق

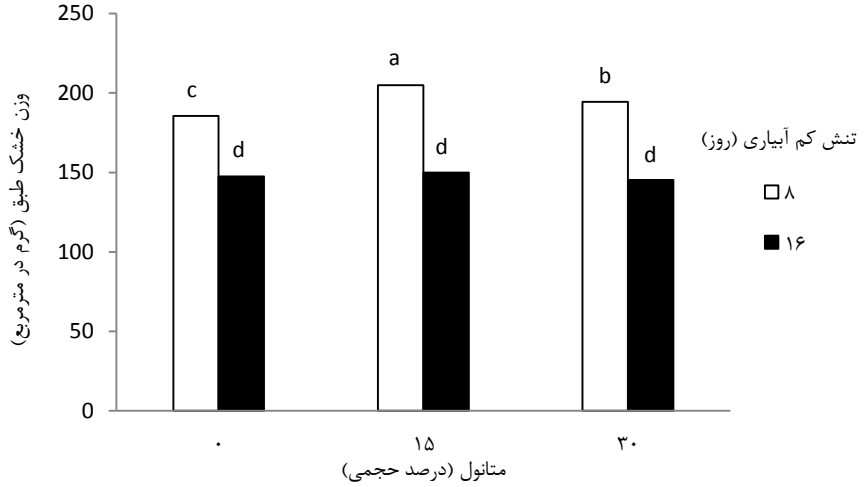
اثر کلیه منابع تغییر بر وزن خشک طبق معنی‌دار بود (جدول پیوست ۱). همان‌طور که در شکل ۴-۵ مشاهده می‌شود دور آبیاری ۱۶ روز و عدم کاربرد سدیم نیتروپروساید در مقایسه با سایر ترکیبات تیماری کم‌ترین وزن خشک طبق (معادل ۱۳۷/۵۰ گرم در مترمربع) را به خود اختصاص داد. محلول‌پاشی با غلظت پایین سدیم نیتروپروساید (۵۰ میکرومولار) در شرایط تنش تأثیر معنی-داری برصفت وزن خشک طبق داشت ولی در شرایط عدم تنش این تأثیر معنی‌دار نبود. با دو برابر شدن غلظت این ماده در شرایط تنش، تجمع ماده خشک در طبق به‌طور قابل توجهی بهبود یافت و به ۱۶۰/۲۰ گرم در مترمربع رسید. این افزایش غلظت سدیم نیتروپروساید در شرایط عدم تنش نیز بر صفت وزن خشک طبق تأثیر معنی‌داری از خود نشان داد و بالاترین مقدار ثبت شده در ترکیب تیماری عدم تنش در ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید (معادل ۲۰۱/۵۰ گرم در مترمربع) بود (شکل ۴-۵).



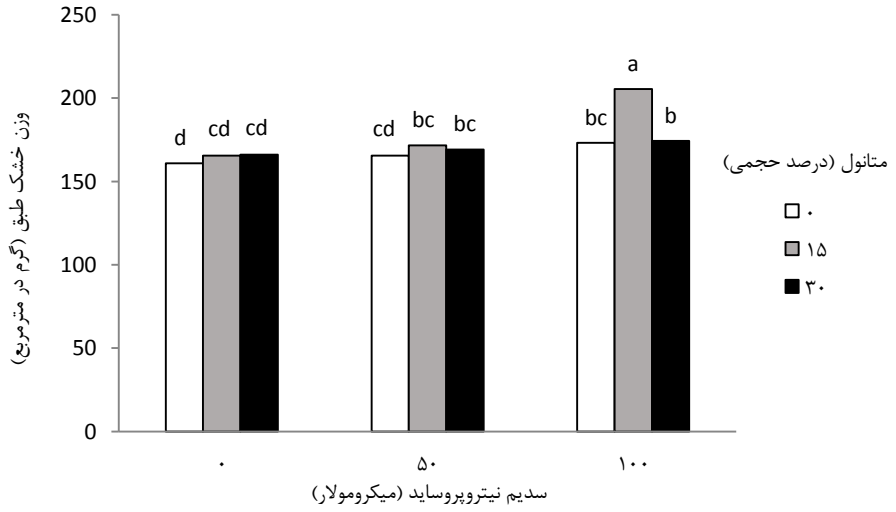
شکل ۴-۵- مقایسه میانگین وزن خشک طبق تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید

از بین ترکیبات تیماری حاصل از سطوح تنش و متانول، استفاده از دور آبیاری ۸ روز (عدم تنش) به همراه سطح دوم و سوم متانول مقادیر بالایی از وزن خشک طبق را به نمایش گذاشتند که از لحاظ

آماری اختلاف معنی‌داری با هم داشتند. در شرایط تنش محلول‌پاشی با متانول تأثیر چندانی بر این صفت نداشت (شکل ۴-۶). مقایسه میانگین اثر متقابل محلول‌پاشی (متانول × سدیم نیتروپروساید) نشان داد کاربرد توأم ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید و ۱۵ درصد حجمی متانول مقادیر بالایی از وزن خشک طبق را (معادل ۲۰۵/۵ گرم در مترمربع) به خود اختصاص داد که نسبت به شاهد ۲۷/۸ درصد بیشتر بود. مقادیر وزن خشک طبق در دو سطح صفر و ۳۰ درصد متانول در سدیم نیتروپروساید ۱۰۰ میکرومولار و نیز سطوح ۱۵ و ۳۰ درصد متانول در سدیم نیتروپروساید ۵۰ میکرومولار نیز به‌طور معنی‌داری از شاهد بیشتر بود (شکل ۴-۷).



شکل ۴-۶- مقایسه میانگین وزن خشک طبق تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی متانول



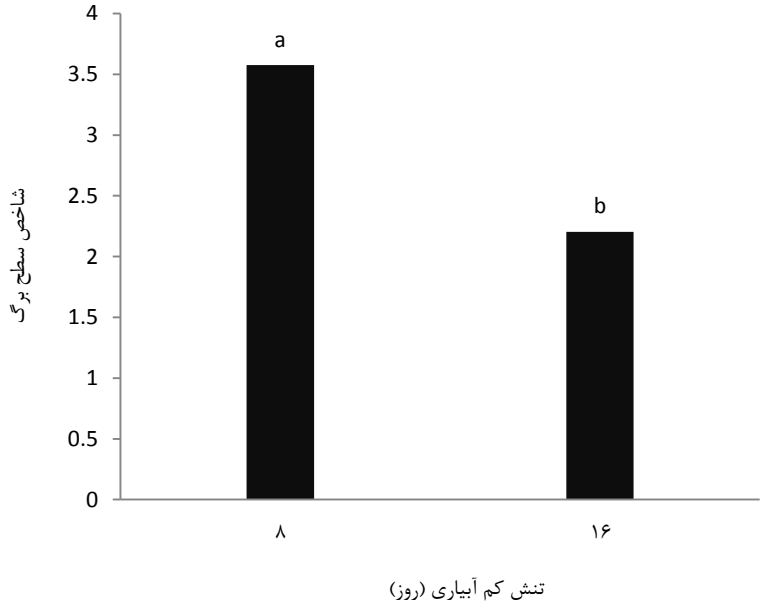
شکل ۴-۷- مقایسه میانگین وزن خشک طبق تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید

۴-۲- شاخص سطح برگ

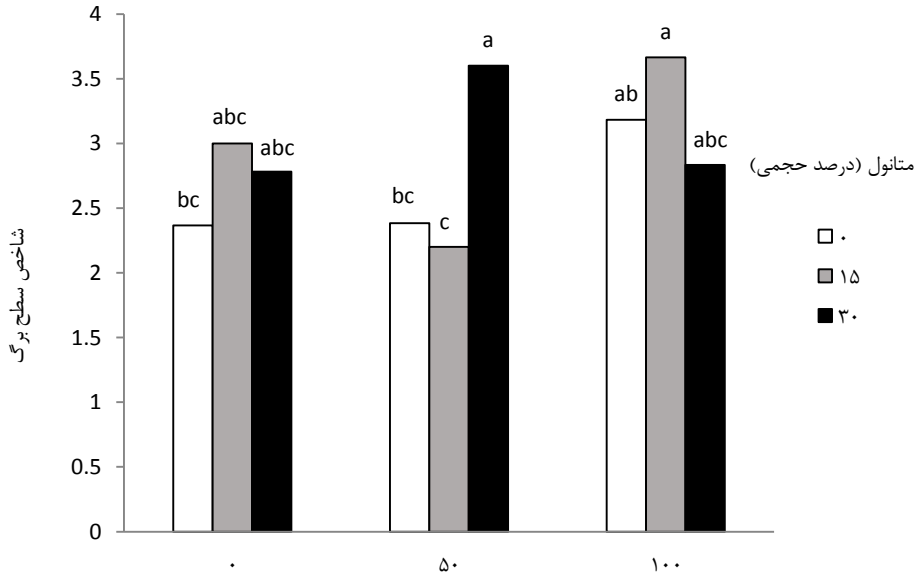
نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که شاخص سطح برگ تحت تأثیر تنش کم‌آبیاری و اثر متقابل متانول و سدیم نیتروپروساید در سطح احتمال ۵ درصد قرار گرفت (جدول پیوست ۱). ۸ روز تأخیر در آبیاری موجب کاهش ۳۸/۴۱ درصدی شاخص سطح برگ گردید (شکل ۴-۸). تنش کم‌آبی به واسطه زرد شدن و ریزش زود هنگام برگ‌های کانوپی گیاه، موجب کاهش شاخص سطح برگ در کانوپی آفتاب‌گردان می‌گردد. در مطالعه روی گیاهان دیگر مشخص شده است که تنش کم‌آبی، به دلیل کاهش اندازه و تولید برگ‌های جدید و افزایش ریزش آن‌ها شاخص سطح برگ را کاهش می‌دهد و چنین نتیجه‌گیری شده است که تولید وگسترش برگ به تنش کم‌آبی حساس می‌باشد. بنابراین در اثر تنش کمبود آب شاخص سطح برگ کاهش می‌یابد (بیتز و همکاران، ۱۹۷۳). برخی محققین کاهش سطح برگ را به‌عنوان یک مکانیزم سازگاری در جهت کم کردن میزان تعرق در گیاه معرفی نموده‌اند (عباسی، ۱۳۸۶؛ باسرا، ۱۹۹۷).

مقایسه میانگین برهم‌کنش سطوح محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید نشان داد شاخص سطح برگ گیاهانی که در معرض کاربرد هم‌زمان ۱۰۰میکرومولار سدیم نیتروپروساید و ۱۵ درصد حجمی متانول و همچنین ۵۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید و ۳۰ درصد حجمی متانول قرارگرفتند بیشتر از سایر گیاهان بود (شکل ۴-۹). نتایج این آزمایش نشان داد محلول‌پاشی با سطح دوم و سوم متانول و سدیم نیتروپروساید به صورت مجزا موجب افزایش شاخص سطح برگ گردید ولی این افزیش در هر دو ماده نسبت به شاهد از لحاظ آماری معنی‌دار نبود (جدول پیوست ۲). این نتایج مشابه با نتایج مخدوم و همکاران (۲۰۰۲) می‌باشد که بیان کردند محلول‌پاشی متانول سبب افزایش شاخص برگ در گیاه پنبه می‌شود. محلول‌پاشی متانول سبب تأخیر در پیری برگ‌ها از طریق اثر محرک‌های تولید اتیلن در گیاه می‌شود که این امر موجب افزایش دوره فعال فتوسنتزی و دوام سطح برگ می‌گردد. عرب و همکاران (۱۳۹۵) نیز گزارش کردند محلول‌پاشی ۵۰ و۱۰۰ میکرومولار سدیم

نیتروپروساید به ترتیب موجب افزایش ۱۲/۶۹ و ۱۸/۷۵ درصدی شاخص سطح برگ در گلرنگ شده است.



شکل ۴-۸- مقایسه میانگین شاخص سطح برگ تحت تأثیر تنش کم‌آبیاری

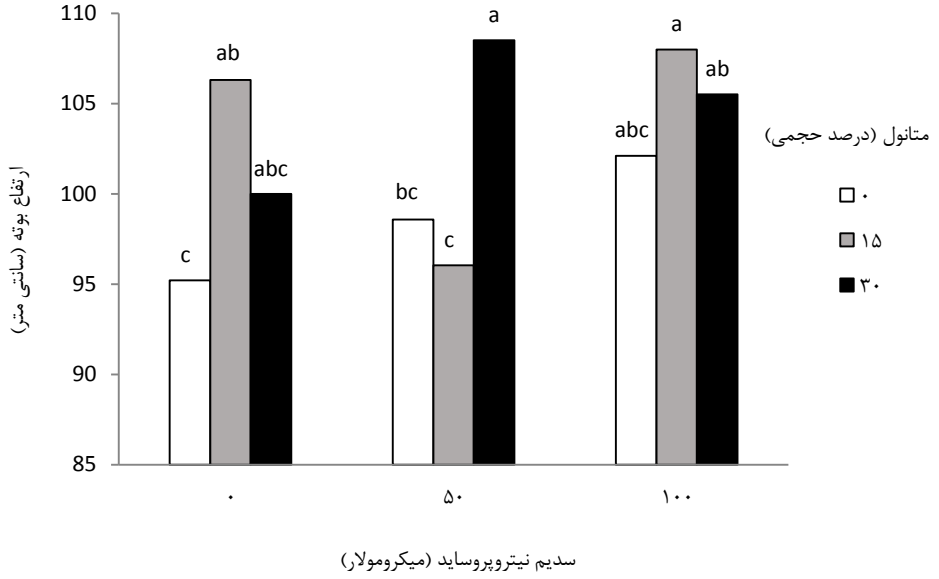


شکل ۴-۹- مقایسه میانگین شاخص سطح برگ تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید

۴-۳- صفات زراعی

۴-۳-۱- ارتفاع بوته

از بین منابع تغییر اثر متقابل متانول × سدیم نیتروپروساید و اثر اصلی محلول‌پاشی متانول در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار گردید. سایر منابع تغییر تأثیر معنی‌داری بر این صفت نداشتند (جدول پیوست ۳). همان‌طور که در شکل ۴-۱۰ ملاحظه می‌گردد مقادیر پایینی از ارتفاع بوته در شاهد (عدم محلول‌پاشی با متانول و سدیم نیتروپروساید) و ترکیب تیماری ۵۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید به همراه متانول ۱۵ درصد به ترتیب معادل ۹۵/۲۰ و ۹۶/۰۴ سانتی‌متر ثبت شد. سایر ترکیبات تیماری ارتفاع ساقه را بهبود بخشیدند به‌طور مشخص مقادیر بالایی از ارتفاع بوته در ترکیبات تیماری ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید و ۱۵ درصد حجمی متانول (معادل ۱۰۸/۵ سانتی‌متر) و ۵۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید در متانول ۳۰ درصد حجمی متانول (معادل ۱۰۸ سانتی‌متر) مشاهده گردید. در عدم کاربرد سدیم نیتروپروساید محلول‌پاشی ۱۵ درصد حجمی متانول موجب افزایش معنی‌داری در این صفت نسبت به شاهد شد ولی افزایش غلظت این ماده از لحاظ آماری تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته نداشت (شکل ۴-۱۰). محلول‌پاشی متانول به‌طور غیرمستقیم موجب تحریک باکتری متیلوتروف می‌شود و این باکتری از طریق تولید اکسین و سیتوکینین موجب افزایش رشد گیاه و ارتفاع بوته می‌گردد (لوپز و همکاران، ۱۹۹۹). همچنین راوو و همکاران (۱۹۹۴) گزارش کردند محلول‌پاشی متانول در غلظت‌های ۱۰ تا ۵۰ درصد حجمی سبب افزایش ارتفاع بوته می‌شود. احتمالاً دلیل افزایش ارتفاع بوته در غلظت ۱۵ درصد حجمی متانول افزایش کربن در دسترس برای گیاه بوده است. متانول در مقایسه با CO_2 مولکول نسبتاً کوچکتری است و به راحتی توسط گیاه جذب می‌شود به این ترتیب افزایش کربن موجب افزایش فتوسنتز و در نتیجه افزایش ارتفاع گیاه خواهد شد. همچنین به نظر می‌رسد محلول‌پاشی متانول با افزایش تولید سیتوکینین و افزایش تقسیم سلولی، تحریک رشد و افزایش ارتفاع در گیاهان تیمار شده را موجب شده باشد (گوت، ۲۰۰۰).

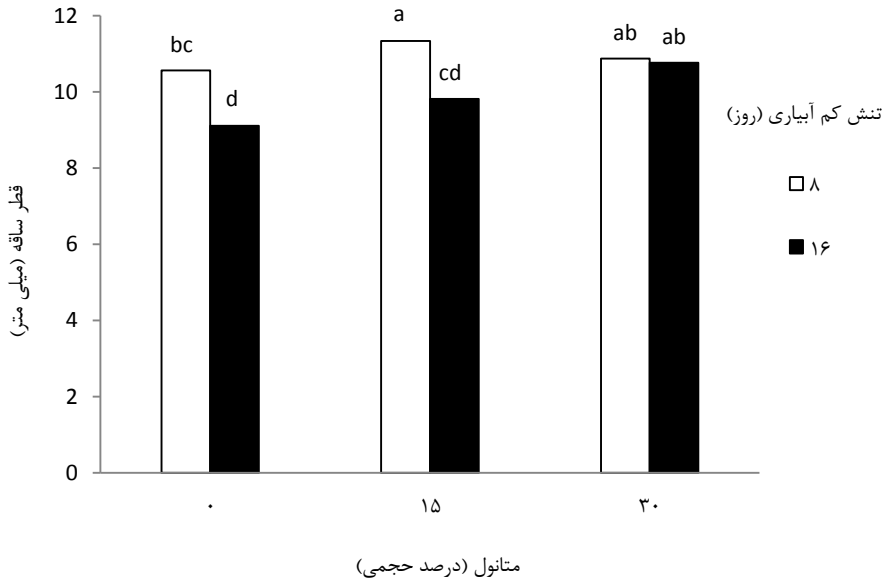


شکل ۴-۱۰- مقایسه میانگین ارتفاع بوته تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید

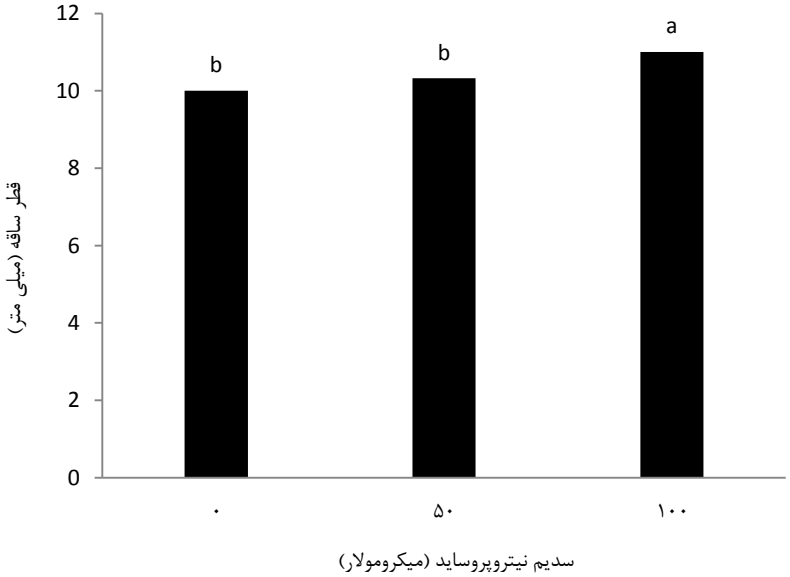
۴-۳-۲- قطر ساقه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها اثر محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید ($p < ۰/۰۱$) و اثر متقابل متانول × تنش ($p < ۰/۰۵$) بر قطر ساقه معنی‌دار گردید (جدول پیوست ۳). مقایسه میانگین داده‌ها در شکل ۴-۱۱ نشان داد که محلول‌پاشی متانول با غلظت ۳۰ درصد حجمی در شرایط تنش موجب افزایش معنی‌داری در این صفت شد و مقادیر بالایی از قطر ساقه (معادل ۱۰/۷۶ میلی‌متر) در شرایط تنش را به خود اختصاص داد. در حالی که متانول ۱۵ درصد در این شرایط تأثیری نداشت. در شرایط عدم تنش (دور آبیاری ۸ روز) تنها محلول‌پاشی ۱۵ درصد حجمی متانول موجب افزایش معنی‌دار در قطر ساقه شد و مقادیر بالایی از این صفت (معادل ۱۱/۳۳ میلی‌متر) در شرایط عدم تنش به‌دست آمد. این احتمال وجود دارد که دلیل افزایش قطر ساقه در غلظت بالای متانول (۳۰ درصد حجمی) در شرایط تنش افزایش کربن در دسترس برای گیاه و بالا بردن ظرفیت فتوسنتزی و ذخیر بیشتر مواد مانند قندها در ساقه باشد. نتایج نشان داد محلول‌پاشی ۱۰۰

میکرومولار سدیم نیتروپروساید موجب افزایش ۱۰/۰۷ درصدی در صفت قطر ساقه گردید. این افزایش از لحاظ آماری معنی‌دار بود. استفاده از سطح دوم این ماده (۵۰ میکرومولار) تأثیر معنی‌داری بر قطر ساقه نداشت (شکل ۴-۱۲).



شکل ۴-۱۱- مقایسه میانگین قطر ساقه تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی متانول



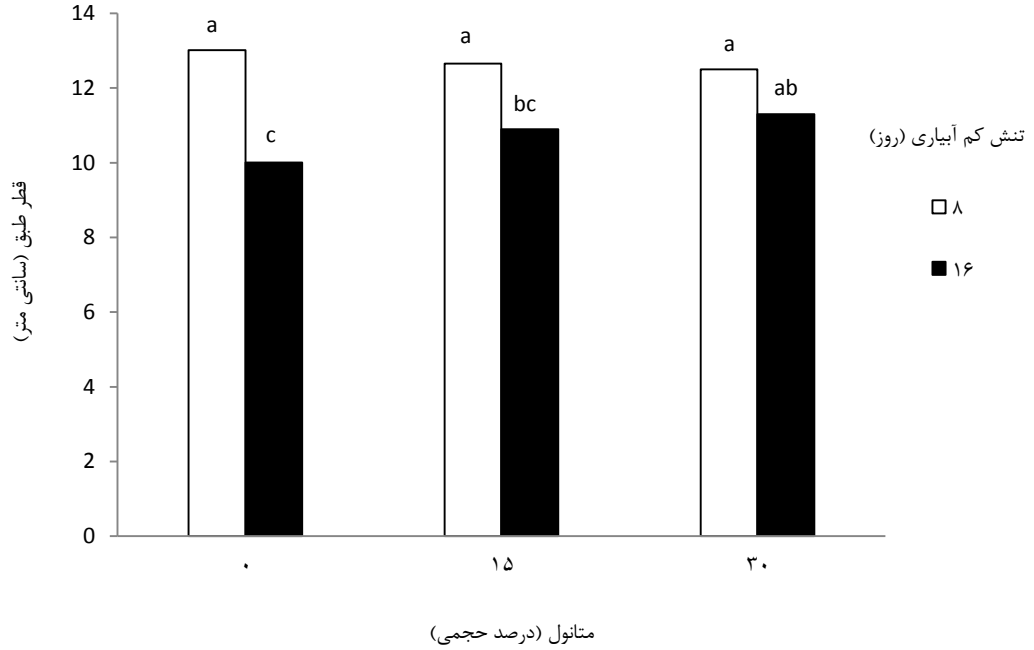
شکل ۴-۱۲- مقایسه میانگین قطر ساقه تحت تأثیر محلول‌پاشی با غلظت‌های مختلف سدیم نیتروپروساید

۴-۳-۳- قطر طبق

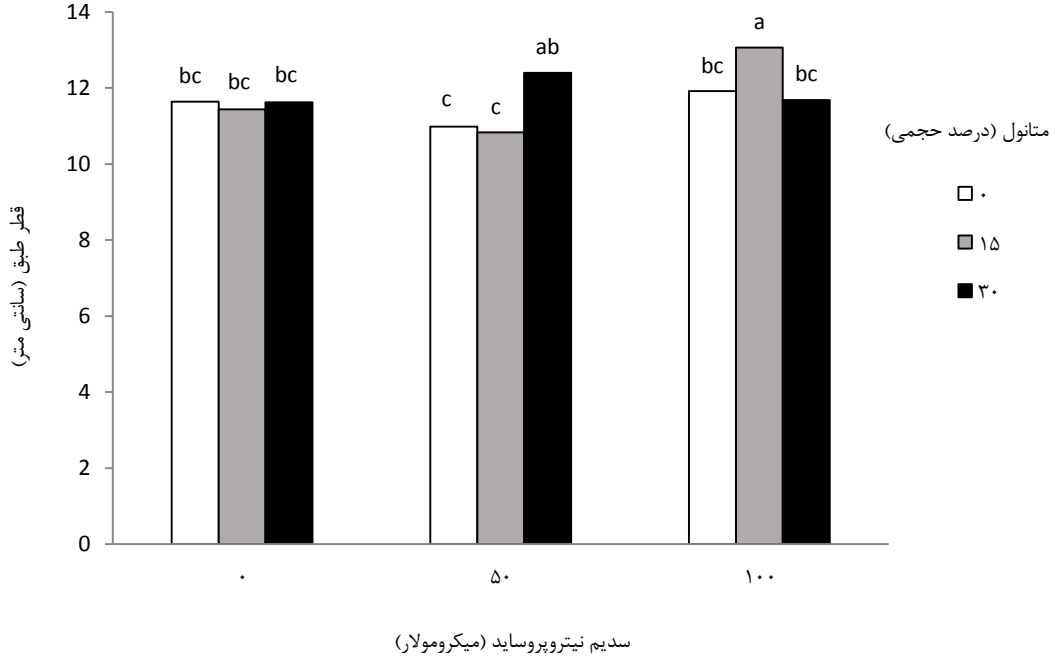
قطر طبق تحت تأثیر تنش کم‌آبی و اثر متقابل آن با متانول، محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید و اثر متقابل متانول × سدیم نیتروپروساید در سطح ۵ درصد قرار گرفت (جدول پیوست ۳). همان‌طور که در شکل ۴-۱۳ مشاهده می‌شود محلول‌پاشی متانول در دو سطح ۱۵ و ۳۰ درصد حجمی در شرایط عدم تنش تأثیر معنی‌داری بر قطر طبق نداشت در حالی که با دو برابر شدن دور آبیاری و تشدید تنش (۱۶روز) تأثیر مثبت محلول‌پاشی متانول بر قطر طبق آشکار گردید. به‌طوری که در این شرایط قطر طبق در اثر محلول‌پاشی با غلظت‌های ۱۵ و ۳۰ درصد حجمی متانول به ترتیب ۸/۸۹ و ۱۲/۹۴ درصد افزایش یافت. که البته تنها افزایش مشاهده شده در غلظت ۳۰ درصد به لحاظ آماری معنی‌دار بود.

در مجموع تنش کم‌آبی موجب کاهش ۱۵/۶ درصدی قطر طبق شد که از لحاظ آماری معنی‌دار بود (جدول پیوست ۴). تنش کم‌آبی موجب کاهش تولید و ارسال مواد فتوسنتزی در مرحله ظهور و پر شدن طبق و موجب کاهش تعداد دانه در طبق می‌شود، در نتیجه قطر طبق کاهش می‌یابد. به نظر می‌رسد تأمین آب کافی برای آفتاب‌گردان در مرحله پر شدن دانه از اهمیت ویژه‌ای در افزایش قطر طبق و تولید عملکرد نهایی برخوردار است، پس بروز تنش کم‌آبی در این مرحله و یا قبل از آن (گلدهی) می‌تواند در کاهش اندازه طبق‌ها و تولید دانه مؤثر باشد.

مقایسه میانگین برهم‌کنش سطوح محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید نشان داد که کاربرد توأم ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید و متانول ۱۵ درصد حجمی قطر طبق بالایی (معادل ۱۳/۰۶۱ سانتی‌متر) داشت، که با کاربرد ترکیبی ۵۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید و متانول ۳۰ درصد حجمی در یک گروه آماری قرار داشتند (شکل ۴-۱۴). شایان ذکر است سایر ترکیبات تیماری اختلاف معنی‌داری با یکدیگر و با شاهد نداشتند (شکل ۴-۱۴).



شکل ۴-۱۳- مقایسه میانگین قطر طبق تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی متانول



شکل ۴-۱۴- مقایسه میانگین قطر طبق تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید

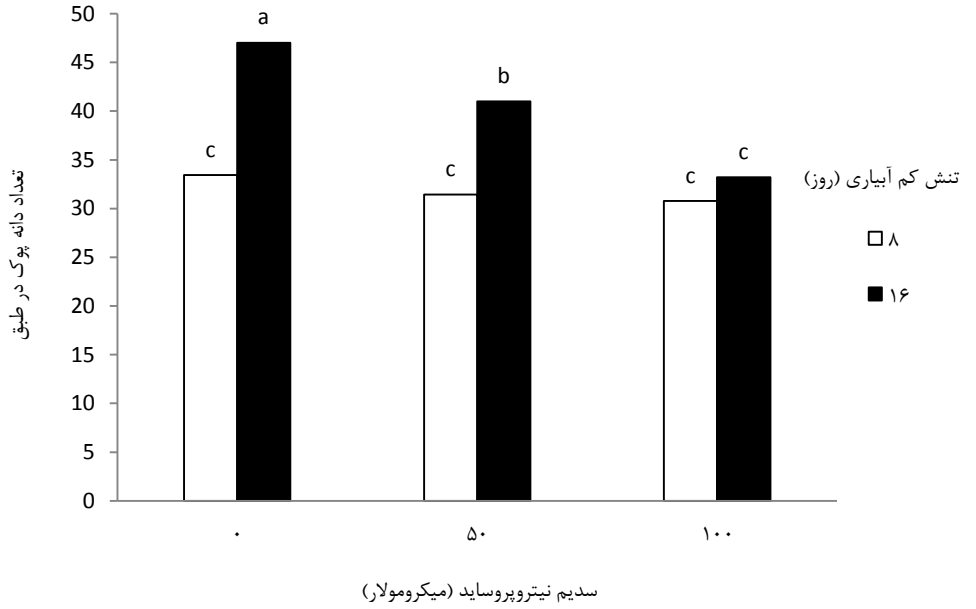
۴-۳-۴- تعداد دانه پوک در طبق

اثر کلیه منابع تغییر به جزء اثر متقابل سه جانبه (متانول × سدیم نیتروپروساید × تنش) و (متانول × تنش) بر تعداد دانه پوک در طبق معنی‌دار بود (جدول پیوست ۵). تنش کم‌آبیاری موجب افزایش معنی‌دار تعداد دانه پوک در طبق شد. به‌طوری که با افزایش دور آبیاری ۸ روز به ۱۶ روز متوسط تعداد دانه پوک در طبق ۹ دانه معادل ۲۶/۷۱ درصد افزایش یافت (جدول پیوست ۶).

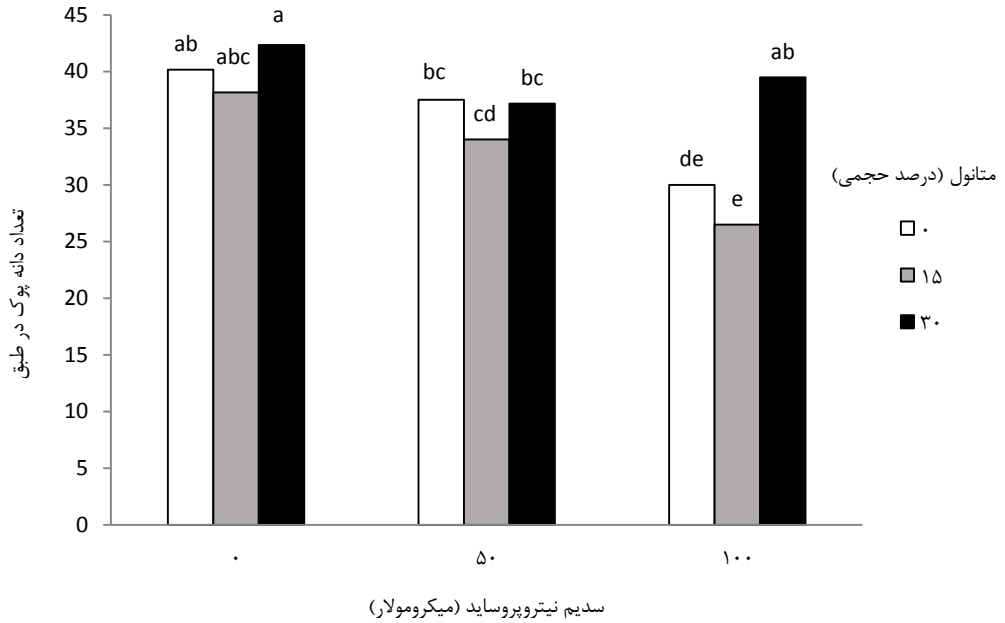
فرخی‌نیا و همکاران (۱۳۸۸) گزارش کردند که تنش خشکی در مرحله گلدهی، موجب از دست دادن آب در دانه گرده شده و درصد تلقیح را کاهش می‌دهد و در طول پر شدن دانه، به دلیل عدم تأمین مواد پرورده کافی، درصد دانه‌های عقیم شده در طبق افزایش و یا تعداد دانه در طبق کاهش می‌یابد. محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید در شرایط تنش موجب کاهش معنی‌داری در تعداد دانه پوک در طبق گردید و مقدار این صفت را به حد شرایط بدون تنش رساند، به‌طوری که استفاده از هر دو سطح ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید در شرایط تنش موجب شد تعداد دانه پوک در طبق به ترتیب ۱۲/۷۷ و ۲۹/۳۲ درصد نسبت به شاهد کاهش یابد (شکل ۴-۱۵). همان‌طور که در شکل ۴- ۱۵مشاهده می‌شود محلول‌پاشی این ماده در شرایط عدم تنش تأثیر معنی‌داری را نشان نداد.

با بررسی مقایسه میانگین اثر متقابل محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید، مشاهده گردید در بین ترکیبات تیماری کاربرد هم‌زمان ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید و متانول ۱۵ درصد حجمی موجب شد تعداد دانه پوک در طبق به اندازه ۱۴ دانه معادل ۳۴/۰۳ درصد کاهش یابد (شکل ۴-۱۶). البته در شرایط عدم استفاده از متانول نیز محلول‌پاشی با سدیم نیتروپروساید ۱۰۰ میکرومولار کاهش قابل توجهی در تعداد دانه پوک در طبق نسبت به شاهد شد ایجاد کرد (شکل ۴-۱۶). علت کاهش تعداد دانه پوک در طبق در غلظت ۱۵ درصد حجمی متانول می‌تواند دسترسی

بیشتر گیاه به CO_2 و افزایش ظرفیت فتوسنتزی آن باشد. نتایج میرآخوری و همکاران (۲۰۰۹)، نیز نشان داد که کاربرد متانول موجب تأثیر معنی‌دار در تعداد دانه پوک در طبق آفتاب‌گردان گردید.



شکل ۴-۱۵- مقایسه میانگین تعداد دانه پوک در طبق تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از تنش‌کم‌آبیاری و محلول‌پاشی سدیم‌نیتروپروساید



شکل ۴-۱۶- مقایسه میانگین تعداد دانه پوک در طبق تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید

۴-۳-۵- نسبت مغز به پوست دانه

نسبت مغز به پوست دانه از هیچ یک از منابع تغییر تأثیر نپذیرفت (جدول پیوست ۵). با وجود این تنش موجب کاهش و محلول‌پاشی با سدیم نیتروپروساید موجب افزایش غیرمعنی‌دار در این صفت گردید (جدول پیوست ۶).

۴-۴- عملکرد و اجزای عملکرد

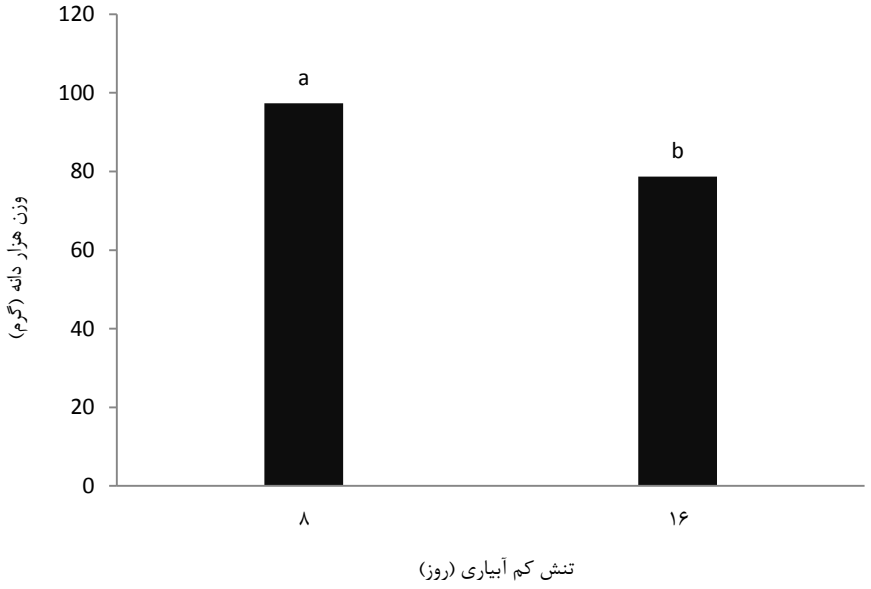
۴-۴-۱- وزن هزار دانه

وزن هزار دانه از تنش کم‌آبیاری و اثر متقابل متانول × سدیم نیتروپروساید درسطح احتمال ۵ درصد و اثر اصلی محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید در سطح احتمال ۱ درصد تأثیر پذیرفت (جدول پیوست ۷). تنش کم‌آبیاری موجب کاهش معنی‌داری در وزن هزار دانه گردید به‌طوری که با افزایش دور آبیاری از ۸ روز به ۱۶ روز به ترتیب وزن هزار دانه از ۹۷/۳۱۴ گرم به ۷۸/۸۶۹ گرم رسید و موجب کاهش ۱۸/۹۵ درصدی در این صفت شد (شکل ۴-۱۷).

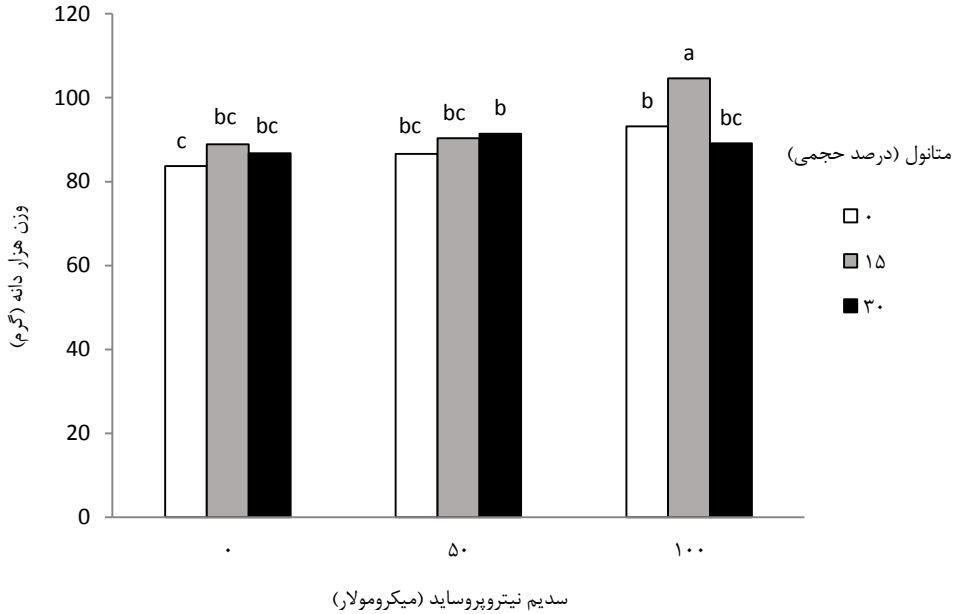
در شرایط تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه‌ها، ارسال آسمیلات کافی به همه دانه‌ها مقدور نیست چرا که در این زمان فتوسنتز برگ و انتقال مواد فتوسنتزی نیز توسط خشکی کاهش یافته و از طرفی نمو دانه متکی به آسیمیلات ذخیره‌ای در گیاه است. هر عاملی از جمله انواع تنش‌های محیطی که دوره پر شدن دانه را کوتاه‌تر کند موجب کاهش وزن دانه می‌شود (دای و اینتالاپ، ۱۹۹۹).

نتایج اثر متقابل محلول‌پاشی متانول × سدیم نیتروپروساید نشان داد که کاربرد توأم ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید و متانول ۱۵ درصد حجمی بیش‌ترین مقدار وزن هزار دانه معادل ۱۰۴/۶ گرم را به خود اختصاص داد و موجب افزایش ۲۵/۰۱ درصدی این صفت نسبت به شاهد گردید (شکل ۴-۱۸). در شرایط عدم استفاده از متانول محلول‌پاشی با سطح سوم سدیم نیتروپروساید (۱۰۰ میکرومولار) موجب افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه گردید که با ترکیب تیماری کاربرد هم‌زمان ۵۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید و متانول ۳۰ درصد حجمی در یک گروه آماری بود (شکل۴-۱۸).

صفرزاده ویشگاهی و همکاران (۱۳۸۶) بیان داشتند که محلول‌پاشی متانول بر قسمت‌های هوایی بادام زمینی موجب افزایش وزن هزار دانه در بادام زمینی شده است.



شکل ۴-۱۷- مقایسه میانگین وزن هزار دانه تحت تأثیر تنش کم‌آبیاری

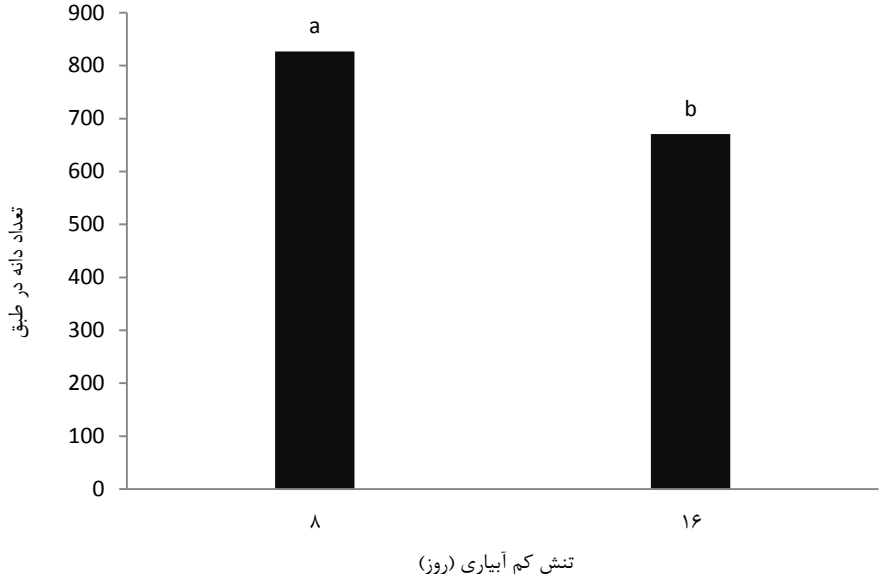


شکل ۴-۱۸- مقایسه میانگین وزن هزار دانه تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید

۴-۴-۲- تعداد دانه در طبق

از بین منابع تغییر تنها تنش کم‌آبیاری تأثیر معنی‌داری بر تعداد دانه در طبق داشت (جدول پیوست ۷).

در شکل ۴-۱۹ ملاحظه می‌گردد که تنش کم‌آبیاری سبب کاهش ۱۸/۹۲ درصدی این صفت شد. کوچکی و سرمدنیا (۱۳۸۸) گزارش کردند ماده خشک ذخیره شده در بذر عمدتاً نتیجه فتوسنتز انجام شده می‌باشد، بنابراین در اثر تنش خشکی تعداد سلول‌های بنیادی کاهش می‌یابد و تعداد دانه کمتری تولید می‌گردد. از طرفی می‌توان گفت تنش خشکی موجب کاهش سطح ویژه برگ و دوام سطح برگ در گیاه می‌شود که این وضعیت نیز با کاهش سطح فتوسنتز کننده در طول دوره رشد گیاه موجب کاهش تولید اسمیلات‌ها شده و در نتیجه تعداد دانه در طبق کاهش می‌یابد (ولف و همکاران ۱۹۹۸).

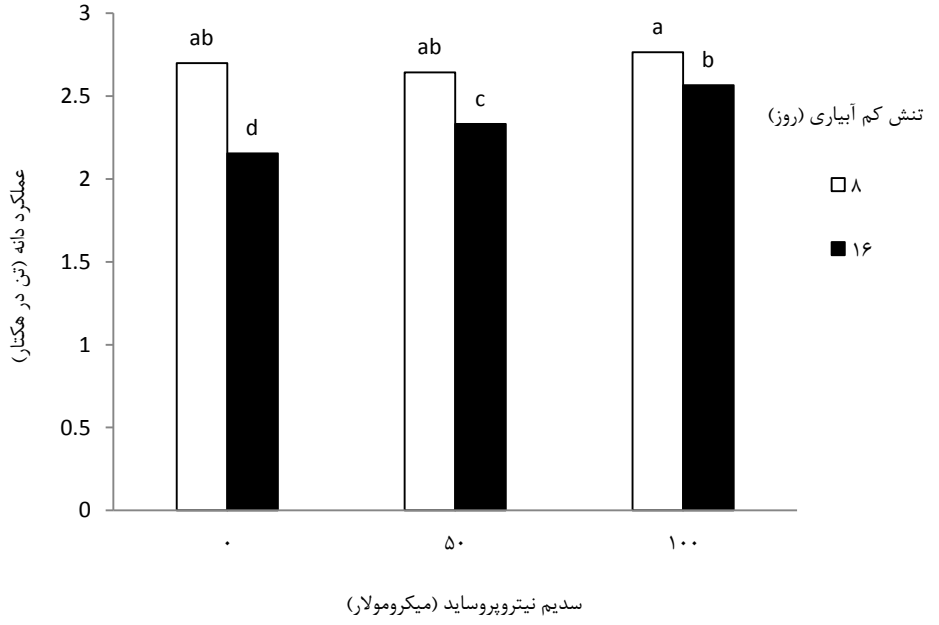


شکل ۴-۱۹- مقایسه میانگین تعداد دانه در طبق تحت تأثیر تنش کم‌آبیاری

۴-۴-۳- عملکرد دانه

تنش کم‌آبیاری و اثر متقابل آن با سدیم نیتروپروساید (p< ٪۵) و اثر محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید (p< ٪۱) بر عملکرد دانه معنی‌دار گردید (جدول پیوست ۷).

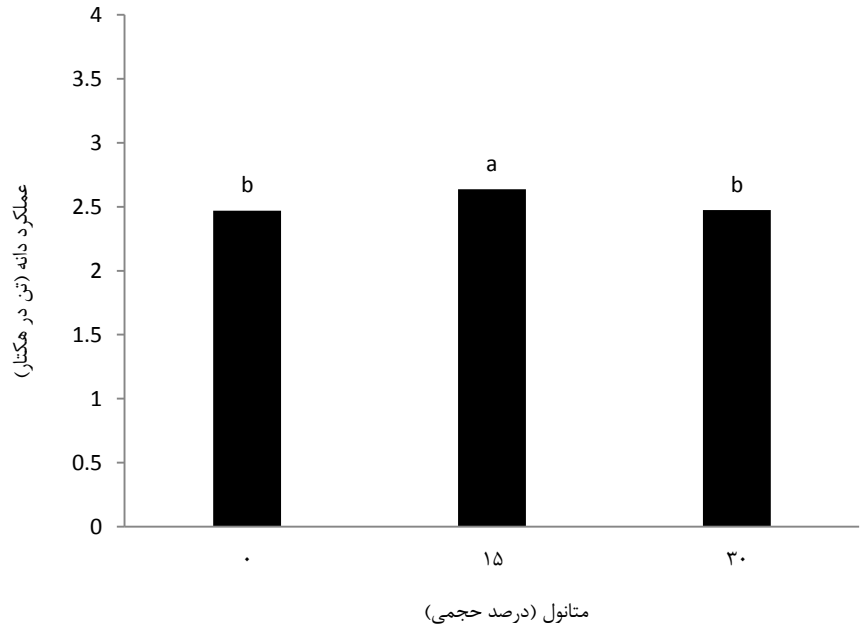
تنش کم‌آبیاری موجب کاهش معنی‌داری به میزان ۲۰/۳۵ درصد در عملکرد دانه گردید (جدول پیوست ۸). همان‌طور که در شکل ۴-۲۰ مشاهده می‌شود در شرایط تنش محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید موجب افزایش معنی‌داری در عملکرد دانه شد به‌طوری که محلول‌پاشی با دو غلظت ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید به ترتیب موجب افزایش ۸/۲۶ و ۱۹/۰۷ درصدی عملکرد دانه در شرایط تنش نسبت به شاهد گردید. در شرایط عدم تنش محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید تأثیر معنی‌داری در عملکرد دانه نشان نداد.



شکل ۴-۲۰- مقایسه میانگین عملکرد دانه تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از تنش‌کم‌آبیاری و محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید

فرخی‌نیا و همکاران (۱۳۹۰) گزارش کردند که تنش خشکی در گیاه با کاهش آب برگ و در نتیجه بسته شدن روزنه‌ها و افت فتوسنتز از یک سو و متأثر کردن فعالیت آنزیمی و فرآیندهای مربوط از سوی دیگر، موجب افت عملکرد دانه از طریق کاهش اجزای عملکرد می‌شود.

در بین سطوح متانول محلول‌پاشی با غلظت ۱۵ درصد حجمی موجب افزایش عملکرد دانه به میزان ۶/۸۴ درصد گردید که از لحاظ آماری نیز معنی‌دار بود. افزایش غلظت این ماده تأثیری بر عملکرد دانه نداشت (شکل ۴-۲۱). فال و بنسون (۲۰۰۶) در آزمایشی گزارش کردند که کاربرد متانول در اغلب گیاهان زراعی موجب افزایش راندمان مصرف آب، کاهش تنفس نوری، افزایش سطح و دوام برگ و در نهایت افزایش عملکرد می‌شود. در نتایج آزمایش میرآخوری و همکاران (۲۰۰۹) نیز محلول‌پاشی متانول سبب افزایش عملکرد دانه در سویا گردید. همچنین افزایش عملکرد در لوبیا، چغندرقند و کلزا نسبت به شاهد توسط زبیک و همکاران (۲۰۰۳) گزارش شده است.



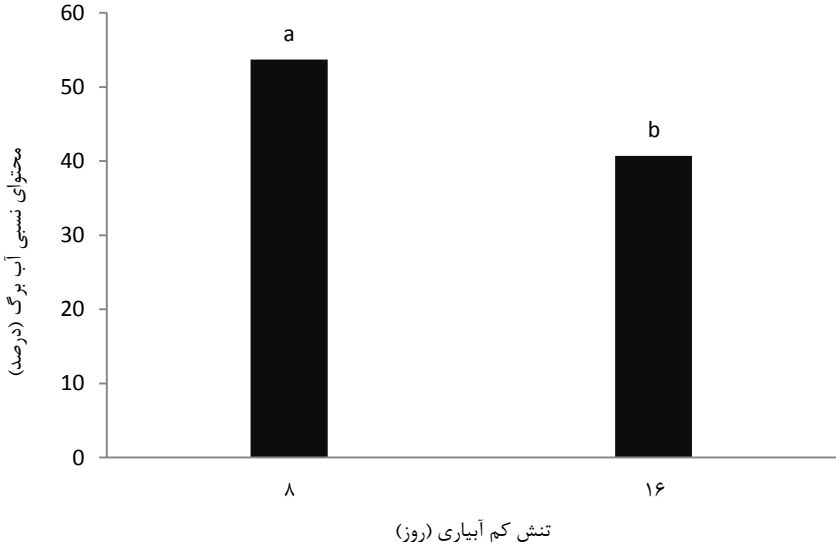
شکل ۴-۲۱- مقایسه میانگین عملکرد دانه تحت تأثیر محلول‌پاشی با غلظت‌های مختلف متانول

۴-۵- صفات فیزیولوژیک

۴-۵-۱- محتوای نسبی آب برگ

محتوای نسبی آب برگ تحت تأثیر تنش‌کم‌آبیاری و محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید و اثر متقابل متانول × سدیم نیتروپروساید در سطح احتمال ۵ درصد قرار گرفت (جدول پیوست ۹).

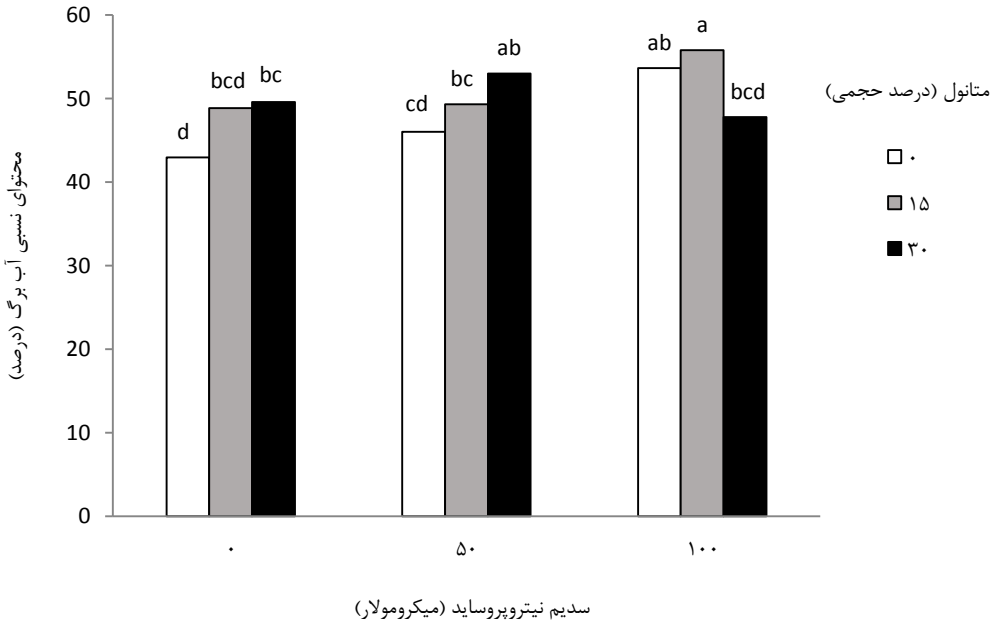
محتوای نسبی آب برگ در شرایط عدم تنش ۵۳/۶ درصد بود که با دو برابر شدن فاصله آبیاری و بروز تنش در گیاه به ۴۰/۵ درصد رسید به این صورت تنش کم‌آبیاری موجب کاهش ۱۳/۱ درصدی در محتوای نسبی آب برگ شد (شکل ۴-۲۲). محققین زیادی با بررسی گیاهان مختلف اظهار داشتند که محتوای نسبی آب برگ به این دلیل که با حجم سلول مرتبط است، می‌تواند به‌عنوان شاخص سنجش میزان تنش مورد استفاده قرار گیرد و معیار بهتری برای بیان وضعیت آب گیاه در مقایسه با پتانسیل آب باشد (خزاعی، ۱۳۸۱). در آزمایشی که توسط باغخانی و همکاران (۱۳۸۴) انجام شد، گزارش شد که اعمال تنش خشکی موجب افت محتوای نسبی آب برگ می‌گردد. این نتیجه توسط باجی و همکاران (۲۰۰۱) نیز گزارش شده است.



شکل ۴-۲۲- مقایسه میانگین محتوای نسبی آب برگ تحت تأثیر تنش کم‌آبیاری

میزان محتوای نسبی آب برگ در شرایط کاربرد توأم ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید و متانول ۱۵ درصد حجمی معادل ۵۵/۷ به‌دست آمد در حالی که میزان این صفت در تیمار شاهد (عدم محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید) ۴۲/۹ درصد بود (شکل ۴-۲۳). در شرایط عدم استفاده از متانول و محلول‌پاشی با سطح سوم سدیم نیتروپروساید (۱۰۰ میکرومولار) و نیز ترکیب تیماری کاربرد همزمان ۵۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید و متانول ۳۰ درصد حجمی نیز مقادیر بالایی از

محتوای نسبی آب برگ ثبت شد که با ترکیب تیماری فوق در یک گروه آماری بودند (شکل۴-۲۳). نصیبی و همکاران (۱۳۸۸) در مطالعه روی گیاه گندم گزارش کردند که غلظت ۱۵۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید موجب افزایش محتوای نسبی آب برگ گردید. زینگ و همکاران (۲۰۰۴) گزارش کردند نیتریک اکسید رها شده از سدیم نیتروپروساید سبب نگهداری آب برگ شده و یکی از مکانیسم‌های احتمالی آن تحریک سنتز اسید آبسیزیک و بسته شدن روزنه‌ها در برگ می‌باشد.



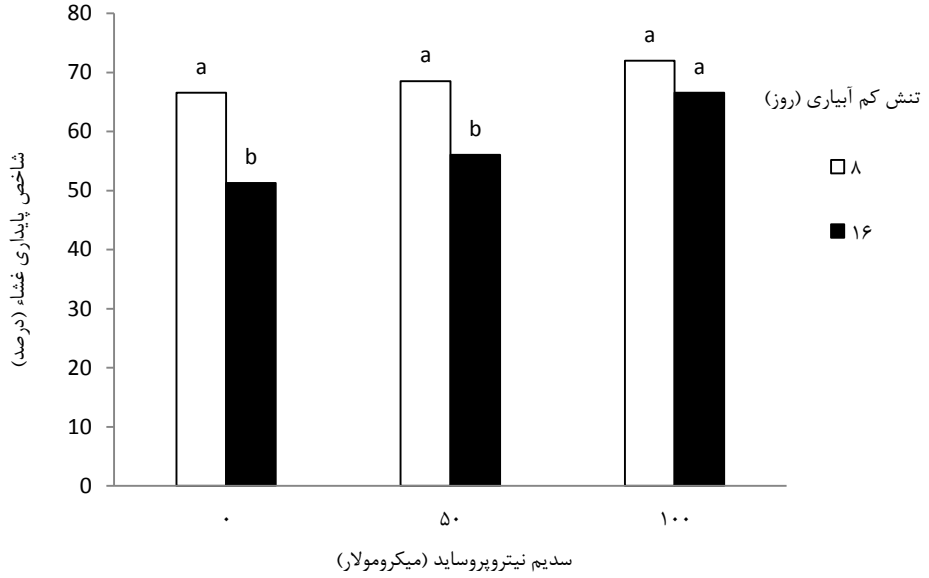
شکل ۴-۲۳- مقایسه میانگین محتوای آب نسبی برگ تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید

۴-۵-۲- شاخص پایداری غشاء

شاخص پایداری غشاء از تنش کم‌آبیاری و اثر متقابل آن با سدیم نیتروپروساید در سطح احتمال ۵ درصد و از محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید و اثر متقابل آن با متانول در سطح احتمال ۱ درصد تأثیر پذیرفت (جدول پیوست ۹).

با توجه به نتایج بدست آمده به‌طورکلی تنش کم‌آبیاری موجب کاهش ۱۱ درصدی شاخص پایداری غشاء گردید (جدول پیوست ۱۰). عمان و همکاران (۱۳۸۵) نیز نتایج مشابهی را مبنی بر

کاهش مقاومت سیتوپلاسمی در اثر تنش خشکی در ژنوتیپ‌های مختلف آفتاب‌گردان نشان دادند. پرماچندرا و همکاران (۱۹۸۹) نیز نتایجی مبنی بر افزایش تراوایی غشای سیتوپلاسمی در بین ارقام سورگوم با افزایش تنش کمبود آب گزارش نمودند. نتایج نشان داد با افزایش دور آبیاری در شرایط تنش (۱۶ روز) بیش‌ترین میزان شاخص پایداری غشاء به میزان ۶۶/۶ درصد در گیاهانی مشاهده شد که بالاترین سطح سدیم نیترو پروساید (۱۰۰ میکرومولار) را دریافت کرده بودند (شکل ۴-۲۴). همان‌طور که در شکل ۴-۲۴ مشاهده می‌شود محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید در شرایط عدم تنش (۸ روز) تأثیر معنی‌داری بر شاخص پایداری غشاء نداشت.

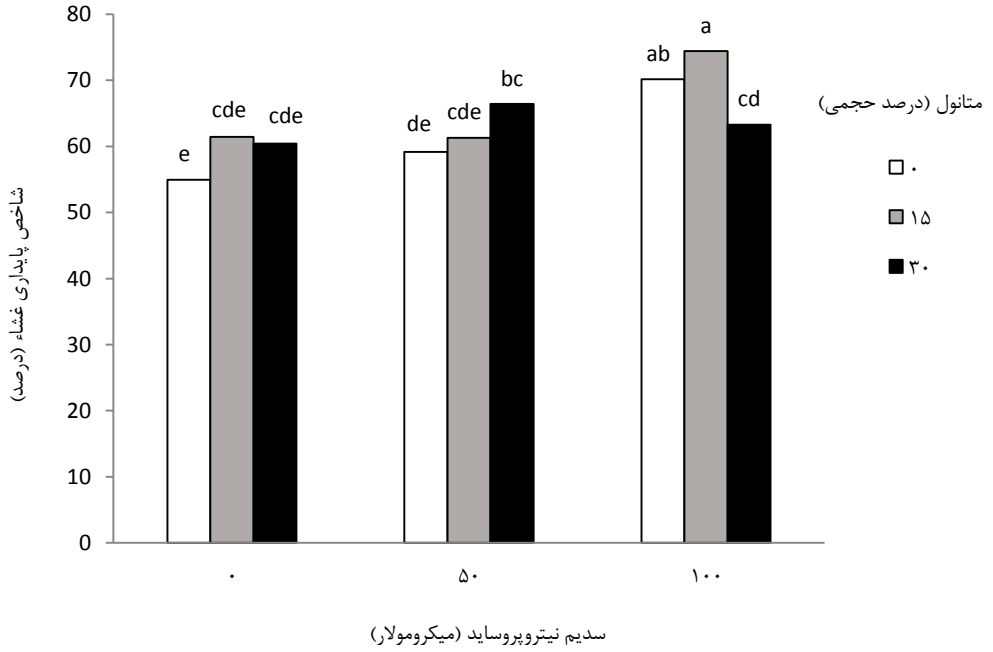


شکل ۴-۲۴- مقایسه میانگین شاخص پایداری غشاء تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از تنش‌کم‌آبیاری و محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید

نیل و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند محلول‌پاشی برگی سدیم نیتروپروساید اثرات تنش خشکی را از طریق کاهش نفوذپزیری غشاء و همچنین نشت الکترولیت و کاهش میزان H_2O_2 موجود در برگ کاهش می‌دهد. همچنین اثر محافظتی سدیم نیتروپروساید بر خسارت غشاء تحت تنش خشکی توسط گراسیاماتا و لاماتینا (۲۰۰۱) و وانگ و همکاران (۲۰۰۴) گزارش شده است.

با بررسی مقایسه میانگین برهمکنش سطوح مختلف محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید (شکل ۴-۲۵) مشاهده گردید که محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید به تنهایی و کاربرد

همزمان آن‌ها با هر دو غلظت سبب افزایش شاخص پایداری غشاء گردید. البته تنها افزایش مشاهده شده در سطح ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید و نیز کاربرد توأم سدیم نیتروپروساید ۵۰ میکرومولار و متانول ۳۰ درصد حجمی نسبت به شاهد معنی دار بود. در این بین مقدار شاخص پایداری غشاء در گیاهانی که بالاترین سطح سدیم نیتروپروساید (۱۰۰ میکرومولار) و سطح دوم متانول (۱۵ درصد حجمی) را به‌طور هم‌زمان دریافت کردند ۷۴/۴۴ درصد بود که نسبت به تیمار شاهد (۵۴/۹۶ درصد)، ۱۹/۴۸ درصد بیشتر بود.



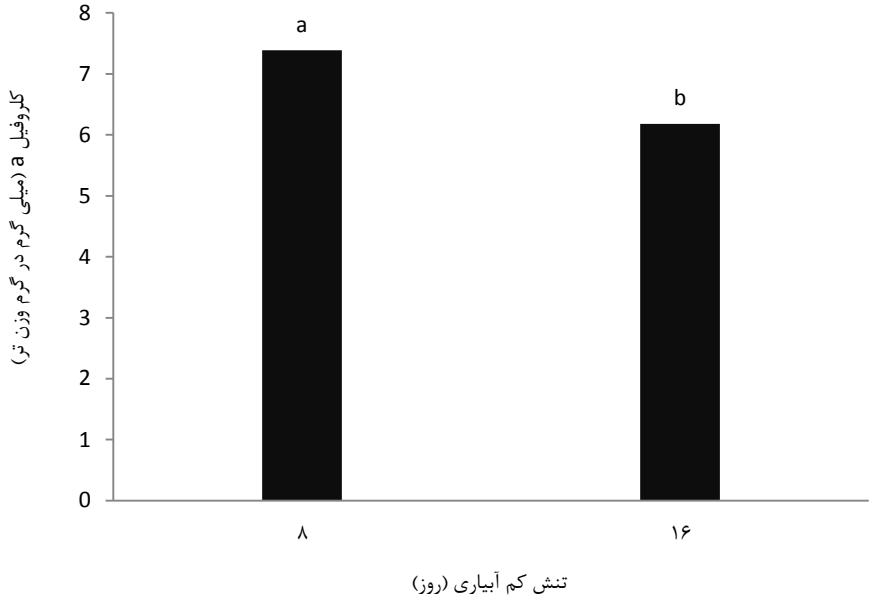
شکل ۴-۲۵- مقایسه میانگین شاخص پایداری غشاء تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید

۴-۶- کلروفیل

۴-۶-۱- کلروفیل a

میزان کلروفیل برگ از جمله صفات فیزیولوژیک مهم است که تحت تنش تغییر می‌یابد. زارکو تجادا و همکاران (۲۰۰۰)، کلروفیل برگ را یکی از مهم‌ترین شاخص‌های نشان دهنده فشارهای محیطی وارد بر گیاه دانستند و معتقدند مقدار کلروفیل در گیاهان تحت تنش کاهش می‌یابد و موجب کاهش جذب نور توسط گیاه می‌شود.

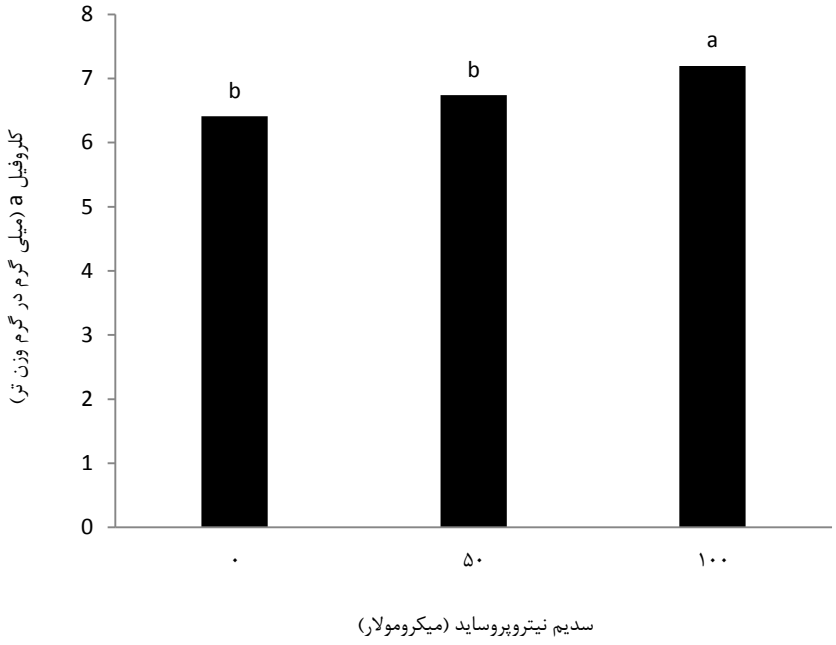
تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی تنش‌کم‌آبیاری در سطح ۵ درصد و اثر اصلی محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید در سطح ۱ درصد بر میزان کلروفیل a معنی‌دار شد (جدول پیوست ۱۱). تنش کم‌آبیاری میزان کلروفیل a را در برگ به‌طور معنی‌دار معادل ۱۶/۴ درصد نسبت به شاهد کاهش داد (شکل ۴-۲۶).



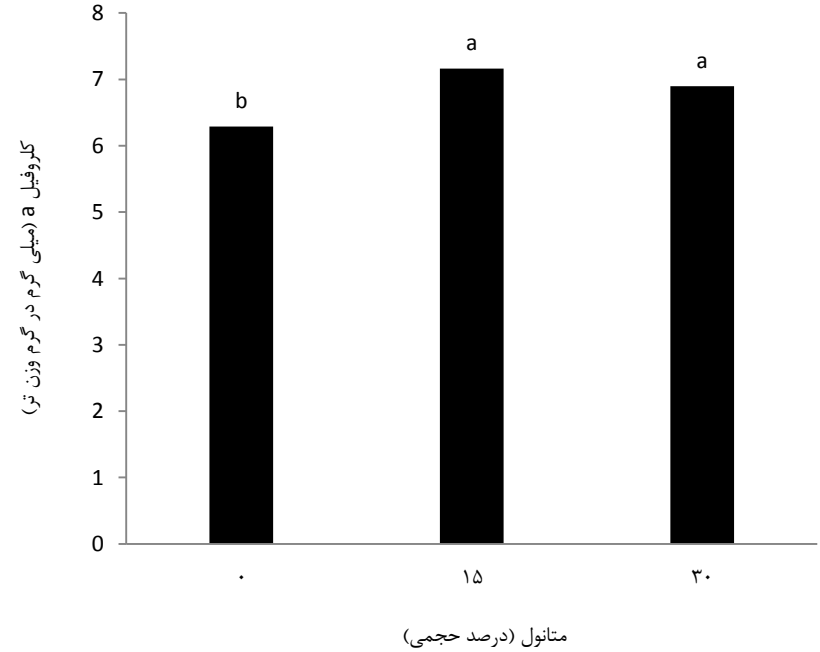
شکل ۴-۲۶- مقایسه میانگین کلروفیل a تحت تأثیر تنش کم‌آبیاری

کلروفیل a مرکز واکنش فتوسیستم‌های I و II را تشکیل می‌دهد. لذا افزایش مقدار آن تقویت سیستم فتوسنتزی گیاه را به دنبال خواهد داشت. محلول‌پاشی ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید موجب افزایش معنی‌دار (۱۲/۲۴ درصدی) در این صفت نسبت به شاهد گردید. البته محلول‌پاشی با غلظت ۵۰ میکرومولار نیز موجب بهبود این صفت شد ولی از نظر آماری معنی‌دار نبود (شکل ۴-۲۷).

همان‌طور که در شکل ۴-۲۸ مشاهده می‌گردد محلول‌پاشی متانول با دو غلظت ۱۵ و ۳۰ درصد حجمی به ترتیب موجب افزایش ۱۳/۸۵ و ۹/۶۷ درصدی در میزان کلروفیل a شد که این افزایش از لحاظ آماری معنی‌دار بود.



شکل ۴-۲۷- مقایسه میانگین کلروفیل a تحت تأثیر محلول‌پاشی با غلظت‌های مختلف سدیم نیتروپروساید

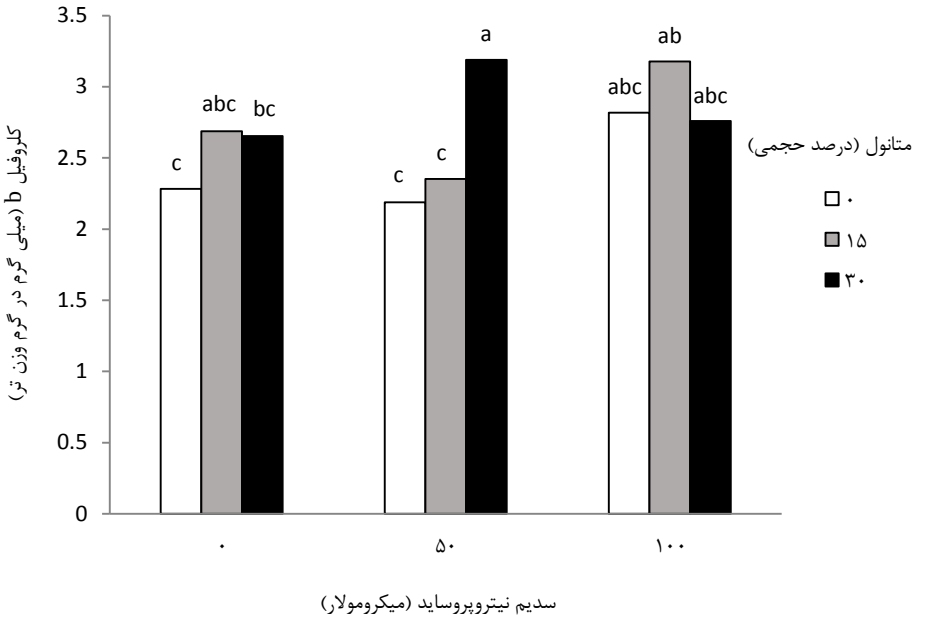


شکل ۴-۲۸- مقایسه میانگین کلروفیل a تحت تأثیر محلول‌پاشی با غلظت‌های مختلف متانول

۴-۶-۲- کلروفیل b

اثر اصلی محلول‌پاشی متانول و اثر متقابل آن در سدیم نیتروپروساید و اثر متقابل سه جانبه (متانول × سدیم نیتروپروساید × تنش) در سطح احتمال ۵ درصد بر کلروفیل b معنی‌دار گردید (جدول پیوست ۱۱).

نقش کلروفیل b در سیستم فتوسنتزی گیاه دریافت نور در کمپلکس برداشت نور و انتقال به کلروفیل a است. بررسی مقایسه میانگین اثر متقابل محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید در متانول نشان داد که از بین ترکیبات تیماری موجود، کاربرد هم‌زمان ۵۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید و ۳۰ درصد حجمی متانول و همچنین ترکیب تیماری ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید و ۱۵ درصد حجمی متانول به‌طور معنی‌داری مقدار کلروفیل b را افزایش دادند و سایر ترکیبات تیماری تأثیر معنی‌داری نسبت به شاهد از خود نشان ندادند (شکل ۴-۲۹).

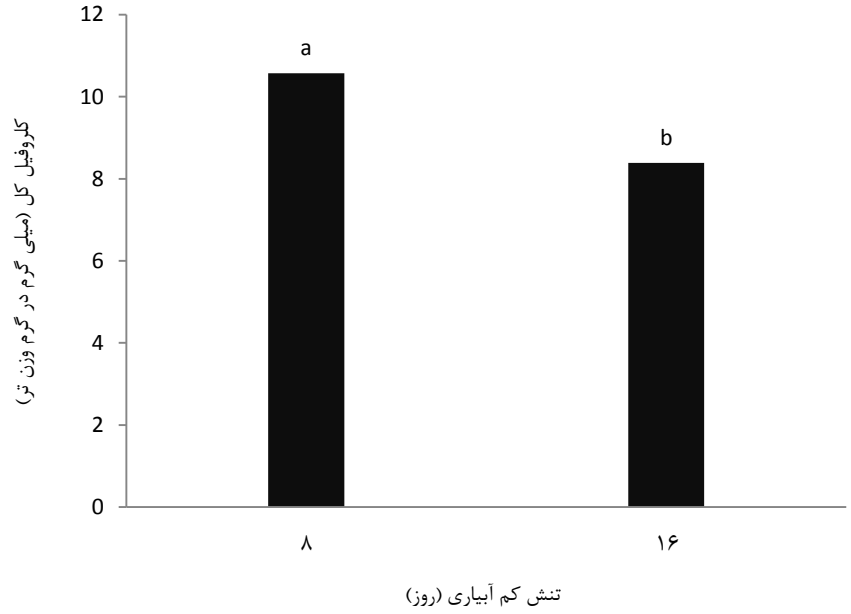


شکل ۴-۲۹- مقایسه میانگین کلروفیل b تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید

۴-۶-۳- کلروفیل کل

اثر اصلی محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید ($p < ۰/۰۱$) و اثر متقابل آن‌ها و اثر تنش کم‌آبیاری ($p < ۰/۰۵$) برکلروفیل کل معنی‌دار گردید (جدول پیوست ۱۱). همانطور که انتظار می‌رفت تنش‌کم‌آبیاری موجب کاهش معنی‌داری در کلروفیل کل شد، به‌طوری‌که با افزایش دور آبیاری از ۸ به ۱۶ روز و بروز تنش در گیاه کلروفیل کل از ۱۰/۵۳۸ (میلی‌گرم در گرم وزن تر) به ۸/۳۸۴ (میلی‌گرم در گرم وزن تر) رسید. به این وسیله تنش کم‌آبیاری موجب کاهش ۲۰/۳۴۸ درصدی در این صفت گردید (شکل ۴-۳۰).

تنش خشکی فتوسنتز گیاهان را محدود می‌کند و دلیل آن ایجاد تغییر در مقدار کلروفیل و خسارت به سیستم فتوسنتزی است (نایار و گوپتا، ۲۰۰۶). علاوه بر این خشکی فعالیت‌های فتوشیمیایی را محدود می‌کند و فعالیت آنزیم‌ها در سیکل کالوین را کاهش می‌دهد (ماناخوا و چرنیادو، ۲۰۰۲).



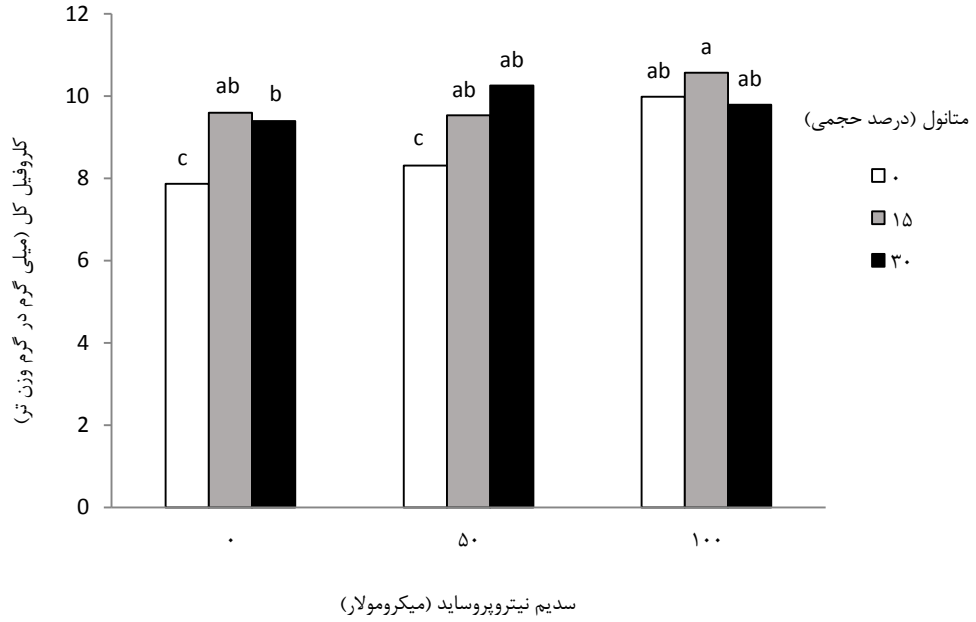
شکل ۴-۳۰- مقایسه میانگین کلروفیل کل تحت تأثیر تنش کم‌آبیاری

مقایسه میانگین برهمکنش سطوح مختلف محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید نشان داد به‌جز سدیم نیتروپروساید ۵۰ میکرومولار در سایر سطوح کاربرد تنها و توأم متانول و سدیم نیتروپروساید موجب افزایش معنی‌داری در میزان کلروفیل کل برگ گردید (شکل ۴-۳۱).

همان‌طورکه در شکل ۴-۳۱ ملاحظه می‌شود در شرایط عدم استفاده از متانول، محلول‌پاشی با سطح دوم سدیم نیتروپروساید تأثیر معنی‌داری بر کلروفیل کل نداشت، ولی افزایش دو برابری غلظت این ماده (۱۰۰ میکرومولار) موجب افزایش قابل توجهی معادل ۲۶/۸۵ درصد در کلروفیل کل شد. در شرایط عدم استفاده از سدیم نیتروپروساید محلول‌پاشی با دوغلظت ۱۵ و ۳۰ درصد حجمی متانول نیز موجب افزایش معنی‌دار در کلروفیل کل شد ولی تفاوت معنی‌داری بین دو غلظت وجود نداشت (شکل ۴-۳۰). بالاترین مقدار ثبت شده مربوط به کاربرد هم‌زمان ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید و ۱۵ درصد حجمی متانول (معادل ۱۰/۵۷۰ میلی‌گرم در گرم وزن تر) بود که البته اختلاف معنی‌داری با سایر ترکیبات تیماری سطوح مختلف متانول و سدیم نیتروپروساید که به‌طور هم‌زمان استفاده شده بود نداشت (شکل ۴-۳۱).

کاهش در محتوای کلروفیل در برگ‌های گیاه گوجه فرنگی نیز تحت تنش خشکی مشاهده شد و این اثر وقتی گیاهان با ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید پیش تیمار شدند کاملاً رفع شد (نصیبی، ۱۳۹۰). در برخی بررسی‌ها گزارش شده است که در حضور نیتریک اکسید دسترسی گیاه به آهن بیشتر است و این نیز می‌تواند یکی از نقش‌های نیتریک اکسید در حفظ محتوای کلروفیل گیاه باشد (نیل و همکاران، ۲۰۰۳). نیتریک اکسید موجب افزایش محتوای کلروفیل برگ ذرت در شرایط کمبود آهن شده است (بویچوا و بابالاکوا، ۲۰۰۸).

گزارش شده است محلول‌پاشی متانول روی گیاه توتون سبب افزایش محتوای کلرفیل برگ گردید (رامیرز و همکاران، ۲۰۰۶). در آزمایشی دیگر نیز که روی گندم و یولاف انجام شد، اعلام گردید مقدار کلروفیل بعد از محلول‌پاشی متانول افزایش یافت (رامبرج و همکاران، ۲۰۰۲).



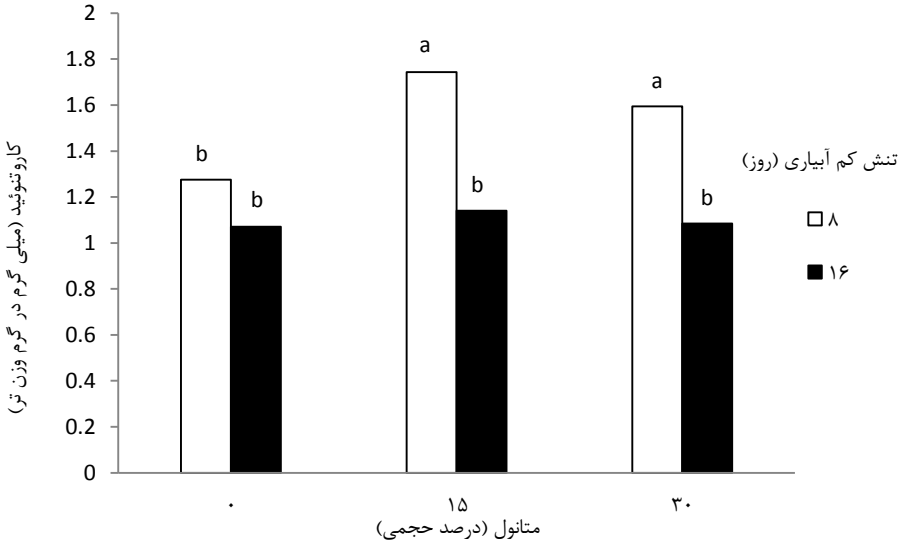
شکل ۴-۳۱- مقایسه میانگین کلروفیل کل تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید

۴-۶-۴- کاروتنوئید

جدول پیوست ۱۱ نشان می‌دهد اثر تنش کم‌آبیاری، متانول و اثر متقابل آن‌ها و اثر اصلی محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید و اثر متقابل آن در متانول بر میزان کاروتنوئید معنی‌دار گردید.

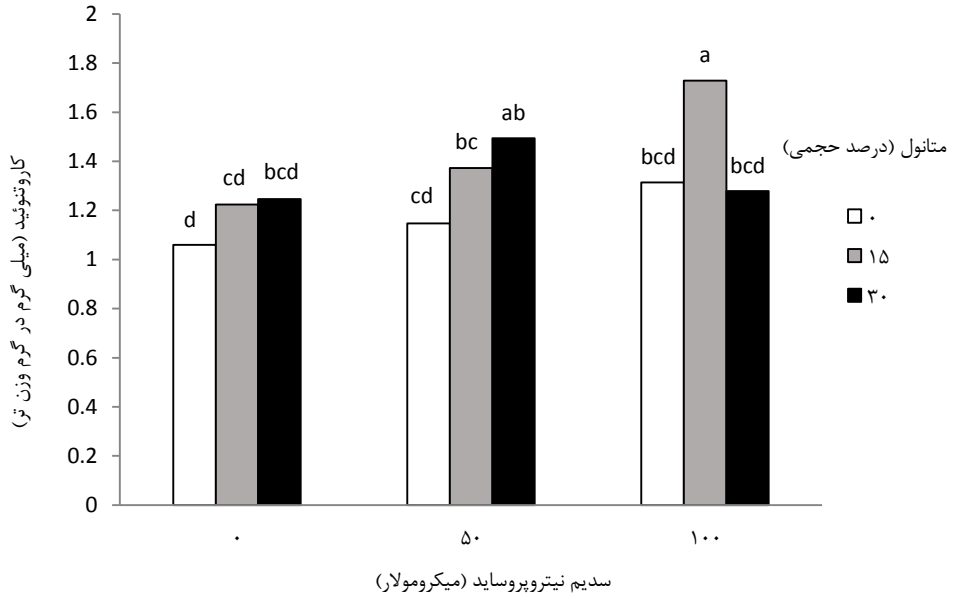
کاروتنوئیدها دسته‌ای از رنگدانه‌ها هستند که در جذب نور در گیاهان نقش مهمی دارند و می‌توانند اعمال فیزیولوژیکی متفاوتی را درگیاه انجام دهند. کاروتنوئیدها ترکیبات ضروری در تشکیلات فتوسنتزی می‌باشند و نقش اساسی آن‌ها حفاظت گیاه در برابر آسیب‌های فتواکسیداتیو می‌باشد (بارتلی و اسکولنیک، ۱۹۹۵).

بررسی ترکیبات تیماری حاصل از تنش و متانول، نشان داد که کاربرد ۱۵ و ۳۰ درصد حجمی متانول در شرایط عدم تنش بیش‌ترین میزان کاروتنوئید را به خود اختصاص داد به‌طوری که اختلاف آن‌ها با سایر ترکیبات تیماری معنی‌دار بود (شکل ۴-۳۲). همان‌طور که در شکل ۴-۳۲ مشاهده می‌شود به‌طور کلی تنش کم‌آبی سبب کاهش میزان کاروتنوئید برگ گردید و محلول‌پاشی متانول در این شرایط تأثیری بر این صفت نداشت.



شکل ۴-۳۲- مقایسه میانگین کاروتنوئید تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از تنش‌کم‌آبیاری و محلول‌پاشی متانول

در کاربرد هم‌زمان متانول و سدیم نیتروپروساید مقادیر بالاتری از میزان کاروتنوئید در شرایط کاربرد هم‌زمان ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروسیاید و ۱۵ درصد حجمی متانول (معادل ۱/۷۲۹ میلی‌گرم در گرم وزن تر) به‌دست آمد که البته اختلاف معنی‌داری با ترکیب تیماری ۵۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید و ۳۰ درصد حجمی متانول نداشت. میزان این صفت در شرایط عدم کاربرد متانول و سدیم نیتروپروساید (معادل ۱/۰۵۹ میلی‌گرم در وزن تر) پایین بود (شکل ۴-۳۳).



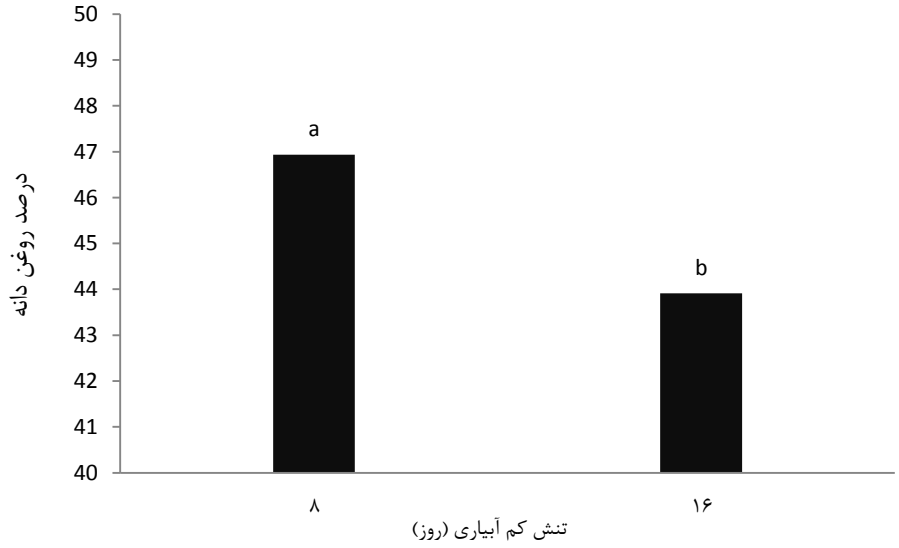
شکل ۴-۳۳- مقایسه میانگین کاروتنوئید تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید

۴-۷- صفات کیفی

۴-۷-۱- درصد روغن دانه

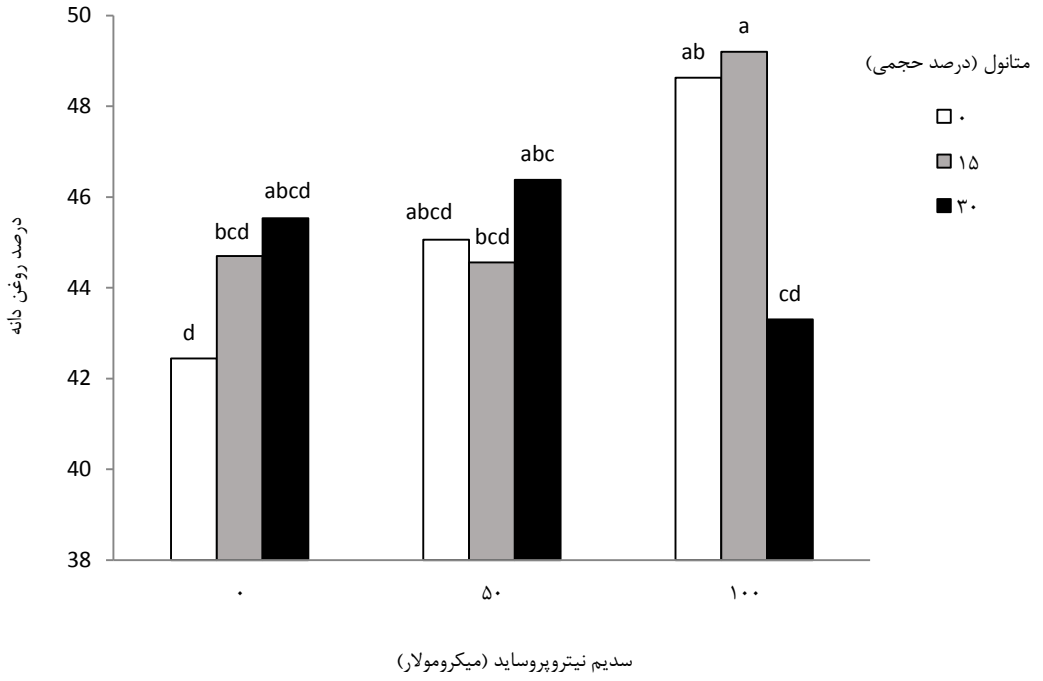
نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که درصد روغن تحت تأثیر تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید و اثر متقابل متانول × سدیم نیتروپروساید در سطح احتمال ۵ درصد قرار گرفت (جدول پیوست ۱۳).

تنش کم‌آبیاری موجب کاهش ۳ درصدی روغن نسبت به شرایط عدم تنش شد که از لحاظ آماری معنی‌دار بود (شکل ۴-۳۴). تنش کم‌آبی مانند دمای بالا، درصد روغن دانه را کاهش می‌دهد، چرا که بر اثر تنش کم‌آبی مقدار فتوسنتز خالص به دلیل کاهش ورود CO_2 به واسطه‌ی بسته‌شدن روزنه‌ها و تأثیر مستقیم خشکی بر سیستم فتوسنتزی کاهش می‌یابد. در این شرایط از میزان هیدرات‌های کربن (قندها) کاسته می‌شود، از طرفی به دلیل تسریع در رسیدگی گیاه در شرایط تنش کم‌آبی فرصت کافی جهت سنتز پروتئین‌ها و قندهای ذخیره شده دانه وجود نخواهد داشت. بنابراین درصد روغن دانه کاهش خواهد یافت (آلیاری و همکاران، ۱۳۷۹). گزارش شده است که در اثر اعمال تنش کم‌آبی درصد روغن دانه‌ی کلزا کاهش محسوسی داشته است. (دانشمند و همکاران، ۱۳۸۸).



شکل ۴-۳۴- مقایسه میانگین درصد روغن دانه تحت تأثیر تنش کم‌آبیاری

میزان روغن دانه در شرایط کاربرد توأم ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید و متانول ۱۵ درصد حجمی معادل ۴۹/۲ درصد به‌دست آمد در حالی که میزان این صفت در تیمار شاهد (عدم محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید) ۴۲/۴ درصد بود (شکل ۴-۳۵). در شرایط عدم استفاده از متانول و محلول‌پاشی با سطح سوم سدیم نیتروپروساید (۱۰۰ میکرومولار) و نیز ترکیب تیماری کاربرد هم‌زمان ۵۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید و متانول ۳۰ درصد حجمی نیز مقادیر بالایی از درصد روغن دانه ثبت شد که با ترکیب تیماری فوق در یک گروه آماری بودند (شکل۴-۳۵). احتمال می‌رود افزایش درصد روغن در غلظت‌های مختلف متانول به علت تأثیر محلول‌پاشی متانول روی افزایش فعالیت فتوسنتزی و در نتیجه افزایش دوره‌ی رشد گیاه باشد. چرا که افزایش دوره‌ی رشد گیاه سبب افزایش درصد روغن می‌شود. در همین رابطه گزارش شده است که در کلزا به دلیل افزایش طول دوره رشد، درصد روغن دانه افزایش نشان داد (دانشمند و همکاران، ۱۳۸۸).



شکل ۴-۳۵- مقایسه میانگین درصد روغن دانه تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید

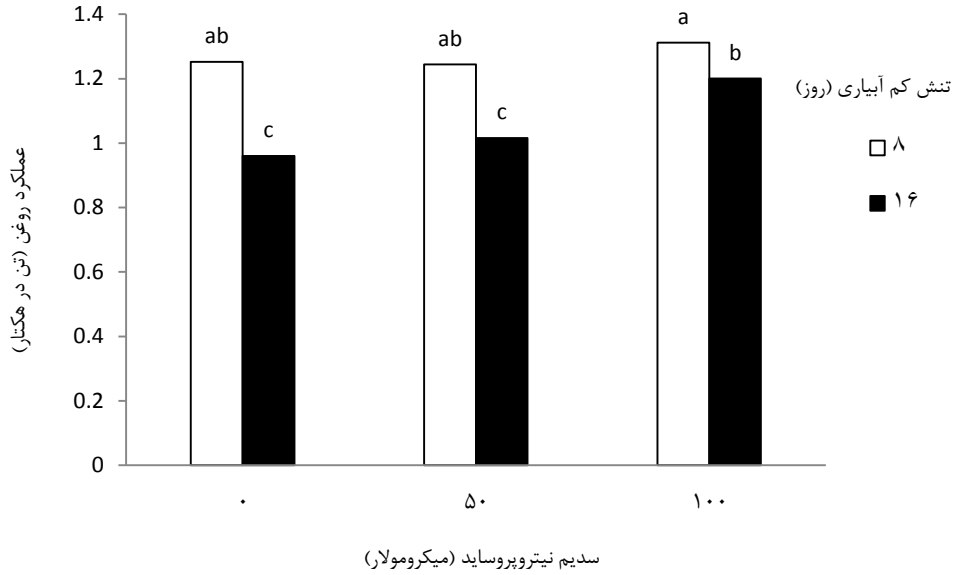
۴-۷-۲- عملکرد روغن

عملکرد روغن از تنش کم‌آبیاری ($p < ۰/۰۵$) و اثر اصلی محلول‌پاشی متانول و سدیم‌نیتروپروساید و اثر متقابل آن‌ها و اثر متقابل سدیم نیتروپروساید × تنش ($p < ۰/۰۱$) تأثیر پذیرفت (جدول پیوست ۱۳). در مقایسه‌ی شرایط تنش کم‌آبی و عدم تنش بیش‌ترین مقادیر عملکرد روغن در شرایط عدم تنش به دست آمد و تنش کم‌آبیاری موجب کاهش ۱۸/۶ درصدی در عملکرد روغن گردید (جدول پیوست ۱۴). عملکرد روغن با عملکرد دانه و درصد روغن رابطه مستقیمی دارد. به نظر می‌رسد که کاهش درصد روغن و عملکرد دانه در شرایط تنش کم‌آبیاری در نهایت منجر به کاهش عملکرد دانه گردیده است. در تحقیقی که توسط فراست و همکاران (۱۳۸۷) انجام پذیرفت گزارش شد که عملکرد روغن تحت تأثیر آبیاری قرار گرفت. کافی و رستمی (۲۰۰۸) بیان داشتند عملکرد روغن تحت تأثیر خشکی قرار گرفت به‌طوری که بیش‌ترین عملکرد روغن در تیمار آبیاری کامل و کم‌ترین عملکرد روغن در تیمار تنش شدید خشکی حاصل گردید.

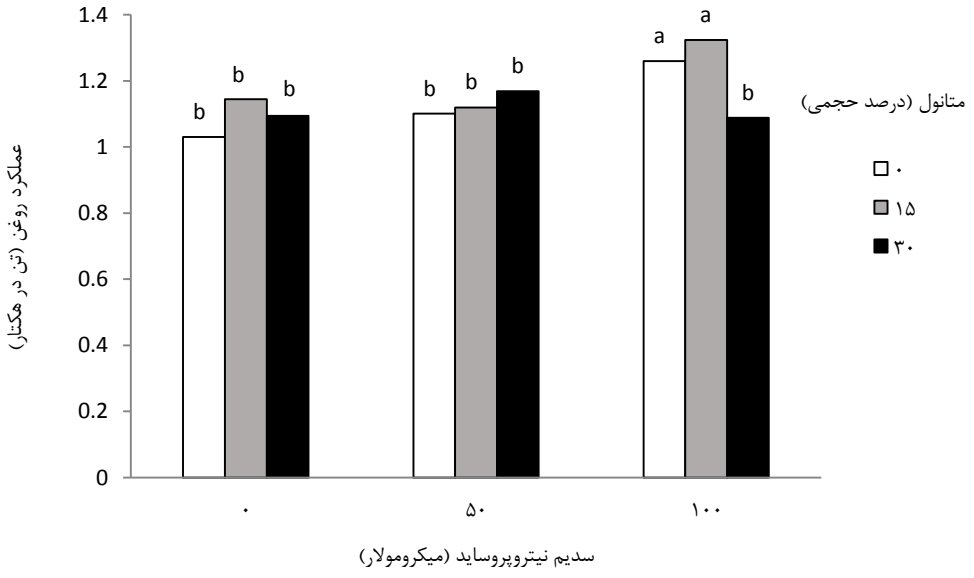
با توجه به مقایسه میانگین اثر متقابل (سدیم نیتروپروساید × تنش) محلول‌پاشی با دو غلظت سدیم نیتروپروساید ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار در شرایط تنش کم‌آبیاری (دور آبیاری ۱۶ روز) به ترتیب موجب افزایش ۵/۸۵ و ۲۵/۱ درصدی عملکرد روغن گردید البته تنها افزایش حاصل از غلظت بالاتر سدیم نیتروپروساید به لحاظ آماری معنی‌دار بود (شکل ۴-۳۶). این نتیجه در حالی رقم خورد که این دو سطح از سدیم نیتروپروساید تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه در شرایط تنش کم‌آبیاری داشتند و موجب افزایش عملکرد دانه شده بودند(شکل ۴-۲۰). همان‌طور که در شکل ۴-۳۶ ملاحظه می‌شود در شرایط عدم تنش (دور آبیاری ۸ روز) محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید تأثیر معنی‌داری از خود نشان نداد.

عملکرد روغن دانه در تیمار ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید و متانول ۱۵ درصد حجمی ۲۸/۵ درصد بیشتر از عملکرد روغن گیاهان شاهد بود، البته اختلاف معنی‌داری بین این تیمار با تیمار

۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید در شرایط عدم استفاده از متانول وجود نداشت. این دو ترکیب تیماری توانستند روغن دانه را به‌طور معنی‌داری بهبود بخشند (شکل ۴-۳۷). عرب و همکاران (۱۳۹۵) گزارش کردند محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید با غلظت ۱۰۰ میکرومولار موجب افزایش ۱۷/۲ درصدی عملکرد روغن در گیاه گلرنگ گردید.



شکل ۴-۳۶- مقایسه میانگین عملکرد روغن تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از تنش‌کم آبیاری و محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید

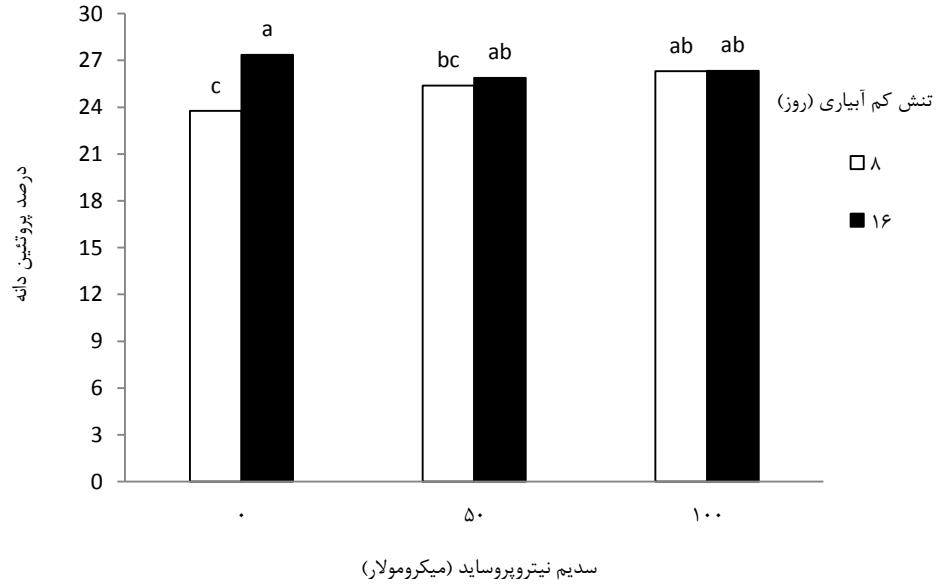


شکل ۴-۳۷- مقایسه میانگین عملکرد روغن تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید

۴-۷-۳- درصد پروتئین دانه

از بین منابع تغییر تنها اثر متقابل سدیم نیتروپروساید × تنش بر درصد پروتئین دانه معنی‌دار بود (جدول پیوست ۱۳).

محلول‌پاشی با سدیم نیتروپروساید در هر دو غلظت ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار در شرایط تنش اثر مثبتی بر صفت درصد پروتئین نداشت حتی موجب کاهش غیر معنی‌داری در این صفت گردید، در حالی که در شرایط عدم تنش محلول‌پاشی با این ماده و افزایش غلظت آن این صفت را بهبود بخشید به‌طوری که میزان پروتئین دانه در اثر محلول‌پاشی با ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید در شرایط عدم تنش به حدود ۲۶ درصد رسید که نسبت به سطح صفر سدیم نیتروپروساید ۲/۵۸ درصد بیشتر بود (شکل ۴-۳۸). نتایج عرب و همکاران (۱۳۹۵)، نیز نشان داد که کاربرد سدیم نیتروپروساید در شرایط عدم تنش موجب تأثیر معنی‌داری در میزان پروتئین دانه در گلرنگ گردید.



شکل ۴-۳۸- مقایسه میانگین درصد پروتئین دانه تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از تنش‌کم‌آبیاری و محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید

نتیجه گیری

نتایج به دست آمده از این تحقیق به طور خلاصه شامل موارد زیر است:

۱- تنش کم‌آبیاری موجب کاهش سطح برگ، وزن خشک برگ، ساقه و طبق، قطرطبق، وزن هزار دانه، تعداد دانه در طبق، عملکرد دانه، کلروفیل a و کلروفیل کل شد. با تأخیر در آبیاری محتوای نسبی آب برگ، شاخص پایداری غشاء، درصد و عملکرد روغن دانه نیز کاهش یافت.

۲- تنش کم‌آبیاری سبب افزایش معنی‌دار تعداد دانه پوک در طبق شد.

۳- کاربرد هم‌زمان ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید و متانول ۱۵ درصد حجمی بیشترین وزن خشک طبق را به خود اختصاص داد که نسبت به شاهد ۲۷/۸ درصد افزایش نشان داد.

۴- کاربرد ترکیبی ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید و ۱۵ درصد حجمی متانول وزن هزار دانه را به میزان ۲۵ درصد افزایش و تعداد دانه پوک در طبق را به اندازه ۱۴ دانه معادل ۳۴/۰۳ درصد کاهش دهد.

۵- محلول‌پاشی با دو غلظت ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید به ترتیب موجب افزایش ۸/۲۶ و ۱۹/۰۷ درصدی عملکرد دانه در شرایط تنش نسبت به شاهد گردید.

۶- محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید توانست تا حد زیادی اثرات مضر تنش کم‌آبیاری را بهبود دهد و در نهایت در محدوده پژوهش انجام شده ترکیب تیماری ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید به همراه متانول ۱۵ درصد حجمی را می‌توان به‌عنوان بهترین ترکیب تیماری معرفی کرد.

پیشنهادات

موارد زیر برای حصول نتایج تکمیلی پیشنهاد می‌شود:

۱- عکس‌العمل ارقام دیگر آفتاب‌گردان نسبت به محلول‌پاشی با متانول و سدیم نیتروپروساید مورد آزمون قرار گیرد.

۲- تأثیر محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید در مراحل مختلف رشد آفتاب‌گردان مورد بررسی قرار بگیرد.

۳- دامنه وسیع‌تری از غلظت‌های متانول و سدیم نیتروپروساید مورد بررسی قرار گیرد.

۴- پیشنهاد می‌شود که تأثیر متانول و سدیم نیتروپروساید در مهار سایر تنش‌های زیستی و غیر زیستی تهدید کننده رشد و تولید آفتاب‌گردان مطالعه گردد.

۵- این احتمال وجود دارد که پاسخ سایر گیاهان به محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید متفاوت باشد. توصیه می‌گردد این آزمایش روی سایر گیاهان نیز انجام شود.

پیوست‌ها

جدول پیوست ۱- میانگین مربعات وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه، وزن خشک طبق و شاخص سطح برگ تحت تأثیر تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید

منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن خشک برگ	وزن خشک ساقه	وزن خشک طبق	شاخص سطح برگ
تکرار	۲	۱۷۷/۱۷۸	۰/۴۹۵	۷۱۰/۳۹۹	۰/۱۰۹
تنش	۱	۱۷۴۸/۵۹۳*	۶۳۰۷/۰۷۳*	۳۰۳۲۰/۵۴۸*	۲۵/۴۸۹*
خطا	۲	۲۷/۰۶۶	۹۵/۴۴۱	۸۵/۸۳۳	۱/۱۱۱
متانول	۲	۳۳۱/۰۸۸**	۳۶۸/۱۴۴**	۵۶۸/۰۶۶**	۰/۸۸۰
متانول * تنش	۲	۲۲/۳۶۲	۱۴۶/۲۷۴*	۳۳۲/۴۷۰**	۰/۶۲۳
سدیم نیتروپروساید	۲	۷۲۳/۲۸۴**	۱۴۰۲/۳۷۷**	۱۳۵۰/۳۸۸**	۱/۵۳۴
سدیم نیتروپروساید * تنش	۲	۸۳/۱۷۸	۴/۶۲۴	۱۵۹/۶۰۶*	۰/۱۴۲
متانول * سدیم نیتروپروساید	۴	۱۱۲/۵۴۷*	۲۳۸/۴۲۲**	۲۲۷/۰۰۴**	۲/۱۳۲*
متانول * سدیم نیتروپروساید * تنش	۴	۲۵/۸۹۹	۵۱/۶۱۵	۱۴۲/۶۱۴*	۱/۹۲۱
خطا	۳۲	۳۷/۴۶۶	۳۷/۹۲۲	۴۸/۴۳۰	۰/۶۱۸
ضریب تغییرات (درصد)		۱۱/۰۵۹	۷/۳۰۸	۴/۰۶۴	۲۷/۱۹۵

** و * به ترتیب بیانگر معنی دار در سطح ۱ و ۵ درصد می‌باشد.

جدول پیوست ۲- مقایسه میانگین وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه، وزن خشک طبق و شاخص سطح برگ تحت تأثیر تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید

تیمار	وزن خشک برگ	وزن خشک ساقه	وزن خشک طبق	شاخص سطح برگ
	(گرم در متر مربع)			
تنش کم‌آبیاری				
۸ روز	۶۱/۰۳۶ a	۹۵/۰۶۷ a	۱۹۴/۹۱۶ a	۳/۵۷۷ a
۱۶ روز	۴۹/۶۵۵ b	۷۳/۴۵۳ b	۱۴۷/۵۲۴ b	۲/۲۰۳ b
LSD 5%	۶/۰۹۲	۱۱/۴۴۰	۳۴/۲۷۸	۱/۲۳۴
متانول (درصد حجمی)				
صفر	۵۰/۷۱۷ b	۸۰/۱۰۳ b	۱۶۶/۴۴۵ b	۲/۶۴۴
۱۵	۵۹/۱۸۴ a	۸۹/۰۷۵ a	۱۷۷/۴۱۰ a	۲/۹۵۵
۳۰	۵۶/۱۳۷ a	۸۳/۶۰۲ b	۱۶۹/۸۰۴ b	۳/۰۷۲
سدیم نیتروپروساید (میکرومولار)				
صفر	۴۸/۹۴۵ c	۷۴/۷۴۷ c	۱۶۴/۰۷۲ b	۲/۷۱۶
۵۰	۵۵/۴۷۲ b	۸۵/۸۴۷ b	۱۶۸/۷۳۶ b	۲/۷۲۷
۱۰۰	۶۱/۶۲۱ a	۹۲/۱۸۶ a	۱۸۰/۸۲۵ a	۳/۲۲۷
LSD 5%	۴/۱۵۶	۴/۱۸۷	۴/۱۸۱	۰/۵۳۳

حروف غیر مشترک در هر ستون بیانگر اختلاف معنی دار می‌باشد.

جدول پیوست ۳- میانگین مربعات ارتفاع بوته، قطر ساقه و قطر طبق تحت تأثیر تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع بوته	قطر ساقه	قطر طبق
تکرار	۲	۱۱۴۸/۷۵۱	۰/۲۲۱	۱/۶۲۰
تنش	۱	۲۰۲۹/۵۲۰	۱۴/۲۰۹	۵۳/۱۶۳*
خطا	۲	۵۴/۴۹۲	۱/۸۴۹	۲/۵۶۵
متانول	۲	۱۸۵/۰۶۷*	۴/۷۱۱**	۰/۷۱۳
متانول * تنش	۲	۱۳۸/۷۸۲	۲/۸۴۹*	۳/۸۶۱*
سدیم نیتروپروساید	۲	۱۲۲/۹۷۷	۵/۷۶۶**	۳/۳۸۲*
سدیم نیتروپروساید * تنش	۲	۸/۵۲۰	۱/۱۸۹	۱/۰۱۷
متانول * سدیم نیتروپروساید	۴	۱۵۸/۶۵۹*	۱/۱۸۱	۳/۵۵۴*
متانول * سدیم نیتروپروساید * تنش	۴	۸۱/۹۳۵	۱/۰۶۵	۰/۳۱۹
خطا	۳۲	۵۷/۳۴۲	۷۸/۲۶۰	۰/۸۹۹
ضریب تغییرات (درصد)		۷/۴۰۳	۷/۵۷۵	۸/۰۸۴

** و * به ترتیب بیانگر معنی دار در سطح ۱ و ۵ درصد می‌باشد.

جدول پیوست ۴- مقایسه میانگین ارتفاع بوته، قطر ساقه و قطر طبق تحت تأثیر تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید

تیمار	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	قطر ساقه (میلی‌متر)	قطر طبق (سانتی‌متر)
تنش کم‌آبیاری			
۸ روز	۱۰۸/۴۰۷	۱۰/۹۱۹	۱۲/۷۲۱ a
۱۶ روز	۹۶/۱۴۶	۹/۸۹۳	۱۰/۷۳۷ b
LSD 5%	۲۷/۳۵۰	۱/۹۷۶	۱/۸۷۵
متانول (درصد حجمی)			
صفر	۹۸/۶۳۶ b	۹/۸۳۲ b	۱۱/۵۱۱
۱۵	۱۰۳/۵۱۴ ab	۱۰/۵۷۲ a	۱۱/۷۷۵
۳۰	۱۰۴/۶۸۱ a	۱۰/۸۱۵ a	۱۱/۹۰۱
سدیم نیتروپروساید (میکرومولار)			
صفر	۱۰۰/۴۹۷	۹/۸۸۳ b	۱۱/۵۶۶ b
۵۰	۱۰۱/۰۵۶	۱۰/۳۲۸ b	۱۱/۴۰۰ b
۱۰۰	۱۰۵/۲۷۸	۱۱/۰۰۷ a	۱۲/۲۲۰ a
LSD 5%	۵/۱۴۱	۰/۵۳۵	۰/۶۴۳

حروف غیر مشترک در هر ستون بیانگر اختلاف معنی دار می‌باشد.

جدول پیوست ۵- میانگین مربعات تعداد دانه پوک در طبق و نسبت مغز به پوست دانه تحت تأثیر تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید

منابع تغییرات	درجه آزادی	تعداد دانه پوک در طبق	نسبت مغز به پوست دانه
تکرار	۲	۵۰۲/۴۶۲	۰/۶۱۰
تنش	۱	۹۷۹/۶۲۹*	۱/۶۷۱
خطا	۲	۳۵/۹۰۷	۱/۴۳۵
متانول	۲	۲۰۷/۶۲۹**	۰/۳۶۷
متانول * تنش	۲	۴۵/۸۵۱	۰/۰۵۱
سدیم نیتروپروساید	۲	۳۰۴/۲۹۶**	۰/۳۸۲
سدیم نیتروپروساید * تنش	۲	۱۴۲/۵۱۸**	۰/۰۳۱
متانول * سدیم نیتروپروساید	۴	۵۶/۱۵۷*	۰/۱۱۸
متانول * سدیم نیتروپروساید * تنش	۴	۳/۷۲۲	۰/۱۰۹
خطا	۳۲	۱۵/۶۸۵	۰/۵۳۹
ضریب تغییرات (درصد)		۱۰/۹۵۶	۲۲/۶۷۹

** و * به ترتیب بیانگر معنی دار در سطح ۱ و ۵ درصد می‌باشد.

جدول پیوست ۶- مقایسه میانگین تعداد دانه پوک در طبق و نسبت مغز به پوست دانه تحت تأثیر تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید

تیمار	تعداد دانه پوک در طبق	نسبت مغز به پوست دانه
تنش کم‌آبیاری		
۸ روز	۳۱/۸۸۹ b	۳/۴۱۴
۱۶ روز	۴۰/۴۰۷ a	۳/۰۶۳
LSD 5%	۷/۰۱۷	۱/۴۰۳
متانول (درصد حجمی)		
صفر	۳۵/۸۸۹ b	۳/۱۲۷
۱۵	۳۲/۵۵۹ c	۳/۴۰۰
۳۰	۳۹/۶۶۷ a	۳/۱۸۹
سدیم نیتروپروساید (میکرومولار)		
صفر	۴۰/۲۲۲ a	۳/۱۰۵
۵۰	۳۶/۱۴۹ b	۳/۲۱۶
۱۰۰	۳۲/۱۰۹ c	۳/۳۹۴
LSD 5%	۲/۶۸۹	۰/۴۹۸

حروف غیر مشترک در هر ستون بیانگر اختلاف معنی دار می‌باشد.

جدول پیوست ۷- میانگین مربعات وزن هزار دانه، تعداد دانه در طبق و عملکرد دانه تحت تأثیر تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید

منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن هزار دانه	تعداد دانه در طبق	عملکرد دانه
تکرار	۲	۹۴/۹۸۸	۱۲۵۱۵/۳۸۸	۰/۶۵۲
تنش	۱	۲۴۹۷/۵۰۴*	۳۳۰۴۱۰/۶۶۶*	۱/۶۷۱*
خطا	۲	۵۶/۹۶۳	۱۶۵۱۵/۰۵۵	۰/۰۵۷
متانول	۲	۲۳۴/۱۱۵**	۱۸۰۹۲/۱۶۶	۰/۱۶۶**
متانول * تنش	۲	۷۴/۵۷۱	۷۴۴۲/۰۵۵	۰/۰۳۲
سدیم نیتروپروساید	۲	۳۹۵/۶۵۸**	۵۶۲۶/۸۸۸	۰/۲۷۷**
سدیم نیتروپروساید * تنش	۲	۶۲/۸۵۸	۶۱۸/۰۰۰	۰/۱۳۹*
متانول * سدیم نیتروپروساید	۴	۱۱۶/۱۷۲*	۱۶۰۵۶/۵۵۵	۰/۰۴۶
متانول * سدیم نیتروپروساید * تنش	۴	۱۳/۹۶۵	۱۶۸۹/۳۸۸	۰/۰۱۲
خطا	۳۲	۳۹/۱۴۷	۷۵۶۷/۴۵۱	۰/۰۳۰
ضریب تغییرات (درصد)		۷/۰۹۲	۱۱/۶۱۹	۶/۸۷۰

** و * به ترتیب بیانگر معنی دار در سطح ۱ و ۵ درصد می‌باشد

جدول پیوست ۸- مقایسه میانگین وزن هزار دانه، تعداد دانه در طبق و عملکرد دانه تحت تأثیر تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید

تیمار	وزن هزار دانه (گرم)	تعداد دانه در طبق	عملکرد دانه (تن در هکتار)
تنش کم‌آبیاری			
۸ روز	۹۷/۳۱۴ a	۸۲۶/۸۹۰ a	۲/۷۰۳ a
۱۶ روز	۷۸/۸۶۹ b	۶۷۰/۴۴۰ b	۲/۱۵۳ b
LSD 5%	۸/۳۵۱	۱۵۰/۴۹	۰/۲۸۵
متانول (درصد حجمی)			
صفر	۸۷/۸۰۶ b	۷۶۲/۵۶۰	۲/۴۶۹ b
۱۵	۹۴/۶۰۸ a	۷۷۱/۰۶۶	۲/۶۳۸ a
۳۰	۸۹/۱۲۸ b	۷۱۲/۳۹۹	۲/۴۷۵ b
سدیم نیتروپروساید (میکرومولار)			
صفر	۸۶/۴۲۲ b	۷۲۹/۲۲۲	۲/۴۲۷ b
۵۰	۸۹/۴۶۰ b	۷۵۳/۰۰۰	۲/۴۸۸ b
۱۰۰	۹۵/۶۳۹ a	۷۶۳/۷۸۰	۲/۶۶۶ a
LSD 5%	۴/۲۴۸	۵۹/۰۶۵	۰/۱۱۷

حروف غیر مشترک در هر ستون بیانگر اختلاف معنی دار می‌باشد.

جدول پیوست ۹- میانگین مربعات محتوای نسبی آب برگ و شاخص پایداری غشاء تحت تأثیر تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید

منابع تغییرات	درجه آزادی	محتوای نسبی آب برگ	شاخص پایداری غشاء
تکرار	۲	۲۳/۲۵۴	۲۱۹/۷۹۰
تنش	۱	۸۷۹/۱۹۴*	۱۶۴۶/۰۳۰*
خطا	۲	۱۱/۷۴۷	۳۴/۲۳۸
متانول	۲	۶۶/۸۶۴	۸۳/۷۲۱
متانول * تنش	۲	۴/۷۶۷	۱۶/۵۵۶
سدیم نیتروپروساید	۲	۱۲۶/۳۴۴*	۵۰۰/۷۷۵**
سدیم نیتروپروساید * تنش	۲	۱۲/۰۳۷	۱۱۷/۳۲۵*
متانول * سدیم نیتروپروساید	۴	۹۴/۰۲۱*	۱۳۱/۶۳۳**
متانول * سدیم نیتروپروساید * تنش	۴	۳/۴۳۶	۲۸/۰۲۱
خطا	۳۲	۲۵/۸۷۵	۳۱/۷۷۸
ضریب تغییرات (درصد)		۱۰/۲۴۳	۸/۸۷۶

** و * به ترتیب بیانگر معنی دار در سطح ۱ و ۵ درصد می‌باشد.

جدول پیوست ۱۰- مقایسه میانگین محتوای نسبی آب برگ و شاخص پایداری غشاء تحت تأثیر تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید

تیمار	محتوای نسبی آب برگ (درصد)	شاخص پایداری غشاء (درصد)
تنش کم‌آبیاری		
۸ روز	۵۳/۶۹۴ a	۶۹/۰۳۰ a
۱۶ روز	۴۰/۷۱۴ b	۵۷/۹۸۸ b
LSD 5%	۳/۷۶۴	۶/۸۵۲
متانول (درصد حجمی)		
صفر	۴۷/۹۴۳	۶۱/۹۲۰
۱۵	۵۱/۳۱۴	۶۵/۷۲۷
۳۰	۵۰/۱۲۱	۶۳/۳۷۹
سدیم نیتروپروساید (میکرومولار)		
صفر	۴۷/۱۲۳ b	۵۸/۹۴۵ b
۵۰	۴۹/۴۴۵ ab	۶۲/۲۹۸ b
۱۰۰	۵۲/۴۰۹ a	۶۹/۲۸۳ a
LSD 5%	۳/۴۵۳	۳/۸۲۷

حروف غیر مشترک در هر ستون بیانگر اختلاف معنی دار می‌باشد.

جدول پیوست ۱۱- میانگین مربعات کلروفیل a، کلروفیل b، مجموع کلروفیل و کاروتنوئید تحت تأثیر تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید

منابع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید
تکرار	۲	۴/۸۷۶	۰/۳۱۸	۶/۸۴۲	۰/۱۷۷
تنش	۱	۱۹/۸۱۹*	۱۲/۸۳۲	۶۴/۵۴۸*	۲/۶۰۵*
خطا	۲	۰/۶۳۹	۰ /۱۲۶	۱/۲۶۴	۰/۰۲۸
متانول	۲	۳/۵۸۹**	۱/۰۸۹*	۷/۷۸۸**	۰/۳۳۱**
متانول * تنش	۲	۰/۳۳۴	۰/۲۶۵	۰/۱۱۵	۰/۱۹۶*
سدیم نیتروپروساید	۲	۲/۸۰۰**	۰/۷۰۵	۶/۲۴۹**	۰/۳۲۰**
سدیم نیتروپروساید * تنش	۲	۱/۰۷۹	۰/۰۲۷	۱/۰۰۸	۰/۰۲۰
متانول * سدیم نیتروپروساید	۴	۰/۷۷۶	۰/۹۱۰*	۲/۱۷۸*	۰/۱۴۶*
متانول * سدیم نیتروپروساید * تنش	۴	۰/۲۶۱	۱/۰۷۵*	۰/۷۰۳	۰/۰۳۹
خطا	۳۲	۰/۳۵۵	۰/۳۰۸	۰/۷۹۹	۰/۰۵۱
ضریب تغییرات (درصد)		۸/۷۹۵	۲۰/۶۰۸	۹/۴۳۵	۱۷/۱۶۰

** و * به ترتیب بیانگر معنی دار در سطح ۱ و ۵ درصد می‌باشد.

جدول پیوست ۱۲- مقایسه میانگین کلروفیل a، کلروفیل b، مجموع کلروفیل و کاروتنوئید تحت تأثیر تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی متانول و سدیم نیتروپروساید

تیمار	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید
		(میلی‌گرم در گرم وزن تر)		
تنش کم‌آبیاری				
۸ روز	۷/۳۸۹ a	۳/۱۸۲	۱۰/۵۷۱ a	۱/۵۳۸ a
۱۶ روز	۶/۱۷۷ b	۲/۲۰۷	۸/۳۸۴ b	۱/۰۹۹ b
LSD 5%	۰/۹۳۶	۱/۱۸۶	۲/۱۱۵	۱/۱۹۷
متانول (درصد حجمی)				
صفر	۶/۲۹۰ b	۲/۴۲۹ b	۸/۷۲۰b	۱/۱۷۳ b
۱۵	۷/۱۶۱ a	۲/۷۳۹ ab	۹/۹۰۰ a	۱/۴۴۲ a
۳۰	۶/۸۹۸ a	۲/۹۱۵ a	۹/۸۱۳ a	۱/۳۳۹ a
سدیم نیتروپروساید (میکرومولار)				
صفر	۶/۴۱۲ b	۲/۵۴۱	۸/۹۵۳ b	۱/۱۷۶ b
۵۰	۶/۷۴۱ b	۲/۶۲۴	۹/۳۶۵ b	۱/۳۳۸ a
۱۰۰	۷/۱۹۷ a	۲/۹۱۸	۱۰/۱۱۵ a	۱/۴۴۱ a
LSD 5%	۰/۴۰۵	۰/۳۷۷	۰/۶۰۷	۰/۱۵۳

حروف غیر مشترک در هر ستون بیانگر اختلاف معنی دار می‌باشد.

جدول پیوست ۱۳- میانگین مربعات درصد روغن، عملکرد روغن و درصد پروتئین تحت تأثیر تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی متانول و سدیم-نیتروپروساید

منابع تغییرات	درجه آزادی	درصد روغن	عملکرد روغن	درصد پروتئین
تکرار	۲	۵۵/۴۱۰	۰/۱۴۳	۱۸/۸۴۷
تنش	۱	۱۲۳/۶۱۵*	۰/۷۵۱*	۲۵/۴۵۶
خطا	۲	۶/۲۴۵	۰/۰۲۸	۳/۱۳۸
متانول	۲	۷/۲۲۹	۰/۰۶۲**	۰/۵۳۷
متانول * تنش	۲	۲/۴۶۰	۰/۰۰۲	۷/۱۳۹
سدیم نیتروپروساید	۲	۴۴/۸۷۵*	۰/۱۶۷**	۳/۲۳۱
سدیم نیتروپروساید * تنش	۲	۲۳/۷۶۳	۰/۰۷۵**	۱۷/۰۲۰*
متانول * سدیم نیتروپروساید	۴	۴۴/۹۱۳*	۰/۰۷۰**	۵/۰۸۷
متانول * سدیم نیتروپروساید * تنش	۴	۲۰/۸۲۰	۰/۰۱۸	۱۰/۴۴۲
خطا	۳۲	۱۲/۶۷۸	۰/۰۱۰	۳/۹۱۶
ضریب تغییرات (درصد)		۷/۸۳۸	۸/۷۵۰	۷/۶۵۶

** و * به ترتیب بیانگر معنی دار در سطح ۱ و ۵ درصد می‌باشد

جدول پیوست ۱۴- مقایسه میانگین درصد روغن، عملکرد روغن و درصد پروتئین تحت تأثیر تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی متانول و سدیم-نیتروپروساید

تیمار	درصد روغن (درصد)	عملکرد روغن (تن در هکتار)	پروتئین (درصد)
تنش کم‌آبیاری			
۸ روز	۴۶/۹۳۶ a	۱/۲۶۹ a	۲۵/۱۵۹
۱۶ روز	۴۳/۹۱۰ b	۱/۰۳۳ b	۲۶/۱۶۵
LSD 5%	۲/۹۲۶	۰/۲۲۹	۲/۰۷۴
متانول (درصد حجمی)			
صفر	۴۵/۰۴۵	۱/۱۱۷ b	۲۵/۹۱۸
۱۵	۴۶/۱۵۵	۱/۲۱۹ a	۲۵/۹۷۱
۳۰	۴۵/۰۷۰	۱/۱۱۶ b	۲۵/۶۴۹
سدیم نیتروپروساید (میکرومولار)			
صفر	۴۳/۸۹۰ b	۱/۰۶۷ b	۲۵/۵۶۳
۵۰	۴۵/۳۳۶ ab	۱/۱۳۰ b	۲۵/۶۴۱
۱۰۰	۴۷/۰۴۴ a	۱/۲۵۶ a	۲۶/۳۳۳
LSD 5%	۲/۴۱۷	۰/۰۶۸	۱/۳۴۳

حروف غیر مشترک در هر ستون بیانگر اختلاف معنی دار می‌باشد.

منابع

احیایی، ح.ر.، پارسا، م.، کافی، م. و نصیری‌محلاتی، م. ۱۳۸۹. اثر محلول‌پاشی متانول و دور آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم نخود (*Cicer arietinum* L.). نشریه‌ی پژوهش‌های حبوبات ایران. ۱ (۲): ۴۸-۳۷.

اردکانی، م.ر. ۱۳۸۸. اکولوژی. انتشارات دانشگاه تهران. چاپ یازدهم. ۳۴۰ صفحه.

اهدایی، ب. ۱۳۷۲. انتخاب برای مقاومت به خشکی در گندم. مقالات کلیدی اولین کنگره زراعت و اصلاح نباتات. دانشکده کشاورزی کرج. ۱۵-۱۸ شهریور. ۴۳-۶۲.

آلیاری، ه.، شکاری، ف. و شکاری، ف. ۱۳۷۹. دانه‌های روغنی (زراعت و فیزیولوژی). انتشارات عمیدی، تبریز. ۱۸۲ صفحه.

باغخانی، ف.، فرح بخش، ح. و مقصودی مود، ع.ا. ۱۳۸۶. اثر رژیم‌های آبیاری بر صفات فیزیولوژیک مرتبط با تنش در ارقام گلرنگ. نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر. کرمان. بهمن۱۳۸۶. صفحه ۱-۹.

برادران فیروزآبادی، م. ۱۳۸۱. بررسی رابطه صفات مرفولوژیکی و فیزیولوژیکی ارقام چغندرقند با تنش خشکی. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی. دانشگاه تبریز.

ترک نژاد، ا. و حیدری شریف آباد، ح. ۱۳۷۹. شاخص‌های مقاومت به خشکی در برخی ازگونه‌های یونجه یکساله. پژوهش و سازندگی. ۴۸: ۱۰-۱۴.

حلاجی، ح. ۱۳۸۴. اثر تنش خشکی و تراکم کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان (رقم آذر گل). پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد بجنورد. ۱۵۵ صفحه.

خزاعی، ح. ۱۳۸۱. اثر تنش خشکی بر عملکرد و خصوصیات فیزیولوژیک ارقام مقاوم و حساس گندم و معرفی مناسب‌ترین شاخص‌های مقاومت به خشکی. پایان‌نامه دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد. ۲۲۵ صفحه.

خواجه پور، م.ر. ۱۳۸۹. گیاهان صنعتی. چاپ چهارم. انتشارات جهاد دانشگاهی اصفهان. ۵۸۰ صفحه.

دانشمند، ع.، شیردانی‌راد، ا.ح.، نورمحمدی، ق.، زارعی، ق. و دانشیان، ج. ۱۳۸۸. بررسی روغن و پروتئین دانه دو رقم کلزا و ارتباط آن با عملکرد روغن و پروتئین دانه. مجله دانش کشاورزی ایران. ۵(۳): ۳۱۴-۲۹۵.

دانشیان، ج.، هادی ح. و جنوبی پ. ۱۳۸۸. ارزیابی تحمل برخی ژنوپیت‌های سویا در شرایط تنش کم‌آبی. علوم زراعی ایران. ۹ (۴): ۱۵۱-۱۳۷.

سرمدنیا، غ. و کوچکی، ع. ۱۳۷۱. جنبه‌های فیزیولوژیک زراعت دیم. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۴۰۰ صفحه.

سلطانی، ا. ۱۳۸۶. رابطه آب، خاک و گیاه. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۲۴۶ صفحه.

عباسی، ف. ۱۳۸۶. اثر متقابل خشکی و شوری بر عوامل رشد دو گونه گیاهی. مجله علوم پایه دانشگاه آزاد اسلامی. ۶۶: ۴۰-۵۸.

عباسی سیه‌جانی، ا. ۱۳۸۷. اثرات تنش خشکی بر صفات مرفولوژیکی و زراعی آفتابگردان .پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز. ۱۱۲صفحه.

عرب، ص.، برادران فیروزآبادی، م.، اصغری، ح.ر، غلامی، ا. و رحیمی، م. ۱۳۹۵. تأثیر محلول‌پاشی اسیدآسکوربیک و سدیم نیتروپروساید بر عملکرد دانه، روغن و برخی صفات گلرنگ بهاره در شرایط تنش کم‌آبیاری. مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی. ۹(۱): ۱۵-۲۷.

عرب، ص.، برادران فیروزآبادی، م.، اصغری، ح.ر، غلامی، ا. و رحیمی، م. ۱۳۹۵. اثر محلول‌پاشی اسیدآسکوربیک و سدیم نیتروپروساید بر محتوای پروتئین، عملکرد دانه و صفات زراعی گلرنگ تحت تنش کم‌آبیاری. نشریه تولید گیاهان زراعی. ۹(۱): ۶۹-۸۷

عرشی، ی. ۱۳۷۶. علوم و تکنولوژی آفتاب‌گردان (ترجمه). نشر اداره کل پنبه و دانه‌های روغنی ایران. ۴۴۵ صفحه.

علیزاده، ا. ۱۳۶۹. رابطه آب و خاک در گیاه. انتشارات جاوید. ۴۳۷ صفحه.

عمان، ع.ر.، حبیبی، د.، ن.، مشهدی، م.، بوجار، ا. و شیرمرد، م. ۱۳۸۵. اثر تنش خشکی بر عملکرد و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت ژنوتیپ‌های مختلف آفتابگردان آجیلی. چکیده مقالات نهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نیاتات ایران. دانشگاه تهران. ۵-۷ شهریور ۱۳۸۵. صفحه ۵۴۲-۵۴۶.

فراست، م.، ساجدی، ن.ع. و میرزاخانی، م. ۱۳۸۷. واکنش صفات گیاهی چهار ژنوتیپ گلرنگ در شرایط تنش کمبود آب. یافته‌های نوین کشاورزی. ۳(۱): ۶۷-۸۱.

فرخی نیا، م.، رشدی، م.، پاسبان اسلام، ب. و ساسان دوست، ر. ۱۳۸۸. بررسی اثرات تنش خشکی بر عملکرد دانه و برخی صفات رویشی گلرنگ بهاره. مجله پژوهش در علوم زراعی. ۲(۵): ۱-۱۱.

فرخی نیا، م.، رشدی، م.، پاسبان اسلام، ب. و ساسان دوست، ر. ۱۳۹۰. بررسی برخی از ویژگی‌های فیزیولوژیک و عملکرد گلرنگ بهاره تحت تنش کمبود آب. مجله علوم گیاهان زراعی ایران. ۴۲(۳): ۵۴۵-۵۵۳.

کافی. م.، برزویی. ا.، صالحی. م.، کمندی، ع.، معصومی، ع. و نباتی، ح. ۱۳۸۸. فیزیولوژی تنش‌های محیطی در گیاهان. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. چاپ اول. ۵۰۲ صفحه.

کافی، م. و رستمی، م. ۱۳۸۶. اثر تنش خشکی بر عملکرد، اجزای عملکرد و درصد روغن ارقام گلرنگ در شرایط آبیاری با آب شور. مجله پژوهش‌های زراعی ایران. ۵(۱): ۱۲۱-۱۳۱.

کافی، م. و مهدوی دامغانی، ع. ا. ۱۳۸۱. مکانیسم‌های مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی (ترجمه). انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. ۲۹۷ صفحه.

کوچکی. ع.، حسینی، م. و نصیری محلاتی، م. ۱۳۷۶. رابطه آب و خاک در گیاه زراعی (ترجمه). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۵۶۰ صفحه.

کوچکی، ع. و سرمدنیا، غ.ح. ۱۳۸۸. فیزیولوژی گیاهان زراعی (ترجمه). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. چاپ یازدهم. ۴۰۰ صفحه.

کوچکی، ع. و سلطانی، ا. ۱۳۷۷. اصول و عملیات کشاورزی در مناطق خشک (ترجمه). انتشارات نشر آموزش کشاورزی. ۹۴۲ صفحه.

میر جلیلی، ع. ۱۳۸۴. گیاهان در محیط‌های تنش‌زا. انتشارات نور بخش. ۳۵۷ صفحه.

نادعلی، ا.، پاک‌نژاد، ف.، مرادی، ف. و وزان، س. ۱۳۸۹. اثر متانول بر عملکرد و برخی خصوصیات کیفی چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) رقم رسول در شرایط تنش و عدم تنش خشکی. مجله‌ی به-زراعی نهال و بذر. ۲۶ (۲): ۱۰۶-۹۵.

نصیبی، ۱۳۹۰. بررسی اثر غلظت‌های متفاوت نیتروپروساید سدیم در تخفیف صدمات اکسیداتیو ناشی از تنش خشکی در گیاه گوجه‌فرهنگی. زیست‌شناسی گیاهی. ۳ (۹): ۶۳-۷۴.

نصیبی، ف.، منوچهری کلانتری، خ. و خداشناس، م. ۱۳۸۸. اثر پیش تیمار سدیم نیتروپروساید بر برخی عوامل بیوشیمیایی گیاهچه گوجه‌فرنگی تحت تنش خشکی. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۶ (۲): ۱۲۱-۱۳۵.

Ahmadi, A. and Ceiocemardeh, A. 2005. Effect of drought stress on soluble carbohydrate, chlorophyll and proline in four adopted wheat cultivars with various climate of Iran. Iranian J. Agric. Sci. 35: 753- 763.

Alvarez, J.O., Fernandez, G. and Martinex, M. 1997. Genetic analesis of yield and related traits in sunflower in dryland and irrigated. Environ. and Exp. Bot. 50: 242-374.

Anjum, S.A., Xie, X., Wang, L., Saleem, M.F., Man, C. and Wang, L. 2011. A review: Morphological, physiological and biochemical responses of plant to drought stress. Afric. J. Agric., 6(9): 2026-2032.

Arasimowics, M. and Wieczoorek, J.F. 2007. Nitric oxide as a bioactive signaling molecule in plant stress responses. Plant Sci. 172: 876- 887.

Asada, K. 1999. The water-water cycle in chloropladts: scavenging of active oxygen and dissipation of excess photons. Annu. Rev. plants physiol. 50: 601-639.

Ashok Mishra, K. and Vijay Sing, P. 2010. A review of drought convepts. J. of Hydrology. 1: 1-15.

Ashraf, M. and Foolad, M.R. 2007. Roles of glycine betaine in improving plant abiotic stress resistance. Environ. Exp. Bot. 59: 206-216.

Baji, M., Kinet, J.M. and Lutts, S. 2001. The use of the electrolyte leakage method for assessing cell membrane stability as a water stress tolerance test in durum wheat. Plant Growth Regul. PP. 1-10.

Bartley, E.G. and Scolnik, P.A. 1995. Plant carotenoids: pigments for photoprotection, visual attraction and human health. The plant cell. 7: 1027-1038.

Basaga, H.S. 1989. Biochemical aspects of free radicals. J. of Biochem. Cell Biol. 68(2): 989-998.

Basra, A.S. and Basra, P.K. 1997. Mechanisms of environmental stress resistance in Plants. Hardwood Academic publishers. 83p.

Bates, L.S., Waldern, R.P. and Teare, O.D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and soil. 39: 205-207.

Beeck, E.H., Fettig, S., Knake, C., Hartig, K. and Bhattarai, T. 2007. Specific and unsepecific responses of plants to cold and drought stress. J. Bio. Sci. 32: 501-510.

Beemarao Sankar, C.A., Paramasivam Manivannan, J., Kishore Kumar, A., Samasundaram, R. and Panneerselvam, R. 2007. Drought induced biochemical modification and proline metabolism in *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench. Acta Bot. Croat. 66: 43-56.

Beligni, M.V. and Lamattina, L. 2000. Nitric oxide stimulates seed germination and de-etiolation, and inhibits hypocotyls elongation, three light inducible responses in plants. Planta. 210: 215-221.

Bisswal, A.K., Ramaswamy, N.K., Mathur, M. and Misra, A.N. 2001. Light regulated protein kinase activity in thylakoid membranes of Nacl salt stressed seedlings. Photosynthesis. PS2001. CSIRO Publ., Melbourne, Australia. 5:123-137.

Blokhin, O., Virolainen, E. and Fagerstedt, K. 2003. Antioxidant oxidative damage and oxygen deprivation stress. Ann. Rev. of Bot. 91: 179-194.

Blum, A. 2005. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential-are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? Aus. J. of Agric. Res. 56:1159-1168.

Boutraa, T. and Sanders, FE. 2001. Influence of water stress on grain yield and vegetative growth of two cultivars of bean (*Phaseolus vulgaris* L.*).* J. of Agron. Crop Sci. 187: 251-257.

Boyebeva, S. and Babalakova, N. 2008. Does chelated copper ameliorate the greening of iron-deficient cucumber plants through nitric oxide signaling? Comparison with chemical forms of zinc. Plant Physiology. 34 (3-4): 295-308.

Chen, W.P., Li, P.H. and Chen, T.H.H. 2000. Glycinbetaine increases chilling tolerance and reduces chilling induced lipid peroxidation in *Zea mays* L. Plant Cell Environ. 23: 609-618.

Chimenti, C., Pearson, A. and Hall, A.J. 2002. Osmotic adjustment and yield maintenance under drought in sunflower. Field Crop Res. 75: 235-246.

Chobadi, M., Bakhshande, M., Fathi, G., Gharineh, M.H., Alami said, K., Naderi, A. and Ghobadi, M.E. 2006. Short and long periods of water stress during different growth stages of canola. Effect on yield components, seed oil and protein contents. J. Agron. 5(2): 336-341.

Day, A.D and Intalap, S. 1999. Some effects of soil moisture on the growth of wheat. Agron. J. 62: 27-29.

De Pinto, M.C., Tommasi, F. and De Gara. L. 2002. Changes in the antioxidant systems as part of the signaling pathway responsible for the programmed cell death activated by nitric oxide and reactive oxygen species in tobacco Bright Yellow 2 cells. Plant Physiol. 130(2): 698-708.

Del Rio, L.A., Corpas, F.J. and Barroso, J.B. 2004. Nitric oxid and nitric oxid synthase activity in plants. Phytochemistry. 65: 783-792.

Del Rio, L.A., Sevilla, F., Sandalio, L.M. and Palma, J.M.L. 1991. Nutritional effects and expression of superoxide dismutase: induction and gene expression, diagnostics, prospective protection against oxygen toxicity. Free Radical Res. Commun. 12-13: 819-828.

Downie, A., Miyazaki, S., Bohnert, H., John, P., Coleman, J., Parry, M. and Haslam, R. 2004. Expression profiling of the response of *Arabidopsis thaliana* to methanol stimnulation. Phytochem. 65: 2305-2316.

Downie, R.K. 1983. Origin and description of the Brassica oilseed. In: Kramer, J.K.G., F.D. Sauer and W.J. Pigden, (eds.). High and low erucic acid rapeseed oils production, usage, chemistry and toxicological evaluation. Academic press.Toronto. Canada. 1-20 pp.

Duan, B., Yang, Y., Lu, Y., Korpelainen, H., Berninger, F. and Li, C. 2007. Interaction between drought stress, ABA and genotypes in picea asperata. J. of Exp. Bot. 58: 3025-3036.

Estill, K., Delany, R.H., Smith, W.K. and Ditterline, R.L. 1991. Water relations and productivity of alphalpha leaf chlorophyll variants. Crop Sci. 31: 1229 –1233.

Fall, R., and A.A. Benson.1996. Leaf methanol .*Trends Sci*. 296-301.

Farooq, M., Basra, S.M.A., Wahid, A. and Rehman, H. 2009. Exogenously applied nitric oxide enhances the drought tolerance in fine grain aromatic rice *(Oryza sativa* L.). J. Agron. and Crop Sci. 195:254-261.

Ferrer, M.A. and Ros Barcelo, A. 1999. Differential effect of nitric oxide on peroxidase and H_2O_2 production by the xylem of *Zinnia elegans*. plant cell Environ. 22: 891-897.

Fischer, R.A., Rees, D., Sayre, K.D., Lu, Z.M., Condon, A.G. and Saavedra, A.L. 1998. wheat yield progress associated with higher stomatal conductance and photosynthetic rate, and cooler canopies. Crop Sci. 38: 1467-1475.

Flexas, J. and Medrano, H. 2002. Dorught-inhibition of photosynthesis in C_3 plants: Stomatal and non-stomatal limitations revisited. Ann. of Bot. 89:183-189.

Gay, S. 1980. Article physiological aspects of yield improvement in soybean. Agron. J. 72: 387-391.

Gout, E., Aubert, S., Bligny, R., Rebeflle, F., Nonomura, A.R., Benson, A. and Douce, R. 2000. Metabolism of methanol in plant cells. Carbon-13 unclear magnetic resonance studies. Plant Physiol. 123: 287-296.

Goyne, P.J. and Harmmer, G.L. 1982. Phenology of sunflower cultivars. II. Controlled environment studies of temperature and photpperiod effects. Aust. J. Agric. Res. 33: 251-261.

Gracia Mata, C. and Lamattina, L. 2001. Nitric oxide induces stomatal closure and enhances the adaptative plant responses against drought stress. Plant Physiol. 126: 1196-1204.

Gracia Mata, C., Gray, R., Sokolovski, S., Hills, A., Lamattina, L. and Blatt, M.R. 2003. Nitric oxide regulates K^+ and Cl^- channels in gard cells through a subset of abscisic acid evoked signaling path ways. Proc. Nail. Acad. Sci. U.S.A. 100: 116-121.

Heins, R. 1980. Inhibition of ethylene synthesis and senescence in carnation by ethanol. J. of Ame. Soc. of Hort. Sci. 105(1): 141-144.

Hernandez, L.F., Pellegrini, C.N., and Malla, L.M. 2000. Effect of foliar application of methanol on growth and yield of sunflower. Phyton. 66: 1-8.

Hubick, K.T., Drakeford, D.R. and Reid, D.M. 1986. The effect of drought on levels of ABA, cytokinine, giberline and ethylene in aeroponically grown sunflower plants. J. Plant growth Regul. 4: 139-151.

Hung, K.T. and Kao. C.H. 2003. Nitric oxide counteracts the senescence of rice leaves induced by abscisic acid. J. Plant Physiol. 160(8): 871-879.

Ivanova, E.G., Dornina, N.V. and Trotsenko, Y.A. 2001. Aaerobic methylo bacteria are capable of synthesizing auxins. microbiol. 70:392-397.

Jiang, M. and Zhang, J. 2001. Effect of abscisic acid on active oxygen species, antioxidative defence system and oxidative damage in leaves of maize seedlings. Plant Cell Physiol. 42: 1265- 1273.

Kajdi, F. and Pocsai, K. 1993. Effect of irrigation on the yield potential, protein yield of oilseed rape cultivars. Acta. Ovarien. 35: 65-72.

Karimzade Asl, Kh., Mazaheri, D. and Peyghambari, S.A. 2004. Effect of four irrigation regimes on yield and quantity characteristics in three cultivars sunflower. Iranian J. of Agric. sci. 2: 293-300.

Kramer, P.S. 1983. Water relation of plants. Academic Press. PP. 342-415.

Laurence, R.C.N. and Gibbons, R.W. 1976. Changes in yield, protein, oil and maturity of groundnut cultivars with the application of sulfur fertilizers andfungicides. J. Agric. Sci. Cam. 86: 245-250.

Leshem, Y.Y., Haramaty, E., Iiuz, D., Mali, K.Z., Sofer, Y. and Roitman, L. 1997. Effect of stress nitric oxide: interaction bftween cholorophyll fluorescence, galactolipid fluidity and lipoxygenase activity. Plant physiol. and Biochem. 35: 573-579.

Levitt, J. 1980. Responses of plants to enviromnent stresses. Water, Radiation, salt and other stresses. Academic Press. New York. 2. 607 PP.

Li, Q.Y., Niu, H.B., Yin, J., Wang, M.B., Shao, H.B., Deng, D.Z., Chen, X.X., Ren, J.P. and Li, Y.C. 2008. Protective role of nitric oxide against oxidative stress induced by salt stress in barely. colloids and surfaces. Biointerfaces. 65: 220-225.

Lopez, M., Humara, J.M., Casares, A. and Majada, J. 1999. The effect of temperature and water stress on laboratory germination of *Eucalyptus globulus* Labill. Seeds of different sizes. Inra, Edp Sciences. 57: 245- 250.

Madhaiyan, M., Poonguzhali, S., Sundaram, S.P. and Sa, T.A. 2006. New Insight into foliar applied methanol influencing phylloplane methylotrophic dynamics and growth promotion of cotton *(Gossypium hirsutum* L.) and sugarcane *(Saccharum officinarum* L.). Environ. and Exp. Botany. 57: 168-176.

Makhdum, M.I., Malik, M.N.A., Din, S.U., Ahmad, F. and Chaudhry, F.I. 2002. Physilogical response of cotton to methanol foliar application. J. Res. Sci. 13: 37-43.

Martinez, D.E., Luquez, V.M., Bartoli, C.G., and Guiamet, J.J. 2003. Persistence of photosynthetic components and photochemical efficiency in ears of water-stressed wheat (*Triticum aestivum*). Plant Physiol. 119: 1-7.

Miller, J.F. and Roath, W.W. 1982. Compensatory response of sunflower to stand reduction applied at different plant growth stage. Agron. J. 74: 119-121.

Mirakhori, M., Paknejad, F., Moradi, F., Ardakani, M.R., Zahedi, H. and Nazeri, P. 2009. Effect of drought stress and methanol on yield and yield components of Soybean (L17). Ame. J. of Biochem. and Biotech. 5(4):162-169.

Misra, A.N., Biswal, A.K and Misra, M. 2002. Physiological biochemical and molecular aspects of water stress responses in plants and the biotechnological application. Proc. Nat. Acad. Sci. 2: 115-134.

Monakhova, O.F., Chernyadev, I.I. 2002. Protective role of kartolin- 4 in wheat plants exposed to soil drought. App. and environ. Microbiol. 38: 373-380

Monivannan, P., Abdul Jaleel, C., Sankal, B., Kishore Kumar, A., Sornasundaram, R., Lakshmanan, G.M.A. and Panneerselvam, K. 2007. Growth, biochemical modification and proline metabolism in *(Helianthus annus* L.) as induced by drought stress. Colloids and Surfaces. 59: 141-149.

Nayyar, H. and Gupta, D. 2006. Differential sensitivity of C_3 and C_4 plants to water deficit stress. Association with oxidative stress and antioxidants. Environ. and Exp. Bot. 58: 106-113.

Neill, S.J., Barros, R., Bright, J., Desikan, R., Hancock, J., Harrisan, J., Morris, p., Ribieiro, D. and Wilson, I. 2008. Nitric oxide, stomatal closure, and abiotic stress. J. Exp. Bot. 59:165-176.

Neill, S.J., Desikan, R. and Hancock, J.T. 2003. Nitric oxid signaling in plants. New Phytol. 159: 11-35.

Neill, S.J., Desikan, R., Clarke, A. and Hancock, J.T. 2002. Nitric oxide is a novel component of abscisic asid signaling in stomatal guard cells. Plant Physiol. 128: 13-16.

Nilsen E.T. and Orcutt D.M. 1996. Physiology of plants under stress: abiotic factors. John Wiley and Sons. New York. 689 p.

Nonomura, A.M. and Benson, A.A. 1992. The path of carbon in photosynthesis: improved crop yields with methanol. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 89: 9794-9798.

Paknejad, F., Mirakhori, M., Jami Al-Ahmadi, M., Tookalo, M.R., Pazoki, A.R. and Nazeri, P. 2009. Physiological response of soybean *(Glycine max)* to foliar application of methanol under different soil moisture. Ame. J. of Agri. and Biolog. Sci. 4(4): 311-318.

Palomo, I.R., Baioni, S.S., Fioretti, M.N. and Brevedon, R.E. 1999. Canola under water deficiency in southern Argentina. Proceeding of the 10^{th} International Rapeseed Congress. Conberra. Australia. PP.7.

Pessarkli, M. 1999. Hand book of plant and crop stress. Marcel Dekker Inc. 697 pp.

Premachandra, G.S. and Saneoka, H. and Ogata, S. 1989. Nutriophysiological evaluation of polyethylen glycol test of cell membrane stability in maiz. Crop Sci. 29: 1287-1292.

Rajala, A., karkkainen, J., peltonen, J. and Peltonen-sainio, P. 1998. Foliar applications of alchols failed to enhance growth and yield of C_3 crops. Indust. Crop. Prod. 7: 129-137.

Ramirez, I., Dorta, F., Espinoza, V., Jimenez, E., Mercado, A. and Pen Cortes, A. 2006. Effects of foliar and root applications of methanol on the growth of arabidopsis, tobacco and tomato plants. J. Plant Growth Regul. 25: 30-44.

Robinson, R.G. and Ford, J.H., Lueschen, D.L., Rabas, L.J., Smith, D.D. and Wiersma, J.V.1980. Response of sunflower to plant population. Agron. J. 72: 869-871.

Rowe, R.N., Farr, D.J. and Richards, B.A.J. 1994. Effects of foliar and root applications of methanol or ethanol on the growth of tomato plants (*Lycopersicon escdentum* Mill.). New Zealand J. Crop HOI. Sci. 22: 335-337.

Safarzade vishgahi, M.N., Normohamadi, H. and Magidi, E. 2005. Effect of methanol on peanut function and yield components. J. Olomzeraei. 88-103.

Saini, H.S. and Wetgate, M.E. 2000. Reproductive development in grain crops during drought. Adv. in Agron. 68: 59-96.

Sairam, R.K. and Saxena, G.C. 2000. Oxidative stress and antioxidant in wheat genotype: possible mechanism of water stress tolerance. J. Agron. and Crop Sci. 184: 55-61.

Satler, S. and Thimman, K. 1980. The influence of aliphatic alcohols on leaf senescense. Plant Physiol. 66: 395-399.

Smirnoff, N. and Wheeler, G.L. 2000. Ascobic acid in plants: Biosynthes and function. Critical Rev. in Plant Sci. 19(4): 267-290.

Suna, B., Jingb, Y., Chena, K., Songa, L., Chena, F. and Zhang, L. 2007. Protective effect of nitric oxide on iron deficiency hnduced oxidative stress in maize *(Zea mays)*. J. of Plant Physiol. 164: 536-543.

Suzuki, N. and Mittler, R. 2006. Reactive oxygen species and temperature stresses: a delicate balance between signaling and destruction. Physiolgia Plantarum. 126: 45-51.

Taiz, L. and Zeiger, E. 2006. Plant physiology. 4th Edition. Sinauer Associates, Inc., Publishers Sunderland, Massachusetts. 738p.

Takahashi, S. and Yamasaki, H. 2002. Reversible inhibition of photo phosphorylation in chloroplasts by nitric oxide. FEBS Lett. 512(1- 3): 145-148.

Theodoridou, A., Donemann, D. and Kotzabasis, K. 2002. Light dependent induction of srongly increased microalgal growth by methanol. Biochem. Biophys. Acta. 1573:189-198.

Tu, J., Shen, W. and Xu, L. 2003. Regulation of nitric acid on the aging process of wheat leaves. Acta Bot. Sin. 45: 1055-1062.

Tuteja, N., Chandra, M., Tuteja, R. and Misra, M.K. 2004. Nitric oxide as a unique bioactive signaling messenger in physiology and pathophysiology. J. Biomed. Biotech. 4: 227-237.

Vazan, S., Ranji, Z., Tehrani, M., Ghalavand, A. and Saaneyi, M. 2002. Drought stress effects of on ABA accumulation and stomatal conductivity of sugarbeet. Iran. J. Agric. Sci. 3:176-180.

Wang, X., Li, W., Li, M. and Welti, R. 2006. Profiling lipid chanses in plant response to low temperature. Physiol. Plant, 126:90-96.

Wang, X.Y., Shen, W.B. and Xu, L.L. 2004. Exogenous nitric oxide alleviates osmotic stress induced lipid peroxidation in wheat seedling leaves. 30: 195-200.

Wang, Y.S. and Yang, Z.M. 2005. Nitric oxide rduces aluminum toxicity by preventing oxidative stress in the roots of *(Cassia tora* L.*)* Plant Cell physiol. 46: 1915-1923.

Wieczorek, J.F., Milczarek, G., Arasimovicz, M. and Ciszewski, A. 2006. Do nitric oxide donors mimic endogenous No- related response in plants. Planta. 224: 1363-1372.

Wolf, D.W., Gifford, R.M., Hilbert, D. and Luos, Y. 1998. Integration of photosynthetic acclimation to CO_2 at the whole-plant level. Global Change Biology. 4: 879-893.

Zbiec, I., Karczmarczyk, S. and Podsiadlo, C. 2003. Response of some cultivated plants to methanol as compared to supplemental irrigation. Electronic J. of Polish Agric. Univ. 6(1): 1- 7.

Zhang, W., Curtin. C., Kikuchi M. and Franco. C. 2002. Integration of jasmonic acid and light irradiation for enhancement of anthocyanin biosynthesis in *Vttis-inifera* suspension cultures. Plant Sci. 162: 459-468.

Zarco Tajada, P.J., Miller, J.R., Mohammad, G.H., Noland, T.L. and Sampson, P.H. 2000. Chlorophyll fluorescence effects on vegetation apparent reflectance. Remo. Sens. Environ. 74:596-608.

Eeffect of methanol and sodium nitroprusside foliar application on the physiological and morphological traits of sunflower subjected to water deficit stress

Abstract

Nowadays, the application of antioxidants and plant growth regulators has been discussed for decreasing the negative effect of different stresses. Methanol and sodium nitroprosside have been substance caused which the resistance to biotic and abiotic stresses. To evaluate the effect of methanol and sodium nitroprosside foliar application on some traits of sunflower (*Helianthus annuus* L.) a field experiment was carried out in split plot factorial based on randonrized complete block in 3 replications 2014 at the Shahrood University of Technology. Two levels of irrigations, including 8 days interval (well watered) and 16 days interval (water deficit stress) were in main plot, and foliar application of methanol in 3 levels (0, 15 and 30% w/w) and foliar application of sodium nitroprusside in 3 levels (0, 50 and 100 µM) were in sub plot. In this experiment water deficit stress reduced leaf area, leaf, stem and capitol dry weight, capitol diameter, seed weight, number of seeds in capitol, seed yield, chlorophyll a and total chlorophyll. The water deficit stress decreased relative water content (RWC) and membrane Electerical Conductivity (EC). The number of hollow seeds per capitol increased in stress conditions (16 days). (RWC) and (EC) were some of traits that significantly increased by use of sodium nitroprosside. Percent of protein and seed oil increased by use this substance in its high level (100 µM) in order 2.58 percent and 6.19 percent respectively. The result showed that the application 100 µM sodium nitroprosside concentration and 15% by volume methanol concentration contained increased 25 percent seed weight and reduced the number of hollow seeds per capitol to size 14 seed of 34/03 percent. Seed yield increased by use Foliar sodium nitroprusside with tow concentration 50 and 100 µM in order 8/26 percent and 19/07 percent in stress conditions compared with control. Foliar application of sodium nitroprosside and methanol could greatly improve the harmpul effect of irrigation stress, and finally in the range of this research can introduced intraction of 100 µM sodium nitroprosside 15% by volume methanol as a best combinined treatment.

Keywords: yield components, oil and seed protein, chlorophyll, dry matter

Shahrood University of Technology
Faculty of Agriculture
MSc Thesis in Agronomy

Eeffect of methanol and sodium nitroprusside foliar application on the physiological and morphological traits of sunflower subjected to water deficit stress

By: vahid Abbasi

Supervisor:

Dr. M. Baradaran Firouzabadi

Advisors:

Dr. A. Gholami
Dr. M. Gholi Pour

September 2016