

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده کشاورزی

پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیولوژی گیاهان زراعی

تاثیر محلول پاشی نانو ذره روی برخی صفات رشدی
و عملکرد دانه سه رقم سورگوم تحت تنش کم آبیاری

نگارنده: معصومه خالق دوست

استاد راهنما

دکتر حسن مکاریان

اساتید مشاور

دکتر حمید عباسدخت

دکتر مهدی برادران فیروز آبادی

مهر ۱۴۰۰

شماره: ۱۸۰
تاریخ: ۱۴۰۰/۸/۸
ویرایش:

باسمه تعالی

فرمهای ارزشیابی پایان نامه کارشناسی ارشد
مربوط به ورودی‌های ۹۴ به بعد



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خاتم / آقای **معصومه خالق دوست** با شماره دانشجویی **۹۷۰۶۳۶۴** رشته **اگر و تکنولوژی گرایش فیزیولوژی گیاهان زراعی** تحت عنوان **تاثیر محلول پاشی نانوذره روی برخی صفات رشدی و عملکرد دانه سه رقم سورگوم تحت تنش کم آبیاری** که در تاریخ **۱۴۰۰/۰۷/۲۵** با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار شد به شرح ذیل اعلام می‌گردد:

☐ الف) درجه عالی: نمره ۱۹-۲۰	☐ ب) درجه خیلی خوب: نمره ۱۸-۱۹
☐ ج) درجه خوب: نمره ۱۷-۱۶	☐ د) درجه متوسط: نمره ۱۵-۱۴
☐ ه) کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول و نیاز به دفاع مجدد دارد	
نوع تحقیق: ☐ نظری ☒ عملی	

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	دکتر حسن مکاریان	دانشیار	
۲- استاد مشاور اول	دکتر مهدی برادران	دانشیار	
۳- استاد مشاور دوم	دکتر حمید عباسدخت	دانشیار	
۴- استاد داور اول	دکتر محمدرضا عامریان	دانشیار	
۵- استاد داور دوم	دکتر حمیدرضا اصغری	دانشیار	
۶- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر مصطفی حیدری	دانشیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده:

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:



تقديم اثر

به پدر و مادر و برادرى كه دليل آرامشم بودن و هستن

تشکر و قدردانی

در ابتدا باید از زحمات جناب دکتر حسن مکاریان که زحمت راهنمایی این کار را بر عهده داشتند کمال تشکر و سپاسگذاری را داشته باشم. همچنین از تمام عزیزانی که من را در این راه کمک کرده اند بخصوص خانواده ام، نهایت تشکر را دارم. امیدوارم بتوانم زحمات این عزیزان را جبران کنم.

تعهد نامه

اینجانب **معصومه خالق دوست** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته فیزیولوژی گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه **تاثیر محلول پاشی نانو روی ذره روی بر برخی صفات رشدی و عملکرد دانه سه رقم سورگوم تحت تنش کم آبیاری** تحت راهنمایی **دکتر حسن مکاریان** 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.

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

- ۱- تاثیر تغذیه برگ میکر و نانو ذرات عنصر روی بر برخی از صفات کیفی ارقام مختلف سورگوم (*Sorghum bicolor* L Moench.) در شرایط تنش کم آبیاری
معصومه خالق دوست^۱، حسن مکاریان^{۲*}، مهدی برادران فیروزآبادی^۲، حمید عباسدخت^۲

چکیده

به منظور بررسی تاثیر محلول پاشی نانو ذره روی بر برخی صفات رشدی و عملکرد دانه سه رقم سورگوم تحت تنش کم آبیاری، آزمایشی به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود اجرا شد. تیمارهای آزمایش عبارت بودند از تنش کمبود آب در دو سطح شامل دور آبیاری ۱۰ و ۲۰ روز که در پلات‌های اصلی و ترکیبی از فاکتورهای رقم سورگوم در سه سطح ارسک، اسپیدفید و پگاه و محلول پاشی روی در سه سطح عدم کاربرد، کاربرد روی به دو فرم میکرو و نانوذرات به میزان ۲ در هزار در پلات‌های فرعی قرار گرفتند. نتایج نشان داد با افزایش دور آبیاری از ۱۰ به ۲۰ روز صفات ارتفاع بوته، قطر ساقه، شاخص سطح برگ، کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید، محتوای نسبی آب برگ، پرولین، پروتئین دانه، محتوای روی دانه، عملکرد علوفه تر و خشک و عملکرد دانه بطور معنی داری کاهش پیدا کرد. اما کاربرد روی به فرم نانو یا معمولی سبب افزایش معنی دار ارتفاع، قطر ساقه، شاخص سطح برگ، کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید، محتوای نسبی آب برگ، پرولین، پروتئین، محتوای روی دانه، عملکرد علوفه تر و خشک و عملکرد دانه در شرایط تنش کم آبیاری گردید. بیشترین عملکرد علوفه تر، خشک و عملکرد دانه در تیمار ۱۰ روز آبیاری و کاربرد فرم نانو روی مشاهده شد که به ترتیب برابر ۹۷/۴، ۱۸/۸ و ۸/۴۹ تن در هکتار بود. همچنین نتایج نشان داد در بیشتر صفات رشدی، عملکرد دانه و علوفه رقم ارسک از دو رقم دیگر اسپید فید و پگاه در شرایط تنش و غیر تنش بطور معنی داری بیشتر بود. به طور کلی نتایج این آزمایش نشان داد استفاده از روی به فرم نانو و یا معمولی در برنامه تغذیه ای سورگوم علاوه بر اینکه سبب بهبود رشد و عملکرد کمی و کیفی سورگوم می شود می تواند اثرات زیان بار تنش کم آبی را کاهش دهد.

کلمات کلیدی: تغذیه گیاه، تنش آب، عملکرد علوفه، نانوکودها،

فهرست مطالب

فصل اول مقدمه و کلیات	۱
۱-۱- سورگوم و اهمیت آن	۲
۲-۱- بیان مسئله	۵
۳-۱- اهداف	۱۰
فصل دوم بررسی منابع	۱۱
۱-۲- سورگوم گیاهی علوفه‌ای و دانه‌ای	۱۲
۲-۲- تنش خشکی	۱۳
۳-۲- نقش عنصر روی در گیاهان زراعی	۱۴
۴-۲- نانو کود ها و اثر آن بر گیاهان	۱۵
۵-۲- عنصر روی و خشکی	۲۵
فصل سوم مواد و روش‌ها	۳۱
۱-۳- زمان و مکان آزمایش	۳۲
۲-۳- طرح آزمایش	۳۳
۳-۳- مراحل انجام آزمایش	۳۳
۴-۳- اندازه گیری صفات	۳۴
۵-۳- تجزیه و تحلیل داده‌ها	۳۹
فصل چهارم نتایج و بحث	۴۱
۱-۴- صفات مورفولوژیکی	۴۲
۲-۴- رنگیزه‌های فتوسنتزی	۴۹
۳-۴- صفات فیزیولوژیک	۵۸
۴-۴- صفات کیفی	۶۵
۵-۴- عملکرد علوفه	۷۵
۶-۴- عملکرد دانه سورگوم و شاخص برداشت	۸۲
۷-۴- همبستگی بین صفات	۸۷

۸۸-----۴-۸- نتیجه گیری کلی

۹۰-----۴-۹- پیشنهادات

۹۱-----منابع

فهرست شکل‌ها

- شکل ۳-۱- متوسط بارندگی (نمودار ستونی) و دما (نمودار نقطه‌ای) در سال ۱۳۹۸ ----- ۳۲
- شکل ۴-۱- مقایسه میانگین اثر متقابل روی و کم آبیاری بر ارتفاع بوته سورگوم ----- ۴۴
- شکل ۴-۲- مقایسه میانگین اثر رقم بر ارتفاع بوته سورگوم ----- ۴۴
- شکل ۴-۳- مقایسه میانگین اثر متقابل کاربرد روی و کم آبیاری بر قطر ساقه سورگوم ----- ۴۶
- شکل ۴-۴- مقایسه میانگین اثر ساده رقم بر قطر ساقه سورگوم ----- ۴۷
- شکل ۴-۵- مقایسه میانگین اثر متقابل کاربرد روی و کم آبیاری بر شاخص سطح برگ سورگوم -- ۴۹
- شکل ۴-۶- مقایسه میانگین اثر متقابل روی و آبیاری بر کلروفیل A ----- ۵۲
- شکل ۴-۷- مقایسه میانگین اثر ساده رقم بر کلروفیل A ----- ۵۲
- شکل ۴-۸- مقایسه میانگین اثر ساده رقم بر کلروفیل B ----- ۵۴
- شکل ۴-۹- مقایسه میانگین اثر متقابل روی و کم آبیاری بر کلروفیل B ----- ۵۵
- شکل ۴-۱۰- مقایسه میانگین اثر متقابل روی و کم آبیاری بر کاروتنوئید برگ سورگوم ----- ۵۶
- شکل ۴-۱۱- مقایسه میانگین اثر رقم بر کاروتنوئید ----- ۵۷
- شکل ۴-۱۲- مقایسه میانگین اثر متقابل روی و کم آبیاری بر درصد محتوای نسبی آب برگ سورگوم ----- ۶۰
- شکل ۴-۱۳- مقایسه میانگین اثر ساده رقم بر درصد محتوای نسبی آب برگ سورگوم ----- ۶۰
- شکل ۴-۱۴- مقایسه میانگین اثر متقابل روی و کم آبیاری بر هدایت الکتریکی برگ ----- ۶۲
- شکل ۴-۱۵- مقایسه میانگین اثر ساده رقم بر هدایت الکتریکی برگ ----- ۶۳
- شکل ۴-۱۶- مقایسه میانگین اثر متقابل روی و کم آبیاری بر پرولین برگ ----- ۶۴
- شکل ۴-۱۷- مقایسه میانگین اثر متقابل روی و کم آبیاری بر پروتئین دانه سورگوم ----- ۶۶
- شکل ۴-۱۸- مقایسه میانگین اثر ساده روی بر پروتئین برگ سورگوم ----- ۶۸
- شکل ۴-۱۹- مقایسه میانگین اثر ساده کم آبیاری بر پروتئین برگ سورگوم ----- ۶۸
- شکل ۴-۲۰- مقایسه میانگین اثر متقابل روی و کم آبیاری بر محتوای روی دانه سورگوم ----- ۷۰
- شکل ۴-۲۱- مقایسه میانگین اثر ساده رقم بر محتوای روی دانه سورگوم ----- ۷۲
- شکل ۴-۲۲- مقایسه میانگین اثر ساده کم آبیاری بر روی برگ سورگوم ----- ۷۲

- شکل ۴-۲۳- مقایسه میانگین اثر ساده روی بر محتوای روی برگ سورگوم ----- ۷۳
- شکل ۴-۲۴- مقایسه میانگین اثر متقابل روی و کم آبیاری بر عملکرد علوفه تر ----- ۷۷
- شکل ۴-۲۵- مقایسه میانگین اثر ساده رقم بر عملکرد علوفه تر ----- ۷۸
- شکل ۴-۲۶- مقایسه میانگین اثر متقابل عنصر روی و کم آبیاری بر عملکرد علوفه خشک ----- ۸۱
- شکل ۴-۲۷- مقایسه میانگین اثر ساده رقم بر عملکرد علوفه خشک ----- ۸۱
- شکل ۴-۲۸- مقایسه میانگین اثر متقابل روی و آبیاری بر عملکرد دانه ----- ۸۳
- شکل ۴-۲۹- مقایسه میانگین اثر ساده رقم بر عملکرد دانه ----- ۸۴

فهرست جداول

- جدول ۴-۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) ارتفاع، قطر ساقه و شاخص سطح برگ سورگوم تحت
تاثیر تیمارهای آزمایش ----- ۴۲
- جدول ۴-۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) رنگیزه‌های فتوسنتزی سورگوم تحت تاثیر تیمارهای
آزمایش ----- ۵۰
- جدول ۴-۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات پایداری غشاء، محتوی نسبی آب، پرولین
سورگوم تحت تاثیر تیمارهای آزمایش ----- ۵۸
- جدول ۴-۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات پروتئین دانه و پروتئین برگ سورگوم تحت
تاثیر تیمارهای آزمایش ----- ۶۵
- جدول ۴-۵- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات روی دانه و روی برگ سورگوم تحت تاثیر
تیمارهای آزمایش ----- ۶۹
- جدول ۴-۶- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد علوفه خشک و علوفه تر سورگوم تحت تاثیر
تیمارهای آزمایش ----- ۷۵
- جدول ۴-۷- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد دانه و شاخص برداشت سورگوم تحت تاثیر
تیمارهای آزمایش ----- ۸۲
- جدول ۴-۸- همبستگی بین صفات اندازه گیری شده و عملکرد دانه سورگوم ----- ۸۸

فصل اول

مقدمه و کلیات

۱-۱- سورگوم و اهمیت آن

سورگوم با نام علمی *Sorghum bicolor* گیاهی چهار کربنه از خانواده‌ی غلات می‌باشد. سورگوم گیاهی است کم توقع و پر محصول که حتی در زمین‌های فقیر از نظر عناصر غذایی و یا شور و قلیایی کشت می‌گردد، به‌طوری که از نظر استقامت و قناعت از آن به عنوان شتر خانواده گیاهی نام می‌برند (حاج حسینی و همکاران، ۱۳۹۰). ارقام مختلف سورگوم دانه‌ای مانند سفید و قرمز، برای تولید غذا و فیبر استفاده می‌شوند، سورگوم علوفه‌ای مانند سودانگراس، به علت سازگاری با شرایط خشک و کم آب، توان زیاد تولید علوفه، به شکل علوفه تر، خشک و سیلویی استفاده می‌شود، سورگوم شیرین برای تهیه الکل صنعتی و سورگوم جارویی به علت داشتن گل آذین‌های بزرگ و پهن معمولاً برای تهیه جارو کشت و استفاده می‌شوند (حاج حسینی و همکاران، ۱۳۹۰). سورگوم منبعی غنی از ترکیبات شیمیایی گیاهی و متابولیت‌های ثانویه مانند تانن‌ها، آنتوسیانین‌ها، فنولیک اسیدها، فیتواسترول‌ها و ... است که برای سلامت انسان بسیار ارزشمند هستند، به‌طوری که گزارش‌هایی مبنی بر تاثیر این گیاه در سلامت قلبی - عروقی و نیز خاصیت ضد سرطانی آن موجود است (ریحانی نیا و همکاران، ۱۳۹۲).

سورگوم به علت خصوصیات منحصر به فرد نظیر مقاومت بالا به خشکی، سیستم ریشه ای افشان و خیلی وسیع، جذب رطوبت بالا، متحمل به شوری و در عین حال مصارف متعدد تغذیه ای و صنعتی از اهمیت خاصی برخوردار است، سورگوم از نظر فتوسنتزی جزء گیاهان C4 می‌باشد و فاقد مراحل تنفس نوری بوده و از کارآیی فتوسنتزی بالایی نسبت به گروه گیاهان C3 برخوردار است (بهشتی و فرد، ۲۰۱۰). سورگوم بدلیل توانایی در توقف رشد در اثر برخورد با دوره های کوتاه مدت خشکی و بهبود و شروع رشد پس از رفع آن به خوبی به شرایط خشکی سازگار و به کم آبی مقاوم است. این

گیاه رطوبت بیش از حد را نیز بهتر از سایر غلات تحمل می‌کند مخصوصاً در مقایسه با ذرت، که در حالت زیادی آب به رشد خود ادامه می‌دهد ولی ذرت در چنین حالتی از بین می‌رود (مدرس و همکاران، ۱۳۹۸).

سورگوم در نقاط مختلف ایران که متوسط حرارت تابستانی بیش از ۲۰ درجه سانتیگراد و تعداد روزهای بدون یخبندان ۱۲۵ یا بیشتر باشد کشت می‌شود، به‌طوری که در سال ۱۳۹۷ در ایران سطح زیرکشت آن به حدود ۳۷ هزار هکتار رسیده است (مدرس و همکاران، ۱۳۹۸).

در سورگوم ارتفاع ساقه به تعداد طول میانگره‌ها بستگی دارد. گره‌ها به صورت متوالی تا زمان انتقال مریستم از رشد رویشی به رشد زایشی تشکیل می‌شود. تعداد گره تحت تاثیر میزان ازت و طول میانگره نیز تحت تاثیر رطوبت خاک قرار دارد. مصرف عمده سورگوم بیشتر برای تأمین علوفه است فیبرهای موجود در ساقه کاربرد صنعتی دارند و از دانه‌های سورگوم در نواحی گرمسیری خشک آرد تهیه می‌شود یا مانند برنج طبخ می‌شود (اسشافر و همکاران، ۲۰۱۱). علاوه بر خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار در رشد مطلوب گیاه و افزایش کارایی آن به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک، تغذیه گیاه زراعی می‌باشد (اسشافرت و همکاران، ۲۰۱۱).

سورگوم به لحاظ اهمیت در بین غلات در دنیا بعد از گندم، برنج، ذرت و جو در مقام پنجم قرار دارد. نام سورگوم نامی جهانی است و در همه زبان‌های دنیا از این نام استفاده می‌شود. توده‌های زراعی بومی سورگوم در ایران در مناطق خراسان جنوبی، سیستان، کرمان، اصفهان، یزد، گیلان، مازندران و بنادر جنوبی به طور پراکنده وجود دارد. سورگوم با شرایط آب و هوایی ایران و بویژه مناطق گرم و خشک و معتدل آن به خوبی سازگار است. دانه‌های سورگوم دارای مصارف بسیار زیادی است و به صورت‌های مختلفی استفاده می‌شود. دانه‌های سورگوم غذای اصلی بیش از ۲۰ میلیون نفر

از مردم آسیا و آفریقا، در حالی که در اروپا و آمریکای شمالی از آن بیشتر در تغذیه طیور و دام استفاده می‌شود. این گیاه در مقایسه با ذرت دارای سیستم ریشه ای افشان بسیار وسیع است که در حجم زیادی از خاک نفوذ می‌کند و رطوبت بیشتری جذب می‌کند. این گیاه برای رشد و نمو نسبت به سایر غلات به آب کمتری نیاز دارد (موانی، ۱۳۹۱).

سورگوم برای تولید یک کیلوگرم دانه به ۳۳۲ لیتر آب نیاز دارد؛ در صورتی که این نیاز آبی برای ذرت ۳۶۸ لیتر، جو ۴۳۴ لیتر و گندم ۵۱۴ لیتر است. رشد سورگوم در دوره های شدید خشکی و در مواجهه با تنش شدید آبی متوقف می‌شود و با شروع بارندگی یا آبیاری، دوباره از سر گرفته می‌شود. این گیاه رطوبت بیش از حد را نیز بهتر از سایر غلات به جز برنج تحمل می‌کند. تحمل شرایط غرقابی در سورگوم بیشتر از ذرت است و در شرایطی که تجمع آب در کنار بوته‌ها باعث از بین رفتن ذرت می‌شود، سورگوم می‌تواند این موضوع را به خوبی تحمل کند. علاوه بر این سورگوم تحمل خوبی به شوری آب و خاک و مسمومیت آلومینیوم دارد. از جمله ویژگی های دیگری که باعث افزایش مقاومت به خشکی در سورگوم می‌شود، وجود پوشش مومی بر روی سطح برگ‌هاست که تلفات تعرقی آب را کاهش می‌دهد و علاوه بر این آرایش برگ‌ها و تنظیم روزنه‌ای در سورگوم را باعث می‌شود (فومن، ۱۳۹۰).

همچنین سورگوم قادر است از مواد فتوسنتزی ساخته شده در دوره قبل از گرده افشانی را برای تکمیل رشد خود استفاده کند. مقاومت بالای این گیاه در برابر تنش‌های محیطی و تغییرات اقلیمی باعث شده است توجه به این گیاه زراعی افزایش یابد (مسببی، ۱۳۹۳).

۲-۱- بیان مسئله

خشکسالی و کمبود آب یک واقعیت عینی در کشور محسوب می‌شود، کشور ایران به علت قرار گیری در موقعیت جغرافیایی خاص، همواره با پدیده‌های سیل، کم آبی و خشکسالی روبرو است، خشکسالی و کم آبی در سال‌های اخیر در تمام کشور حتی مناطق شمالی از گستردگی زیادی برخوردار است. به این منظور برای صرفه جویی در مصرف آب و عملکرد رضایت بخش از گیاهان زراعی، کشت گیاهانی که نیاز آبی کمتری دارند توصیه می‌شود. غلاتی همچون سورگوم از جمله گیاهانی است که نیاز آبی کمتری در مقایسه با غلات و علوفه رایج مثل ذرت دارد (کافی و همکاران، ۱۳۸۸).

کمبود آب در سراسر جهان، یکی از عوامل محدود کننده تولید و عملکرد گیاهان زراعی به شمار می‌رود (نیاکان و حبیبی، ۱۳۹۵). خشکی مهم‌ترین عامل محدود کننده رشد و عملکرد گیاهان به‌ویژه در مناطق گرم و نیمه خشک می‌باشد، که ۴۰ تا ۶۰ درصد اراضی زیر کشت جهان را تحت تاثیر قرار می‌دهد (گالشی، ۱۳۹۴). گیاهان در شرایط طبیعی و زراعی پیوسته در معرض تنش‌های مختلف محیطی قرار دارند. یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی، تنش خشکی است که به شدت بر تولید و عملکرد گیاهان زراعی اثر می‌گذارد (انجوم و همکاران، ۲۰۱۲).

با توجه به اینکه ایران جزء مناطق خشک و نیمه خشک دنیا محسوب می‌شود، در چنین مناطقی نوسانات بارندگی زیاد بوده و ممکن است برخی از مراحل مهم رشدی گیاه به دلیل کم آبی تحت تاثیر کاهش پتانسیل آب خاک قرار گیرد (نوروزی و کاظمی، ۱۳۹۶). همچنین بیان شده است ایران در کمربند بیابانی جهان قرار دارد و به عنوان منطقه‌ای خشک منظور می‌شود، متوسط بارندگی در ایران

حدود ۲۵۰ میلی‌متر است که این میزان یک سوم بارندگی در جهان می‌باشد، از سوی دیگر حدود ۱۸/۵ میلیون هکتار اراضی کشاورزی، ۶/۲ میلیون هکتار (۳۳/۵ درصد) به کشت دیم اختصاص دارد، در حدود ۱/۲ میلیون هکتار از اراضی زیر کشت دیم، بارندگی بیش از ۴۰۰ میلی‌متر دریافت می‌نمایند، اما از مجموع حدود ۴۰۰ میلیارد متر مکعب نزولات جوی سالیانه در ایران، رقمی در حدود ۲۸۰ میلیارد متر مکعب آن از طریق تبخیر از سطح آزاد و تعرق گیاهی به هوا بر می‌گردد و بقیه آن مقدار آبی است که در رودخانه‌ها جاری و در منابع زیرزمینی ذخیره می‌شوند و در واقع بخش اعظم آب‌های ایران به دلایلی مورد بهره‌برداری در کشاورزی قرار نمی‌گیرند (گالشی، ۱۳۹۴).

در چنین شرایطی به دلیل کمبود نزولات آسمانی و توزیع نامناسب آن، تولید محصولات کشاورزی متکی بر آبیاری است و در عین حال، محدودیت منابع آب نیز از بزرگترین عوامل محدود کننده به خصوص در محصولات تابستانه می‌باشد (سپاسخواه و خواجه عبداللهی، ۲۰۰۵). مناطق خشک و نیمه خشک جهان، به خصوص در کشورهای در حال توسعه در معرض خطر بیشتری هستند، به این دلیل که این نواحی از قبل در معرض کمبود شدید آب بوده‌اند و در حال حاضر نیز با خطر رو به افزایش خشکی مواجه هستند که کشاورزی را آسیب پذیرتر می‌سازد (نزار و همکاران، ۲۰۱۵). با توجه به اینکه خشکی از ویژگی‌های بارز جغرافیایی کشور ماست و از این پدیده طبیعی و غیرقابل تغییر راه فراری نیست و از طرفی مصرف منابع انرژی، آب و مواد غذایی به‌طور روز افزونی در جامعه افزایش می‌یابد، لذا بایستی به جای تاکید بر معایب ناشی از آن درصدد مقابله با آن کمر همت بسته و به چاره اندیشی پردازیم، اتخاذ روش‌هایی چون بهره‌برداری صحیح از آب موجود با استفاده از شیوه‌های صحیح زراعی شامل: کشت گیاهان مقاوم، شناخت ارتباط کمبود آب، خاک و رشد محصولات در هر مرحله، بررسی واکنش‌های فیزیولوژیکی و روابط مفید داخلی گیاه در مقابله با تنش و سایر

مواردی که امکان توسعه هر چه بیشتر کشت گیاهان در مناطق خشک را فراهم می‌کند، در این رابطه
مثمر و مطلوب خواهد بود (گالشی، ۱۳۹۴).

بر اساس پیش‌بینی‌ها تا سال ۲۰۳۰ میلادی، با رشد جمعیت جهان، نه تنها تقاضا برای مواد
غذایی ۵۰ درصد بیشتر می‌شود، بلکه بحران انرژی نیز مزید بر علت خواهد شد. از این رو برای
برون‌رفت از این دو مشکل مشترک راه‌حل‌های واحد و متفکرانه‌ای را باید در نظر گرفت. بهترین راه
برای توسعه کشاورزی به کارگیری اراضی بایر است هر چند که برای تأمین نیازهای اساسی
سوخت‌های زیستی و تغذیه انسان و دام منابع متعدد گیاهی وجود دارد، اما با این وجود برای هر
کشوری که زمینه و پتانسیل خاص خود را داشته باشد می‌توان به گونه‌ای این موضوع حیاتی را در
نظر گرفت (گلزردی و همکاران، ۲۰۱۷). لذا گیاهان به عنوان مهم‌ترین منابع تجدید پذیر و اولین
منبع تأمین‌کننده مواد غذایی برای بشر و دیگر جانوران بوده و به عنوان حلقه اول زنجیره غذایی
مورد توجه می‌باشند. با توجه به کمبود منابع، انتخاب گونه‌هایی با نیازهای حداقلی برای رشد و بازده
بالا در تولید یکی از ضروریات ادامه زندگی می‌باشد (خدابنده، ۱۳۹۳). پس برای استفاده از
ظرفیت‌های اراضی قابل کشت کشورمان بایستی به دنبال یافتن گیاهانی باشیم که قابلیت رشد در
شرایط گرم و خشک را داشته باشد و بدین طریق از هدر رفت منابع ملی نظیر آب و غیره جلوگیری
کنیم (جهان سوز و همکاران، ۲۰۱۴). سورگوم گیاهی مقاوم به شرایط آب و هوایی گرم و خشک
است، لذا می‌تواند جایگزین مناسبی برای چغندر قند و نیشکر در کشور باشد (احمد پور، ۱۳۸۴).
تحقیقات نشان می‌دهد که گیاه مذکور با مصرف آب کمتر نسبت به ذرت و نیشکر و پتانسیل بالاتر
تولید نسبت به سایر گیاهان ۴ کربنه، گزینه مناسبی برای حل چالش‌های موجود می‌باشد (جهان سوز
و همکاران، ۲۰۱۴).

تغذیه مناسب گیاهی در بالا بردن سطح تحمل گیاهان در مقابل انواع تنش ها نقش بسزایی دارد. در این میان عنصر روی یکی از دو عنصر ضروری شرکت کننده در مجموعه مکانیزم های حفاظتی گیاه و ترمیم سریعتر زخم ها و یکی از مواد معدنی کمیاب است که پس از آهن بیشترین میزان را در بافت های گیاهی دارا است (خان و همکاران، ۲۰۰۸). عنصر روی در ساختمان ۲۰۰ نوع آنزیم و پروتئین مشارکت دارد و کمبود آن فعالیت چندین آنزیم مهم از جمله فسفاتازها، الکل دی هیدروژناز، دیمیدین کیناز، کربوکسی پپتیداز و پلیمراز RNA و DNA را کاهش می دهد (گراهام، ۲۰۰۴). نتایج برخی مطالعات نشان داده است که در گیاهان مواجه با شرایط شوری و خشکی، مصرف مقادیر بالاتر عنصر روی موجب افزایش تحمل گیاه به تنش خشکی و شوری و عملکرد آن می شود (چکر و همکاران، ۲۰۰۹). محققین گزارش کردند که تنش خشکی و کمبود عنصر روی دو عامل اصلی محدود کننده عملکرد گندم در مناطق نیمه خشک بوده است (پلج و همکاران، ۲۰۰۸).

عنصر روی برای ساخت اکسین (IAA) از اسید آمینه تریپتوفان و از راه تریپتامین مورد نیاز است و از سویی میزان تریپتوفان در گیاهانی که دچار کمبود عنصر روی باشند، در حد پایینی قرار دارد، که پایین بودن میزان اکسین در گیاهانی که کمبود عنصر روی دارند، ممکن است در نتیجه فعالیت زیاد آنزیم IAA – اکسیداز باشد، ایندول بوتریک اسید (IBA) نیز از جمله اکسین های طبیعی است که ابتدا صرفاً به عنوان یک ترکیب ساختگی شناخته می شد، ولی این ترکیب از بذر و برگ های ذرت و برخی گونه های گیاهی استخراج شده است (گلزردی و همکاران، ۲۰۱۷).

مصرف خاکی ریزمغذی ها، علاوه بر پایین بودن راندمان انتقال آن به گیاه، از لحاظ اقتصادی نیز بسیار پرهزینه است و از این رو، می توان از روش های جایگزین مانند محلول پاشی بهره جست (دلفانی، ۱۳۹۰)، همچنین در سال های اخیر به طور کار آمدی از فناوری نانو در تغذیه گیاهان زراعی استفاده

شده است، فناوری نانو، کاربردهای بالقوه و تازه‌ای در زمینه علوم کشاورزی ایجاد کرده است، با استفاده از این دانش می‌توان شیوه‌های فعلی مدیریت محصول را بهبود بخشید (رینولد، ۲۰۱۲).

یکی از مهم‌ترین کاربردهای فناوری نانو در زمینه گرایش‌های مختلف کشاورزی و بخش آب و خاک، استفاده از نانو کودها (Nano Fertilizers) برای تغذیه گیاهان زراعی می‌باشد (رضایی و همکاران، ۲۰۰۹).

استفاده از نانو کودها منجر به افزایش کارایی مصرفی عناصر غذایی، کاهش سمیت خاک، به حداقل رسیدن اثرات منفی ناشی از مصرف بیش از حد کودها و کاهش تعداد دفعات کاربرد آنها می‌شود (نادری و شهرکی، ۲۰۱۱؛ لیو و لال، ۲۰۱۵).

استفاده از نانو روی ذرات عناصر غذایی در افزایش غلظت عناصر ریز مغذی در گیاهان کارآمدتر از کود های معمولی است، علت این امر، خصوصیات ذرات نانو روی، یعنی حلالیت بیشتر و سطح تماس بیشتر ذرات نانو روی با اندام‌های گیاهان است (صابرمانیان و همکاران، ۲۰۱۵؛ رنجر و شمس، ۲۰۰۹).

خشکسالی‌های پی در پی در ایران و کمبود آب در اغلب مناطق ایران، یکی از مشکلات حال حاضر تولید محصولات کشاورزی بشمار می‌رود، لذا یافتن راهکارهایی برای کاهش یا تعدیل اثر تنش کمبود آب می‌تواند نقش موثری در تولید غذا در کشور ایفا نماید. از طرفی نیاز روزافزون به مواد غذایی و فراورده های گیاهی و دامی ضرورت یافتن راهکارهایی برای تولید بیشتر غذای با کیفیت را می‌طلبد. از آن جا که سورگوم سازگاری بالایی نسبت به شرایط گرم و خشک ایران دارد، بنابراین تلاش در جهت یافتن راهکارهایی برای افزایش کمیت و کیفیت عملکرد این گیاه با ارزش، می‌تواند نقش مهمی در تامین نیاز غذایی مردم داشته باشد. بنابراین این پژوهش با اهداف ذیل انجام شد.

۱-۳- اهداف

- مقایسه اثر فرم معمولی و نانو ذره روی بر رشد و عملکرد ارقام مختلف سورگوم در شرایط تنش کم آبیاری
- مقایسه عملکرد و اجزای عملکرد دانه ارقام مختلف سورگوم در شرایط کم آبیاری

فصل دوم

بررسی منابع

۱-۲- سورگوم گیاهی علوفه‌ای و دانه‌ای

سورگوم دارای تیپ‌های مختلف دانه‌ای، علوفه‌ای و قندی است و انواع تیپ‌های پاکوتاه، پابلند و با سنبله متراکم، نیمه متراکم و یا باز دارد. این گیاه را بر طبق استفاده‌ای که از آن می‌کنند طبقه‌بندی می‌نمایند. اگر چنانچه بر حسب سنبله باشد و این سنبله‌ها متراکم باشند از آنها به‌عنوان ذرت خوشه‌ای دانه‌ای یاد می‌شود (مسببی، ۱۳۹۳). ولی ارقامی از ذرت خوشه‌ای که سنبله غیرمتراکم دارند معمولاً علوفه‌ای می‌باشند و علوفه تولید شده آنها همان شاخ و برگ آنها خواهد بود و نه دانه آنها. عملکرد دانه این گروه کم است و دانه‌ها تلخ مزه می‌باشند. طول ساقه‌های ذرت خوشه‌ای متفاوت بوده و از ۵۰ سانتی‌متر تا ۴۰۰ سانتی‌متر تغییر می‌کند (فومن، ۱۳۹۰؛ مدرس و همکاران، ۱۳۹۸). سورگوم‌ها بر حسب نوع مصرف به ۴ دسته تقسیم می‌شوند (خواجه‌پور، ۱۳۹۳):

– **سورگوم دانه‌ای:** از دانه‌های آن به عنوان غذای انسان، دام و طیور استفاده می‌شود.

– **سورگوم علوفه‌ای:** که به نام سرگو معرف است. دارای ساقه‌های بلند آبدار و شیرین است. سودان گراس از ارقام سورگوم علوفه است که گیاه یک ساله با ساقه‌های باریک و قدرت پنجه زنی بالا است.

– **سورگوم شیرین یا قندی:** ساقه‌های بلند این گیاه حاوی مواد قندی است، از شیرابه ساقه قند مایع تولید می‌شود. عملکرد آن بیشتر از سورگوم دانه‌ای است لذا برای تولید علوفه سبز و سیلو کشت می‌شود.

- **سورگوم جارویی:** به دلیل انشعابات زیاد و طویل و خوشه برجسته به عنوان جاروب استفاده می‌شود.

- **سورگوم مومی:** اندوسپرم این گیاه داری موم است که برای ساختن چسب به کار می‌رود.

۲-۲- تنش خشکی

تنش‌های محیطی (شوری، خشکی، گرما، غرقاب، سرما و ...) همواره عملکرد گیاهان زراعی را تحت تاثیر قرار می‌دهند، در این میان پژوهشگران بیان کرده‌اند یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده تولید گیاهان زراعی در ایران و جهان کمبود آب (تنش خشکی) می‌باشد که وقوع خشکسالی‌های پی در پی در اثر تغییرات اقلیمی شدت آن را مضاعف نموده است (موانی، ۱۳۹۰). بر اساس آمار و ارقام وزارت جهاد کشاورزی و تحقیقات گسترده پژوهشگران، تنش خشکی شدید و ملایم سالانه خسارت غیر قابل جبرانی به محصولات کشاورزی وارد می‌آورد، از این رو اتخاذ تدابیر زراعی و استفاده از روش‌های تعدیل کننده تنش ناشی از کمبود آب در تولید پایدار محصولات کشاورزی امری ضروری به نظر می‌رسد (آمارنامه کشاورزی، ۱۳۹۶).

در میان راه حل‌های مختلف برای کاهش اثرات مخرب تنش خشکی، محلول‌پاشی عناصر معدنی مقاوم کننده گیاه به شرایط تنش راهکاری منطقی در بهبود عملکرد و شرایط رشدی گیاه به شمار می‌آید (حسین و همکاران، ۲۰۱۲). در میان عناصر غذایی دارای تأثیرات مثبت بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی تحت شرایط تنش خشکی و شرایط معمولی می‌توان به عنصر روی (Zn) اشاره کرد (گربیس و همکاران، ۲۰۰۸). عناصر ریز مغذی به‌ویژه روی برای رشد گیاهان عالی ضروری بوده و در فعالیت‌های مختلف بیوشیمیایی شرکت دارند (بن‌قنایا، ۲۰۰۷). روی نقش اساسی را در سنتز پروتئین-

های RNA و DNA ایفا می‌کند (ولج، ۲۰۰۱). هر چند نیاز گیاهان به روی اندک می‌باشد (۵-۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) اما اگر گیاه با کمبود آن مواجه شود، تنش‌های فیزیولوژیکی ناشی از ناکارایی سیستم‌های متعدد آنزیمی و دیگر اعمال متابولیکی مرتبط با روی، رشد و عملکرد گیاه را کاهش خواهند داد (بایبردی، ۲۰۰۶).

۲-۳- نقش عنصر روی در گیاهان زراعی

چاکر الحسینی و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که محلول‌پاشی روی با غلظت سه در هزار باعث افزایش معنی‌دار عملکرد برنج رقم چرام گردید. زند و همکاران (۱۳۸۸) دریافتند که کاربرد اکسید روی معمولی باعث کاهش تاثیر منفی تنش خشکی و افزایش عملکرد و اجزای عملکرد در گیاه ذرت شد. کمبود عنصر روی در خاک تمام کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه دنیا گزارش شده است، همچنین گزارش شده است یکی از شایع‌ترین اختلالات تغذیه‌ای در گیاهان و خاک‌های مناطق مختلف جهان کمبود عنصر روی می‌باشد، به‌طوری که در مراحل اولیه رشد، کمبود عنصر روی رشد اولیه گیاهچه‌ها را به تأخیر انداخته و باعث حساسیت گیاهچه‌ها به دوره‌های خشکی بعدی می‌شود (هریس و همکاران، ۲۰۰۷).

مطالعات در خصوص نقش عنصر روی در فیزیولوژی اندام‌های زایشی در بسیاری از گیاهان عالی انجام شده که بیانگر آن است که کمبود عنصر روی سبب تغییرات جزئی در اندام‌های زایشی گیاه شده که در نهایت کاهش تولید را به دنبال خواهد داشت، همچنین بیان شده است تغذیه برگ (محلول‌پاشی) در مقابل تغذیه خاکی (اضافه کردن کود به خاک) تاثیر بیشتری در رفع نیاز غذایی گیاهان به عناصر کم مصرف دارد (سویدر، ۲۰۱۰). عنصر روی در افزایش کارایی مصرف آب نیز بسیار

مؤثر است، کاربرد عنصر روی اثرات تنش آبی را تعدیل و رشد گیاه را افزایش می‌دهد (گرزبیس و همکاران، ۲۰۰۸؛ میرزاپور و خوشگفتار، ۲۰۰۶). در آزمایش شیخ‌بگلو و همکاران (۲۰۰۹) محلول‌پاشی سولفات روی در شرایط تنش آبی منجر به افزایش تعداد دانه در بلال، درصد پروتئین و روغن دانه ذرت گردید. در همین راستا گزارش شده است که مصرف روی در غلظت‌های بالا در شرایط تنش خشکی می‌تواند رشد ریشه‌ها را بهبود داده و تشکیل آوند چوبی را در مقایسه با گیاهان دارای کمبود روی افزایش دهد (الفلو و همکاران، ۲۰۱۱). در رابطه با تامین عناصر غذایی کم مصرف و تا حدودی عناصر غذایی پرمصرف گیاهان، پژوهشگران بیان داشتند که استفاده از کودهای نانو نسبت به حالت معمول آن اثر گذاری بیشتری بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی دارد (پراسد و همکاران، ۲۰۱۲). در تحقیقی در گیاه گندم کاربرد عنصر روی باعث افزایش در اجزای عملکرد دانه از جمله تعداد سنبلچه در بوته شد که تا ۱۲ درصد عملکرد دانه را افزایش داد (رضوان و همکاران، ۲۰۱۹).

۲-۴ نانو کود ها و اثر آن بر گیاهان

با بهره‌گیری از فناوری نانو در طراحی و ساخت نانو کودها، فرصت‌های جدیدی به منظور افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی و به حداقل رساندن هزینه‌های حفاظت از محیط زیست، پیش روی انسان گشوده شده است (نادری و عابدی، ۲۰۱۲). استفاده از فناوری نانو در کلیه عرصه‌ها، از جمله کشاورزی، در حال گسترش می‌باشد. یکی از مهم‌ترین کاربردهای فناوری نانو در جنبه‌های مختلف کشاورزی در بخش آب و خاک، استفاده از نانو کودها برای تغذیه گیاهان است (رضایی و همکاران، ۱۳۸۸). ذرات کودی می‌توانند با غشاهایی در مقیاس نانو پوشیده شوند که رهاسازی آهسته و مداوم عناصر غذایی را تسهیل می‌کنند. پوشاندن و سیمانی کردن با ذرات نانو و کوچکتر از نانو، باعث ایجاد قابلیت تنظیم و رهاسازی عناصر غذایی از کپسول کودی می‌شود (لیو و همکاران، ۲۰۰۰). فرآورده-

های نانو شامل مخلوطی از ذره‌های با ابعاد بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر هستند که می‌توانند خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مواد اولیه خود را تغییر دهند (مونیکا و سرمونی، ۲۰۰۹؛ ژو و همکاران ۲۰۰۸؛ علی‌نژاد و گلی، ۱۳۸۴).

نانو کودها به دلیل آزادسازی آرام و کنترل شده مواد غذایی، به منظور تأمین عناصر مورد نیاز گیاه در هر دو روش جذب برگ و ریشه ای، نسبت به کودهای مرسوم برتری دارند (ورث، ۲۰۰۷). استفاده از نانو کودها، به افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی، کاهش سمیت خاک، به حداقل رسیدن آثار منفی ناشی از مصرف بیش از حد کود و کاهش تعداد دفعات کاربرد کود می‌انجامد (اصغری و همکاران، ۲۰۱۴). همچنین، به دلیل اینکه زمان و سرعت رهاسازی عناصر با نیاز غذایی گیاه منطبق و هماهنگ می‌شود، لذا گیاه قادر به جذب بیشترین مقدار مواد غذایی بوده و در نتیجه ضمن کاهش آبتیابی عناصر، عملکرد محصول نیز افزایش می‌یابد. در زمینه آثار مثبت نانو کودها گزارش‌های محدودی درباره گیاهان بادام زمینی (باعث افزایش رشد ریشه و ساقه از طریق افزایش میزان کلروفیل و استقرار سریعتر گیاه) (پراساد و همکاران، ۲۰۱۲) و نخود باعث افزایش سرعت رشد گیاه (پاندی و همکاران، ۲۰۱۰) وجود دارد. اثر محلول‌پاشی نانوکلات آهن بر درصد روغن و عملکرد و اجزای عملکرد دانه کنجد، معنادار گزارش شده است (بقری و همکاران، ۱۳۹۳).

فناوری نانو، کاربردهای بالقوه و تازه‌ای در زمینه علوم کشاورزی ایجاد کرده است. با استفاده از این دانش می‌توان شیوه‌های فعلی مدیریت محصول را بهبود بخشید (رینولد، ۲۰۰۲). استفاده از نانو ذرات عناصر غذایی در افزایش غلظت عناصر غذایی در گیاهان کارآمدتر از کودهای معمولی است، علت این امر، خصوصیات ذرات نانو، یعنی حلالیت بیشتر و سطح تماس بیشتر ذرات نانو با اندام‌های گیاهان

است (رنجبر و شمس، ۲۰۰۹؛ صابر و همکاران، ۲۰۱۵). در پژوهشی روی گیاه دارویی زیره سبز مشاهده شد که محلول پاشی آهن و روی توأم با تنش خشکی باعث افزایش میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، گاپاکول پراکسیداز، پلی فنل اکسیداز و آسکوربات پراکسیداز و رنگیزه‌های فتوسنتزی شد (امیرنژاد و همکاران، ۲۰۱۵؛ پیوندی و همکاران، ۲۰۱۵).

اکسید روی یکی از پنج ترکیب عنصر روی است که توسط سازمان غذا و داروی آمریکا به عنوان یک ترکیب ایمن شناخته شده است (پرماناتان و همکاران، ۲۰۱۱). نانواکسید روی جزء نانو ذرات مهندسی شده است. سرنوشت، انتقال و تحرک نانو ذرات روی در خاک و گیاه بستگی زیادی به شرایط محیطی داشته و از طرفی شناخت کمی از اثرهای احتمالی نانو ذرات در ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیک خاک وجود دارد، اما گزارش شده است که کاربرد این نانو ذره به صورت محلول پاشی یا خاک مصرف باعث افزایش رشد گیاه شده است (بن‌موش و همکاران، ۲۰۱۳). در پژوهشی گزارش شد که کاربرد روی به شکل نانو ذرات تأثیر بیشتری در افزایش رشد ریشه نخود نسبت به شکل معمول آن داشت (پندی، ۲۰۱۰).

علاوه بر اثرات مثبت کود نانو روی در شرایط تنش و غیر تنش بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی، نانو کودهای سایر عناصر غذایی کم مصرف نیز باعث افزایش رشد و عملکرد گیاهان زراعی مختلف شده‌اند که از جمله آن می‌توان به موارد متعددی اشاره کرد. بعنوان مثال، در آزمایشی گلخانه‌ای مشاهده شد که کاربرد پودر اکسید آهن نانو نسبت به اکسید آهن معمولی افزایش معنی‌داری در غلظت آهن گیاه، طول سنبله، ارتفاع گیاه، وزن دانه در سنبله، کل وزن خشک کاه و کلش، وزن هزاردانه و وزن دانه در گلدان در گندم داشته است. این پژوهشگران بیان کردند ممکن است این

افزایش به دلیل خاصیت نانو ذرات و حلالیت بیشتر آنها و سبک و کوچک بودن آنها و برخورد بیشتر ریشه‌ها به ذرات نانو نسبت به ذرات اکسید آهن معمولی باشد (صالحی و تمسکینی، ۲۰۰۸).

پژوهشگران قطر کم نانو ذرات را عامل جذب و انتقال بیشتر و تأثیر گذاری بیشتر آنها می‌دانند (مونیکا و سرمونی، ۲۰۰۹). برای مثال، در مطالعه ژو و همکاران (۲۰۰۸) گیاه کدو حلوائی (*Cucurbita maxima*) قادر به جذب، انتقال، تجمع مواد نانو در بافت‌های خود بوده و این امر باعث می‌شود عملکرد این گیاه در هکتار در هنگام کاربرد کود نانو نسبت به کود معمولی ۲۳ درصد افزایش پیدا کند. دلفانی (۱۳۹۰) گزارش داد که محلول‌پاشی نانو ذرات منیزیم و نانو ذرات آهن برخی صفات مورفولوژیک لوبیا مثل ارتفاع ساقه را به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش داد. زاین و همکاران (۲۰۱۵) اظهار داشتند که محلول‌پاشی عناصر کم مصرف در مقایسه با سایر روش‌های کاربرد تأثیر مثبتی بر برخی خصوصیات رشدی گندم داشت.

همچنین رزمجو و غفاری (۲۰۱۵) گزارش نمودند که کاربرد کود به فرم نانو در مقایسه با فرم معمولی تأثیر بیشتری بر عملکرد گندم داشته است. گزارش‌های مختلفی مبنی بر تأثیر مثبت عناصر غذایی نانو بر رشد برخی از گیاهان، از جمله بادام زمینی (پراسد و همکاران، ۲۰۱۲)، نخود (پاندی و همکاران، ۲۰۱۰)، اسفناج (یانگ و همکاران، ۲۰۰۶) و ریحان (پیوندی و همکاران، ۲۰۱۱) وجود دارد. کمبود روی در گیاهان و خاک در طیف گسترده‌ای مشاهده می‌گردد و در این رابطه کمبود این عنصر خاک‌های با واکنش قلیایی (به خاطر فراهمی کم عنصر روی) خاک‌های شنی و در خاک‌های شدیداً آبشویی یافته شیوع بیشتری دارد (چکر و همکاران، ۲۰۰۹). در ایران کمبود عنصر روی در خاک عمدتاً ناشی از آهکی بودن خاک‌های زراعی pH بالا، حضور بیکربنات فراوان در آب‌های آبیاری، مصرف فراوان و بیش از نیاز کودهای فسفاته و در نهایت عدم رواج مصرف کودهای محتوی عنصر روی

است (موحدی و همکاران، ۲۰۰۹) غلظت بحرانی روی در حدود ۱۵ تا ۲۰ میلی گرم در هر کیلوگرم وزن خشک برگ است (خان و همکاران، ۲۰۰۸). با توجه به شرایط فیزیکی و خواص شیمیایی حاکم بر اکثر خاک‌های ایران که به آن‌ها اشاره شد، تأمین عنصر روی ضروری می‌باشد. محققین چنین بیان می‌کنند که بالا بودن pH، آهکی بودن و پایین بودن ماده آلی در خاک مشکل اساسی کشاورزی مناطق مدیترانه‌ای می‌باشد و به کمبود شدید دو عنصر ریز مغذی روی و آهن در گیاهان زراعی و درختان میوه آبدار اشاره و مصرف خاکی یا محلول‌پاشی با سولفات آهن و سولفات روی به میزان ۵ در هزار در چند مرحله را راه حل آن می‌دانند (گراهام، ۲۰۰۴).

عناصر غذایی کم مصرف اغلب در مقادیر کم به کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم که به مجموعه آنها کودهای مرکب گفته می‌شود به عنوان نمک‌های محلول برای جذب توسط گیاهان افزوده می‌شود. در کودهای مرکب معمولاً مقدار عناصر غذایی کم مصرف کافی بوده و موجب کاهش خطرات محیطی می‌شود. با این حال، فراهمی عناصر غذایی کم مصرف بکار رفته و کارایی آنها در بعضی خاک‌های با pH قلیایی، درشت بافت یا با ماده آلی کم، ممکن است کم باشد (فاجریا، ۲۰۰۹). برای مثال توفیقی و نجفی (۱۳۸۰) گزارش کردند که بازیابی روی با عصاره‌گیر DTPA پس از یک ماه مصرف سولفات روی در خاک‌های آهکی کمتر از پنج درصد بود. براساس برخی مطالعات، احتمالاً نانو کودهای عناصر غذایی کم مصرف زیست فراهمی این عناصر غذایی را برای گیاهان حتی در بدترین شرایط افزایش می‌دهند، توسعه علم و کاربرد نانو کودها هنوز در مراحل اولیه بوده و تعداد کمی از پژوهشگران برتری کاربرد نانو کودهای عناصر غذایی کم مصرف در شرایط مزرعه را گزارش کرده‌اند (لیو و لال، ۲۰۱۵).

در مطالعه‌ای محلول‌پاشی نانو ذرات اکسید روی با تابش لیزر با نور قرمز منجر به افزایش عملکرد نسبت به کاربرد نانو ذرات اکسید روی شد (ایلکرتی و همکاران، ۲۰۱۴). این نشان می‌دهد که استفاده

از ویژگی‌های الکترونیکی منحصر به فرد فرمول کودی نانو ذرات می‌تواند یک استراتژی مؤثر باشد. بررسی دیگری بر روی کلم، کلم گل، گوجه فرنگی نشان داد که نانو اکسید روی باعث افزایش جوانه زنی بذر شد در حالی که اکسید روی معمولی مورد استفاده تأثیر منفی بر جوانه زنی داشت. تیمارهای نانو موجب افزایش رنگدانه‌ها، مقدار پروتئین و قند و فعالیت‌های نیترات ریداکتاز و دیگر آنزیم‌های آنتی اکسیدانت شد (سنیگ و همکاران، ۲۰۱۳). در یک مطالعه، قرار دادن نخود در معرض نانو اکسید روی، علاوه بر افزایش جوانه زنی و رشد ریشه، سطوح بالاتری از هورمون رشد گیاه ایندول استیک اسید (IAA) را به دنبال داشت (پندی و همکاران، ۲۰۱۰). در حالی که مطالعات مختلف اثرات مثبت نانو اکسید روی بر عملکرد دانه را نشان داده است، از دیگر مزیت‌های مورد انتظار از اندازه نانوی این عنصر غذایی غفلت شده است. به عنوان مثال، در بررسی جذب روی توسط گیاه با استفاده از انواع مواد حاوی روی، از جمله اکسید روی با ابعاد ۴۰ نانومتر، اشاره شد که استفاده از شکل نانو در مقایسه با تیمار روی معمولی، منجر به افزایش مقدار روی در ریشه نمی‌شود. لیو و لال (۲۰۱۵) در پژوهش بیان کردند نانو ذرات اکسید روی (ZnO) یکی از پر کاربردترین نانو ذرات اکسید فلزی است، که در گیاهان باعث افزایش اجزای عملکرد به خصوص وزن دانه می‌شود.

واتس-ویلیامس (۲۰۱۴) نتایجی که در رابطه با سطوح و فعالیت آنزیم IAA پس از کاربرد نانو اکسید روی گزارش شده است، نشان می‌دهد که عناصر غذایی و فاکتورهای فیزیولوژیکی به تنهایی یا ترکیبی از آن‌ها می‌توانند به توضیح اثرات آن بر رشد گیاه کمک کنند. تحقیقات بیش تر برای تعیین سازوکارهای دقیقی که توسط آن کودهای عناصر غذایی کم مصرف رشد گیاه و سوخت و ساز آن را تحت تأثیر قرار می‌دهند، لازم است. ماستروناردی و همکاران (۲۰۱۵)، ژائو و همکاران (۲۰۱۳) در یک بررسی گلخانه‌ای گزارش کردند که کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم نانو ذرات اکسید روی

در خاک رشد خیار را افزایش داد. نتایج نشان داد که وزن خشک ریشه گیاه ۱۱۰ و ۱۶۰ درصد نسبت به شاهد بیش تر بود؛ اگرچه وزن خشک میوه‌ها افزایش کمی (۰/۶ و درصد) در مقایسه با شاهد داشتند. همچنین کاربرد نانو ذرات اکسید روی مقدار نشاسته، پروتئین و روی در میوه‌های خیار برداشت شده را افزایش داد. به علاوه، تأثیر مضر از نانو ذرات اکسید روی در رابطه با هیچ یک از پارامترهای رشد مشاهده نشد (ژائو و همکاران ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴) لین و ایکسینگ (۲۰۰۷) گزارش کردند که کاربرد دو میلی گرم بر لیتر نانو ذرات ZnO موجب افزایش طول جوانه‌های بذرهای تربچه و گیاه راپ در مقایسه با شاهد (که تنها با آب دیونیزه آبیاری شده بودند) شد و تیمار دو میلی گرم بر لیتر نانو ذرات فلزی روی، رشد دانه‌های علف چاودار را بهبود بخشید. استفاده از نانو ذرات روی در غلظت‌های بیش از حد بهینه اثر سمیت بر دانه‌ها داشت.

با این حال سمیت نانو ذرات اکسید روی در بسیاری از مطالعات در غلظت‌های بسیار بالای نانو ذرات روی (۴۰۰ تا ۲۰۰۰ میلی گرم بر لیتر) در گیاهان مشاهده شده است (لی و همکاران، ۲۰۱۰؛ لین و ایکسینگ، ۲۰۰۷؛ لویز مورنو و همکاران، ۲۰۱۰؛ ژائو و همکاران، ۲۰۱۴). حتی کاربرد ۱۰ میلی گرم بر لیتر نانو ذرات روی نیز برای نشان دادن اثرهای مفید بر رشد گیاهان بسیار زیاد است (لین و ایکسینگ، ۲۰۰۸)، چون بیش تر گیاهان فقط به ۰/۵ میلی گرم بر لیتر روی در محلول خاک برای رشد معمولی نیاز دارند، بنابراین، کاربرد سطوح بالای روی ممکن است منجر به سمیت در گیاه شود (لیو و لال، ۲۰۱۵). هرناندز-ویزکاس و همکاران (۲۰۱۱) با بررسی اثرات نانو ذرات اکسید روی بر کهور مخملی در ۱۵ روز کشت هیدروپونیک با استفاده از نانو ذرات اکسید روی نشان دادند که گیاهان روی را از نانو ذرات جذب کرده و آزمایشات بیوشیمیایی نشان داد که حضور ZnO موجب افزایش فعالیت آسکوربات پراکسیداز در ریشه، ساقه و برگها و کاتالاز تنها در برگها شد، هیچ مدرکی از کلروز، نکروز،

کوتولگی یا پژمردگی، حتی پس از ۳۰ روز از شروع آزمایش، مشاهده نشد که نشان می‌دهد که این گیاه نسبت به سطح معینی از نانو ذرات اکسید روی و روی آزاد شده از نانو ذرات متحمل است. عدم حضور نانو ذرات اکسید روی در بافت گیاه تایید شد ولی روی به شکلی حضور داشت که نشان دهنده تغییر Zn^{+2} شکل نانو اکسید روی پس از جذب توسط گیاه بود. مهاجان و همکاران (۲۰۱۱) از بستر رشد آگار برای بررسی تأثیر نانو ذرات ZnO بر رشد نوعی لوبیا و نخود استفاده و گزارش کردند که نانو ذرات ZnO بر سطح ریشه جذب سطحی شدند و جوانه‌ها نیز آنها را جذب کردند. همچنین آنان نشان دادند که گیاهان در غلظت ۲۰ میلی گرم در لیتر نانو ذرات اکسید روی بیشترین رشد را داشتند اما بعد از این غلظت رشد گیاهان کاهش یافت. بورمن و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از محلول پاشی تأثیر نانو ذرات ZnO را بر رشد و سیستم آنتی اکسیدانی جوانه‌های نخود مطالعه کردند. آنان دریافتند که غلظت‌های کمتر نانو ذرات ZnO ۱/۵ میلی گرم در لیتر تأثیر مثبتی بر رشد جوانه‌های نخود داشت. به علاوه، در جوانه‌ها تیمار شده با نانو ذرات ZnO زیست توده افزایش یافت که ممکن است به علت سطوح کمتر گونه‌های فعال اکسیژن به عنوان مثال مقدار کمتر مالون دی آلدئید باشد. پراسادا و همکاران (۲۰۱۰) نیز مشاهده کردند که رفتار نانو ذرات روی در غلظت‌های کمتر از ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر تأثیر مثبت بر گیاه بادام زمینی داشته است اما نشانه‌های سمیت را در غلظت‌های بالاتر ۲۰۰۰ میلی گرم در لیتر نشان داد که به معنی استفاده خیلی دقیق از آن است. به علاوه، آنان گزارش کردند طی آزمایشات مزرعه‌ای استفاده از نانو ذرات ZnO با غلظت ۱۵ برابر کمتر از $ZnSO_4$ عملکرد غلاف‌ها را ۲۹/۵ درصد افزایش داد. تأثیر نانو ذرات اکسید روی بر جوانه زنی، رشد و عملکرد بادام زمینی توسط پراسادا و همکاران (۲۰۱۲) ارزیابی شد، ایشان گزارش کردند کاربرد روی باعث افزایش در عملکرد و مقدار ماده خشک گیاه شد. کمری و سیدشریفی (۱۳۹۴) برای بررسی تأثیر نانو اکسید روی و تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد گیاه بر عملکرد و سرعت و طول دوره پر

شدن دانه تریتیکاله، آزمایشی در گلخانه اجرا کردند، نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد، اجزای عملکرد و سرعت و طول دوره پر شدن دانه با کاربرد یک گرم در لیتر نانو اکسید روی در تلقیح بذر با ازتوباکتر و کمترین آنها در عدم تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد و عدم محلول‌پاشی با نانو اکسید روی به دست آمد. آنان اذعان داشتند که استفاده از کودهای بیولوژیک و روی، روشی بسیار مناسب و ارزان برای افزایش عملکرد تریتیکاله است. از این رو، پیشنهاد کردند که برای افزایش عملکرد دانه و طول دوره پر شدن دانه، تلقیح بذر تریتیکاله با ازتوباکتر به همراه محلول‌پاشی یک گرم در لیتر نانو اکسید روی به کار برده شود.

سید شریفی و همکاران (۱۳۹۴) برای بررسی تأثیر تنش شوری و محلول‌پاشی با نانو اکسید روی بر عملکرد تک بوته و برخی خصوصیات مورفوفیزیولوژیک جو آزمایشی گلخانه‌ای اجرا کردند. نتایج نشان داد که بالاترین عملکرد تک بوته ۱/۲۲ گرم، طول دوره پر شدن دانه ۳۰/۶۷ روز، حداکثر وزن دانه ۰/۰۲۲۴ گرم، محتوای کلروفیل ۵۳/۲ میکرو گرم در گرم بافت تر و هدایت روزنه‌ای ۲۳/۷ میلی-مولار در متر مربع در ثانیه در محلول‌پاشی ۰/۷۵ گرم در لیتر نانو اکسید روی و عدم اعمال شوری و کمترین آنها در عدم محلول‌پاشی و بالاترین سطح شوری بود. نتایج آنان نشان داد که برای افزایش عملکرد در شرایط شور محلول‌پاشی ۰/۷۵ گرم در لیتر نانو اکسید روی مفید است. محلول‌پاشی و همکاران (۱۳۹۳) برای بررسی تأثیر شوری آب آبیاری و محلول‌پاشی کودهای نانو و کلات روی بر مؤلفه‌های فتوسنتزی ژنوتیپ‌های جو، آزمایشی مزرعه‌ای انجام دادند، تیمار نانوکود روی حداکثر و کلات روی حداقل هدایت روزنه‌ای را داشتند، هدایت مزوفیلی با سرعت فتوسنتزی همبستگی مثبت و معنادار و با صفت میزان کربن دی اکسید زیر روزنه‌ای، همبستگی منفی و معناداری داشت. آنان

مزیتی برای نانو کود اکسید روی بیان نکردند و نتایج فوق را به علت تغذیه گیاه با روی دانستند و تنها حسن این کود شاید استفاده از مقدار کمتر کود در مقایسه با شکل کلات روی بود.

سینگ و همکاران (۲۰۱۹) بیان کردند کاربرد روی به صورت نانو اثر بیشتری نسبت به حالت روی دارد در گیاهان به خصوص در افزایش میزان کلروفیل برگ. شجاعی و مکاریان (۱۳۹۳) برای بررسی اثرات محلول پاشی اکسید روی در دو اندازه نانو و غیر نانو بر عملکرد و اجزای عملکرد ماش تحت تأثیر کمبود آب آزمایشی انجام دادند. بر اساس نتایج این پژوهش، محلول پاشی روی به صورت نانو ذرات نسبت به اکسید روی معمولی تأثیر بیش تری بر کاهش اثرات تنش خشکی در گیاه ماش نشان داد. آنان ادعان داشتند که نانو ذره اکسید روی نسبت به اکسید روی معمولی، به دلیل ثبات و پایداری بالا، بیش تر در اختیار گیاه قرار گرفته و در تشکیل دانه بیش تر از غلاف مؤثر بوده است. در توجیه کارایی بهتر ذرات نانو اکسید روی نسبت به اکسید معمولی باید به ساختار نانو ذرات اشاره کرد، از آنجایی که ذرات نانو دارای ابعاد بسیار ریزی هستند لذا سطح ویژه بالایی دارند که این امر واکنش پذیری و تحرک بالاتری در گیاه ایجاد می کند و باعث می شود محلول کود روی با سرعت و همگنی بالاتر در گیاه توزیع شود، مجموعه این دلایل افزایش پارامترهای مؤثر در اجزای عملکرد را به دنبال دارد و به طور ویژه در شرایط وقوع تنش از گیاه در برابر آسیب های جدی محافظت می کند (علی نژاد، ۱۳۸۴؛ نایر و همکاران، ۲۰۱۰). کاکمک و همکاران (۲۰۱۶) بیان کردند استفاده از روی علاوه بر افزایش عملکرد گیاهان زراعی باعث افزایش کیفیت محصولات زراعی می شود که این امر اثر مهمی در سلامتی انسان-ها دارد.

پندی و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند که مصرف نانو ذرات اکسید روی از طریق افزایش سطح ایندول استیک اسید در ریشه نخود موجب افزایش رشد این گیاه گردید. با توجه به قطر نانو ذرات

انتظار می‌رود سرعت جذب، انتقال و تجمع ذرات نانو بسیار بیش تر از ذرات معمول باشد (ترابیان و زاهدی، ۱۳۹۲). بالا بودن کارایی جذب و سطح مخصوص ذرات نانو در مقایسه با ذرات معمول، اثرگذاری بیش تر این ذرات را می‌تواند توجیه کند (مونیکا و کرمونین، ۲۰۰۹). لذا، افزایش عملکرد تحت تأثیر محلول‌پاشی روی به‌خصوص از نوع نانو ذرات اکسید روی در شرایط تنش و عدم تنش دور از انتظار نبود (شجاعی و مکاریان، ۱۳۹۳). مالاندارکیس و همکاران (۲۰۱۹) بیان کردند یکی از دلایل اصلی افزایش عملکرد در گیاهان زراعی با استفاده از نانو کود روی افزایش مقاومت گیاهان در برابر پاتوزنها می‌باشد که از این طریق میزان عملکرد گیاه زراعی را افزایش می‌دهد. شفقت و همکاران (۲۰۱۹) در تحقیقی بیان کردند کاربرد روی به صورت نانو باعث کاهش سمیت کادمیوم می‌شود و از این طریق باعث افزایش عملکرد در گیاه برنج می‌شود. تانگ و همکاران (۲۰۱۹) نیز بیان کردند کاربرد روی باعث کاهش اثرات سمی عنصر سرب در گیاهان می‌شود.

۲-۵- عنصر روی و خشکی

از جمله مهم‌ترین مدیریت‌های زراعی، مدیریت آبیاری، کود و تراکم گیاهی در مزرعه می‌باشد که در این میان مدیریت آبیاری به‌طور پایدار موجب افزایش عملکرد گیاهان زراعی می‌شود (خان و همکاران، ۲۰۰۸). محققین در بررسی اثر کمبود آب بر عملکرد و صفات فیزیولوژیکی ارقام جو نشان دادند که بروز تنش کمبود آب موجب کاهش عملکرد دانه و اجزای عملکرد شد و کمبود آب موجب افزایش درجه حرارت داخل سایه‌انداز و کاهش میزان کلروفیل شده و اثر آبیاری روی کارایی فتوشیمیایی معنی‌دار بود (مامنویی و همکاران، ۲۰۰۶).

هم چنین محلول پاشی عنصر روی اثر مثبتی بر عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان داشت (توت و همکاران، ۲۰۰۵). محققین به این نتیجه رسیدند که محلول پاشی عنصر روی دو درصد، موجب افزایش عملکرد بادام زمینی و صفات کیفی آن شد (خان و همکاران، ۲۰۰۸). حد بحرانی عنصر روی در خاک- های زراعی در سه سطح کم، متوسط و زیاد به ترتیب کمتر از ۰/۵-۱/۱ و بیش از ۶ میلی گرم بر کیلوگرم خاک است (ملکوتی و تهرانی، ۲۰۰۱). غالباً در محلول پاشی عنصر روی از دو ترکیب رایج یعنی سولفات روی و کلات روی استفاده می شود که در این بین سولفات روی به علت ارزانتر بودن از اولویت بیشتری برخوردار است، محققین نشان دادند که بین اثر این دو منبع روی تفاوت معنی داری در گیاه زراعی مشاهده نشد و بنابراین می توان از سولفات روی ارزانتر به جای کلات روی استفاده کرد (پلگ و همکاران، ۲۰۰۸). کامران و همکاران (۲۰۱۹) بیان کردند استفاده از باکتری های حل کننده روی باعث افزایش در عملکرد گندم در شرایط خشکی و شرایط طبیعی در گیاه گندم می شود.

سالمی و همکاران (۲۰۰۶) گزارش نمودند که تنش آبی یکنواخت در طول فصل رشد سبب کاهش شاخص برداشت گیاهان زراعی شد. با کاهش میزان رطوبت خاک تحرک عنصر روی در محلول خاک کاهش یافته و با توجه محدودیت رشد ریشه، گیاه به طور مضاعفی با کمبود این عنصر مواجه خواهد شد. با انجام محلول پاشی کمبود این عنصر در گیاه جبران خواهد شد (بانک، ۲۰۰۴). نتایج آزمایش های مختلف نشان داده است که محلول پاشی عناصر ریزمغذی در گیاهان زراعی تاثیر قابل توجهی بر بهبود خصوصیات رویشی و همچنین عملکرد آفتابگردان دارد. بر اساس نتایج آزمایشی که روی گیاه آفتابگردان انجام شد، اثر دور آبیاری، کودهای ریز مغذی و اثر متقابل بین دور آبیاری و کودهای ریزمغذی بر عملکرد دانه معنی دار بود، طبق نتایج، مصرف ریزمغذی ها در شرایط بدون تنش تاثیر

بیشتری بر عملکرد دانه داشت، در عین حال تأثیر مثبت مصرف ریزمغذی‌ها بر عملکرد محصول در شرایط تنش خشکی بسیار امید بخش است (رحیم‌زاده و همکاران، ۲۰۱۰).

قاعدتاً در شرایط رطوبتی مناسب جذب و انتقال ریز مغذی‌هایی نظیر سولفات روی در گیاهان با سهولت بیشتری صورت گرفته و طبیعی است که در شرایط عدم تنش اثر محلول‌پاشی سولفات روی بر عملکرد بیشتر باشد، افزایش عملکرد با محلول‌پاشی کود روی علت‌های مختلفی می‌تواند داشته باشد که از آن جمله می‌توان به افزایش بیوسنتز اکسین در حضور عنصر روی، افزایش غلظت کلروفیل، افزایش فسفو اینول پیرووات کربوکسیلاز و ریبولوز بی فسفات کربوکسیلاز، کاهش تجمع سدیم در بافت‌های گیاهی و افزایش کارایی جذب نیتروژن و فسفر در حضور عنصر روی اشاره کرد (کریشما، ۱۹۹۵).

اغلب نتایج تحقیقات دیگر نیز حاکی از تأثیر منفی و معنی دار تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاهان زراعی به خصوص در دوره، گل دهی گیاه می‌باشد (حاج حسنی و همکاران، ۲۰۰۷؛ فلنت و همکاران، ۱۹۹۶). پژوهشگران به این نتیجه رسیدند که کمبود آب بعد از مرحله گل دهی به شدت رشد و نمو اندام‌های زایشی را تحت تأثیر قرار داده و باعث کاهش عملکرد دانه می‌شود (قلی‌نژاد و همکاران، ۲۰۰۸). اثر مثبت مصرف کودهای ریز مغذی همچنین بر عملکرد سایر گیاهان زراعی مثل کلزا، گلرنگ، کنجد و سویا توسط محققین دیگر گزارش شده است (گرنیت و همکاران، ۱۹۹۰؛ بایبوردی و همکاران، ۲۰۰۱؛ یاری و همکاران، ۲۰۰۵). در آزمایشی با استفاده از روش‌های مختلف مصرف سولفات روی در ارقام مختلف گندم مشاهده شد که مصرف سولفات روی نه تنها عملکرد را به طور قابل توجهی افزایش می‌دهد، بلکه غلظت این عنصر در دانه گندم نیز زیاد شد (یلماز و همکاران،

۱۹۹۷). این نتیجه با نتایج رحیم زاده و همکاران (۲۰۱۰) در مورد تأثیر مثبت مصرف کودهای ریز مغذی در شرایط تنش بر درصد روغن مطابقت دارد.

یکی از اثرات تنش خشکی برهم زدن تعادل تغذیه‌ای در گیاه است (لوپس و مکفالن، ۱۹۸۶) با مصرف کافی عناصر غذایی کم مصرف از طریق محلول‌پاشی می‌توان وضعیت رشد گیاه را در شرایط تنش بهبود بخشید. محلول‌پاشی روشی جایگزین جهت کاهش مصرف کودهای شیمیایی و خطرات محیطی آنهاست، با این روش عناصر ریزمغذی در زمان مناسب و کوتاه‌تری توسط گیاه جذب می‌شود، به عبارتی عناصر غذایی به طور مستقیم در اختیار شاخه، برگ و میوه گیاه قرار می‌گیرند (کنگرشاهی، ۲۰۰۳). تغذیه مناسب در زمان تنش می‌تواند تا حدی به گیاه در مقابله با تنش‌های مختلف محیطی کمک کند. در این راستا با مصرف کودهای محتوی عناصر ریز مغذی اولاً عملکرد گیاه افزایش می‌یابد، ثانیاً افزایش غلظت این عناصر در محصولات کشاورزی نقش مهمی در بهبود کیفیت مصرف غذایی دارد. تحقیقات نشان داده است کوددهی برگ‌ی یا محلول‌پاشی می‌تواند دسترسی گیاهان به عناصر غذایی را برای به دست آمدن عملکرد بالا تضمین کند (ملکوتی و تهرانی، ۲۰۰۰).

گونس و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که تنش خشکی در گیاه آفتابگردان منجر به کاهش غلظت روی برگ شد. کاهش شدید رشد ریشه تحت شرایط تنش خشکی مهم‌ترین دلیل کاهش جذب این عناصر در خاک توسط گیاه محسوب می‌شود (پایه گذار، ۲۰۰۸). افزایش غلظت فسفر بر اثر محلول‌پاشی با روی و آهن در پنبه (سیال و همکاران، ۲۰۰۵)، لوبیا (المصری و همکاران، ۲۰۰۲) و آفتابگردان (راوی و همکاران، ۲۰۰۸) نیز گزارش شد. پژوهشگران در پژوهشی روی پنبه بیان کردند که محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی (روی) غلظت پتاسیم را در برگ‌های پنبه افزایش داد (سیال و همکاران، ۲۰۰۵).

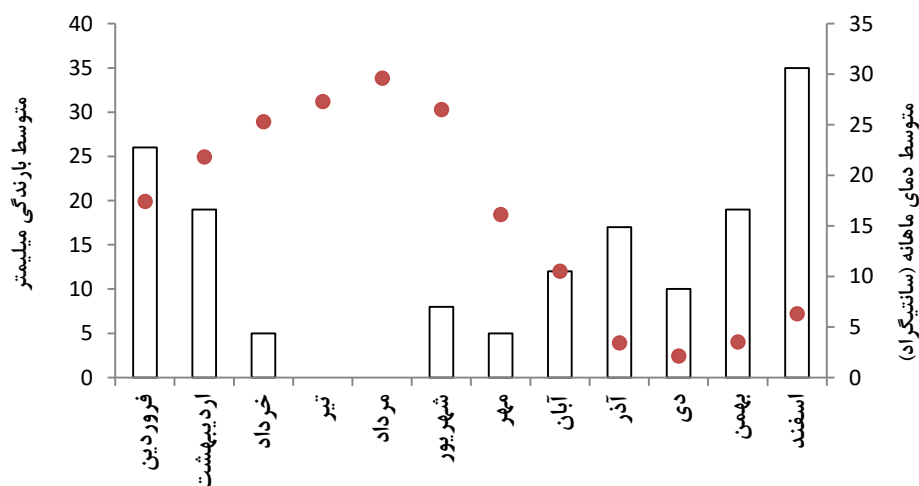
زهتاب و همکاران (۲۰۰۸) گزارش دادند که تیمار محلول پاشی با عناصر کم مصرف (آهن، روی و بور) باعث افزایش معنی دار عملکرد تر و خشک گیاه دارویی نعنای فلفلی نسبت به شاهد (عدم محلول پاشی) شد. وجود تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپها به وجود مکانیسمهای درگیر در داخل گیاه و نیز خاک مرتبط می باشد. برخی از ژنوتیپها دارای مکانیسمهایی برای جذب روی می باشند که جذب روی توسط گیاه در شرایطی که امکان دسترسی به روی موجود در خاک پایین باشد را فراهم می کند. این مکانیسمها افزایش روی قابل جذب در ناحیه ریزوسفر ریشه گیاه را با ترشح موادی از قبیل فیتوسیدروفورها و کاهش pH در منطقه ریزوسفر افزایش می دهند (حاجی بلند و همکاران، ۲۰۰۱؛ هارت و همکاران، ۱۹۹۸؛ رنجل، ۱۹۹۵). روی نقش حیاتی در فرآیندهای مختلف متابولیسم و فیزیولوژیکی در انسان بازی می کند و کمبود آن همراه با کمبود آهن زندگی تقریباً ۳ میلیارد انسان مخصوصاً در کشورهای در حال توسعه را تحت تاثیر قرار داده و باعث عدم سلامتی، کم خونی و افزایش میزان مرگ می شود (بویس، ۲۰۰۷، ولچ و گراهام، ۲۰۰۴).

فصل سوم

مواد و روش‌ها

۳-۱- زمان و مکان آزمایش

این پژوهش به منظور بررسی تاثیر محلول پاشی نانو ذره روی بر برخی صفات رشدی و عملکردی دانه سه رقم سورگوم تحت تنش کم آبیاری در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود واقع در بسطام اجرا شد. محل آزمایش از نظر موقعیت جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۵۷ دقیقه شرقی از نصف النهار گرینویچ واقع شده است. خاک مزرعه دارای بافت لوم رسی سیلتی می باشد. در شکل ۳-۱ اطلاعات متوسط دما و متوسط بارندگی در طی فصل انجام آزمایش نشان داده شده است، بر این اساس بیشترین مقدار بارندگی در اسفند ماه اتفاق افتاد و کمترین میزان بارندگی نیز در تیر و مرداد بود، همچنین اطلاعات هواشناسی نشان داد کمترین متوسط دما در دی ماه اتفاق افتاد و بیشترین دمای متوسط در مرداد ماه بدست آمد (شکل ۳-۱).



شکل ۳-۱- متوسط بارندگی (نمودار ستونی) و دما (نمودار نقطه‌ای) در سال ۱۳۹۸

۳-۲- طرح آزمایش

آزمایش به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش به شرح ذیل بود:

تیمار کم آبیاری: در دو سطح دور آبیاری ۱۰ روز و ۲۰ روز که در پلات های اصلی قرار گرفت.

و ترکیبی از فاکتورهای رقم سورگوم در سه سطح ارسک، اسپیدفید و پگاه با نام علمی *Sorghum bicolor*(L). Moench و محلول‌پاشی روی در سه سطح عدم کاربرد، کاربرد روی به دو فرم معمولی و نانوذرات در پلات های فرعی قرار گرفتند. میزان روی بکار رفته به هر دو صورت معمولی و نانو ذره با توجه به بروشور داخل جعبه، به میزان ۲ در هزار بود.

در مجموع ۱۸ تیمار و ۵۴ کرت آزمایشی هر کدام به مساحت ۱۲ متر مربع برای آزمایش در نظر گرفته شد.

۳-۳- مراحل انجام آزمایش

پس از آماده سازی (شخم با گاو آهن برگردان دار و دو دیسک عمود بر هم در زمین مورد نظر)، در تیر ماه ۱۳۹۸ در هر یک از کرت‌ها چهار ردیف کاشت با فاصله ردیف ۶۰ سانتی‌متر و به طول شش متر ایجاد شد. سپس اقدام به کاشت بذر سورگوم روی ردیف ها به فاصله ۱۰ سانتی متر شد. آبیاری اول بلافاصله پس از کاشت صورت گرفت و پس از جوانه زدن و مستقر شدن گیاه در زمین، آبیاری-های بعدی بر اساس تیمارهای آبیاری انجام شد (۱۰ و ۲۰ روز). در طول فصل رشد مبارزه با آفات و

بیماری‌ها به صورت مطلوب انجام شد، علف‌های هرز نیز در چند مرحله در طول فصل رشد به صورت دستی وجین شدند. محلول‌پاشی روی نیز در سه سطح (عدم کاربرد روی)، کاربرد روی به دو صورت معمول و نانو ذره روی به میزان ۲ در هزار (بر اساس توصیه شرکت سازنده روی بسته کودی) قبل از مرحله گلدهی انجام شد. محلول‌پاشی نیز توسط سمپاش موتوری پشتی شارژی با نازل تی‌جت در بعد از ظهر در زمان خنکی هوا انجام شد. کودهای نانو روی و روی معمولی از شرکت خضرا تهیه شد (۸ درصد با نسبت ۲ در هزار برای محلول‌پاشی). ارقام سورگوم اسپیدفید و پگاه از دفتر خدمات حمایتی کشاورزی سبز گیتا شاهرود تهیه شدند. رقم ارسک از شهر ارسک واقع در خراسان جنوبی تهیه شد.

۳-۴- اندازه‌گیری صفات

- ارتفاع، قطر ساقه و شاخص سطح برگ

در این آزمایش در زمان گرده افشانی ۵ عدد از بوته‌های سورگوم در هر کرت برداشت شد و پس از انتقال به آزمایشگاه و جدا کردن برگ‌ها، با استفاده از دستگاه سطح برگ سنج، سطح برگ اندازه‌گیری شد و پس از آن برگ‌ها در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و پس از ۴۸ ساعت وزن خشک برگ‌ها نیز با ترازوی با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. قطر ساقه از دو سانتیمتری بالای طوقه در تمام بوته‌ها به وسیله کولیس اندازه‌گیری شد. ارتفاع بوته در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک با استفاده از خط کش اندازه‌گیری شد.

- عملکرد دانه

در این آزمایش در مرحله رسیدگی بوته‌های دو متر مربع از هر کرت برداشت شد و پس از انتقال به آزمایشگاه و جدا کردن دانه‌ها وزن دانه‌ها با ترازوی با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد (فناپی و همکاران، ۱۳۸۱).

- اندازه‌گیری میزان کلروفیل برگ

جهت سنجش میزان کلروفیل از روش آرنون و سایرام (۲۰۰۲) استفاده گردید. برای این منظور ۰/۲۵ گرم وزن تر برگ که از برگ‌های کاملاً توسعه یافته فوقانی برداشت گردید با ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد در هاون چینی ساییده و هموژنیزه گردید. آنگاه در داخل لوله سانتیفریوژ ریخته و به مدت ۱۰ دقیقه با شدت ۶۰۰۰ دور در دقیقه در دمای ۱۸ درجه سانتی‌گراد سانتیفریوژ شد. فاز بالایی (شفاف) بعد از سانتیفریوژ برداشته و در داخل بالون ژوژه ۲۵ میلی‌لیتر ریخته شد و با استون ۸۰ درصد به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسید. سپس با اسپکتوفتومتر مدل S2000 UV/VIS در طول موج‌های ۴۸۰، ۵۱۰، ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر قرائت شد. میزان کلروفیل a و b و کاروتنوئید به ترتیب با استفاده از روابط ۱-۳، ۲-۳ و ۳-۳ محاسبه گردید. قبل از قرائت در این طول موج‌ها ابتدا با شاهد (استون ۸۰ درصد) صفر شد.

$$Chl_a = \frac{12}{7}(A_{663}) - \frac{2}{69}(A_{645}) \times \frac{V}{1000 \times W}$$

رابطه ۱-۳:

$$Chl_b = \frac{22}{9}(A_{645}) - \frac{4}{68}(A_{663}) \times \frac{V}{1000 \times W}$$

رابطه ۲-۳:

$$C = \frac{7}{6}(A_{480}) - \frac{1}{49}(A_{510}) \times \frac{V}{1000 \times W}$$

رابطه ۳-۳:

که در این روابط V حجم عصاره مصرف شده، W وزن نمونه و $Chla$ ، $Chlb$ و C به ترتیب غلظت کلروفیل a ، b و کاروتنوئید بر حسب (میلی گرم بر گرم وزن تر) می باشد.

- اندازه گیری نیتروژن دانه

جهت تعیین درصد نیتروژن از دستگاه کج‌دال (مدل Behr – D – 40599 Duss eld orf ساخت کشور آلمان) و روش شومان و همکاران (۱۹۷۳) استفاده شد.

در این روش ابتدا نمونه‌ها پودر شده و سپس به داخل دستگاه هضم همراه با کاتالیزور گذاشته شد و پس از هضم شدن نمونه‌ها آنها را به دستگاه تقطیر انتقال داده و بر اساس میزان اسید مصرفی درصد نیتروژن دانه محاسبه گردید (شومان و همکاران، ۱۹۷۳). پس از محاسبه نیتروژن دانه با استفاده از رابطه زیر درصد پروتئین دانه محاسبه شد.

$$\text{رابطه ۳-۴} \quad ۶/۲۵ \times \text{درصد نیتروژن دانه} = \text{درصد پروتئین دانه}$$

- اندازه گیری عملکرد علوفه خشک و تر

به منظور اندازه گیری عملکرد علوفه تر و خشک در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک از هر کرت دو متر مربع بوته‌های سورگوم برداشت شد و پس از انتقال به آزمایشگاه با ترازو وزن شد و وزن آن به عنوان عملکرد علوفه تر ثبت شد، پس از آن علوفه‌ها داخل آون به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و سپس در آزمایشگاه زراعت دانشکده مهندسی کشاورزی صنعتی شاهرود با ترازوی با دقت ۰/۰۱ گرم توزین شد و به عنوان عملکرد علوفه خشک ثبت شد.

- محتوای نسبی آب برگ (RWC)

در محاسبه محتوای نسبی آب برگ، پس از اعمال تنش سه برگ به طور تصادفی از هر کرت انتخاب و توسط قیچی جدا شد و داخل کیسه پلاستیکی قرار گرفت و کیسه های شماره گذاری شده درون یونولیت حاوی یخ قرار گرفتند (برگ ها نباید شکسته یا مچاله شوند). ابتدا وزن تر اولیه برگ ها اندازه گیری و بعد در داخل ظرف حاوی آب مقطر بمدت ۲۴ ساعت در یخچال دمای ۴ درجه قرار داده شد. سپس برگ ها را بیرون آورده و با کاغذ صافی خشک کرده و وزن آماس یافته تعیین و بمدت ۴۸ ساعت در آن ۷۰ درجه خشک شد و وزن خشک اندازه گیری شد (ریچ و نگوین، ۱۹۹۰). اعداد حاصل از توزین با ترازوی دارای دقت یک ده هزارم محاسبه شد. در این رابطه FW وزن تر برگ، DW وزن خشک برگ و SW وزن اشباع برگ است.

$$RWC = \frac{Fw - Dw}{Sw - Dw} \times 100$$

رابطه ۳-۵

- اندازه گیری پرولین

جهت استخراج و سنجش پرولین از روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) استفاده شد. بدین منظور مقدار ۰/۵ گرم از بافت برگ به همراه ۱۰ میلی لیتر اسید سولفوسالسیلیک ۳ درصد در هاون چینی ساییده و محلول حاصل توسط کاغذ صافی واتمن شماره دو صاف شد و از آن برای سنجش پرولین استفاده گردید. دو میلی لیتر از محصول حاصل با دو میلی لیتر معرف نین هیدرین و دو میلی لیتر اسید استیک گلاسیال در یک لوله آزمایش مخلوط شدند. لوله های آزمایش به مدت یک ساعت در حمام آب گرم ۱۰۰ درجه سلسیوس قرار گرفته و بلافاصله به ظرف حاوی یخ منتقل شدند تا واکنش خاتمه یابد و پس از آن به دمای اتاق منتقل شدند. سپس به محتویات داخل لوله آزمایش مقدار چهار میلی لیتر تولوئن افزوده و به میزان ۳۰ ثانیه توسط ورتکس به شدت مخلوط شدند. این عمل موجب دوفازه شدن محتویات لوله شد (فاز تولوئن رنگی حاوی پرولین در بالا و فاز آبی شفاف در پایین) پس

از مدت ۲۰ دقیقه، جذب نوری محلول فوقانی با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر اندازه‌گیری شد.

- اندازه‌گیری نشت الکترولیت‌ها (پایداری غشاء)

نفوذپذیری غشای برگ به وسیله هدایت الکتریکی از روش یان و همکاران (۱۹۹۶) تعیین شد. برای این منظور ۰/۲ گرم برگ تازه از هر تکرار را به دقت شسته و سپس به تکه‌های یک سانتی‌متری بریده و درون لوله‌های آزمایش به مدت ۳ ساعت در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد در حمام آب گرم قرار گرفت. پس از سه ساعت، هدایت الکتریکی محلول‌ها با استفاده از هدایت سنج الکتریکی مدل (PT-20) اندازه‌گیری شد. سپس لوله‌های آزمایش در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد در حمام آب گرم به مدت ۵ دقیقه جوشیدند. آنگاه برای بار دوم هدایت الکتریکی آنها پس از سرد شدن و رسیدن به دمای اتاق اندازه‌گیری شد. نشت الکترولیتی محلول‌ها با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید:

$$EC = \frac{C_1}{C_2} \quad \text{رابطه (۳-۶)}$$

که در این فرمول C_1 و C_2 به ترتیب هدایت الکتریکی محلول قبل و بعد از جوش می‌باشد.

- اندازه‌گیری میزان روی

برای اندازه‌گیری غلظت روی از روش سکبریا و همکاران (۲۰۱۱) استفاده شد به این ترتیب که گیاهان به قطعات کوچک تقسیم شده و دو مرتبه با آب دیونیزه شسته شدند؛ سپس نمونه‌ها در کاغذهای آلومینیومی پیچیده شده و برای ۲۴ ساعت در آون خشک شدند. از هر نمونه ۱/۲ گرم در ارلن‌های ۲۵۰ میلی لیتری ریخته شد؛ سپس ۲۵ میلی لیتر از HNO_3 ۶۵ درصد به نمونه‌ها اضافه

شد. نمونه‌ها بعد از گرما دادن به مدت ۲۴ ساعت در اسید قرار داده شدند. هضم با ظروف در باز در دمای ۲۵۰°C انجام گرفت تا زمانی که محتوای مایع ظروف بخار و تقریباً خشک شد. سپس ۵ میلی لیتر از پراکسید هیدروژن ۳۰ درصد برای تکمیل هضم به ارلن‌ها اضافه شد و مجدداً تا بخار شدن مایع حرارت دید. سپس دیواره ارلن‌ها با آب دیونیزه شسته شد و مخلوط تا جوشیدن حرارت دید. محتوای ظروف بعد از خنک شدن به ظروف استاندارد ۲۵ میلی لیتری منتقل و با آب دیونیزه به حجم رسانده شد. سپس برای اندازه گیری میزان روی از دستگاه جذب اتمی از Perkin- Elmer مدل 2380 استفاده شد.

۳-۵- تجزیه و تحلیل داده‌ها

در انتهای آزمایش تجزیه تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها نیز براساس آزمون LSD در سطح پنج درصد انجام شد. برای رسم شکل‌ها از نرم افزار Excel استفاده شد.

فصل چهارم

نتایج و بحث

۴-۱- صفات مورفولوژیکی

- ارتفاع

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس اثر کم آبیاری، روی و رقم در سطح یک درصد و اثر متقابل کم آبیاری و روی بر صفت ارتفاع بوته در سطح ۵ درصد معنی دار بود، اما سایر اثرات متقابل بر ارتفاع بوته سورگوم معنی دار نبودند (جدول ۴-۱).

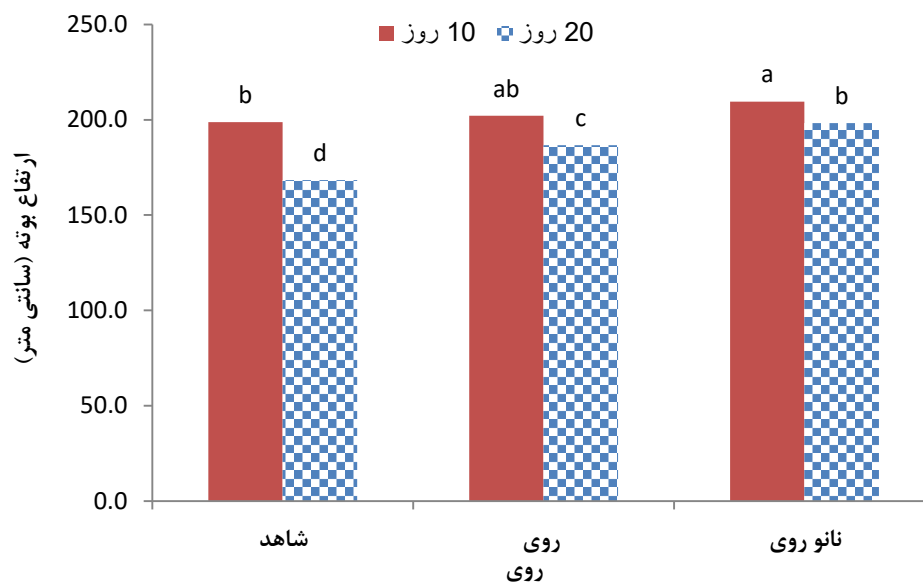
جدول ۴-۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) ارتفاع، قطر ساقه و شاخص سطح برگ سورگوم تحت تاثیر تیمارهای آزمایش

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع	قطر ساقه	شاخص سطح برگ
بلوک	۲	۹۵/۶ ns	۰/۰۲ ns	۰/۱۶
کم آبیاری	۱	۴۹۰۳/۸**	۰/۶۸**	۴۸/۱**
خطا	۲	۸۲/۳	۰/۰۲ ns	۲/۲۹
روی	۲	۱۸۶۷/۱**	۰/۲۵**	۱۱/۶۳**
رقم	۲	۹۲۳/۵**	۰/۱۱*	۳/۶۴ ns
کم آبیاری×روی	۲	۴۵۸/۹*	۰/۰۷*	۲۹/۹**
کم آبیاری×رقم	۲	۱۱۲/۲ ns	۰/۰۴ ns	۲/۵ ns
روی×رقم	۴	۱۹۹/۱ ns	۰/۰۰۳ ns	۰/۴۱ ns
کم آبیاری×روی×رقم	۴	۲۹/۷ ns	۰/۰۰۵ ns	۰/۳۶ ns
خطا	۳۲	۱۳۶/۸	۰/۰۲	۲/۶۸
CV (%)		۶/۰	۱۱/۱	۱۲/۹

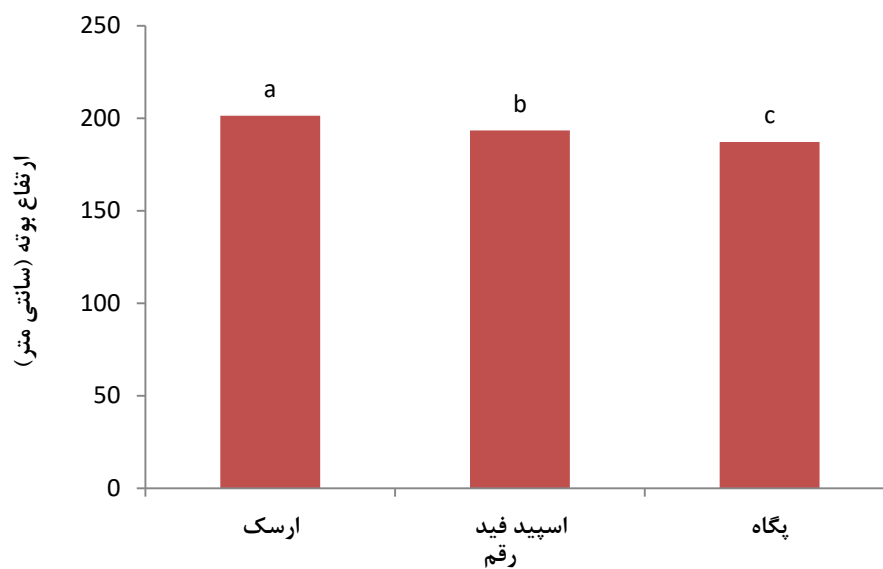
ns غیر معنی داری، * و ** به ترتیب معنی داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل کم آبیاری و روی بر ارتفاع بوته سورگوم، بیشترین ارتفاع بوته در تیمار کاربرد نانو روی و دور آبیاری ۱۰ روز بدست آمد که به میزان ۲۴/۴۸ درصد

نسبت به شاهد در دور آبیاری ۲۰ روز افزایش داشت. البته این تیمار با تیمار کاربرد روی در دور آبیاری ۱۰ روز در یک سطح آماری قرار داشت. کمترین ارتفاع بوته نیز در تیمار شاهد با آبیاری ۲۰ روز مشاهده شد که ۱۶۸/۳ سانتی متر بود (شکل ۴-۱)، نکته مهم در رابطه با ارتفاع بوته بر اساس نتایج شکل ۴-۱ این است که در تمام سطوح روی در ۱۰ روز آبیاری ارتفاع بوته بیشتر از ۲۰ روز آبیاری (تنش خشکی) بود که این امر نشان می‌دهند تنش خشکی باعث کاهش ارتفاع بوته سورگوم می‌شود (شکل ۴-۱). بر اساس نظر پژوهشگران تغذیه مناسب گیاهان زراعی می‌تواند تا حدی به گیاه در تحمل و کاهش آسیب تنش‌های محیطی کمک کند (تووالایی و همکاران، ۲۰۱۰). عنصر روی در افزایش سطح جذب به واسطه طولیل شدن ریشه و هم چنین تسهیل انتقال آب و عناصر غذایی در گیاه به دلیل افزایش قطر و تعداد آوندها نقش دارد که این امر باعث افزایش قطر ساقه و در مرحله بعد با افزایش جذب عناصر غذایی به خصوص نیتروژن باعث افزایش ارتفاع بوته می‌شود (خوشگفتارمنش و همکاران، ۲۰۰۱). همچنین در تحقیقات نشان داده شده است که شکل نانو روی بهتر از روی در گیاهان عمل می‌کند، در همین رابطه شجاعی و مکاریان (۱۳۹۳) برای بررسی اثرات محلول‌پاشی اکسید روی در دو اندازه نانو روی و روی بر عملکرد و اجزای عملکرد ماش تحت تأثیر کمبود آب آزمایشی انجام دادند. بر اساس نتایج این پژوهش، محلول‌پاشی روی به صورت نانو ذرات نسبت به اکسید روی معمولی تأثیر بیش تری بر کاهش اثرات تنش خشکی در گیاه ماش نشان داد. آنان اذعان داشتند که نانو ذره اکسید روی نسبت به اکسید روی معمولی، به دلیل ثبات و پایداری بالا، بیش تر در اختیار گیاه قرار گرفته و در افزایش ارتفاع بیشتر مؤثر بوده است.



شکل ۴-۱- مقایسه میانگین اثر متقابل روی و کم آبیاری بر ارتفاع بوته سورگوم



شکل ۴-۲- مقایسه میانگین اثر رقم بر ارتفاع بوته سورگوم

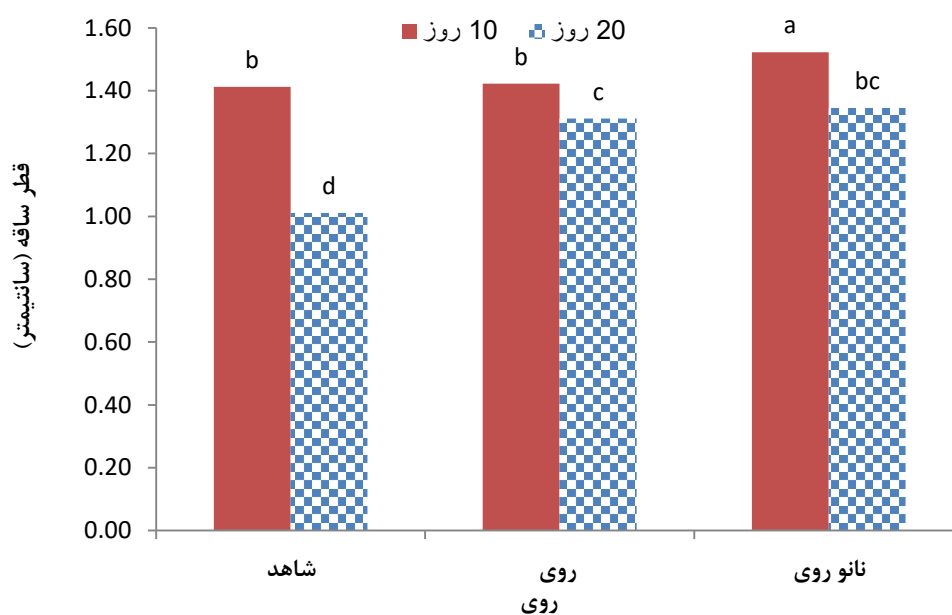
بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثر رقم بر ارتفاع بوته سورگوم، بیشترین ارتفاع بوته سورگوم در رقم ارسک با ارتفاع ۲۰۱ سانتی متر مشاهده شد و پس از رقم ارسک، رقم اسپیدفید دارای بیشترین

ارتفاع بوته بود و رقم پگاه دارای کمترین ارتفاع بوته در بین سه رقم مورد آزمایش بود (شکل ۴-۲). عربی و صفاری (۱۳۹۹) نیز بیان کردند ارقام مختلف سورگوم از نظر ارتفاع بوته اختلاف معنی‌داری بایکدیگر دارند که با نتایج این آزمایش همسو بود.

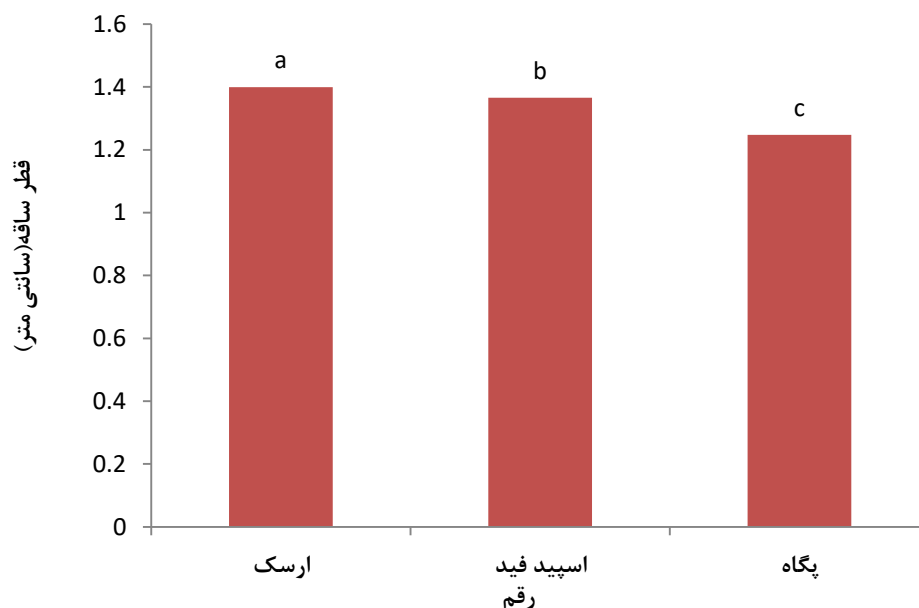
- قطر ساقه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر کم آبیاری (در سطح یک درصد)، روی (در سطح یک درصد)، رقم (در سطح پنج درصد) و اثر متقابل کم آبیاری و روی (در سطح پنج درصد) بر صفت قطر ساقه سورگوم معنی‌دار بود (جدول ۴-۱). بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل کم آبیاری و روی، تنش خشکی در تمام سطوح کاربرد روی باعث کاهش قطر ساقه شد (شکل ۴-۳)، بیشترین قطر ساقه در تیمار ۱۰ روز آبیاری و کاربرد روی به صورت نانو روی روی بدست آمد که برابر ۱/۵۲ سانتی‌متر بود و کمترین قطر ساقه در تیمار ۲۰ روز آبیاری و عدم کاربرد روی بدست آمد که برابر ۱/۰۱ سانتی‌متر بود، در هر دو شرایط ۱۰ روز آبیاری و ۲۰ روز آبیاری (تنش خشکی) بیشترین قطر ساقه در نانو روی پس از آن در روی معمولی و در مرتبه بعدی در شاهد مشاهده شد (شکل ۴-۳). بر اساس نظر پژوهشگران قطر ساقه صفت مهمی در غلات می‌باشد که باعث عدم ورس در این گیاهان شده و همچنین تا حدی مقاومت به آفات و بیماری‌ها را افزایش می‌دهد (خوشگفتارمنش و همکاران، ۲۰۰۱)، از آنجا که روی توانسته است باعث افزایش در قطر ساقه شود می‌تواند هم باعث کاهش ورس در گیاه سورگوم شود و هم باعث افزایش کود پذیری این گیاه در مزرعه شود و افزایش عملکرد علوفه خشک یا تر سورگوم را در مزرعه در پی داشته باشد (شکل ۴-۲۶ و ۴-۲۴). در واقع افزایش در جذب

روی باعث افزایش در جذب عناصر غذایی دیگر به خصوص نیتروژن می‌شود که این امر باعث افزایش طول بوته و قطر ساقه می‌شود که نتایج آزمایش حاضر نیز این موضوع را تایید کرد، بر این اساس پژوهشگران گزارش کردند روی با اثر بر جذب و غلظت سایر عناصر غذایی میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (کاکمک، ۲۰۰۰)، همچنین به علت نقش روی در تولید اکسین و آثار مثبت آن بر تقسیم میتوز و آنزیم‌های درگیر در فتوسنتز، باعث افزایش شاخص‌های رشدی در شرایط تنش‌های محیطی می‌شود (ویسانی و همکاران، ۲۰۱۰) که در این آزمایش نیز کاربرد روی باعث افزایش ارتفاع بوته و افزایش قطر ساقه شد.



شکل ۴-۳- مقایسه میانگین اثر متقابل کاربرد روی و کم آبیاری بر قطر ساقه سورگوم



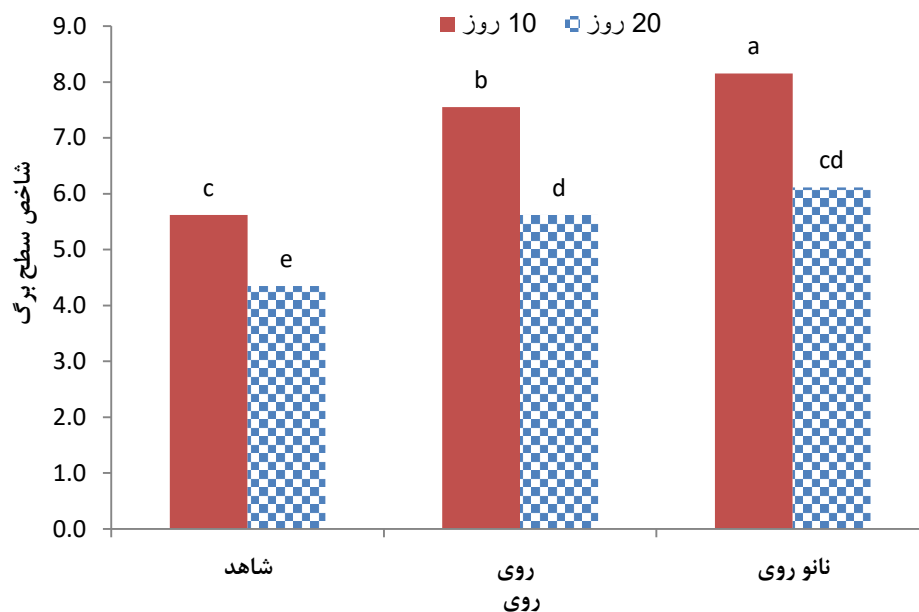
شکل ۴-۴- مقایسه میانگین اثر ساده رقم بر قطر ساقه سورگوم

نتایج این آزمایش همچنین نشان داد رقم ارسک نسبت به دو رقم دیگر مورد آزمایش دارای قطر ساقه بیشتر بود (۱/۳۹ میلی متر) و کمترین قطر ساقه در رقم پگاه مشاهده شد (شکل ۴-۴). عربی و صفاری (۱۳۹۹) نیز در تحقیق روی ارقام سورگوم بیان کردند ارقام مختلف سورگوم از نظر قطر و ارتفاع بوته اختلاف معنی داری دارند که پارامترهای محیطی نیز می تواند بر این صفات اثر گذار باشد و باعث تغییرات در آنها شود.

- شاخص سطح برگ

نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایش بر شاخص سطح برگ نشان داد، اثر کم آبیاری در سطح احتمال یک درصد، روی در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل کم آبیاری و روی در سطح احتمال یک درصد بر شاخص سطح برگ سورگوم معنی دار بودند و سایر اثرات متقابل و ساده اثر

معنی داری بر شاخص سطح برگ نداشتند (جدول ۴-۱). بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل روی و کم آبیاری بر شاخص سطح برگ، بیشترین شاخص سطح برگ در تیمار ۱۰ روز آبیاری و کاربرد فرم نانو روی مشاهده شد که برابر ۸/۱۵ واحد بود و کمترین شاخص سطح برگ در تیمار عدم کاربرد روی و ۲۰ روز آبیاری مشاهده شد و برابر ۴/۳۵ واحد بود (شکل ۴-۵)، بر اساس این نتایج باید بیان کرد در تمام سطوح روی افزایش دور آبیاری به ۲۰ روز باعث افت شدید در شاخص سطح برگ سورگوم شد اما با کاربرد روی میزان این افت کمتر بود، همچنین از طرف دیگر کاربرد روی در شرایط تنش کم آبیاری و عدم تنش (دور آبیاری ۱۰ روز) نیز باعث افزایش در شاخص سطح برگ سورگوم شد، بنابراین باید بیان کرد کاربرد روی چه به صورت نانو روی و چه به فرم معمولی آن در نهایت شاخص سطح برگ سورگوم را افزایش داده که این امر می‌تواند کمک بزرگی در بهبود رشد رویشی گیاه سورگوم باشد (شکل ۴-۵). روی به دلیل خصوصیتی که دارد باعث بهبود روابط متابولیکی در سلول می‌شود که این امر به خصوص در سلول‌های فتوسنتز کننده باعث افزایش در میزان فتوسنتز می‌شود، این افزایش در فتوسنتز در نهایت میزان مواد فتوسنتزی تولید شده را افزایش داده که باعث افزایش در رشد رویشی و میزان سطح برگ در گیاه می‌شود (زنگین، ۲۰۱۶). آدایکومار (۲۰۰۶) نیز بیان کردند کاربرد روی باعث افزایش رشد رویشی در گیاهان شده و نهایتاً افزایش سطح برگ را در پی دارد.



شکل ۴-۵- مقایسه میانگین اثر متقابل کاربرد روی و کم آبیاری بر شاخص سطح برگ سورگوم

۲-۴- رنگیزه‌های فتوسنتزی

- کلروفیل a

در جدول تجزیه واریانس اثر کم آبیاری، روی، رقم و اثر متقابل این عوامل بر صفت کلروفیل a نشان داده شده است (جدول ۲-۴). بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس اثر کم آبیاری (در سطح یک درصد)، روی (در سطح یک درصد)، رقم (در سطح پنج درصد) و اثر متقابل کم آبیاری و روی (در سطح پنج درصد) بر کلروفیل a معنی‌دار بود و سایر اثرات متقابل اثر معنی‌داری بر کلروفیل a نداشتند (جدول ۲-۴).

جدول ۴-۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) رنگیزه‌های فتوسنتزی
سورگوم تحت تاثیر تیمارهای آزمایش

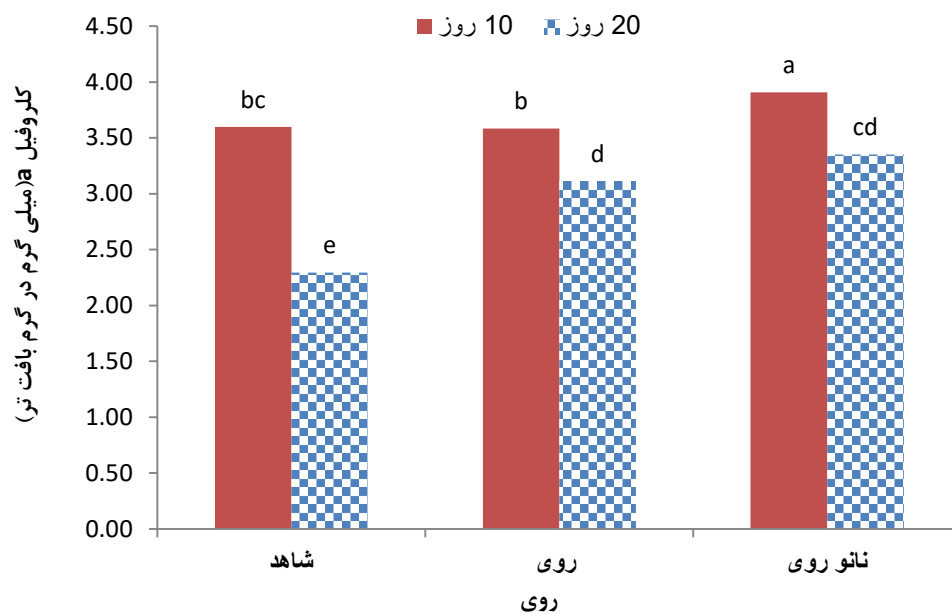
منابع تغییر	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کاروتنوئید
بلوک	۲	۰/۳۲ ns	۰/۰۰۸ ns	۰/۰۱۵ns
کم آبیاری	۱	۸/۱۲**	۰/۹۱**	۰/۶۴**
خطا	۲	۰/۲۰	۰/۰۲۵	۰/۰۵۵
روی	۲	۲/۱۲**	۰/۱۲*	۰/۰۵*
رقم	۲	۰/۸۹*	۰/۱۴*	۰/۰۳۸*
کم آبیاری×روی	۲	۰/۹۴ *	۰/۱۲*	۰/۰۵۹*
کم آبیاری×رقم	۲	۰/۲۰ ns	۰/۰۹ ns	۰/۰۱۲ ns
روی×رقم	۴	۰/۰۴ ns	۰/۰۲ ns	۰/۰۰۸
کم آبیاری×روی×رقم	۴	۰/۰۸ ns	۰/۰۰۴ ns	۰/۰۰۷ ns
خطا	۳۲	۰/۲۳	۰/۰۴۰	۰/۰۱۳
CV (%)		۱۴/۱	۱۵/۴	۱۴/۲

ns غیر معنی‌داری، * و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

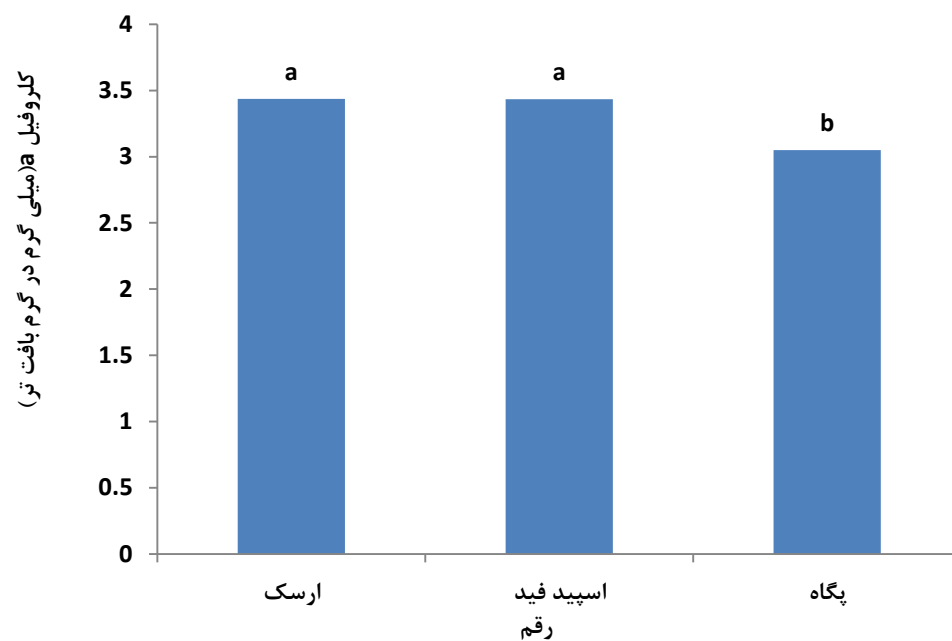
در شکل ۴-۶ نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل کم آبیاری و روی بر صفت کلروفیل a نشان داده شده است، کاربرد فرم نانو باعث افزایش معنی دار در مقدار کلروفیل a نسبت به شاهد شد، همچنین بر اساس نتایج مقایسه میانگین بیشترین میزان برای کلروفیل a در شرایط آبیاری ۱۰ و ۲۰ روز در هنگام کاربرد نانو روی بود که این امر نشان دهنده مطلوب تر بودن حالت نانو نسبت به فرم معمولی برای روی می‌باشد (شکل ۴-۶)، بیشترین میزان کلروفیل a، در شرایط ۱۰ روز آبیاری برابر ۳/۹۱ میلی‌گرم در گرم بافت تر بود که در کاربرد نانو روی مشاهده شد و در ۲۰ روز آبیاری نیز بیشترین مقدار کلروفیل a برابر ۳/۳۵ میلی‌گرم در گرم بافت تر بود (شکل ۴-۶). همانطور که مشاهده می‌شود در شرایط تنش (آبیاری ۲۰ روز) مقدار کلروفیل a به‌طور معنی داری کمتر از شرایط بدون تنش خشکی (آبیاری ۱۰ روز) می‌باشد، که این امر می‌تواند یکی از مهم‌ترین دلایل کاهش عملکرد ماده

خشک و عملکرد دانه در بوته‌های سورگوم باشد، زیرا بر طبق گفته پژوهشگران کلروفیل‌ها اصلی‌ترین اجزای فتوسنتز گیاه هستند و کاهش در آنها یا از بین رفتن آنها می‌تواند به شدت باعث کاهش در تولید ماده خشک شود و در نهایت عملکرد دانه را کاهش دهد (گورمانی و همکاران، ۲۰۱۵). عنصر روی دارای نقش مهمی در تعداد زیادی از واکنش‌های متابولیکی می‌باشد، عنصر روی، برای چندین آنزیم مانند آنهیدرات دهیدروژناز، اکسیداز و پراکسیداز به عنوان کوفاکتور عمل می‌کند و نیز از کلروپلاست‌ها محافظت می‌کند که این عمل باعث کاهش در تخریب کلروفیل‌ها طی تنش‌های محیطی می‌شود (گورمانی و همکاران، ۲۰۱۵؛ آیاد و همکاران، ۲۰۱۰).

همچنین سینگ و همکاران (۲۰۱۹) بیان کردند در گیاهان به خصوص در افزایش میزان کلروفیل برگ کاربرد روی به صورت نانو روی اثر بیشتری نسبت به فرم روی دارد. بر اساس نتایج شکل ۴-۷ اختلاف معنی‌داری از نظر میزان کلروفیل a در بین رقم‌های اسپیدفید و ارسک وجود نداشت اما میزان کلروفیل a در این ارقام به طور معنی‌داری از رقم پگاه بیشتر بود. کاظمینی و همکاران (۱۳۹۶) نیز بیان کردند بین ارقام مختلف سورگوم از نظر میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی اختلاف معنی‌داری وجود دارد و ارقامی که دارای رنگدانه‌های فتوسنتزی بیشتری هستند در نهایت عملکرد دانه بیشتری نیز دارند.



شکل ۴-۶- مقایسه میانگین اثر متقابل روی و آبیاری بر کلروفیل a



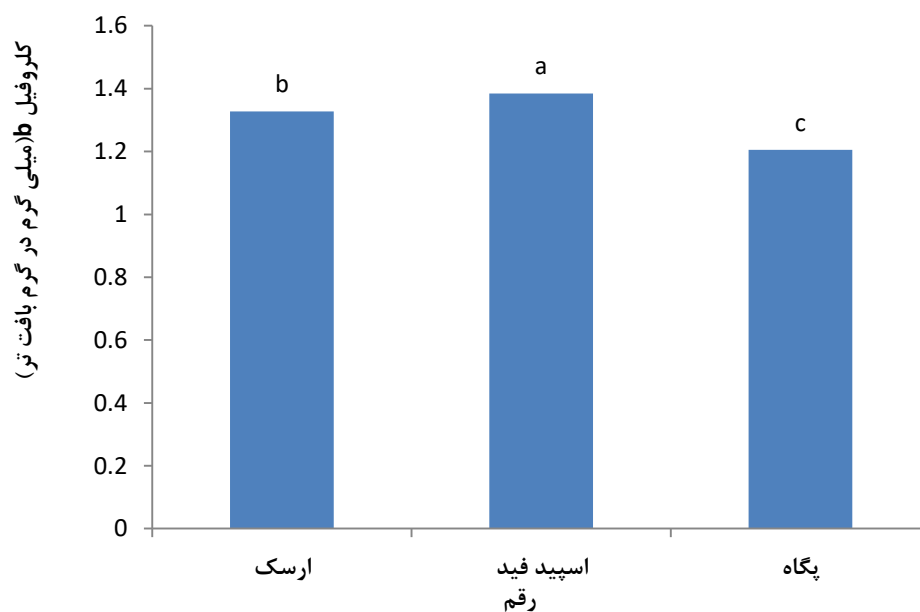
شکل ۴-۷- مقایسه میانگین اثر ساده رقم بر کلروفیل a

- کلروفیل b

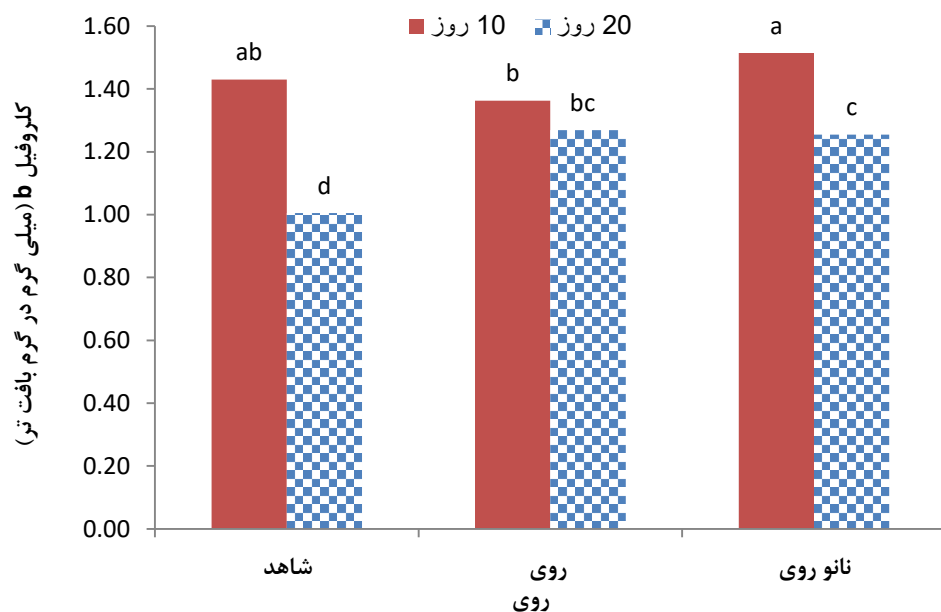
بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس همانند کلروفیل a اثر کم آبیاری (در سطح یک درصد)، روی (در سطح پنج درصد)، رقم (در سطح پنج درصد) و اثر متقابل آبیاری و روی (در سطح یک درصد) بر کلروفیل b معنی دار بود و سایر اثرات متقابل بر کلروفیل b معنی دار نبود (جدول ۴-۲). بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل کاربرد روی و کم آبیاری (شکل ۴-۸)، کاربرد روی به فرم نانو روی و معمولی در شرایط تنش کم آبیاری باعث افزایش در محتوی کلروفیل b برگ سورگوم نسبت به حالت شاهد شد، بر این اساس بیشترین میزان برای کلروفیل b در شرایط آبیاری ۲۰ روز در هنگام کاربرد نانو روی و روی بدست آمد که از نظر آماری اختلاف معنی داری با یکدیگر نداشتند (شکل ۴-۸). پژوهشگران بیان کرده‌اند روی در متابولیسم کربوهیدرات‌ها در گیاهان دخالت دارد، فعالیت آنزیم کربنیک آنهیدراز، به سرعت در اثر کمبود روی، کاهش می‌یابد، کربنیک آنهیدراز، در سیتوپلاسم و کلروپلاست تجمع می‌یابد و واکنش تبدیل CO_2 به بیکربنات و بالعکس را کاتالیز می‌کند که به فراهم شدن CO_2 برای فتوسنتز کمک می‌نماید، در گیاهانی که کمبود روی دارند، ساخته شدن پروتئین کاهش می‌یابد و انباشته شدن اسیدهای آمینه در این گیاهان نشان دهنده اهمیت عنصر روی در سنتز پروتئین است که باعث کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی به خصوص کلروفیل‌ها می‌شود (ابراهیمیان و بایبوردی، ۲۰۱۴). نتایج آزمایش حاضر نیز نشان داد با کاربرد روی میزان کلروفیل برگ در گیاه سورگوم افزایش پیدا می‌کند. همچنین بیان شده است عنصر روی از طریق محافظت از گروه سولفیدریل باعث سنتز کلروفیل می‌گردد، پورفووبیل ینوژن پیش ماده کلروفیل می‌باشد که برای تشکیل این ماده عناصر منیزیم و روی مورد نیاز است، در حضور عنصر روی، نهایتاً تشکیل و تکمیل کلروفیل تسهیل می‌گردد (بهتاش و همکاران، ۱۳۸۹). تاثیر عنصر روی در افزایش غلظت پروتئین

برگ و رنگیزه‌های فتوسنتزی توسط محققین بسیاری گزارش شده است (زنگین، ۲۰۱۶؛ آدایکومار، ۲۰۰۶).

نتایج مقایسه میانگین اثر ساده رقم بر کلروفیل **b** نیز نشان داد بیشترین مقدار برای کلروفیل **b** در رقم اسپیدفید مشاهده شد، پس از رقم اسپیدفید بیشترین مقدار کلروفیل **b** در رقم ارسک بدست آمد و کمترین مقدار برای کلروفیل **b** در رقم پگاه مشاهده شد (شکل ۴-۹). در تحقیقی گزارش شد تفاوت معنی‌داری بین ارقام سورگوم از نظر رنگدانه‌های فتوسنتزی وجود دارد (کاظمینی و همکاران، ۱۳۹۶).



شکل ۴-۸ - مقایسه میانگین اثر ساده رقم بر کلروفیل **b**



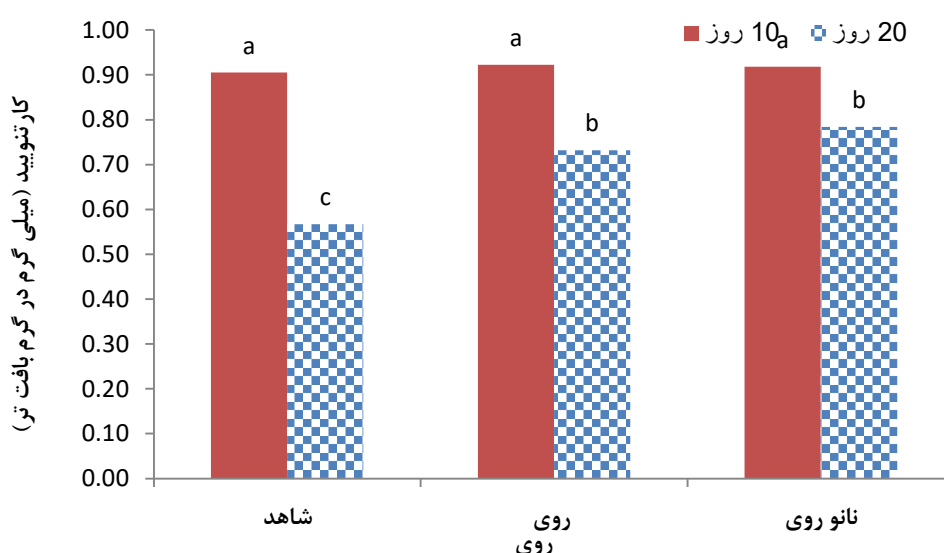
شکل ۴-۹- مقایسه میانگین اثر متقابل روی و کم آبیاری بر کلروفیل b

- کاروتنوئید

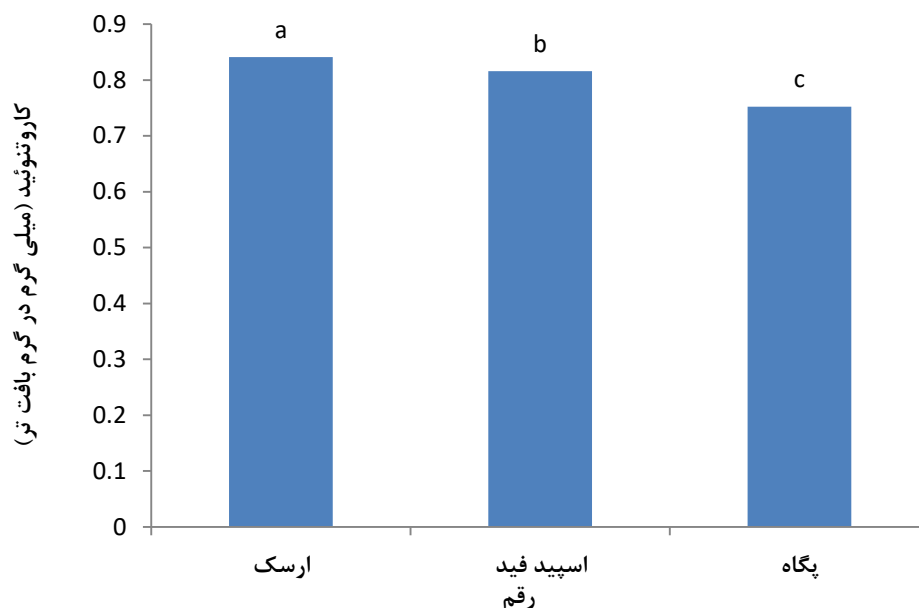
بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر کم آبیاری (در سطح یک درصد)، روی (در سطح پنج درصد) و اثر متقابل کم آبیاری و روی (در سطح پنج درصد) بر محتوی کاروتنوئید برگ سورگوم معنی دار بود، سایر اثرات متقابل بر میزان کاروتنوئید معنی دار نبود (جدول ۴-۲). در شکل ۴-۱۰ نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل روی و کم آبیاری بر محتوی کاروتنوئید برگ سورگوم نشان داد با کاربرد روی میزان کاروتنوئید برگ در شرایط کم آبیاری افزایش پیدا کرد اما در ۱۰ روز آبیاری اختلاف معنی داری بین سطوح کاربرد روی مشاهده نشد. در ۲۰ روز آبیاری بیشترین کاروتنوئید در هنگام کاربرد نانو روی (۰/۷۸ میلی گرم در گرم بافت تر) بدست آمد که البته با کاربرد فرم معمول آن تفاوت معنی داری نداشت و کمترین مقدار در تیمار شاهد مشاهده شد که برابر ۰/۵۷ میلی گرم در گرم بافت تر

بود (شکل ۴-۱۰)، همانند کلروفیل a مقایسه میانگین اثر ساده رقم بر میزان کاروتنوئید نشان داد بیشترین مقدار برای کاروتنوئید در رقم ارسک مشاهده شد که به طور معناداری از دو رقم دیگر بیشتر بود، پس از رقم ارسک بیشترین مقدار برای کاروتنوئید در رقم اسپیدفید بدست آمد و در نهایت کمترین مقدار برای کاروتنوئید در رقم پگاه مشاهده شد که نسبت به دو رقم دیگر به طور معنی داری کاروتنوئید کمتری داشت (شکل ۴-۱۱).

مهربان و همکاران (۱۳۹۱) در تحقیقی بیان کردند ارقام مختلف سورگوم به دلیل سیستم ریشه-ای متفاوت می توانند مقادیر مختلف از عناصر غذایی را از خاک جذب کرده به خصوص نیتروژن که این امر اثر معنی داری بر میزان رنگیزه های فتوسنتزی می گذارد و باعث تفاوت در محتوی کلروفیل ها و سایر رنگیزه ها در ارقام مختلف سورگوم می شود، نتایج آزمایش حاضر نیز نشان داد ارقام مختلف سورگوم از نظر میزان کلروفیل a، کلروفیل b و رنگیزه های فتوسنتزی دارای اختلاف معنی دار می باشند.



شکل ۴-۱۰- مقایسه میانگین اثر متقابل روی و کم آبیاری بر کاروتنوئید برگ سورگوم



شکل ۴-۱۱- مقایسه میانگین اثر رقم بر کاروتنوئید

بر اساس نظر پژوهشگران کمبود آب یک تنش اکسیداسیونی به شمار می‌رود چرا که باعث تولید اکسیژن فعال (ROS) (reactive oxygen species) در گیاه مخصوصاً در طی فتوسنتز می‌گردد (گودمن و نیوتن، ۲۰۰۵؛ لی و همکاران، ۲۰۰۴؛ سایرام و ساکسنا، ۲۰۰۱؛ سولوت و همکاران، ۲۰۰۴). در پژوهشی روی گیاه دارویی زیره سبز مشاهده شد که محلول پاشی آهن و روی توأم با تنش خشکی باعث افزایش میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، گایاکول پراکسیداز، پلی فنل اکسیداز و آسکوربات پراکسیداز و رنگیزه‌های فتوسنتزی شد، که با نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر مطابقت دارد (امیرنژاد و همکاران، ۲۰۱۵؛ پیوندی و همکاران، ۲۰۱۵). به نظر می‌رسد که کاهش عملکرد گیاه در شرایط تنش خشکی می‌تواند به دلیل کاهش سطوح فتوسنتز کننده، کاهش تولید کلروفیل، افزایش انرژی مصرفی گیاه جهت بالا بردن غلظت شیره سلولی، تغییر در مسیرهای تنفسی و فعال شدن مسیر پنتوز فسفات و یا افزایش حجم ریشه باشد (سری والی و همکاران، ۲۰۰۱). به طور کلی

بر اساس نتایج این آزمایش تنش خشکی باعث کاهش در محتوی رنگیزه‌های فتوسنتزی شد اما کاربرد روی توانست تا حدی اثرات مخرب خشکی را بر رنگیزه‌های فتوسنتزی جبران کند، همچنین بر اساس نتایج این آزمایش کاربرد نانو روی در شرایط نرمال باعث افزایش غیر معنی‌دار در مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی شد (شکل ۴-۶ و ۴-۸).

۴-۳- صفات فیزیولوژیک

- محتوای نسبی آب برگ

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس اثر کم آبیاری (در سطح یک درصد)، روی (در سطح یک درصد)، رقم (در سطح پنج درصد) و اثر متقابل کم آبیاری و روی (در سطح پنج درصد) بر صفت محتوای نسبی آب برگ در گیاه سورگوم معنی‌دار بود و سایر اثرات متقابل اثر معنی‌داری بر محتوای نسبی آب برگ سورگوم نداشتند (جدول ۴-۳).

جدول ۴-۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات پایداری غشاء، محتوای نسبی آب، پرولین سورگوم تحت تاثیر تیمارهای آزمایش

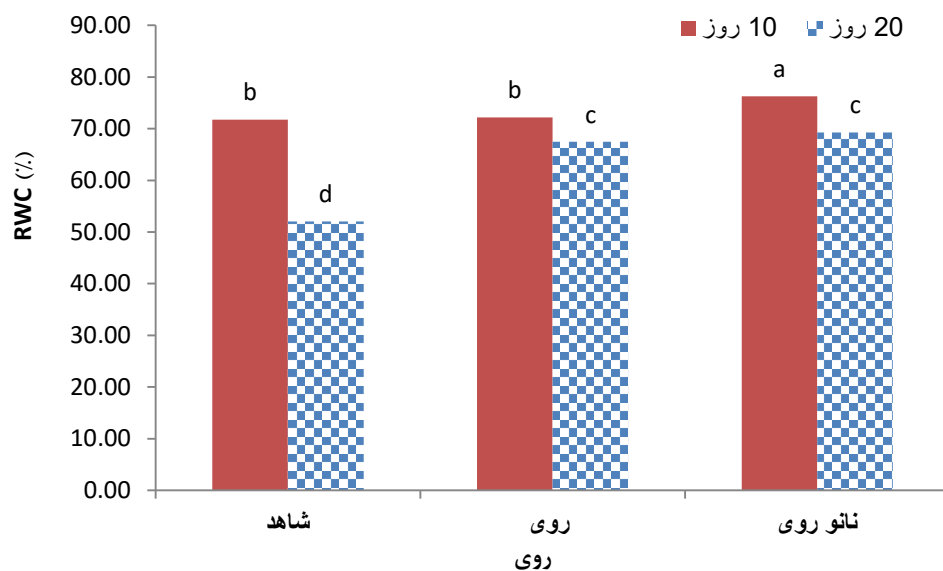
منابع تغییر	درجه آزادی	RWC	هدایت الکتریکی	پرولین
بلوک	۲	۶۳/۷	۱/۹۴	۰/۷۱
کم آبیاری	۱	۱۴۸۵/۲**	۳۷۳/۴**	۱۴/۱**
خطا	۲	۶۴/۷	۱۱/۶	۰/۰۱
روی	۲	۵۶۸/۲**	۳۶/۸*	۳/۵۱*
رقم	۲	۲۷۱/۳*	۷۱/۶**	۰/۸۷
کم آبیاری×روی	۲	۲۹۲/۸*	۱۴۸/۲**	۷/۳۳**
کم آبیاری×رقم	۲	۱۱۴/۴ns	۱۵/۵ ns	۰/۱۲ ns
روی×رقم	۴	۱۰/۴ ns	۰/۴۵ ns	۰/۵۱ ns

کم آبیاری×روی×رقم	۴	۱۳/۴ ns	۲/۸۳ ns	۰/۳۰ ns
خطا	۳۲	۷۳/۷	۱۲/۹	۱/۳۶
CV (%)		۱۲/۵	۱۲/۲	۱۰/۰

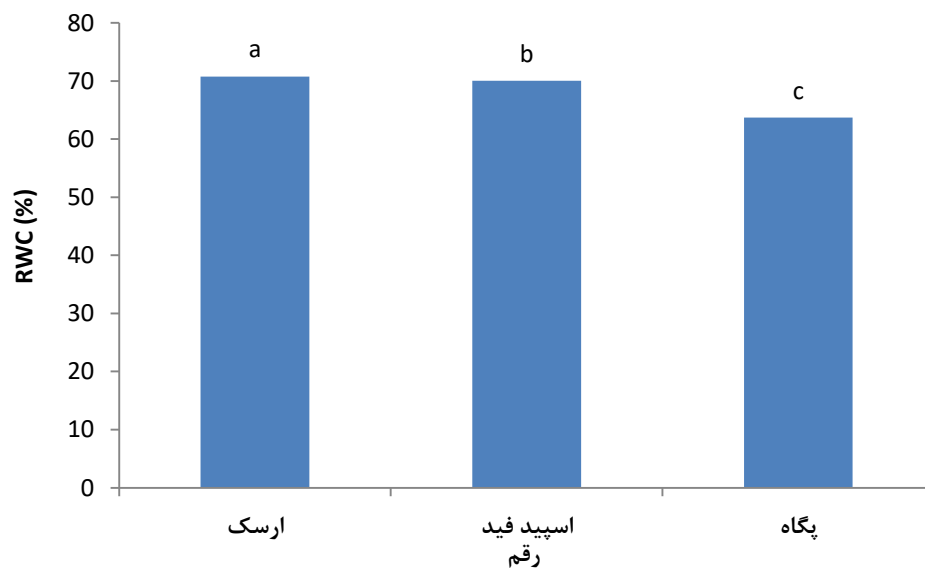
ns غیر معنی داری، * و ** به ترتیب معنی داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل روی و کم آبیاری بر صفت محتوای نسبی آب برگ در شکل (۴-۱۲) نشان داده شده است بر اساس نتایج بدست آمده دامنه تغییرات درصد محتوای نسبی آب برگ بین ۷۶/۲ الی ۵۲ درصد بود که اختلاف بسیار زیادی را نشان داد، بیشترین درصد محتوای نسبی آب برگ سورگوم در تیمار ۱۰ روز آبیاری و کاربرد نانو روی مشاهده شد و کمترین درصد محتوای نسبی آب برگ سورگوم در تیمار ۲۰ روز آبیاری و شاهد بدست آمد (شکل ۴-۱۲)، به طور کلی روند تغییرات درصد محتوای نسبی آب برگ در شکل (۴-۱۲) نشان داد که تنش خشکی (آبیاری ۲۰ روز) باعث کاهش در درصد محتوای نسبی آب برگ در تمام سطوح روی می شود، نکته مهم این است که کاربرد روی چه به فرم معمولی و چه به صورت نانو باعث اثر کمتر تنش خشکی بر درصد محتوای نسبی آب برگ می شود و این امر نشان دهنده آن است که روی می تواند باعث حفظ آب برگ گیاه شود (شکل ۴-۱۲). رزمی و همکاران (۱۳۸۶) بیان کردند محتوای نسبی آب برگ یکی از فاکتورهای مهم در فرایند تحمل به تنش خشکی می باشد و هر عاملی که باعث افزایش محتوای نسبی آب برگ شود در نهایت مقاومت گیاه به تنش خشکی را افزایش می دهد، در آزمایش حاضر به دلیل افزایش در محتوای نسبی آب برگ با کاربرد روی می توان بیان کرد کاربرد روی یک از عواملی هست که باعث افزایش در مقاومت گیاه به تنش خشکی می شود. همچنین این محققین بیان کردند بین رقم های مختلف سورگوم از نظر محتوای نسبی آب برگ اختلاف معنی داری وجود دارد که این امر نیز می تواند در مقاومت به خشکی ارقام مختلف تاثیر گذار باشد (رزمی و همکاران، ۱۳۸۶)، نتایج آزمایش حاضر

نیز نشان داد رقم ارسک به طور معنی‌داری نسبت به دو رقم دیگر اسپیدفید و پگاه دارای محتوی نسبی آب بیشتری بود (شکل ۴-۱۳).



شکل ۴-۱۲- مقایسه میانگین اثر متقابل روی و کم آبیاری بر درصد محتوای نسبی آب برگ سورگوم



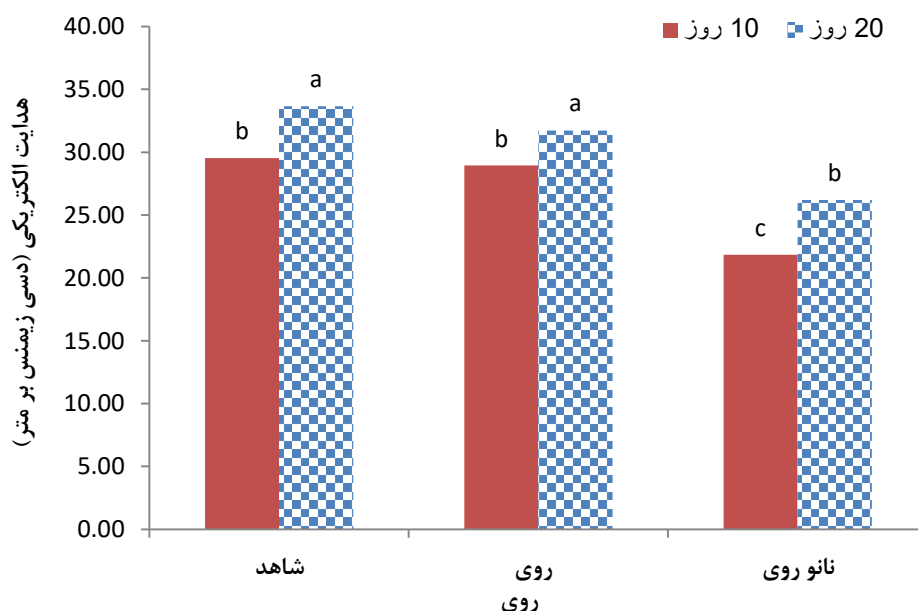
شکل ۴-۱۳- مقایسه میانگین اثر ساده رقم بر درصد محتوای نسبی آب برگ سورگوم

- نشت الکترولیت‌ها (هدایت الکتریکی)

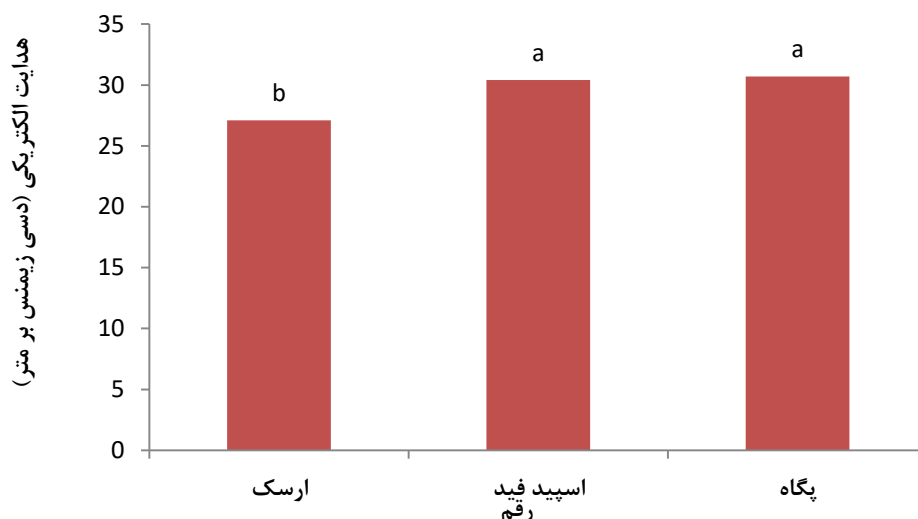
بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس اثر کم آبیاری (در سطح یک درصد)، روی (در سطح پنج درصد) و اثر متقابل کم آبیاری و روی (در سطح یک درصد) بر هدایت الکتریکی برگ سورگوم معنی دار بود (جدول ۳-۴). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل روی و کم آبیاری بر نشت الکترولیت‌ها یا پایداری غشاء نشان داد که رابطه درصد محتوای نسبی آب برگ و پایداری غشاء کاملاً عکس یکدیگر می‌باشد که این امری بدیهی است (گلزردی و همکاران، ۲۰۱۷)، به عبارت دیگر در هنگام کاربرد روی کمترین نشت الکترولیت‌ها از سلول صورت گرفته که باعث افزایش در درصد محتوای نسبی آب برگ سورگوم شده است از طرف دیگر در تیمار شاهد یا عدم کاربرد روی افزایش در نشت الکترولیت‌ها باعث کاهش درصد محتوای نسبی آب برگ شده است (شکل ۴-۱۴)، بیشترین نشت الکترولیت‌ها در تیمار ۲۰ روز آبیاری و عدم کاربرد روی مشاهده شده که برابر $30/71$ دسی زیمنس بر سانتی‌متر بود و کمترین نشت الکترولیت‌ها در تیمار ۱۰ روز آبیاری و کاربرد نانو روی بدست آمد که برابر $21/83$ دسی زیمنس بر سانتی‌متر بود (شکل ۴-۱۴). بر اساس نظر پژوهشگران بخش وسیعی از مطالعات به نژادی و به زراعی در دنیا بر اصلاح و واکنش گیاهان به تنش خشکی متمرکز شده است (خلیلی و همکاران، ۱۳۸۹)، از جمله رویدادهای مهم بیوشیمیایی گیاهان در شرایط تنش خشکی، تغییرات به صورت کاهش و یا افزایش پروتئین، RWC، قند محلول، پرولین و کلروفیل در برگ می‌باشد (سیلسپور و همکاران، ۱۳۸۸). در میان ریز مغذی‌ها عنصر روی، نقش مهمی در متابولیسم RNA محتوای ریبوزوم‌ها در سلول‌های گیاهی دارد که منجر به تحریک متابولیسم کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها و DNA می‌شود که در نهایت تولید اسید آمینه‌هایی مانند پرولین را در شرایط تنش‌های محیطی بهبود می‌بخشد (آیاد و همکاران، ۲۰۱۰). عنصر روی، یکی از اجزای ضروری آنزیم

RNA پلی مرز است و در هر مولکول این آنزیم دو اتم روی وجود دارد و اگر روی برداشته شود آنزیم غیر فعال می‌شود، بدون عنصر روی، ریبوزوم ها و پروتئین‌ها از هم پاشیده می‌شوند، که این امر موجب افزایش نشت الکترولیت‌ها می‌شود، اما با مصرف آن ساختمان آنها به حالت اول بر می‌گردد. روی، از طریق اتصال به گروه سولفیدریل باعث استحکام آنزیم ها، پروتئین ها و ساختمان چربی غشای سلول می‌شود، در واقع همین عمل روی هست که در گیاهان باعث افزایش در محتوی نسبی آب و کاهش نشت الکترولیت‌ها می‌شود (بهتاش و همکاران، ۱۳۸۹).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثر رقم بر هدایت الکتریکی ارقام مختلف سورگوم، رقم ارسک نسبت به دو رقم دیگر مورد مطالعه دارای هدایت الکتریکی کمتر بود که این امر رقم ارسک را نسبت به دو رقم دیگر از نظر میزان نشت الکترولیت‌ها مطلوب‌تر نشان می‌دهد (جدول ۴-۱۵). نتایج این آزمایش با نتایج آزمایش رزمی و همکاران (۱۳۸۶) همسو بود.



شکل ۴-۱۴- مقایسه میانگین اثر متقابل روی و کم آبیاری بر هدایت الکتریکی برگ

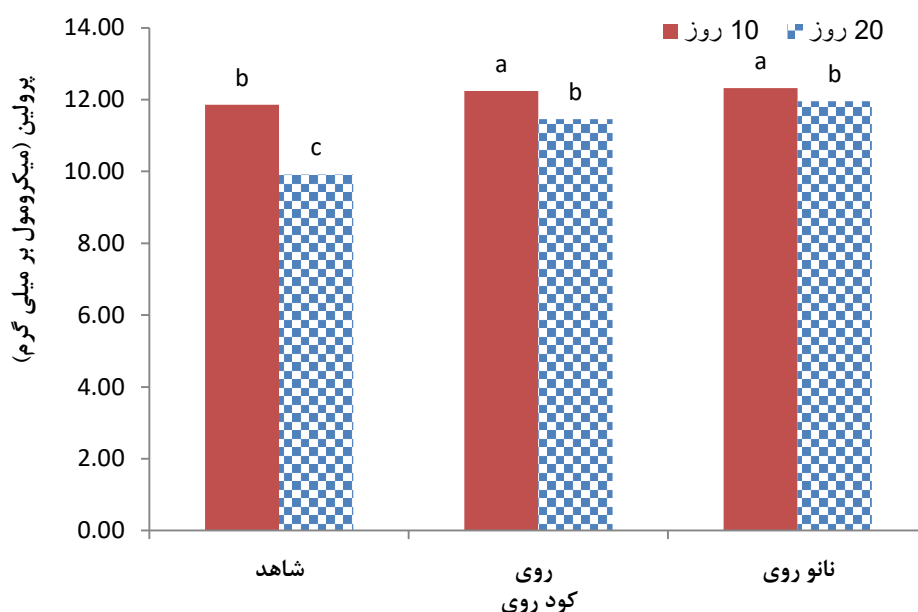


شکل ۴-۱۵- مقایسه میانگین اثر ساده رقم بر هدایت الکتریکی برگ

- پرولین

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس اثر روی (در سطح پنج درصد)، اثر کم آبیاری و اثر متقابل کم آبیاری و روی بر محتوی پرولین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و سایر اثرات متقابل بر محتوی پرولین معنی‌دار نبود (جدول ۴-۳). در رابطه با پرولین نیز بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل کم آبیاری و روی، با کاربرد روی مقدار پرولین نسبت به حالت شاهد افزایش پیدا کرد این امر در شرایط ۱۰ روز آبیاری بین کاربرد نانو روی و شاهد برابر ۳/۷۶ درصد بود اما در شرایط ۲۰ روز آبیاری این مقدار برابر ۱۷/۰ درصد بود (شکل ۴-۱۶)، این امر نشان دهنده آن است که در شرایط تنش (۲۰ روز آبیاری) تاثیر کاربرد روی بر تولید پرولین بسیار بیشتر از شرایط طبیعی (۱۰ روز آبیاری) می‌باشد، در واقع کاربرد روی در شرایط تنش باعث تولید بیشتر پرولین که یکی از مهم‌ترین اسمولیت‌ها و فاکتورهای مقاومت به تنش می‌باشد، شده است و با تولید بیشتر پرولین گیاه بیشتر می‌تواند در برابر خشکی مقاومت کند. بیشترین مقدار پرولین در تیمار ۱۰ روز آبیاری و نانو روی

مشاهد شد (۱۳/۳۲ میکرومول بر میلی گرم بافت تر) که البته با کاربرد فرم معمولی (روی) آن در همین دور آبیاری از نظر آماری تفاوت معنی داری نداشت و کمترین مقدار پرولین در تیمار ۲۰ روز آبیاری و عدم کاربرد روی مشاهده شد که برابر ۹/۹۲ میکرومول بر میلی گرم بافت تر بود (شکل ۴-۱۶).



شکل ۴-۱۶- مقایسه میانگین اثر متقابل روی و کم آبیاری بر پرولین برگ

افزایش محتوای پرولین برگ، به عنوان شاخص تنش‌های محیطی پذیرفته شده است، عناصر سنگین، منجر به تجمع پرولین در برگ می‌شوند، پیشنهاد شده است که تجمع پرولین در بافت‌های گیاهی به علت کاهش تنزل پرولین، افزایش بیوسنتز پرولین، کاهش سنتز پروتئین یا کاربرد پرولین و هیدرولیز پروتئین‌ها می‌باشد، که در شرایط تنش‌های محیطی به خصوص خشکی و شوری باعث تنظیم اسمزی سلول می‌شوند (زنگین، ۲۰۱۶). اثرات تنظیم کننده اسمزی پرولین در توازن آب و

تحميل خشکی در گیاهان زراعی مختلف و افزایش محتوی نسبی آب با افزایش پرولین در تحقیقات مختلف نشان داده شده است (حیدری و معاونی، ۲۰۰۹؛ محمدخانی و حیدری، ۲۰۰۸).

۴-۴- صفات کیفی

- پروتئین

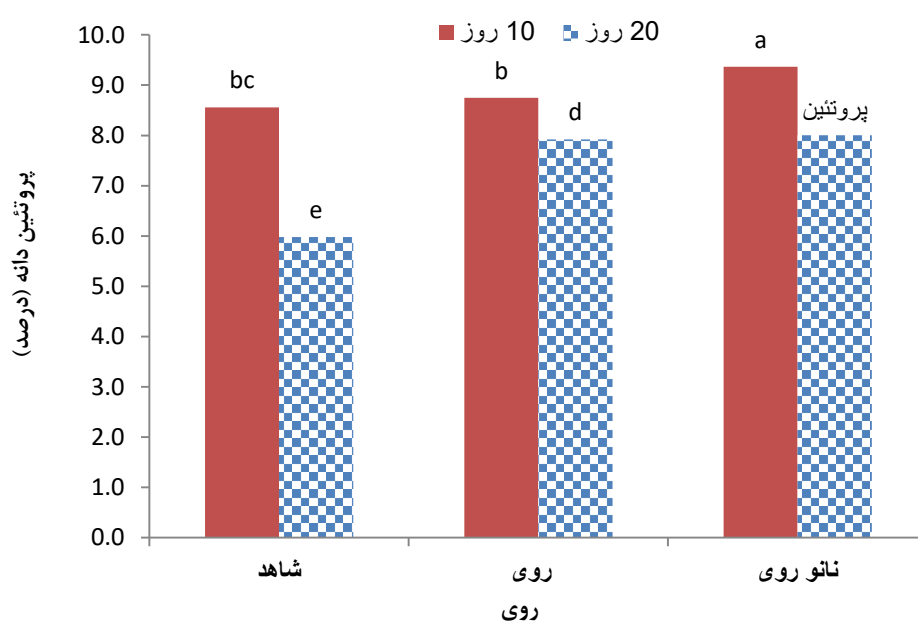
نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایش بر پروتئین دانه و برگ نشان داد، که اثر کم آبیاری (در سطح یک درصد)، روی (در سطح یک درصد) و اثر متقابل روی و کم آبیاری (در سطح یک درصد) بر پروتئین دانه معنی دار می باشد، اما پروتئین برگ تنها تحت تاثیر کم آبیاری و روی (در سطح یک درصد) قرار گرفت (جدول ۴-۴).

جدول ۴-۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات پروتئین دانه و پروتئین برگ سورگوم تحت تاثیر تیمارهای آزمایش

منابع تغییر	درجه آزادی	پروتئین دانه	پروتئین برگ
بلوک	۲	۰/۰۹	۱/۶۸
کم آبیاری	۱	۳۳/۷**	۳۴/۸۸**
خطا	۲	۱/۹۸	۰/۷۸
روی	۲	۹/۵**	۱۳/۲۶**
رقم	۲	۴/۵ ns	۴/۶۹ ns
کم آبیاری×روی	۲	۳۳/۵**	۴/۲۸ ns
کم آبیاری×رقم	۲	۱/۳ ns	۰/۷۷ ns
روی×رقم	۴	۰/۱۲ ns	۰/۲۶ ns
کم آبیاری×روی×رقم	۴	۰/۱۵ ns	۰/۳۴ ns
خطا	۳۲	۱/۴۳	۲/۴۵
CV (%)	-	۱۴/۷	۱۹/۵

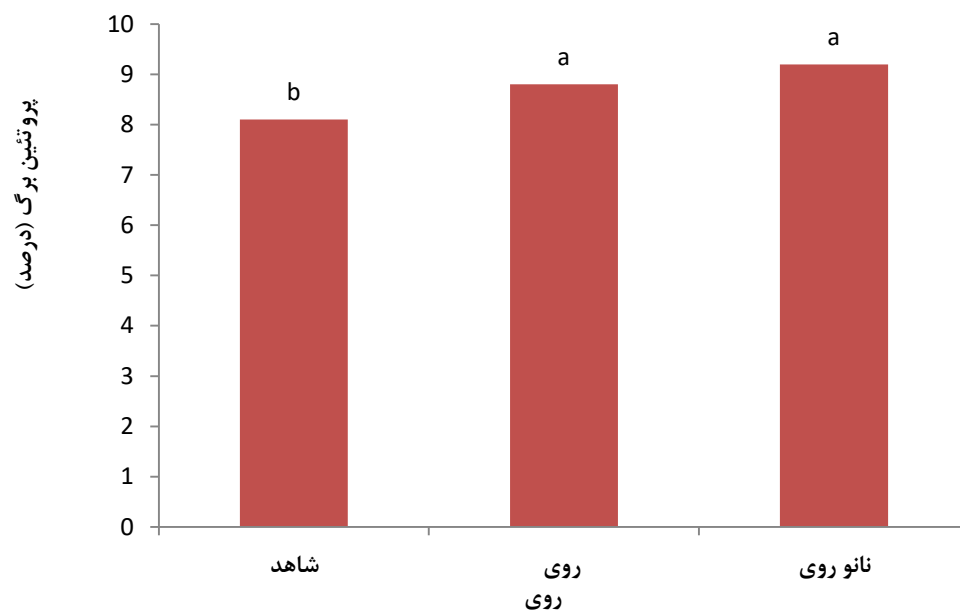
ns غیر معنی داری، * و ** به ترتیب معنی داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل کم آبیاری و روی بر درصد پروتئین دانه نشان داد که، با کاربرد فرم نانو و معمولی روی در شرایط تنش (آبیاری ۲۰ روز) و کاربرد فرم نانو روی در شرایط طبیعی (آبیاری ۱۰ روز) درصد پروتئین دانه افزایش معنی داری نسبت به شاهد پیدا کرد، بیشترین درصد پروتئین دانه در شرایط آبیاری ۱۰ روز در هنگام کاربرد نانو روی مشاهده شد که برابر ۹/۳۶ درصد بود، اما در شرایط ۲۰ روز آبیاری بین کاربرد فرم نانو و معمولی روی اختلاف معنی داری از نظر پروتئین دانه مشاهده نشد اما نسبت به عدم کاربرد روی به طور معنی داری افزایش یافت، میزان کاهش درصد پروتئین دانه از کاربرد نانو روی تا عدم کاربرد روی در ۱۰ و ۲۰ روز آبیاری به ترتیب برابر ۳/۷۳ و ۱۷ درصد بود، این امر نشان دهنده آن است که کاربرد روی در شرایط تنش می تواند بر درصد پروتئین دانه سورگوم تاثیر بیشتری داشته باشد (شکل ۴-۱۷).

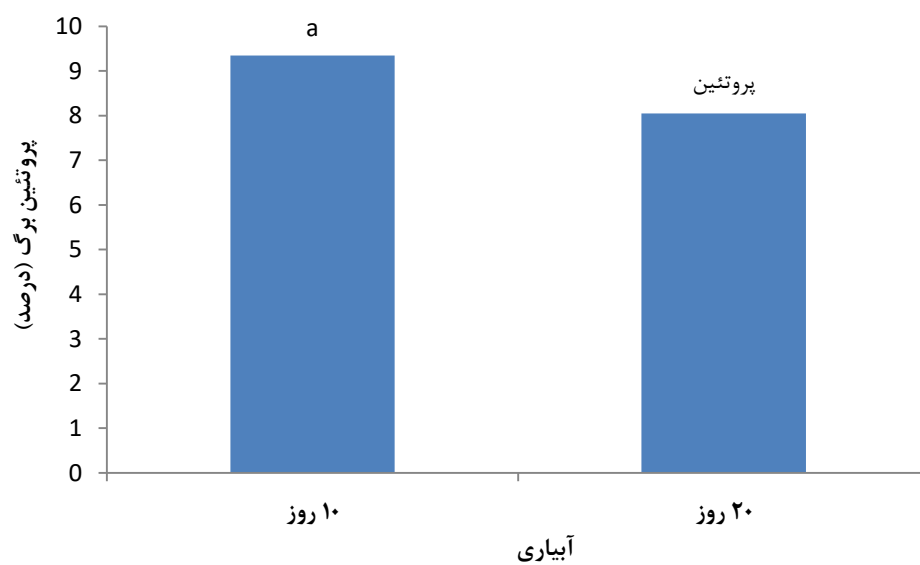


شکل ۴-۱۷- مقایسه میانگین اثر متقابل روی و کم آبیاری بر پروتئین دانه سورگوم

نتایج مقایسه میانگین اثر روی بر پروتئین برگ سورگوم نشان داد (شکل ۴-۱۸) که کاربرد روی چه به فرم معمولی و چه به صورت نانو ذره باعث افزایش معنی‌دار درصد پروتئین برگ سورگوم نسبت به شاهد شد، اما درصد پروتئین برگ سورگوم بین تیمار روی و نانو روی معنی‌دار نبود (شکل ۴-۱۸). تاثیر عنصر روی در افزایش غلظت پروتئین برگ و دانه توسط محققین بسیاری گزارش شده است (آکینی و همکاران، ۲۰۰۸؛ بروان و همکاران، ۱۹۹۳؛ کویچی و همکاران، ۱۹۸۶؛ احمد و همکاران، ۱۹۹۹). پژوهشگران بیان کرده‌اند افزایش روی در محیط ریشه و جذب آن سبب افزایش در جذب نیتروژن شده که این امر باعث افزایش در درصد پروتئین گیاه می‌شود، همچنین پژوهشگران گزارش کرده‌اند افزایش روی به طور غیر مستقیم از طریق افزایش در میزان فتوسنتز گیاه باعث افزایش در میزان پروتئین گیاهان می‌شود. هم راستا با نتیجه آزمایش حاضر نیز می‌توان به افزایش عنصر روی با استفاده از عناصر کم مصرف در شرایط خشکی در گیاه آفتابگردان اشاره کرد (باباییان و همکاران، ۲۰۱۰). در بررسی اثر محلول‌پاشی عناصر کم مصرف بر گیاه دارویی سیاهدانه مشاهده شد که بیشترین میزان عنصر روی در محلول‌پاشی عنصر روی و ترکیبی از آهن و روی حاصل شد (موسی و همکاران، ۲۰۰۳) که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. نتایج این آزمایش نشان داد با افزایش در دور آبیاری میزان پروتئین برگ در گیاه سورگوم کاهش پیدا کرد به‌طوری‌که از تیمار دور آبیاری ۱۰ روز تا تیمار دور آبیاری ۲۰ روز میزان پروتئین برگ ۱۳/۹ درصد کاهش پیدا کرد (شکل ۴-۱۹). پژوهشگران بیان کرده‌اند که کاهش محتوای نیتروژن در برگ گیاهان با افزایش تنش خشکی به دلیل کاهش جذب عناصر غذایی خاک می‌باشد (باباییان و همکاران، ۲۰۱۰). به همین دلیل می‌توان گفت که کاهش پروتئین متأثر از کاهش جذب نیتروژن در شرایط تنش کم آبیاری می‌باشد.



شکل ۴-۱۸- مقایسه میانگین اثر ساده روی بر پروتئین برگ سورگوم



شکل ۴-۱۹- مقایسه میانگین اثر ساده کم آبیاری بر پروتئین برگ سورگوم

- میزان روی دانه و برگ

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس میزان روی دانه تحت تاثیر کم آبیاری (در سطح یک درصد)، روی (در سطح یک درصد) و رقم (در سطح پنج درصد) و اثر متقابل کم آبیاری و روی در سطح پنج درصد قرار گرفت اما محتوای روی در برگ تنها تحت تاثیر کم آبیاری (در سطح یک درصد) و روی (در سطح یک درصد) قرار گرفت و سایر اثرات ساده و متقابل بر میزان روی در برگ معنی دار نبودند (جدول ۴-۵).

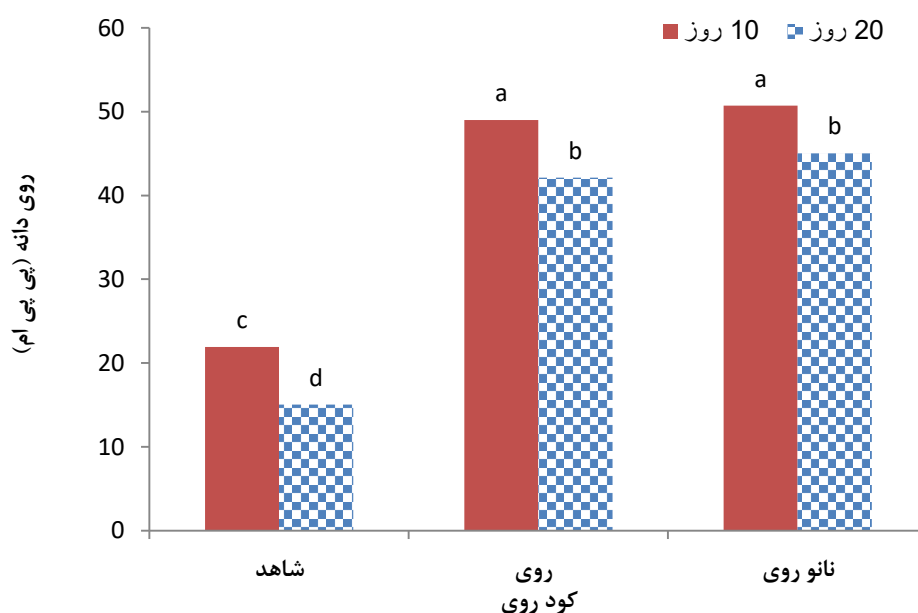
جدول ۴-۵- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات روی دانه و روی برگ سورگوم تحت تاثیر تیمارهای آزمایش

منابع تغییر	درجه آزادی	روی دانه	روی برگ
بلوک	۲	۲۴/۸۷ ns	۱۲/۵۴ ns
کم آبیاری	۱	۵۶۷/۷**	۱۲۲/۲۲**
خطا	۲	۳۴/۲	۱/۹۱
روی	۲	۴۸۱۰/۰**	۴۳۵/۵۵**
رقم	۲	۹۸/۵*	۱۰/۳۲ ns
کم آبیاری×روی	۲	۲۹/۲۱*	۹/۲۰ ns
کم آبیاری×رقم	۲	۵۶/۶۱ ns	۸/۸۷ ns
روی×رقم	۴	۱۱/۰۷ ns	۸/۸۰ ns
کم آبیاری×روی×رقم	۴	۶/۶۳ ns	۴/۸۵ ns
خطا	۳۲	۲۶/۲	۶/۳۴
CV (%)		۱۳/۷	۱۵/۰

ns غیر معنی داری، * و ** به ترتیب معنی داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل روی و کم آبیاری نشان داد میزان روی دانه با کاربرد روی افزایش پیدا کرد، به طوری که در تیمار ۱۰ روز آبیاری بیش از ۲۸ پی پی ام اختلاف بین کاربرد روی به صورت

نانو و تیمار عدم کاربرد روی مشاهده شد، این امر نشان دهنده افزایش در محتوی روی دانه با کاربرد روی می‌باشد. در شرایط تنش خشکی (آبیاری ۲۰ روز) اختلاف بین کاربرد روی به صورت نانو و تیمار عدم کاربرد روی از نظر محتوی روی دانه برابر ۳۰ پی پی ام بود و این امر نشان دهنده آن است که در شرایط تنش خشکی کاربرد روی باعث اثر بیشتری بر محتوای روی دانه می‌شود (شکل ۴-۲۰). بیشترین درصد روی دانه در تیمار ۱۰ روز آبیاری و نانو روی مشاهده شد که برابر ۵۰/۷۲ پی پی ام بود و با مقدار روی دانه در تیمار ۱۰ روز آبیاری و روی معمولی اختلاف معنی داری از نظر آماری نداشت و کمترین محتوی روی دانه در تیمار ۲۰ روز آبیاری و عدم کاربرد روی مشاهده شد که برابر ۱۵/۰۳ پی پی ام بود (شکل ۴-۲۰).

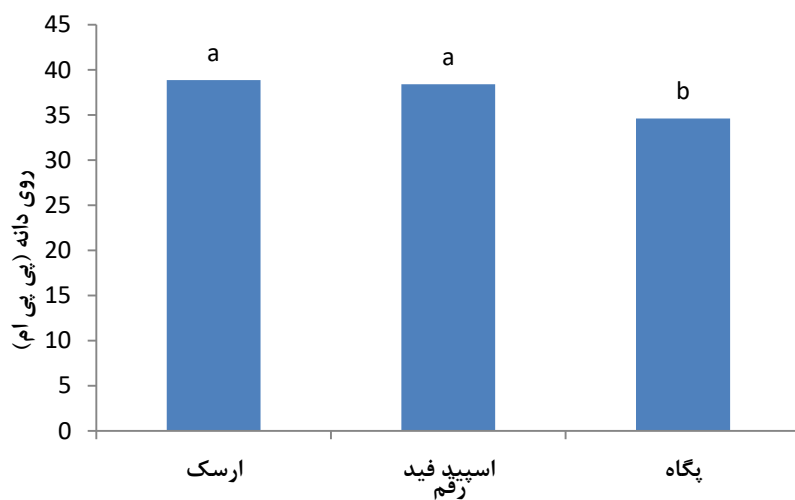


شکل ۴-۲۰- مقایسه میانگین اثر متقابل روی و کم آبیاری بر محتوای روی دانه سورگوم

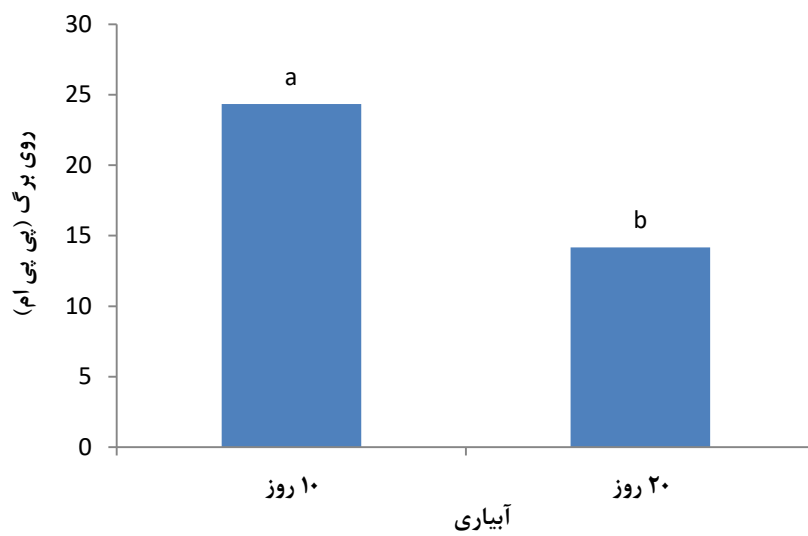
بر اساس نتایج مقایسه میانگین کاربرد روی باعث افزایش معنی‌دار در محتوی روی برگ شده است به طوری که محتوی روی برگ در تیمارهای کاربرد روی به صورت نانو، فرم معمولی روی و عدم

کاربرد روی به ترتیب برابر ۲۰/۱۱، ۱۹/۶۱ و ۱۱/۱۴ پی پی ام بود (شکل ۴-۲۳). همچنین نتایج این آزمایش نشان داد کم آبیاری باعث کاهش در میزان روی برگ سورگوم شده است و از دور آبیاری ۱۰ روز به ۲۰ روز میزان روی برگ ۴۱/۷ درصد کاهش پیدا کرد (شکل ۴-۲۲).

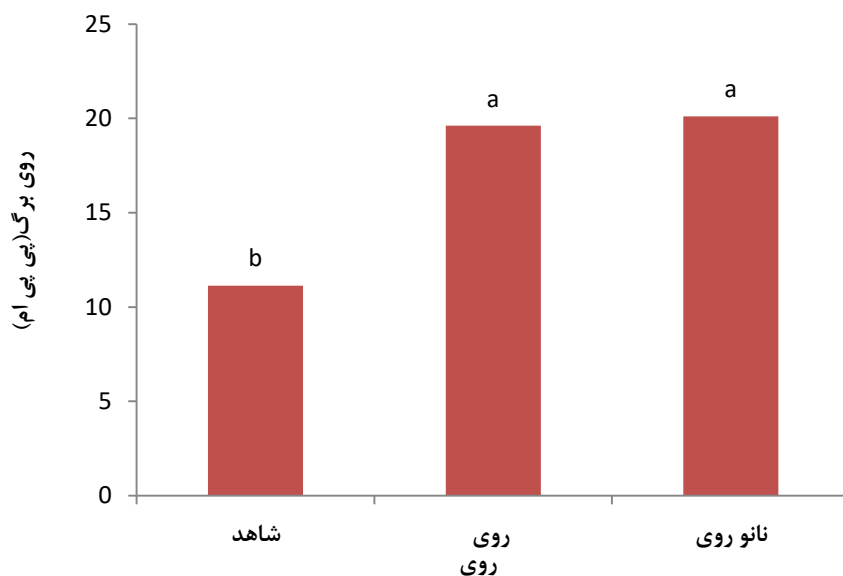
بر اساس نظر پژوهشگران تنش خشکی می‌تواند جذب روی توسط گیاه را به طرق مختلف از جمله با کاهش رشد و توسعه ریشه و نیز کاهش میزان جابجایی روی در خاک تحت تاثیر قرار دهد (فاجریا و همکاران، ۲۰۰۲؛ سامره و همکاران، ۲۰۰۴). همچنین در شرایط تنش خشکی، تداخل مکانیسم‌های جذب و تخلیه همراه با کاهش میزان تعرق، باعث کاهش جذب عناصر غذایی از جمله روی می‌گردند (بالیگار و همکاران، ۲۰۰۱؛ مارشنر، ۱۹۹۵). از این رو، کاهش آب قابل دسترس در شرایط خشکی باعث کاهش میزان روی و سایر عناصر غذایی قابل دسترس گیاه و در نهایت کاهش عملکرد و غلظت روی در گیاه می‌شود، که با نتایج این آزمایش کاملاً مطابقت دارد. شکل ۴-۲۱ نشان می‌دهد که بیشترین مقدار روی در دو رقم اسپیدفید و ارسک مشاهده شد که به طور معنی داری از میزان روی دانه رقم پگاه بیشتر بود. رشدی و همکاران (۱۳۸۳) نیز بیان کردند میزان عناصر غذایی در ارقام مختلف سورگوم به طور معنی‌داری متفاوت می‌باشد که این تفاوت معنی‌دار به ساختار ریشه و میزان تارهای کشنده آن در ارقام مختلف بستگی دارد.



شکل ۴-۲۱- مقایسه میانگین اثر ساده رقم بر محتوای روی دانه سورگوم



شکل ۴-۲۲- مقایسه میانگین اثر ساده کم آبیاری بر روی برگ سورگوم



شکل ۴-۲۳- مقایسه میانگین اثر ساده روی بر محتوای روی برگ سورگوم

در شرایط خشکی، دسترسی گیاه به میزان مناسب عناصر غذایی از جمله روی می‌تواند نقش مهمی در تحمل به خشکی بازی کند (باگسی و همکاران، ۲۰۰۷؛ سامره و همکاران، ۲۰۰۴). طبق نتایج آزمایش حاضر کاربرد روی باعث افزایش درصد پروتئین و روی در دانه و بخش هوایی شد که این امر نشان دهنده بهبود کارکرد گیاه با کاربرد روی می‌باشد، همچنین نتایج این آزمایش نشان داد که کاربرد روی رنگیزه‌های فتوسنتزی و محتوای نسبی آب برگ در گیاه سورگوم را نیز افزایش می‌دهد (شکل ۴-۱۲ و شکل ۴-۸). هم راستا با نتیجه آزمایش حاضر نیز می‌توان به افزایش عنصر روی با استفاده از عناصر کم مصرف در شرایط خشکی در گیاه آفتابگردان اشاره کرد (باباییان و همکاران، ۲۰۱۰). در بررسی اثر محلول‌پاشی عناصر کم مصرف بر گیاه دارویی سیاهدانه مشاهده شد که بیشترین میزان عنصر روی در محلول‌پاشی عنصر روی و ترکیبی از آهن و روی حاصل شد (موسی و همکاران، ۲۰۰۳) که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. به نظر می‌رسد که کاهش عملکرد گیاه در شرایط تنش خشکی می‌تواند به دلیل کاهش سطوح فتوسنتز کننده، کاهش تولید کلروفیل، افزایش

انرژی مصرفی گیاه جهت بالا بردن غلظت شیر سلولی، تغییر در مسیرهای تنفسی و فعال شدن مسیر پنتوز فسفات و یا افزایش حجم ریشه باشد (سری والی و همکاران، ۲۰۰۱).

همچنین بیان شده است تنش خشکی باعث تشدید تولید گونه‌های اکسیژن فعال می‌شود، در شرایط مطلوب، سلول قادر به از بین بردن و غیر سمی کردن رادیکال‌های آزاد اکسیژن توسط آنزیم‌های حاوی روی نظیر آسکوربیک پراکسیداز، گلوتاتیون ردوکتاز و سوپراکسید دسموتاز می‌باشد، بنابراین کاربرد روی باعث بهبود وضعیت سلول در شرایط تنش خشکی می‌شود که با نتایج آزمایش حاضر مطابقت دارد. البته فعالیت این آنزیم‌ها به وجود میزان کافی روی در گیاه وابسته می‌باشد. از این رو کمبود روی می‌تواند فعالیت آنزیم‌های ضد اکسیداسیونی را کاهش دهد (ونزل و مهلورن، ۱۹۹۵؛ کاکمک و مارشنر، ۱۹۸۸). همچنین بیان شده است تنش اکسیداسیونی می‌تواند جزئی از تنش کمبود روی نیز محسوب گردد. کاهش میزان روی قابل جذب توسط گیاه نه تنها باعث کاهش عملکرد بویژه تحت تنش خشکی شده (کاکمک و همکاران، ۱۹۹۶؛ گراهام و همکاران، ۱۹۹۲؛ مکدونالد و همکاران، ۲۰۰۱) بلکه باعث کاهش ارزش تغذیه‌ای دانه گیاهان زراعی (کمبود پروتئین) و در نهایت سوء تغذیه در انسان می‌گردد (کاکمک، ۲۰۰۸)، که نتایج این پژوهشگران در رابطه با اثر مثبت عنصر روی با نتایج آزمایش حاضر همسو می‌باشد.

۴-۵- عملکرد علوفه

- عملکرد علوفه تر

بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر رقم، کم آبیاری و روی (در سطح یک درصد) و اثر متقابل کم آبیاری و روی (در سطح پنج درصد) بر عملکرد علوفه تر سورگوم معنی‌دار بود (جدول ۴-۶). سایر اثرات متقابل اثر معنی‌داری بر عملکرد علوفه تر سورگوم نداشتند (جدول ۴-۶).

جدول ۴-۶- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد علوفه خشک و علوفه تر سورگوم تحت تاثیر تیمارهای آزمایش

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد علوفه تر	عملکرد علوفه خشک
بلوک	۲	۱۷/۲ ns	۴/۷ ns
کم آبیاری	۱	۴۲۱۴/۰**	۱۵۶/۷**
خطا	۲	۹۵/۵	۱/۱۵
روی	۲	۱۰۲۷/۰**	۴۱/۶**
رقم	۲	۵۸۴/۰**	۱۹/۱*
کم آبیاری×روی	۲	۹۴۹۴*	۱۵/۶*
کم آبیاری×رقم	۲	۲۳۸/۷ ns	۱۰/۲ ns
روی×رقم	۴	۱۱/۶ ns	۰/۷۰ ns
کم آبیاری×روی×رقم	۴	۱۳/۵ ns	۰/۳۸ ns
خطا	۳۲	۱۰۷/۳	۵/۱۵
CV (%)		۱۲/۲	۱۳/۷

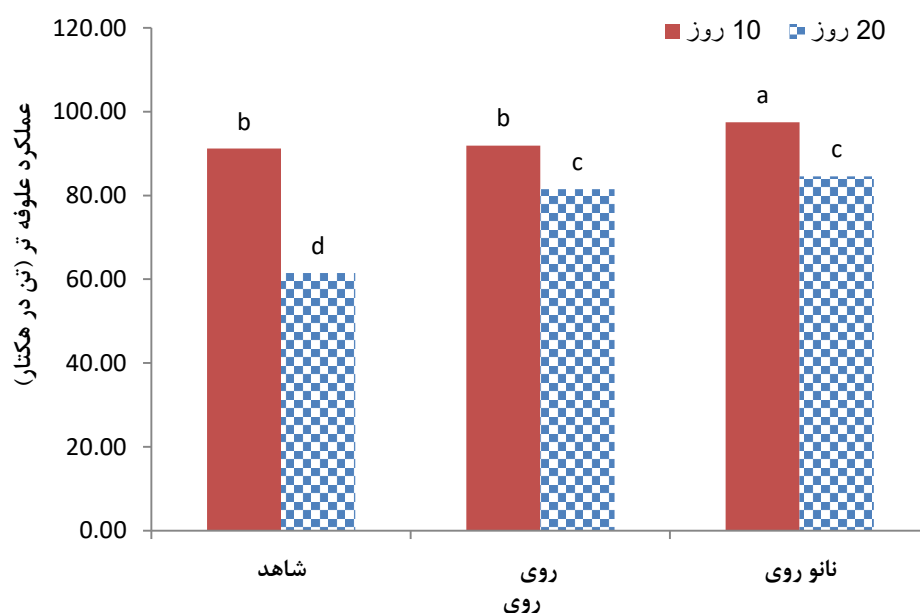
ns غیر معنی‌داری، * و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل روی و کم آبیاری بر عملکرد علوفه تر سورگوم، با افزایش در دور آبیاری (۲۰ روز آبیاری) در تمام سطوح روی عملکرد علوفه تر کاهش پیدا کرد، به طوری که این کاهش عملکرد در سطوح مختلف روی در ۱۰ روز آبیاری و ۲۰ روز آبیاری بین ۱۲/۸۹

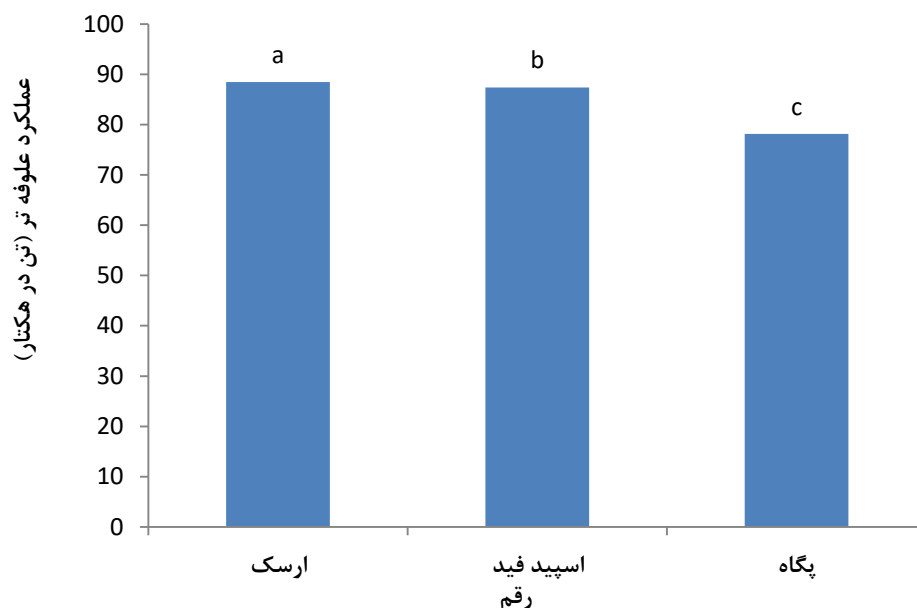
تا ۲۹/۷ تن در هکتار بود (شکل ۴-۲۴)، بیشترین عملکرد علوفه تر در تیمار ۱۰ روز آبیاری و کاربرد نانو روی مشاهده شد که برابر ۹۷/۴۸ تن در هکتار بود و کمترین عملکرد علوفه تر در تیمار ۲۰ روز آبیاری و عدم کاربرد روی مشاهده شد که برابر ۶۱/۵ تن در هکتار بود (شکل ۴-۲۴). عملکرد علوفه تر با کاربرد نانو روی نسبت به حالت شاهد در ۱۰ روز آبیاری ۶/۴۶ درصد افزایش پیدا کرد اما در شرایط ۲۰ روز آبیاری ۲۷/۳ درصد افزایش نشان داد (شکل ۴-۲۴).

نتایج این آزمایش نشان داد که کاربرد روی باعث افزایش در میزان عملکرد علوفه چه در شرایط طبیعی و چه در شرایط تنش خشکی می‌شود، در مطالعات مشابهی نیز بر تاثیر مثبت عنصر روی در افزایش عملکرد در نتیجه افزایش بیوماس تولیدی اشاره شده است (صادق زاده و رنگل، ۲۰۱۱؛ یلماز و همکاران، ۱۹۹۷؛ رنجبر و بهمن یار، ۲۰۰۷)، که این افزایش در بیوماس نیز به نوبه خود می‌تواند در نتیجه بهبود فتوسنتز و افزایش کلروفیل برگ در حضور عنصر روی مخصوصا در شرایط دیم باشد (ابراهیم و الی، ۲۰۰۵؛ چن و همکاران، ۲۰۰۸). نتایج این پژوهشگران نتایج آزمایش حاضر را تایید کرد، در آزمایش حاضر کاربرد عنصر روی چه در شرایط تنش خشکی و چه در شرایط غیر تنش باعث افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی شد که این امر در نهایت باعث افزایش عملکرد علوفه تر و خشک و عملکرد دانه شد (اشکال ۴-۲۲ و ۴-۲۴). بر اساس نظر پژوهشگران استفاده از نانو کودها منجر به افزایش کارایی مصرفی عناصر غذایی، کاهش سمیت خاک، به حداقل رسیدن اثرات منفی ناشی از مصرف بیش از حد کودها و کاهش تعداد دفعات کاربرد آنها می‌شود (نادری و شهرکی، ۲۰۱۱؛ لیو و لال، ۲۰۱۵) که این مزایا باعث بهتر بودن کودهای نانو نسبت به کودهای غیر نانو می‌شود، که با نتایج این آزمایش هم راستا می‌باشد.

بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثر رقم بر مقدار عملکرد علوفه تر سورگوم، رقم ارسک به طور معنی داری دارای بیشترین عملکرد علوفه تر بود و کمترین مقدار برای عملکرد علوفه تر در رقم پگاه مشاهده شد که نسبت به دو رقم اسپیدفید و ارسک به طور معنی داری دارای عملکرد علوفه کمتری بود (شکل ۴-۲۵). رفیعی و همکاران (۱۳۹۷) بیان کردند که بین عملکرد علوفه ارقام سورگوم اختلاف معنی داری وجود دارد، این پژوهشگران دلیل این اختلاف معنی دار را هم به اثرات محیطی و هم به اثرات ژنتیکی ربط دادند و گزارش کردند ارقامی که به شرایط سخت محیطی مقاوم باشند در شرایط تنش میزان عملکرد علوفه بیشتری را تولید می کنند، در همین راستا نتایج این آزمایش نیز نشان داد در ارقام مختلف مورد مطالعه عملکرد علوفه اختلاف معنی داری داشت.



شکل ۴-۲۴- مقایسه میانگین اثر متقابل روی و کم آبیاری بر عملکرد علوفه تر



شکل ۴-۲۵- مقایسه میانگین اثر ساده رقم بر عملکرد علوفه تر

- عملکرد علوفه خشک

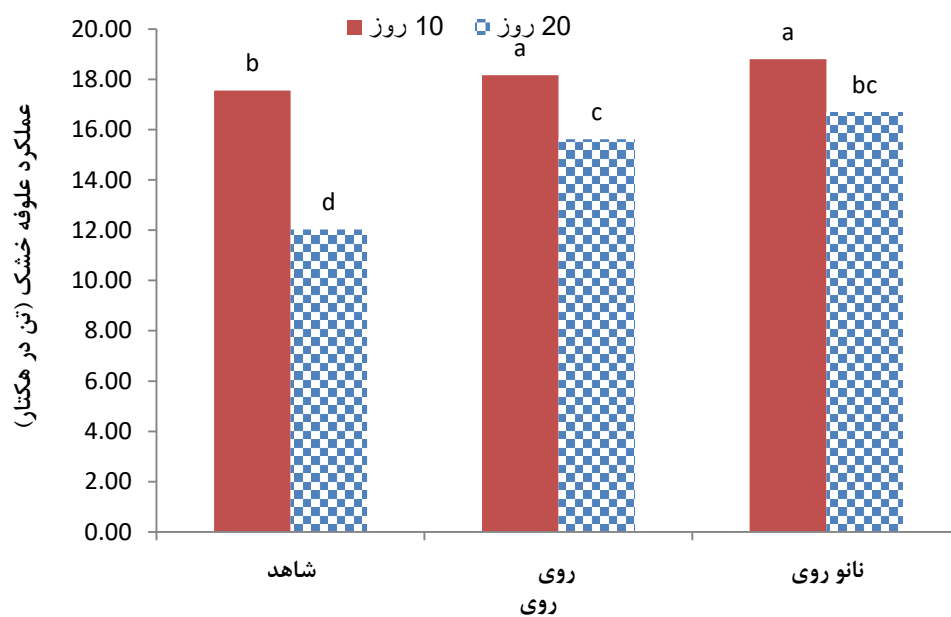
بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس اثر رقم (در سطح پنج درصد)، روی (در سطح یک درصد)، کم آبیاری (در سطح یک درصد) و اثر متقابل کم آبیاری و روی (در سطح یک درصد) بر عملکرد علوفه خشک معنی‌دار بود (جدول ۴-۶). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل روی و کم آبیاری نشان داد عملکرد علوفه خشک سورگوم نیز همانند عملکرد علوفه تر با کاربرد روی نسبت به شاهد افزایش پیدا کرد، (شکل ۴-۲۶)، بیشترین عملکرد علوفه خشک در تیمار ۱۰ روز آبیاری و کاربرد فرم نانو روی و روی معمولی بدست آمد که به ترتیب برابر ۱۸/۸ و ۱۸/۲ تن در هکتار بود و کمترین عملکرد علوفه خشک در تیمار ۲۰ روز آبیاری و عدم کاربرد روی مشاهده شد (۱۲/۰ تن در هکتار) (شکل ۴-۲۶).

به طور کلی بر اساس نتایج این آزمایش می‌توان بیان کرد که تنش خشکی باعث کاهش در عملکرد علوفه (خشک و تر) سورگوم می‌شود، از طرف دیگر کاربرد روی چه در شرایط تنش و چه در شرایط طبیعی باعث افزایش در عملکرد علوفه خشک و تر سورگوم شد که درصد افزایش در شرایط تنش بیشتر بود، به عبارتی کاربرد فرم نانو روی سبب افزایش عملکرد علوفه خشک سورگوم به اندازه تیمار شاهد بدون تنش کم آبیاری شد. بر این اساس می‌توان بیان کرد گرچه تنش باعث کاهش عملکرد می‌شود اما روی تا حدی می‌تواند این اثر منفی را جبران کرده و باعث افزایش در عملکرد علوفه خشک و تر سورگوم شود، علاوه بر این کاربرد روی به صورت نانو و روی در شرایط طبیعی نیز باعث افزایش در عملکرد علوفه خشک و تر می‌شود که از این طریق می‌توان باعث بهبود عملکرد سورگوم در مزارع شد (شکل ۴-۲۶). الیاس پور و سید شریفی (۱۳۹۸) نیز بیان کردند کاربرد سولفات روی باعث افزایش در عملکرد علوفه تر و خشک می‌شود، این پژوهشگران دلیل این امر را اینگونه بیان کردند که روی بعنوان فعال کننده آنزیم‌های مختلف در گیاه و سوبسترای رشد هورمون ایندول استیک اسید عمل می‌کند و سبب تولید ماده خشک زیادتر در گیاه سورگوم می‌شود.

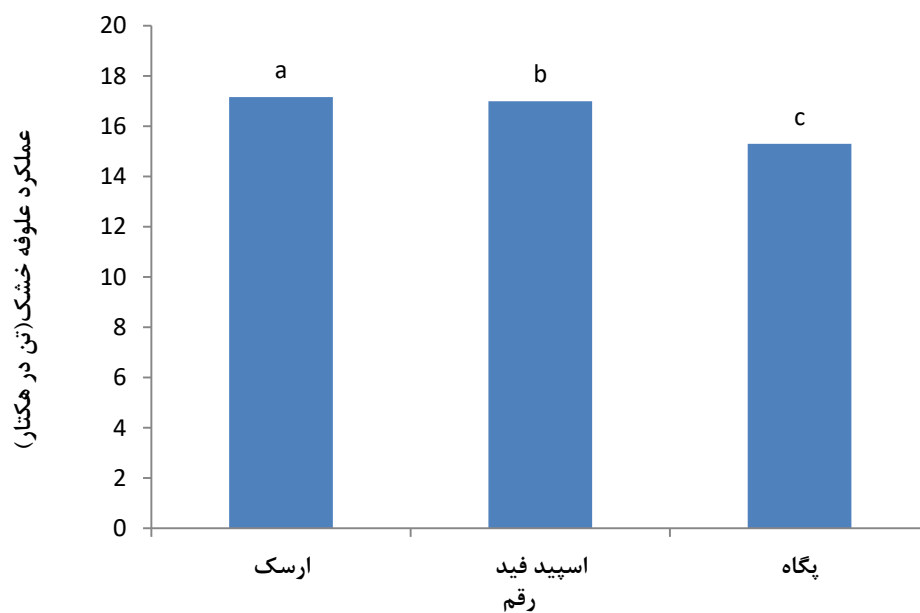
باغچی و همکاران (۲۰۰۷) مشاهده کردند کمبود روی و خشکی باعث کاهش عملکرد گندم نان و دوروم شده و بین ژنوتیپ‌ها از لحاظ تحمل به تنش خشکی و کمبود روی تنوع وجود داشت، همچنین در صورت عدم دسترسی گیاه به میزان کافی از روی، کارایی استفاده از آب به صورت معنی‌داری کاهش یافته و باعث افت عملکرد می‌شود. در مطالعه ژنوتیپ‌های گندم نان و دوروم تحت رژیم‌های رطوبتی متفاوت و میزان روی کاربردی، پلگ و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند کاربرد روی باعث افزایش در ماده خشک تولیدی و عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی و شرایط طبیعی شد. همچنین نتایج تحقیقات فیروزآبادی و همکاران (۱۳۸۲) نشان داد که مصرف سولفات روی و

میزان غلظت روی در بذر کشت شده به‌طور معنی‌داری باعث افزایش عملکرد، درصد پروتئین دانه، جذب کل روی و غلظت روی در دانه می‌گردد. عملکرد علوفه خشک با کاربرد نانو روی نسبت به حالت شاهد در ۱۰ روز آبیاری ۶/۶ درصد افزایش پیدا کرد اما در شرایط ۲۰ روز آبیاری ۲۸/۱ درصد افزایش نشان داد (شکل ۴-۲۶).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثر رقم بر مقدار عملکرد علوفه خشک سورگوم، رقم ارسک به‌طور معنی‌داری دارای عملکرد علوفه خشک بیشتری نسبت به دو رقم دیگر مورد مطالعه بود، پس از رقم ارسک بیشترین عملکرد علوفه خشک در رقم اسپیدفید مشاهده شد و کمترین مقدار برای عملکرد علوفه خشک در رقم پگاه مشاهده شد که نسبت به دو رقم اسپیدفید و ارسک به‌طور معنی‌داری دارای عملکرد علوفه خشک کمتری بود (شکل ۴-۲۷). ناصری و همکاران (۱۳۹۰) در تحقیقی اثر دور آبیاری بر عملکرد علوفه و عملکرد دانه ارقام سورگوم در منطقه میانه را مورد بررسی قرار دادند، ایشان بیان کردند علاوه بر این که دور آبیاری اثر معنی‌داری بر عملکرد علوفه و دانه سورگوم دارد، عملکرد علوفه و دانه سورگوم در ارقام مختلف نیز به‌طور معنی‌داری متفاوت می‌باشد که این امر انتخاب رقم مناسب با توجه به هدف کاشت را مهم و ضروری می‌کند.



شکل ۴-۲۶- مقایسه میانگین اثر متقابل عنصر روی و کم آبیاری بر عملکرد علوفه خشک



شکل ۴-۲۷- مقایسه میانگین اثر ساده رقم بر عملکرد علوفه خشک

۴-۶- عملکرد دانه سورگوم و شاخص برداشت

- عملکرد دانه سورگوم

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس اثر کم آبیاری (در سطح یک درصد)، روی (در سطح یک درصد)، رقم (در سطح پنج درصد) و اثر متقابل کم آبیاری و روی (در سطح پنج درصد) بر عملکرد دانه سورگوم معنی‌دار بود (جدول ۴-۷). سایر اثرات متقابل بر صفت مذکور تاثیر معنی‌داری نداشتند.

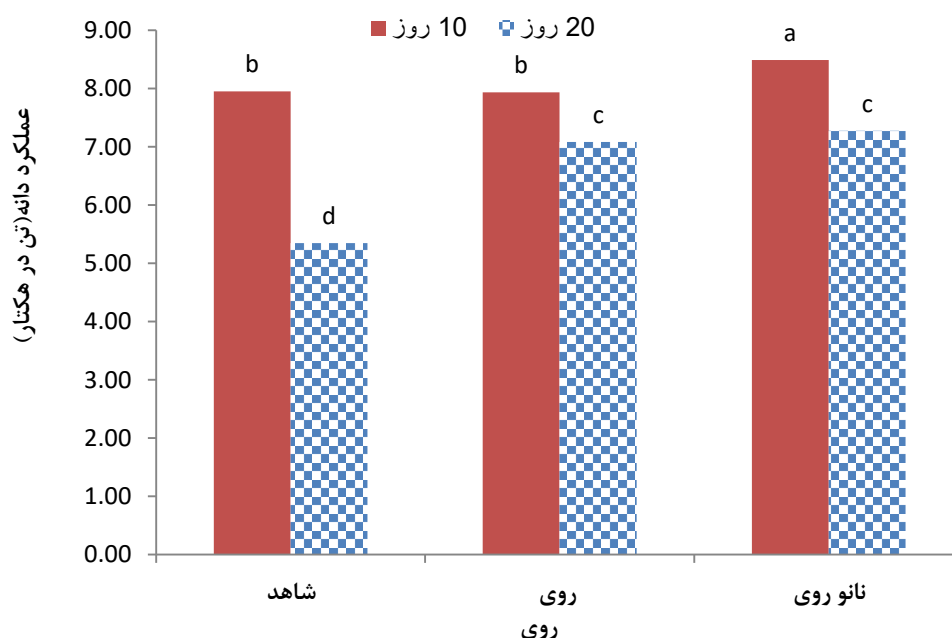
جدول ۴-۷- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد دانه و شاخص برداشت سورگوم تحت تاثیر تیمارهای آزمایش

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد دانه	شاخص برداشت
بلوک	۲	۰/۰۷ ns	۰/۰۰۳ ns
کم آبیاری	۱	۳۲/۹۷**	۰/۰۰۳ ns
خطا	۲	۱/۶۳	۰/۰۰۴ ns
روی	۲	۷/۲۴**	۰/۰۰۱ ns
رقم	۲	۳/۹۱*	۰/۰۰۲ ns
کم آبیاری×روی	۲	۴/۰۰*	۰/۰۰۱ ns
کم آبیاری×رقم	۲	۱/۵۷ ns	۰/۰۰۴ ns
روی×رقم	۴	۰/۰۸ ns	۰/۰۰۱ ns
کم آبیاری×روی×رقم	۴	۰/۱۳ ns	۰/۰۰۹ ns
خطا	۳۲	۱/۱۵	۰/۰۰۴
CV (%)		۱۴/۶	۱۵/۱

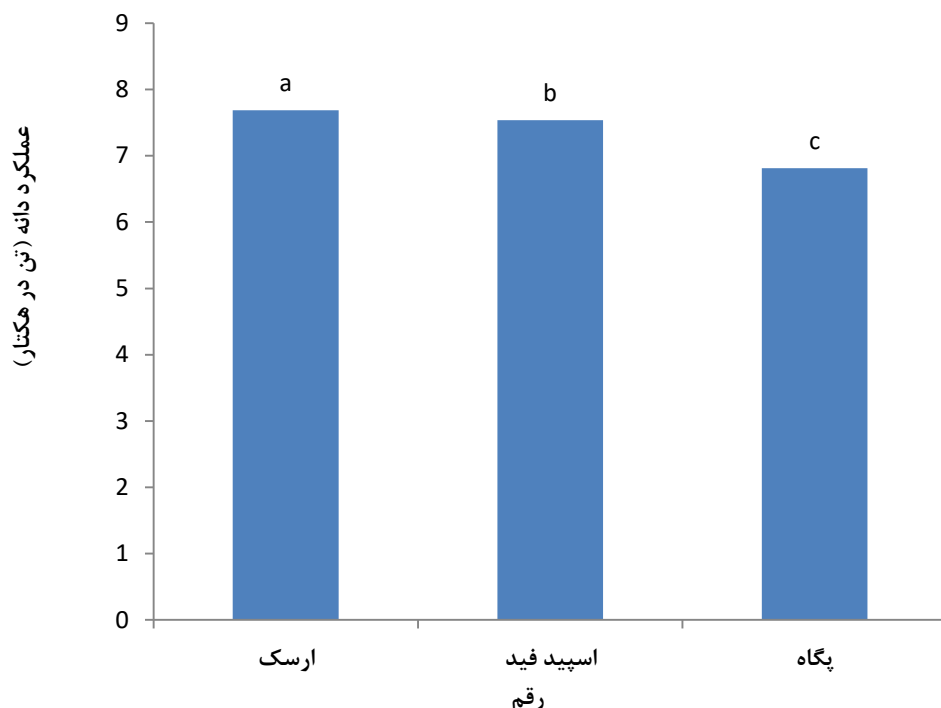
ns غیر معنی‌داری، * و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

در گیاه سورگوم شاید عملکرد دانه به اندازه سایر غلات مهم نباشد اما به دلیل بالا تر بردن درصد پروتئین علوفه عملکرد دانه فاکتور بسیار مهمی در سورگوم می‌باشد و هر عاملی که باعث افزایش عملکرد دانه سورگوم شود در نهایت باعث بهبود کیفیت علوفه سورگوم خواهد شد (مدرسی و

همکاران، ۱۳۹۸)، بر اساس نتایج این آزمایش تنش خشکی (آبیاری ۲۰ روز) باعث کاهش در عملکرد دانه سورگوم شد و کاربرد روی باعث افزایش در عملکرد دانه سورگوم در شرایط تنش و عدم تنش گردید (شکل ۴-۲۸)، در شرایط کم آبیاری کاربرد روی به فرم نانو روی و معمولی سبب افزایش معنی دار ۲۸ و ۳۶ درصدی عملکرد دانه نسبت به شاهد عدم کاربرد روی در همین شرایط گردید، اما در شرایط عدم تنش، تنها فرم نانو روی افزایش معنی دار ۶/۷ درصدی نسبت به شاهد در این صفت ایجاد کرد. به عبارتی در شرایط تنش با کاربرد روی درصد افزایش عملکرد دانه نسبت به عدم تنش بیشتر بود (شکل ۴-۲۸). نتایج مربوط به بررسی اثر رقم بر عملکرد دانه سورگوم نشان داد بیشترین مقدار برای عملکرد دانه سورگوم در رقم ارسک مشاهده شد و کمترین مقدار برای عملکرد دانه از بین سه رقم مورد مطالعه در رقم پگاه مشاهده شد که به طور معنی داری از سایر ارقام کمتر بود (شکل ۴-۲۹).



شکل ۴-۲۸- مقایسه میانگین اثر متقابل روی و آبیاری بر عملکرد دانه



شکل ۴-۲۹- مقایسه میانگین اثر ساده رقم بر عملکرد دانه

بر اساس نظر پژوهشگران عنصر روی با اثرات مثبتی که در گیاهان می‌گذارد ابتدا باعث افزایش در صفاتی همچون رنگیزه‌های فتوسنتزی، سطح برگ، اندازه بوته و محتوای نسبی آب برگ می‌شود و پس از آن با بهبود صفات ذکر شده در نهایت میزان تولید مواد فتوسنتزی افزایش یافته که این امر موجب افزایش عملکرد علوفه خشک و عملکرد دانه گیاهان می‌شود (زند و همکاران، ۱۳۸۸)، از این جهت کاربرد روی برای افزایش عملکرد در گیاهان دانه‌ای و علوفه‌ای بسیار مهم می‌باشد، نتایج این آزمایش نشان داد فرم نانو روی نسبت به فرم روی اثر مطلوب‌تری بر عملکرد دارد که این امر نشان دهنده اهمیت بیشتر استفاده از نانو روی در مزرعه می‌باشد (شکل ۴-۲۸). همچنین بیان شده است عنصر روی با بهبود جذب سایر عناصر غذایی توسط گیاه باعث افزایش رشد و تولید ماده خشک در گیاه می‌شود (زند و همکاران، ۱۳۸۸). به علاوه وجود میزان کافی از عنصر روی در کاهش تولید و نیز

غیر سمی کردن ROS های حاصل از تنش‌های محیطی به کمک آنزیم‌های ضد اکسیداسیونی نظیر سوپر اکسید دسموتاز (SOD) موثر بوده (کاکمک و مارشنر، ۱۹۸۸؛ کاکمک، ۲۰۰۰) و در نتیجه باعث افزایش عملکرد گیاه می‌گردد.

روی باعث حفظ تمامیت غشاء و محافظت از غشاء در برابر آسیب‌های اکسیداتیو ناشی از تنش-های محیطی با افزایش فعالیت سم زدایی گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود (پیری و همکاران، ۲۰۱۷)، در شرایط کمبود روی فعالیت Cu/Zn سوپر اکسید دسموتاز کاهش می‌یابد چرا که روی به طور مستقیم در بیان ژن و سنتز پروتئین نقش دارد (پیراسته و همکاران، ۲۰۱۵). همچنین بیان شده است روی باعث حفظ تمامیت غشاء از طریق اتصال به گروه‌های سولفیدریل می‌شود و فسفولیپیدها و پروتئین‌ها را از اکسیداسیون تیول و تشکیل دی سولفید محافظت می‌کند، سبب ثبات آنزیم‌ها، پروتئین‌های غشاء و ساختار لیپیدی غشاء شده و به این ترتیب باعث کاهش آسیب‌های اکسیداتیو و افزایش کارایی گیاه در شرایط تنش‌های محیطی می‌شود و به عنوان یک آنتی اکسیدانت عمل می‌کند و از این طریق در نهایت باعث بهبود میزان ماده خشک تولیدی و عملکرد دانه می‌شود (تولایی و همکاران، ۲۰۱۰) روی به‌طور غیرمستقیم برای فعالیت آنزیم‌های درگیر در سم زدایی H_2O_2 مانند کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و گلوتاتیون ردوکتاز مورد نیاز است (کاکمک، ۲۰۰۰) با توجه به نقش روی در حفظ تمامیت غشاء و نفوذپذیری غشاء، تعادل یون‌ها که در تنش‌های محیطی به هم خورده، در حضور روی برقرار می‌شود (گورمانی و همکاران، ۲۰۱۲). کاربرد روی شاخص تحمل به تنش‌های محیطی را افزایش می‌دهد (بایبوردی و همکاران، ۲۰۱۰). به طور کلی بر اساس نتایج این آزمایش نانو روی بهتر از روی می‌باشد، البته باید ذکر شود در بیشتر صفات نیز اختلاف معنی‌داری بین نانو روی و روی مشاهده نشد که از این قبیل موارد می‌توان به صفاتی همچون کلروفیل a و عملکرد علوفه خشک

سورگوم اشاره کرد، اما نکته مهم این است که بیشتر پژوهشگران نانو روی، را به دلیل ویژگی‌های منحصر به فردی که دارد توصیه می‌کنند، یکی از دلایل توصیه کود ها به فرم نانو روی مقدار مصرف کمتر آنها در واحد سطح می‌باشد همچنین این امر که این کودها بهتر جذب گیاهان می‌شود (دلفانی، ۱۳۹۰)، در همین راستا پژوهشگران بیان کرده‌اند استفاده از نانو روی ذرات عناصر غذایی در افزایش غلظت عناصر ریز مغذی در گیاهان کارآمدتر از کود های معمولی است، علت این امر، خصوصیات ذرات نانو روی، یعنی حلالیت بیشتر و سطح تماس بیشتر ذرات نانو روی با اندام‌های گیاهان است (صابرمانیان و همکاران، ۲۰۱۵؛ رنجر و شمس، ۲۰۰۹). همچنین برخی دیگر از محققین بیان کرده اند در صورت عدم تفاوت اقتصادی بین کودها در فرم نانو روی و معمولی، فرم نانو روی توصیه می‌شود، که در غیر این صورت با برآورد هزینه‌ها می‌توان فرم نانو روی یا معمولی را انتخاب کرد (رضایی و همکاران، ۱۳۸۸).

- شاخص برداشت

بر اساس نتایج تجزیه واریانس هیچ کدام از منابع تغییر اعم از رقم، عنصر روی، کم‌آبیاری و اثرات متقابل فاکتورها بر شاخص برداشت سورگوم اثر معنی‌داری نداشتند (جدول ۴-۷)، بر این اساس باید بیان کرد معنی‌دار نشدن تغییرات شاخص برداشت با اعمال فاکتورهای این آزمایش بیانگر آن است که تیمارهای آزمایش همزمان هم باعث افزایش در عملکرد دانه سورگوم شده اند و هم باعث افزایش در عملکرد بیولوژیک یا عملکرد علوفه خشک شده اند که این امر باعث عدم معنی‌داری اثر فاکتورهای آزمایش بر شاخص برداشت سورگوم شده است.

۷-۴- همبستگی بین صفات

در جدول (۸-۴) ضرایب همبستگی بین صفات اندازه‌گیری شده و عملکرد دانه سورگوم نشان داده شده است، بر اساس نتایج جدول (۸-۴) بیشترین همبستگی عملکرد دانه با عملکرد علوفه تر و عملکرد علوفه خشک بود که به ترتیب ضرایب همبستگی آنها با عملکرد دانه برابر ۰/۹۰ و ۰/۹۱ بود (جدول ۸-۴)، کمترین همبستگی عملکرد دانه با صفت نشت الکتrolیت‌ها بود که به ترتیب برابر ۰/۴۵- بود، نکته قابل توجه در جدول همبستگی، ضریب همبستگی منفی بین نشت الکتrolیت‌ها و تمام صفات اندازه‌گیری شده می‌باشد که این امر نشان دهنده آن است که با افزایش در نشت الکتrolیت‌ها صفاتی همچون رنگیزه‌های فتوسنتزی، پروتئین دانه، روی دانه و ... کاهش پیدا می‌کند که این امر نهایتاً منجر به کاهش عملکرد دانه می‌شود (جدول ۸-۴). پس از عملکرد علوفه خشک و علوفه تر، بیشترین ضریب همبستگی عملکرد دانه با صفات کلروفیل a و پروتئین برگ بود که به ترتیب برابر ۰/۸۳ و ۰/۷۱ بود (جدول ۸-۴). در آزمایشات مزرعه‌ای نیز همبستگی بین پروتئین دانه و برگ با عملکرد دانه گیاهان زراعی مثل گندم گزارش شده است (کاکمک و همکاران، ۱۹۹۷؛ گراهام و همکاران، ۱۹۹۲).

جدول ۴-۸ همبستگی بین صفات اندازه گیری شده و عملکرد دانه سورگوم

	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۱- کلروفیل a	۱								
۲- کلروفیل b	۰/۸۸**	۱							
۳- RWC	۰/۷۵**	۰/۶۵**	۱						
۴- EC	-۰/۵۸**	-۰/۴۴**	-۰/۷۵**	۱					
۵- پروتئین برگ	۰/۶۸**	۰/۵۱**	۰/۶۲**	-۰/۶۲**	۱				
۶- روی برگ	۰/۶۲**	۰/۴۸**	۰/۵۳**	-۰/۵۰**	۰/۸۳**	۱			
۷- عملکرد علوفه تر	۰/۷۴**	۰/۵۱**	۰/۷۸**	-۰/۴۸**	۰/۷۴**	۰/۶۶**	۱		
۸- عملکرد علوفه خشک	۰/۷۶**	۰/۵۴**	۰/۷۵**	-۰/۵۱**	۰/۶۹**	۰/۵۷**	۰/۸۷**	۱	
۹- عملکرد دانه	۰/۸۳**	۰/۶۳**	۰/۶۶**	-۰/۴۵**	۰/۷۱**	۰/۵۴**	۰/۹۰**	۰/۹۱**	۱

۴-۸- نتیجه گیری کلی

بطور کلی نتایج نشان داد که اثرات ساده تیمارهای کم آبیاری، روی و رقم و اثرات متقابل دوگانه تیمارهای کم آبیاری و روی بر صفات ارتفاع بوته، قطر ساقه، کلروفیل a، کلروفیل b، محتوی کاروتنوئید برگ، محتوای نسبی آب برگ، هدایت الکتریکی، محتوای روی دانه، عملکرد علوفه تر، عملکرد علوفه خشک و عملکرد دانه سورگوم معنی دار شد. نتایج نشان داد با افزایش دور آبیاری از ۱۰ به ۲۰ روز صفات ارتفاع بوته، قطر ساقه، شاخص سطح برگ، کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید، محتوای نسبی آب برگ، پرولین، پروتئین دانه، محتوای روی دانه، عملکرد علوفه تر و خشک و عملکرد دانه بطور معنی داری کاهش پیدا کرد. اما کاربرد روی به فرم نانو یا معمولی سبب افزایش معنی دار صفات مذکور گردید و توانست بخشی از اثرات سوء تنش کم آبی را جبران نماید. بیشترین عملکرد علوفه تر، خشک و عملکرد دانه در تیمار ۱۰ روز آبیاری و کاربرد فرم نانو روی مشاهده شد که

به ترتیب برابر ۹۷/۴، ۱۸/۸ و ۸/۴۹ تن در هکتار بود. نتایج نشان داد در شرایط بدون تنش (۱۰ روز آبیاری) نانو روی باعث افزایش معنی‌دار در عملکرد علوفه تر و عملکرد دانه سورگوم نسبت به کاربرد فرم معمولی روی شد، اما در ۲۰ روز آبیاری بین کاربرد نانو روی و روی از نظر عملکرد علوفه تر و عملکرد دانه سورگوم تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. در شرایط تنش خشکی با کاربرد روی به صورت نانو میزان عملکرد علوفه خشک، تر و عملکرد دانه به ترتیب به میزان ۳/۷، ۶/۵ و ۲/۸ درصد نسبت به کاربرد روی معمولی افزایش پیدا کرد. به نظر می‌رسد فرم نانو به دلیلی ویژگیهای خاص از جمله انحلال بالا و سطح جذب بیشتر باعث افزایش بیشتر در عملکرد علوفه و عملکرد دانه سورگوم شده است. بیشترین همبستگی عملکرد دانه با عملکرد علوفه تر و عملکرد علوفه خشک بود که به ترتیب ضرایب همبستگی آنها با عملکرد دانه برابر ۰/۹۰ و ۰/۹۱ بود، کمترین همبستگی عملکرد دانه با صفت نشت الکترولیت‌ها بود که برابر ۰/۴۵- بود، نکته قابل توجه در جدول همبستگی، ضریب همبستگی منفی بین نشت الکترولیت‌ها و تمام صفات اندازه‌گیری شده می‌باشد که این امر نشان دهنده آن است که با افزایش در نشت الکترولیت‌ها صفاتی همچون رنگیزه‌های فتوسنتزی، پروتئین دانه، روی دانه و ... کاهش پیدا می‌کند که این امر نهایتاً منجر به کاهش عملکرد دانه می‌شود. همچنین نتایج این آزمایش نشان داد رقم ارسک در صفات ارتفاع، قطر ساقه، کلروفیل a، کلروفیل b، کارتنوئید، عملکرد علوفه تر، عملکرد علوفه خشک و عملکرد دانه از دو رقم دیگر اسپید فید و پگاه بهتر بود و کمترین مقادیر صفات مذکور متعلق به رقم پگاه بود. به طور کلی نتایج این آزمایش نشان داد استفاده از روی به فرم نانو و یا معمولی در برنامه تغذیه ای سورگوم از طریق بهبود رنگیزه های فتوسنتزی، ارتفاع، شاخص سطح برگ و محتوای نسبی آب برگ سبب بهره برداری بهتر گیاه از عناصر غذایی خاک و سایر منابع رشدی شده و در نهایت باعث افزایش عملکرد علوفه و دانه سورگوم

خصوصاً در شرایط تنش کم آبی می شود. در پایان، رقم ارسک و استفاده از فرم نانو روی برای افزایش عملکرد سورگوم در دو شرایط تنش کم آبی و عدم تنش توصیه می شود.

۹-۴- پیشنهادات

- بررسی اثر روی بر تنش خشکی شدیدتر (دور آبیاری بیشتر از ۲۰ روز) در گیاه سورگوم.
- برای دستیابی به نتیجه مطمئن تر آزمایش یک سال دیگر تکرار شود.
- اثر روی بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه و علوفه در کشت دیم سورگوم مورد بررسی قرار گیرد.

منابع

احسانی، م.، نوری نیا، ع.، بخشی خانیکی. و احسانی، و. ۱۳۹۲. تأثیر سطوح مختلف تنش شوری و همزیستی با قارج میکوریز آربوسکولار بر عملکرد و برخی صفات مورفولوژیکی سورگوم *Sorghum bicolor* L. فصلنامه پژوهش‌های علوم زراعی. ۸(۲): ۳۶-۵۲.

باقری م. شمسی، ح. و مروتی، ا. ۱۳۹۳. اثر نانو کلات آهن بر عملکرد و اجزای عملکرد کنگد داراب- ۱۴. مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی. ۱۸: ۶۹-۷۹.

بهتاش، ف.، طباطبایی، س.ج.، ملکوتی، م.ج.، سرور الدین، م.ح. و اوستان، ش. ۱۳۸۹. اثر روی و کادمیم بر رشد، مقدار کلروفیل، فتوسنتز و غلظت کادمیم در چغندر لبویی. مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب). ۲۴(۱): ۲۶-۴۱.

حاج حسینی اصل، ن.، مرادی مقدم، آ.، شیرانی‌راد، ا.، حسینی، ن. و رسایی فر، ک. ۱۳۹۰. تأثیر تنش خشکی بر عملکرد و صفات زراعی، ارزن، ذرت و سورگوم در کاشت مخلوط. تحقیقات کشاورزی. ۱: ۶۳-۷۴.

خدابنده، ح.، بابولیلو، م. و شاه‌رخی، ش. ۱۳۹۳. بررسی اثر کشندگی عصاره گیاهان توتون و دارچین برشته معمولی گندم، دومین همایش ملی پژوهش‌های کاربردی در علوم کشاورزی، تهران. ۱۲ ص.

خلیلی، م.، مقدم، م.، کاظمی‌اربط، ح.، شکیبا، م.ر.، کانونی، ه. و چوگان، ر. ۱۳۸۹. اثر تنش خشکی بر ژنوتیپ‌های. مختلف ذرت. مجله دانش کشاورزی پایدار. ۲(۱): ۱۵-۳۶.

دلفانی، م. ۱۳۹۰. تأثیر محلول‌پاشی نانو ذره آهن و منیزیم بر برخی خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک لوبیا چشم بلبلی. پایان نامه کارشناسی ارشد زراعت. دانشگاه صنعتی شاهرود. ۱۷۰ ص.

رزمی، ن. و قاسمی، م. ۱۳۸۶. اثر رژیم‌های مختلف آبیاری بر رشد، عملکرد دانه و اجزای آن در ارقام سورگوم دانه‌ای (*Sorghum bicolor* L.) در شرایط اصفهان. مجله علوم زراعی ایران. ۹(۲) (پیاپی ۳۴): ۱۶۹-۱۸۳.

رشدی، م. و رضادوست، س. ۱۳۸۳. اثرات تراکم بوته بر خصوصیات کمی و کیفی ارقام سورگوم علوفه‌ای در کشت دوم. علوم کشاورزی. ۱۰(۴): ۱۶۷-۱۸۴.

رضایی، ر.، حسینی، س. شعبانعلی، م. ح. و صفا، ل. ۱۳۸۸. شناسایی و تحلیل موانع توسعه فناوری نانو در بخش کشاورزی ایران از دیدگاه پژوهشگران. فصلنامه سیاست علم و فناوری. ۲(۱): ۶-۱۷.

رفیعی، م. ۱۳۹۷. اثر زمان کاشت بر رشد و عملکرد ارقام سورگوم علوفه‌ای (*Sorghum bicolor* L.) در کشت دوم در منطقه معتدل استان لرستان. نشریه علوم زراعی ایران. ۲۰ (۳): ۱۹۲-۱۸۰.

ریحانی نیا، ش.، خزایی، ح. ر.، کافی، م. و نظامی، ا. ۱۳۹۲. تأثیر تنش خشکی خاک و سطوح مختلف نیتروژن بر برخی خصوصیات بیوشیمایی ارقام سورگوم دانه‌ای در شرایط گلخانه. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای. ۴(۱۴): ۱۴-۳۶.

زند، ب.، سروش زاده، ع.، قناتی، ف. و مرادی، ف. ۱۳۸۸. اثر محلول‌پاشی عنصر روی و تنظیم‌کننده رشد اکسین بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه ذرت علوفه‌ای در شرایط کمبود آب. مجله به زراعی نهال و بذر. ۲۵: ۴۳۱-۴۴۸.

سیل‌سپور، م.، جعفری، پ. و ملا حسین، ح. ۱۳۸۸. اثر تنش خشکی بر ذرت. نشریه پژوهش در علوم کشاورزی. ۲(۲): ۳۶-۴۹.

شجاعی، ح. و مکاریان، ح. ۱۳۹۳. تأثیر محلول‌پاشی اکسید روی نانو و غیرنانو بر عملکرد و اجزای عملکرد ماش (*Vigna radiate* L.) در شرایط تنش خشکی. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. ۱۲(۴): ۷۲۳-۷۳۷.

عربی، م. و صفاری، م. ۱۳۹۹. مطالعه اثر کنترل علف‌های هرز و تراکم بوته بر عملکرد و صفات ارقام سورگوم *Sorghum bicolor* (L.) Moench. دانش زراعت. ۱۰(۵): ۵۲-۳۹.

علی نژاد، د. و گلی، ه. ۱۳۸۴. نانو کامپوزیت‌ها و کاربردهای آنها، نشر زبان تصویر. ۱۲۰ ص.

فناپی، ح.، ولی زاده، ج. و اکبری مقدم، ح. ۱۳۸۱. اثر تراکم بوته در عملکرد و اجزا عملکرد ارقام سورگوم دانه‌ای در سیستان. نهال و بذر. ۱۸(۳): ۲۹۳-۲۸۳.

فومن، ع. ف. خلیلیان، م. و میرهادی، م. ۱۳۹۱. بررسی و مقایسه صفات مورفولوژیک ده رقم جدید سورگوم علوفه ای، اولین کنفرانس ملی راه کارهای دستیابی به توسعه پایدار (کشاورزی، منابع طبیعی و محیط زیست)، تهران. ۸ ص.

فیروزآبادی، غ.، ملکوتی، م.ج. و اردلان، م. ۱۳۸۲. اثر سولفات روی و غلظت روی بذر بر پاسخ‌های گیاه گندم در خاک آهکی. مجله علوم کشاورزی ایران. ۹: ۴۸۲-۴۷۱.

کاظمینی، س. و علی نیا، م. ۱۳۹۶. اثر تنش شوری بر رشد، عملکرد و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک ارقام سورگوم علوفه‌ای. تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی. ۷ (۲): ۳۱-۱۹.

گالشی، س. ۱۳۹۴. اثر تنش‌های محیطی بر گیاهان (خشکی - شوری - گرمایی - غرقابی) (جلد ۱). دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۳۸۸ ص.

گالشی، س.، راحمی‌کاریزکی، ع.، برزگر، ا.، ترابی، ب. و رسام، ق. ۱۳۸۸. تنش و مدیریت آن در گیاهان. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۳۲۰ ص.

مدرس، ع.، صفوی، و. و طاهری، ر. ۱۳۹۸. سورگوم: گیاهشناسی، زراعت، بیوتکنولوژی. ناشر: جهاد دانشگاهی (دانشگاه اصفهان). ۲۹۶ ص.

مسببی، م. ۱۳۹۳. نقش تغذیه ای و خوراکی سورگوم. نشر آرمان. ۱۸۸ ص.

مهربان، ا.، موسوی نیک، س. و توسلی، ا. ۱۳۹۱. اثر قارچ مایکوریزا بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام سورگوم. اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی (علوم کشاورزی). ۶ (۳): ۲۶۵-۲۷۷.

موانی، پ. ۱۳۹۱. مطالعه تأثیر خشکی بر آنزیم‌های آنتی اکسیدان و پرولین سورگوم. اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی. ۱: ۲۴-۳۰.

ناصری، پ.، فرامرزی، ع.، خورشیدی بنام، م. و شاهرخی خانقاه، ش. ۱۳۹۳. اثر دور آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام سورگوم در منطقه میانه. اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی (علوم کشاورزی)، ۵(۱۹): ۹۳-۱۰۴.

نوروزی، ا. و کاظمی، ع. ۱۳۹۶. شناسایی ژنوتیپ‌های جو (*Hordeum vulgare* L.) متحمل به خشکی با استفاده از شاخص‌های تحمل تنش. تنش‌های محیطی در علوم زراعی. ۱۰ (۱): ۳۱-۴۳.

نیاکان، م.، و حبیبی، م. ۱۳۹۵. بررسی اثر سیتوکینین بر شاخص‌های رشد و فتوسنتز گیاه *Cucurbita maxima* L. در سطوح مختلف خشکی. نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی. ۱۱(۴۲): ۶۵-۵۶.

الیاس پور، س. و سیدشریفی، ر. ۱۳۹۸. ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد در سورگوم علوفه ای با استفاده از سولفات روی و کود نیتروژن. دانش کشاورزی و تولید پایدار. ۲۹(۴): ۱۵۸-۱۴۵.

Adaikumari, M., Khan, S., Pakrashi, S. and Mukherjee, A. 2006. Cytogenetic and genotoxic effects of zinc oxide nanoparticles on root cells of *Allium cepa*. J Hazard Mater. 190(1): 613-621.

Ahmad, R., wsaeed, M., Ullah, E. and Mahmood, T. 1999. Effect of potassium on protein, oil and fatty acid contents in two autumn planted sunflower hybrids. International Journal of Agriculture & Biology. 99: 325 -327.

Ajithk, P. and Panneer, R. 2013. Osmolyte accumulation, photosynthetic pigment and growth of setaria italica under drought stress. Asian Pacific Journal 2: 220-224.

Akinci, C., Doran, I., Yildirim. M. and Gul, I. 2008. Effects of different zinc doses on zinc and protein contents of barley. Asian. Journal of Chemistry. 20: 2293 -2301.

- Amirinejad, M., Akbari, Gh., Baghizadeh, A., allahdadi, I., Shahbazi, M. and Naimi, M. 2015. Effects of drought stress and foliar application of zinc and iron on some biochemical parameters of cumin. *Agricultural crop management*. 17(4): 855-866.
- Anjum, S. A., Saleem, M. F., Wang, L. C., Bilal, M. F. and Saeed, A. 2012. Protective role of glycinebetaine in maize against drought-induced lipid peroxidation by enhancing capacity of antioxidative system. *Aust. J. Crop Sci.* 6: 576-583.
- Arnon, D.T. 1949. Copper enzymes in isolation chloroplast phenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*. 24: 1-15.
- Ayad, H.S., Reda, F. and Abdalla, M.S.A. 2010. Effect of putrescine and zinc on vegetative growth, photosynthetic pigments, lipid peroxidation and essential oil content of geranium (*Pelargonium graveolens L.*). *World Journal of Agricultural Sciences*. 6: 601-608.
- Babaeian, M., Heidari, M. and Ghanbari, A. 2010. Effect of water stress and foliar micronutrient application on physiological caharctersitics and nutrient uptake in sunflower (*Helianthus annus L.*). *Iranian Journal of Crop Sciences*. 12 (4): 377- 391.
- Bagci, S.A., Ekiz, H., Yilmaz, A. and Cakmak, I. 2007. Effects of zinc deficiency and drought on grain yield of field-grown wheat cultivars in Central Anatolia. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 193 (3):198-206.
- Baligar, V.C., Fageria, N.K. and He, Z.L. 2001. Nutrient use efficiency in plants. *Commun Soil Sci Plant Anal*. 32:921-950.

- Banks, L.W. 2004. Effect of liming of foliar zinc fertilizer on yield component of soybeans. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 22(17): 226-231.
- Baybordi, A. 2006. Zinc in Soils and Crop Nutrition. Parivar Press. 179-185.
- Baybordi, A., Malakouti, M.J. and Rezai, H. 2001. Effect of Zn, B and Mn with soil application and foliar application methods on seed yield of canola in Miane. *J. Water Soil Sci.* 12: 158-169.
- Beheshti, A.R. and Fard, B.B. 2010. Dry matter accumulation and remobilization in grain sorghum genotypes (*Sorghum bicolor* L. Moench) under drought stress. *Australian Journal of Crop Science.* 4: 185-190.
- Ben Ghnaya, A. 2007. Morphological and physiological characteristics of rapeseed plants regenerated in vitro from thin cell layers in the presence of zinc. *Plant Biology.* 330: 728- 734.
- Ben-Moshe, T., Frenk, S., Dror, I., Minz, D. and Berkowitz, B. 2013. Effects of metal oxide nanoparticles on soil properties. *Chemosphere.* 90(2): 640-646.
- Bouis, H.E. 2007. The potential of genetically modified food crops to improve human nutrition in developing countries. *J Dev Stud.* 43:79-96
- Bybordi, A., Tabatabaei, S. J. and Ahmadedev, A. 2010. Effect of salinity on fatty acid composition of Canola (*Brassica napus* L). *Journal of Food, Agriculture and Environment.* 8(1): 113-115.
- Cakmak, I. 2000. Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species. *The New Phytologist.* 146 (2):185-205
- Cakmak, I. 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? *Plant Soil.* 302:1-17

- Cakmak, I., Sari, N., Marschner, H., Ekiz, H., Kalayci, M., Yilmaz, A. and Braun, H.J. 1996. Hytosiderophore release in bread and durum wheat genotypes differing in zinc efficiency. *Plant Soil*. 180:183-189.
- Chaker-alhosseini, M. H., Mohtashami, R. and Oleiaei., H. R. 2009. Effects of rate, source, and method of zincfertilizer application on quantitative and qualitative characteristics of Rice (Choram 1). *Journal of Research in Agricultural Science*. 5: 33-43.
- Chen, W., Yang, X., He, Z., Feng, Y. and Hu, F. 2008. Differential changes in photosynthetic capacity, 77 K chlorophyll fluorescence and chloroplast ultrastructure between Zn-efficient and Zn-inefficient rice genotypes (*Oryza sativa*) under low zinc stress. *Physiol Plant*. 132 (1):89-101
- Chker, A.I., hosseini, M., Mohtashami, R. and Oliyae, H.R. 2009. Effects of zinc source and method on yield and qualityof rice of Cv. Cheram. *Journal of Agricultural Science*. 5(1): 33-43.
- Cocucci, S.M., Ranieri, A. and Zocchi, G. 1986. Potassium - Dependent increase in RNA and protein synthesis in the early phase of incubation of the the rmodormantphaceliatanacetifolia seeds. *Plant Physiol*. 80: 891-894.
- Ebrahim, M.K. and Aly, M.M. 2005. Physiological response of wheat to foliar application of zinc and inoculation with some bacterial fertilizers. *J Plant Nutr*. 27 (10):1859-1874
- Ebrahimian, E. and Bybordi, A. 2014. Exogenous silicium and zinc increase antioxidant enzyme activity and alleviate salt stress in leaves of sunflower. *Journal of Food. Agriculture and Environment*. 9(1): 422- 427.

- El-Fouly, M.M., Mobarak, Z.M. and Salama, Z.A. 2011. Micronutrients (Fe, Mn, Zn) foliar spray for increasing salinity tolerance in wheat *Triticum aestivum* L. African Journal of Plant Science. 5: 314-322.
- Fageria, N.K., Baligar, V.C. and Clark, R.B. 2002. Micronutrients in crop production. Adv Agron. 77:185-267
- Flenet, F., Bouniols, A., Saraiva, C. 1996. Sunflower response to a range of soil water contents. Europe. J. Agron. 5: 161-167.
- Gholinejad, E., Aeneh band, A., Hasanzade ghortappe, A., Barnoosi, I. and Rezaei, H. 2009. Evalution of effective drought stress on yield, yield components and harvest index of sunflower hybrid Iroflor and different levels of nitrogen and plant population in Uromieh climate conditions. J. of plant production. 16 (3): 29-34.
- Golzardi, F. Baghdadi, A. and Keshavarz Afshar, R. 2017. Alternate furrow irrigation affects yield and water-use efficiency of maize under deficit irrigation. Crop and Pasture Science. 68(8): 726-734. <https://doi.org/10.1071/CP17178>
- Goodman, B.A. and Newton, A.C. 2005. Effects of drought stress and its sudden relief on free radical processes in barley .J Sci Food Agric 85:47-53
- Graham, A.W. 2004. Effects of zinc nutrition and high temperature on the growth, yield and grain quality of wheat (*Triticum aestivum* L.). Ph.D Thesis, University of Adelaide. USA. 142 p.
- Graham, R.D., Ascher, J.S. and Hynes, S.C. 1992. Selecting zinc-efficient cereal genotypes for soils of low zinc status. Plant Soil. 146: 241-250.

- Grzebisz, W., Wrońska, M., Diatta, J.B. and Dullin, P. 2008. Effect of zinc foliar application at early stages of maize growth on patterns of nutrients and dry matter accumulation by the canopy. Part I. Zinc uptake patterns and its redistribution among maize organs. *Journal of Elementolgy*. 13: 17-28.
- Gunes, A., Pilbeam, D.J., Inal, A., Coban, S. and Aksu, A. 2008. Influence of silicon on sunflower cultivars under drought stress. II: Essential and nonessential element uptake determined by polarized energy dispersive x-ray fluorescence. *Commun. Soil Sciences. Plant Analysis*. 39: 1904-1927.
- Gurmani, A.R., Din, J.U., Khan, S.U., Andaleep, R., Waseem, K., Khan, A. and Hadyat-Ullah, A. 2015. Soil Application of zinc improves growth and yield of tomato. *International Journal Agricultural Biology*. 14: 91–96.
- Haji hasani-asl, N., Roshdi, M., Gafare, M., Alizade, A. and Moradeaghdam, A., 2007. The effect of drought stress and deflation on Agronomic traits, yield And yield component on sunflower. The second congress of Agriculture. University of Khoy. 10p.
- Hajiboland, R., Singh, B. and Romheld, V. 2001. Retranslocation of Zn from leaves as important contributing factor for zinc efficiency of rice genotypes. In: Horst WJ, Schenk MK, Bürkert A (eds) *Plant Nutrition - Food Security and Sustainability of Agro-ecosystems*. Kluwer, Dordrecht, The Netherlands. pp 226-227.
- Harris, D., Rashid, A., Miraj, G., Arif, M. and Shah, H. 2007. Priming seeds with zinc sulphate solution increases yield of maize (*Zea mays* L.) on zinc-deficient soils. *Field Crops Research*. 102: 119-127.

- Hart, J.J., Norvell, W.A., Welch, R.M., Sullivan, L.A. and Kochian, L.V. 1998. Characterization of zinc uptake, binding, and translocation of bread and durum wheat cultivars. *Plant Physiol.* 118:219-226.
- Heidary, Y. and Moaveni, p. 2009. Study of drought stress on accumulation and proline among aba in different genotypes forage corn. *Research journal of biological sciences.* 4: 1121-1124.
- Hussein, M. M., El-Faham, S.Y. and Alva, A. K. 2012. Pepper plants growth, yield, photosynthetic pigments, and total phenols as affected by foliar application of potassium under different salinity irrigation water. *Agricultural Sciences.* 3: 241-248.
- Jahansouz, M.R. Afshar, R.K. Heidari, H. and Hashemi, M. 2014. Evaluation of yield and quality of sorghum and millet as alternative forage crops to corn under normal and deficit irrigation regimes. *Jordan Journal of Agricultural Sciences.* 10: 699-715.
- Kangrshahy, P. 2003. The effect of micronutrients and track the performance and yield of *maize*. Master's Thesis Tehran University. 214 p.
- Karam, F. Breidy, J. Stephan, C. and Rouphael, J. 2013. Evapotranspiration, yield and water use efficiency of drip irrigated corn in the Bekaa Valley of Lebanon. *Agricultural Water Management.* 63:125-137.
- Khan, M.A., Fuller, M.P. and Baloch, F.S. 2008. Effect of soil applied zinc sulphate on wheat (*Triticum aestivum* L.) grown on a Calcareous soil in Pakistan. *Cereal Research Communications.* 36(4): 571–582.

- Khoshgoftarmanesh, A. H., M. R. Balai. and Z. Khademi. 2001. The effect of ZnSO₄ on the growth and yield of wheat in saline-barra soils. *In*: 7th Iran. Soil Sci. Cong., Univ. of Shahrekord, Shahr-e-Kord, Iran, Sept. 14–21.
- krishma, S. 1995. Effect of sulphur and zinc Application on yield, s and ZN uptake and protein content of mung. *Legom. Res.* 18: 89-92.
- Lewis, D.C. and Macfalane, J.D. 1986. Effect of foliar applied manganese on the growth of safflower (*Carthamus tinctorious* L.) and the diagnosis of manganes deficiency by plant tissue and seed analysis. *Journal Agricultural Research.* 37(6): 567-572.
- Li CZ, Jiao J. and Wang, G.X. 2004. The important roles of reactive oxygen species in the relationship between ethylene and polyamines in leaves of spring wheat seedlings under root osmotic stress. *Plant Sci.* 166:303-315
- Liu, A., Hamel, C., Hamilton, R.I., Ma, B.L., and Smith, D.L. 2000. Acquisition of Cu, Zn, Mn and Fe by mycorrhizal maize (*Zea mays* L.) grown in soil at different P and micronutrient levels. *Mycorrhizae.* 9: 331-336.
- Liu, R. and Lal, R. 2015. Potentials of engineered nanoparticles as fertilizers for increasing agronomic productions. *Science of the Total Environment.* 514: 131–139.
- Malakoti, M. and Tehrani, M. 2000. The role of micronutrients in enhancing the performance and improve the quality of Agricultural Product. Tarbiat Modares University Press. 302 p.
- Mamnouie, E., Fotohi Ghazvini, R., Esfahany, M. and Nakhoda, B. 2006. The effects of water deficit on crop yield and physiological characteristics of

- barley (*Hordeum vulgare* L.) varieties. Journal of Agricultural Science and Technology. 8: 211- 219.
- Marschner, H. 2016. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2 edn. Academic Press, London. 296 p.
- Mazaherinia, S., Astaraei, A.R., Fotovat, A. and Monshi, A. 2010. Nano iron oxide particles efficiency on Fe, Mn, Zn and Cu concentrations in wheat plant. World Appl. Sci. J. 7(1): 36-40.
- McDonald, G.K., Graham, R.D., Lloyd, J., Lewis, J., Loneragan P. and Khabaz-Saberi, H., 2001. Breeding for improved zinc and manganese efficiency in wheat and barley. In: Proceeding of the 10th Australian Agronomy Conference, Hobart, Australia, , 2001. Department of Plant Science, Waite Institute, Glen Osmond, SA , 12 p.
- Mirzapour, M.H. and Khoshgoftar, A.H. 2006. Zinc application effects on yield and seed oil content of sunflower grown on a saline calcareous soil. Journal of Plant Nutrition. 29: 1719-1727.
- Mohammadkhani, N. and Heidary, R. 2008. Drought-induced accumulation of soluble sugars and proline in two maize varieties. World Applied Sciences Journal. 3: 448-453.
- Monica, R.C. and Cremonini, R. 2009. Nanoparticles and higher plants. Caryol. 62: 161-165.
- Moosa, M. Baradaran, R. and Seghatol Eslami, M.J. 2010. Response of *Nigella sativa* canopy, leaf chlorophyll and yield to nitrogen fertilizer application methods. Iranian Journal of Field Crops Research 8: 42-48.

- Moussa, H.R. 2006. Influence of exogenous application of silicon on physiological response of salt-stressed maize (*Zea mays* L.). International Journal of Agriculture and Biology. 8: 293-297
- Movahedy–Dehnavy, M., Modarres–Sanavy, S.A.M. and Bidgoli, M. 2009. Foliar application of zinc and manganese improves seed yield and quality of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) grown under water deficit stress. Industrial Crop and Productions. 30: 82-92.
- Naderi, M. and Shahraki, E. 2011. Optimized application of nanotechnology in the formulation of chemical fertilizers. Monthly Nanotechnology. 165(4): 20-22.
- Naderi, R. and Abedi, A. 2012. Application of nanotechnology in agriculture and refinement of environmental pollutants. J. Nanotech. 11(1): 18-26.
- Nair, R., Hanna Varghese, S., Nair, B., Maekawa, G. T., Yoshida, Y. and Sakthi kumar, D. 2010. Nanoparticulate material delivery to plants. Plant Science. 179: 154-163.
- Nazar, R., Umar, S., Khan, N A. and Sarer, O. 2015. Salicylic acid supplementation improves photosynthesis and growth in mustard through changes in proline accumulation and ethylene formation under drought stress. South Afr J Bot. 98: 84-96.
- Pandey, A.C., Sanjay, S.S. and Yadav, R.S. 2010. Application of ZnO nanoparticles in influencing the growth rate of *Cicer arietinum*. Journal of Experience Nanoscience. 5: 488-497.

- Payegozar, Y. 2008. Effect of foliar application of micro nutrient on quantitative and qualitative characteristics of pearl millet under drought stress. Master's thesis, Department of Agriculture, University of Zabol. 134 p.
- Peleg, Z., Saranga, Y., Yazici, A., Fahima, T., Ozturk, L. and Cakmak, I. 2008. Grain zinc, iron and protein concentrations and zinc-efficiency in wild emmer wheat under contrasting irrigation regimes. *Plant Soil*. 306: 57–67.
- Peyvandi, M., Parande, H. and Mirza, M. 2011. Comparison of nano Fe chelate with Fe chelate effect on growth parameters and antioxidant enzymes activity of *Ocimum Basilicum*. *New Cell Mol. Biotech*. 4: 89-99.
- Peyvandi, M., Parande, H. and Mirza, M. 2015. Comparison of nano Fe chelate with Fe chelate effect on quantitative and qualitative Essential Oil of *Ocimum Basilicum*. *Research of Medicinal Plants and Aromatic Plants of Iran*. 31(2): 185-193.
- Pirasteh-Anosheh, H., Emam, Y. and Sepaskhah, A. R. 2015. Improving barley performance by proper foliar applied salicylic-acid under saline conditions. *International Journal of Plant Production*. 9: 467-486.
- Piri, I., Harati, A., Tavassoli, A. and Babaeian, M. 2017. Effect of using different Levels Manure on Quality and Quantity of Rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) under Salt Stress. *Condition, Journal of Crop Ecophysiology (Agriculture Science)*. 10 (4): 959-974.
- Prasad, T.N.V.K.V., Sudhakar, P., Sreenivasulu, Y., Latha, P., Munaswamy, V., Raja Reddy, K., Sreeprasad, T.S., Sajanlal, P.R. and Pradeep, T. 2012. Effect of nanoscales zinc oxide on the germination, growth and yield of peanut. *J. Plant Nutr*. 35: 905-927.

- Premanathan, M., Karthikeyan, K., Eyasubramanian, K. J. and Manivannan, G. 2011. Selective toxicity of ZnO nanoparticles toward Gram-positive bacteria and cancer cells by apoptosis through lipid peroxidation. *Nanomed. Nanotech.* 7: 184-192.
- Rahimizadeh, M., Kashani, A., Zarefizabady, A., Madani, H., Soltani, E. 2010. Effect of micronutrient fertilizers on sunflower growth and yield in drought stress condition. *3 (1): 57-79.*
- Ranjbar, M. and Shams, Gh. A. 2009. Using of nano technology. *Ecological Green Journal.* 3: 29-34
- Razmjoo, J. and Ghafari, H. 2015. Response of durum wheat to foliar application of varied sources and rates of iron fertilizers. *Journal of Agricultural Science and Technology.* 17 (2): 321-331.
- Rengel, Z. 1995. Carbonic anhydrase activity in leaves of wheat genotypes differing in Zn efficiency, *J. Plant Physiol.* 147 (2): 251-256.
- Reynold, G.H. 2002. Forward to the future nanotechnology and regulatory policy, Pacific Research Institute. 1-23.
- Rezaei, R., Hosseini, M., Shabanali Fami, H. and Safa, L. 2009. Identification and Analysis of the Barriers of Nanotechnology Development in the Iranian Agricultural Sector from the Viewpoint of the Researchers. *Journal of Science and Technology Policy.* 2(1): 17-26.
- Rezvan, P., Yari, O. and Seyyedi, S.M. 2011. Yield, yield components and nitrogen use efficiency of wheat in mushroom compost, biological fertilizer and urea application. *Journal of Agroecology.* 3: 313-323.

- Salehi, M., and Tamaskoni, F. 2008. Effect Nanocid at seed treatment on germination and seedling growth of wheat under salinity. Abstract of the First National Conference of Seed Science and Technology Iran. P: 358.
- Salemi, H.R., Malek, S. and Afiuni, D. 2006. Effect of limited irrigation on grain yield and qualitative traits of six new wheat cultivars in Kabouta-abad, Isfahan. Journal of Agricultural Engineering Research. 27: 132-146.
- Samarah, N., Mullen, R. and Cianzio, S. 2004. Size distribution and mineral nutrients of soybean seeds in response to drought stress. J. Plant Nutr. 27: 835-815.
- Schaffert, R. E., Albuquerque, P. E. P., Duarte, J. O., Garcia, J. O., Gomide, R. L., Guimar es, C. T., Magalh es, P. C., Magalh es, J. V. and Queiroz, V. A. V. 2011. Phenotyping sorghum for adaptation to drought, Part II in Monneveux P. and Ribaut JM.(Eds), Drought phenotyping in crops: from theory to practice. Generation Challenge Programme.
- Sekabira, K.; Oryem- Origa, H.; Mutumba, G.; Kakudidi, E. and Basamba, T. A. 2011. Heavy metal phytoremediation by (*Commelina benghalensis* L) and (*Cynodon dactylon* L) growing in Urban stream sediments. International Journal of Plant Physiology and Biochemistry. 3(8): 133-142.
- Selote, D.S., Bharti, S. and Khanna-Chopra, R. 2004. Drought acclimation reduces O₂^{*}-accumulation and lipid peroxidation in wheat seedlings. Biochem Biophys Res Commun. 314:724-729.
- Sepaskhah, A.R. and Khajehabollahi, M.H. 2005. Alternate furrow irrigation with different irrigation intervals for maize. Plant Prod. Sci. 8: 592-600.

- Serival, H. Stahl, K. Tallaksen, L.M. and Demuth, S. 2001. Have Streamflow Droughts in Europe Become More Severe or Frequent? International Journal of Climatology. International Journal of Climatology. 21: 317-333.
- Siaal, H. Smith, C.W. Thaxton, P.S. and Hemphill, J.K. 2005. Seedling drought tolerance in upland cotton. Crop Science. 45: 766-771.
- Subramanian, K.S., Manikandan, A., Thirunavukkarasu, M. and SharmilaRahale, C. 2015. Nanofertilizers for Balanced Crop Nutrition. Nanotechnologies in Food and Agriculture. Rai M, Duran N, Ribeiro C, Mattoso L. Springer Cham Heidelberg New York Dordrecht London. Springer International Publishing Switzerland.
- Swiader, J.M. 2000. Micronutrient fertilizer recommendation for vegetable crop. Horticulture Facts, p: 21-35.
- Tavallali, V., M. Rahemi, S. Eshghi, B. Kholdbarin. and A. Ramezani. 2010. Zinc alleviates salt stress and increases antioxidant enzyme activity in the leaves of pistachio (*Pistacia vera* L. 'Badami') seedlings. Turkish Journal of Agriculture and Forestry. 34 349-359.
- Thalooth, A., Badr, N.M. and Mohamed, M.H. 2005. Effect of foliar spraying with zinc and different levels of phosphatic fertilizer on growth and yield of sunflower plants grown under saline conditions. Egyptian Journal of Agronomy. 27: 11-22.
- Udayakumar, B.M., RamaRao, S., Prasad, T.G. and KrishnaSastry, K.S., 2006. Effect of potassium on protein accumulation in cucumber cotyledons. New Phytol. 77: 593-598.

- Weisany, W., Y. Sohrabi, GH. Heidari, A. Siosemardeh. and K. Ghassemi-Golezani. 2012. Changes in antioxidant enzymes activity and plant performance by salinity stress and zinc application in soybean (*Glycine max* L.). Plant Omics Journal. 5(2):60-67.
- Welch, R. M. 2001. Impact of mineral nutrients in plants on human nutrition on a worldwide scale. Plant Nutrition. 92: 284-285.
- Welch, R.M. and Graham, R.D. 2004. Breeding for micronutrients in staple food crops from a human nutrition perspective. J Exp Bot. 55 (396):353-364.
- Wenzel, A.A. and Mehlhorn, H. 1995. Zinc deficiency enhances ozone toxicity in bush beans(*Phaseolus vulgaris* L. cv. Saxa). J Exp Bot. 46 (7):867-872.
- Yan, Q. Shi, M. Neg, J. and Wu, J. 1996. Elicitor-induced rosmarinic acid accumulation and secondary metabolism enzyme activities in *Salvia miltiorrhiza* hairy roots. Plant Science. 170: 853–858.
- Yang, F., Hong, F.S., You, W.J., Liu, C., Gao, F.Q., Wu, C. and Yang, P. 2006. Influences of nano-anatase TiO₂ on the nitrogen metabolism of growing spinach. Biol. Trace Elem. Res. 110: 179-190.
- Yari, L., Modares, M.A. and Soroushzade, A. 2005. The effect of foliar application of Mn and Zn on qualitative characters in five spring safflower cultivars. J. Water and Soil Sci. 18: 143-151.
- Yilmaz, A., Ekis, H. and Cakamk, I. 1997. Effect of different zinc application methods on grain yield and zinc concentration in wheat. J. Plant Nutr. 20, 461-471.

- Zain, M., Khan, I., Qadri, R. W. K., Ashraf, U., Hussain, S., Minhas, S., Siddiquei, A., Jahangir, M. M. and Bashir, M. 2015. Foliar application of micronutrients enhances wheat growth, yield and related attributes. *American Journal of Plant Sciences*. 6 (07): 864.
- Zehtab-Salmasi, S., Heidari, F. and Alyari, H. 2008. Effect of microelements and plant density on biomass and essential oil production of peppermint (*Mentha piperment* L.). *Plant Science Research*. 1: 24-28.
- Zengin, K.F. 2016. The effects of Co^{2+} and Zn^{2+} on the contents of protein, abscisic acid, proline and chlorophyll in bean (*Phaseolus vulgaris* cv. *Strike*) seedlings. *Journal of Environmental Biology*. 27: 441-448.
- Zhu, H., Han, J., Xiao, J.Q. and Jin, Y. 2008. Uptake, translocation and accumulation of manufactured iron oxide nanoparticles by pumpkin plants. *J. Environ. Monitor*. 10: 713-717.

Effect of foliar application of zinc nanoparticle on some growth traits and seed yield of three sorghum cultivars under water deficit stress

Abstract

In order to investigate the effect of foliar application of zinc nanoparticles on some growth traits and yield of three sorghum (*Sorghum bicolor* L.) cultivars under water deficit condition, an experiment was performed at the research farm of Shahrood University of Technology in the growing season of 2018-19. The experiment was arranged as split plot factorial based on randomized complete block design with three replications. Water deficit stress treatment in two levels of 10 and 20 days irrigation interval were assigned as main plots and sub plots were the combination of the two factors: sorghum cultivars at three levels: Aresk, Speedfeed and Pegah, and foliar application of zinc in three levels of control, micro and nano-particles forms at concentration of 2 gr.l.⁻¹. The results showed that by increasing the irrigation interval from 10 to 20 days, plant height, stem diameter, leaf area index, chlorophyll a, chlorophyll b, carotenoids, relative leaf water content, proline, grain protein, zinc content, wet and dry forage yield and grain yield decreased significantly. However, application of zinc in nano or conventional form causes a significant increase in height, stem diameter, leaf area index, chlorophyll a, chlorophyll b, carotenoids, relative leaf water content, proline, protein, zinc content, wet and dry forage yield and grain yield under stress conditions. The highest fresh and dry forage yield and grain yield were observed at the rate of 97.4, 18.8 and 8.49 ton.ha⁻¹ respectively in irrigation interval of 10 days treatment. Results showed in the most of growth traits, grain and forage yield the local Arsek cultivar was better significantly than Speed Feed and Pegah cultivars at stress and non-stress condition. Based on the results of this experiment the use of zinc in nano or normal form in sorghum nutrition programs can improve the growth and yield of quantitative and qualitative of sorghum and reduce the harmful effects of water deficit stress.

Keywords: Plant nutrition, Water stress, Forage yield, Nano fertilizers,



Shahrood University of Technology

Faculty of Agriculture

M.Sc. Thesis in Agrotechnology crop Physiology

The effect of foliar application of zinc nanoparticle on some growth traits and seed yield of three sorghum cultivars under water deficit stress

By:

Masome Khaleghdoost

Supervisor:

Dr. Hassan Makarian

Advisors:

Dr. Hamid Abbasdokht

Dr. Mehdi Baradaran Firouz abadi

September 2021