بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده مهندسی کشاورزی
رشته زراعت گرایش زراعت

پایان نامه کارشناسی ارشد

بررسی پاسخ زراعی و فیزیولوژیکی لوبیا سبز به پیش‌تیمار بذری و محلول‌پاشی با نانو ذره روی

نگارنده: زینب بنی‌نعمه

استاد راهنما
دکتر مهدی برادران فیروزآبادی

اساتید مشاور
دکتر حسن مکاریان
دکتر مهدیه پارسائیان

شهریور ۱۳۹۵

پیوست شماره ۲

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی کشاورزی

رشته زراعت گرایش زراعت

پایان نامه کارشناسی ارشد خانم زینب بنی‌نعمه

تحت عنوان: بررسی پاسخ زراعی و فیزیولوژیکی لوبیا سبز به پیش‌تیمار بذری و محلول‌پاشی با نانو ذره روی

در تاریخ ۱۳۹۵/۶/۱۶توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه عالی مورد پذیرش قرار گرفت.

استاد راهنما	امضاء	اساتید مشاور	امضاء
دکتر مهدی برادران فیروزآبادی		نام و نام خانوادگی : دکتر حسن مکاریان	
		نام و نام خانوادگی : دکتر مهدیه پارسائیان	

اساتید داور	امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء
دکتر منوچهر قلی‌پور		دکتر شاهرخ قرنجیک	
دکتر احمد غلامی			

آنان که زیباترین واژه ها را به من آموختند

والاترین فداکاری ها را بی منت به من ارزانی داشتند

به پاس مهربانی بی دریغشان این مجموعه را ضمن تشکر و سپاس بیکران و در کمال افتخار و امتنان تقدیم می نمایم

به محضر ارزشمند

پدر و مادرم

و

خانواده عزیزم

تشکر و قدردانی

خدایم را می ستایم تا سپاسی باشد بر نعمتی که از او دارم و از او یاری می خواهم تا حق او را بگذارم....

شکر شایان نثار ایزدمنان که توفیق را رفیق راهم ساخت تا این پایان نامه را به پایان برسانم. از استاد اندیشمند و فرهیخته جناب آقای دکتر مهدی برادران فیروزآبادی که همواره نگارنده را مورد لطف و محبت خود قرار داده اند و در تمامی این مدت با بردباری مرا راهنمائی فرمودند و بی شک انجام مراحل مختلف این پایان نامه بدون حمایت و پشتیبانی ایشان امکان پذیر نبود کمال تشکر و قدردانی را دارم. از اساتید مشاور جناب آقای دکتر حسن مکاریان و خانم دکتر مهدیه پارسائیان به دلیل مشاوره های بی منت و راهنمایی های ارزشمندشان سپاسگزارم. همچنین از اساتید محترم داور جناب آقای دکتر منوچهر قلی پور و جناب آقای دکتر احمد غلامی که زحمت باز خوانی و داوری این پایان نامه را بر عهده داشتند تشکر می کنم.

از همدلی و مساعدت های همکلاسی ها و دوستان عزیزم بی نهایت قدردانی می نمایم و برای تمامی این عزیزان سلامتی و توفیق در مسیر زندگی از خداوند بلندمرتبه مسئلت دارم.

و در پایان تشکر خالصانه دارم خدمت تمامی کسانی که به نوعی، به قلمی و یا به نگاهی مرا در به انجام رساندن این مهم یاری نمودند.

و من الله التوفیق

زینب بنی نعمه

شهریور ۱۳۹۵

تعهدنامه

اینجانب **زینب بنی‌نعمه** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زراعت دانشکده ی کشاورزی بسطام دانشگاه شاهرود نویسنده پایان نامه **بررسی پاسخ زراعی و فیزیولوژیکی لوبیا سبز به پیش‌تیمار بذری و محلول-پاشی با نانو ذره روی** تحت راهنمائی **دکتر مهدی برادران فیروزآبادی** متعهد می‌شوم.

- 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 شاهرود » و یا «Shahrood University» به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج ازپایان 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، برنامه‌های رایانه‌ای ، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه شاهرود می‌باشد . 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 نمی‌باشد.*

چکیده

با توجه به افزایش روزافزون میزان مصرف کودهای شیمیایی در عرصه کشاورزی، می‌توان از کودهای نانو به‌عنوان جایگزین مناسب که هم کیفیت محصولات را افزایش می‌دهد و هم می‌تواند امنیت غذایی را در سال‌های آتی تأمین کند نام برد. عنصر روی یکی از هفت عنصر کم‌مصرف و ضروری در تغذیه گیاهی است. امروزه پژوهش‌هایی در خصوص استفاده از عناصر ریزمغذی به‌ویژه روی به صورت پیش‌تیمار و محلول‌پاشی برای تخفیف اثرات نامطلوب محیطی بر گیاهان و بهبود رشد و نمو آن‌ها صورت گرفته است و امید است که این روش‌ها در افزایش محصول تأثیر داشته باشد. به همین منظور آزمایشی در جهت بررسی پاسخ زراعی و فیزیولوژیکی لوبیا سبز به پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با نانو ذره روی در دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود در سال ۱۳۹۴ اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل پیش‌تیمار بذر در شش سطح (صفر، آب خالص، روی معمولی در دو غلظت ۳ و ۶ گرم در لیتر و نانو روی در دو غلظت ۳ و ۶ گرم در لیتر) و محلول‌پاشی عنصر روی در سه سطح (صفر، معمولی و نانو با غلظت ۴ گرم در لیتر) بودند. که به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. اعمال پیش‌تیمار بذور در تیمارهای مورد نظر به مدت ۱۲ ساعت و محلول‌پاشی با غلظت‌های مورد نظر قبل از گلدهی انجام شد. نتایج نشان داد کاربرد نانو روی ۶ گرم در لیتر به‌صورت پیش‌تیمار همراه با محلول‌پاشی نانو روی تأثیر مثبت بر تجمع ماده خشک داشت و به‌ترتیب سبب افزایش ۱۸۴/۲۲، ۵۸/۴ و ۱۵۰ درصدی وزن خشک برگ، ساقه و غلاف گردید. نانو روی ۳ گرم در لیتر به‌صورت پیش‌تیمار افزایش معنی‌داری را نسبت به سایر تیمارها در ارتفاع ساقه، شاخه فرعی فرعی، ارتفاع اولین غلاف از سطح خاک، تعداد غلاف در بوته، وزن صد دانه و عملکرد دانه ایجاد کرد. البته اضافه شدن محلول‌پاشی اثر مثبتی بر این صفات داشت. کاربرد پیش‌تیمار و محلول‌پاشی به دو فرم معمولی و نانو تأثیر مثبت بر برخی صفات فیزیولوژیک نظیر رنگدانه‌های برگ و پایداری غشای پلاسمایی داشت. پیش‌تیمار نانو روی همراه با محلول‌پاشی روی به فرم معمولی و نانو فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان شامل کاتالاز، پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز و سوپر اکسید دیسموتاز را بهبود بخشید. محلول‌پاشی نانو روی سبب افزایش روی در برگ و دانه لوبیا سبز گردید، همچنین محلول‌پاشی روی در تمامی سطوح پیش‌تیمار سبب بهبود صفت پروتئین دانه شد. به طور کلی در محدوده آزمایش انجام شده نانو روی به‌ویژه در غلظت بالا به صورت پیش‌تیمار و محلول‌پاشی نانو تأثیر بیشتری بر صفات مورد بررسی داشت.

کلمات کلیدی: نانو کود، حبوبات، اجزای عملکرد، آنتی اکسیدان‌ها

مقالات مستخرج از پایان‌نامه

تأثیر پیش تیمار بذری و محلول پاشی با نانو روی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه لوبیا سبز *Phaseolus vulgaris* L . دومین کنگره بین المللی و چهاردهمین کنگره ملی علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران- رشت. ۱۱-۹ شهریور ۱۳۹۵.

اثر پیش تیمار بذری نانو اکسید روی و روی معمولی بر تجمع ماده خشک و عملکرد لوبیا سبز. دومین کنگره بین المللی و چهاردهمین کنگره ملی علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران- رشت. ۱۱-۹ شهریور ۱۳۹۵.

تأثیر محلول‌پاشی نانو اکسید روی و روی معمولی بر صفات فیزیولوژیک و عملکرد لوبیا سبز (*Phaseolus vulgaris* L.). همایش ملی الکترونیکی پدافند غیرعامل در بخش کشاورزی. دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان. ۱۷ خرداد ۱۳۹۵.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه ۱
فصل دوم: بررسی منابع ۵
۲-۱- حبوبات ۶
۲-۲- لوبیا سبز ۷
۲-۲-۱- گیاه‌شناسی ۷
۲-۲-۲- خصوصیات اکولوژیکی ۸
۲-۲-۳- نیاز غذایی ۹
۲-۲-۴- ارزش غذایی دانه ۱۰
۲-۳- اهمیت فناوری نانو ۱۰
۲-۳-۱- کاربردهای فناوری نانو در کشاورزی ۱۱
۲-۳-۲- کاربرد نانو کودها ۱۳
۲-۴- پیش‌تیمار بذر ۱۴
۲-۵- محلول‌پاشی ۱۶
۲-۶- روی ۱۷
۲-۶-۱- نقش روی در سلامتی انسان ۱۸
۲-۶-۲- نقش روی در گیاهان ۱۷
۲-۶-۳- علایم کمبود و بیش‌بود روی در گیاهان ۱۹
۲-۷- تأثیر عنصر روی بر رشد و نمو و عملکرد گیاهان ۲۱
۲-۷-۱- تجمع ماده خشک ۲۱
۲-۷-۲- سطح برگ ۲۲
۲-۷-۳- ارتفاع ۲۲
۲-۷-۴- قطر ساقه ۲۳
۲-۷-۵- انشعابات جانبی ۲۴
۲-۷-۶- عملکرد و اجزای عملکرد ۲۴
۲-۸- تأثیر عنصر روی بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی گیاهان ۲۶
۲-۸-۱- کلروفیل ۲۶
۲-۸-۲- محتوای آب نسبی برگ ۲۷
۲-۸-۳- پایداری غشاء پلاسمایی ۲۷
۲-۸-۴- محتوای قندهای محلول ۲۸
۲-۸-۵- آنتوسیانین و فلاونوئید ۲۹
۲-۹- آنزیم‌های آنتی اکسیدان ۳۰
۲-۱۰- تأثیر روی بر برخی صفات کیفی ۳۲
۲-۱۰-۱- غلظت روی در اندام رویشی ۳۲
۲-۱۰-۲- غلظت روی در دانه ۳۲

۲-۱۰-۳- پروتئین دانه ۳۳
فصل سوم: مواد و روش‌ها ۳۵
۳-۱- زمان و مشخصات محل اجرای آزمایش ۳۶
۳-۲- خصوصیات خاک محل اجرای آزمایش ۳۶
۳-۳- مشخصات طرح آزمایشی ۳۷
۳-۴- عملیات اجرایی ۳۸
۳-۴-۱- پیش‌تیمار بذر ۳۸
۳-۴-۲- آماده سازی بستر و کاشت ۳۸
۳-۴-۳- داشت ۳۹
۳-۴-۴- محلول‌پاشی ۳۹
۳-۴-۵- برداشت ۳۹
۳-۵- نمونه‌برداری جهت صفات زراعی و مورفولوژیک ۴۰
۳-۶- اندازه‌گیری صفات زراعی و مورفولوژیک ۴۰
۳-۶-۱- وزن خشک برگ، ساقه و غلاف ۴۱
۳-۶-۲- شاخص سطح برگ ۴۱
۳-۶-۳- عملکرد سبز، اجزای عملکرد و عملکرد نهایی ۴۲
۳-۷- اندازه گیری صفات فیزولوژیک ۴۲
۳-۷-۱- میزان کلروفیل و کاروتنوئید ۴۲
۳-۷-۲- محتوای آب نسبی برگ ۴۳
۳-۷-۳- پایداری غشای پلاسمایی برگ ۴۴
۳-۷-۴- محتوای قندهای محلول ۴۴
۳-۷-۵- میزان آنتوسیانین ۴۵
۳-۷-۶- اندازه گیری فلاونوئید ۴۶
۳-۸- سنجش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان ۴۶
۳-۸-۱- تهیه عصاره پروتئینی ۴۶
۳-۸-۲- سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT) ۴۷
۳-۸-۳- سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز(PX) ۴۷
۳-۸-۴- سنجش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز (APX) ۴۸
۴-۸-۵- سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD) ۴۸
۳-۹- اندازه گیری صفات کیفی ۵۰
۳-۹-۱- غلظت عنصر روی ۵۰
۳-۹-۲ درصد و عملکرد پروتئین دانه ۵۱
۳-۱۰- تجزیه و تحلیل داده‌ها ۵۲
فصل چهارم: نتایج و بحث ۵۳
۴-۱- تجمع ماده خشک برگ، ساقه و غلاف ۵۴
۴-۱-۱- وزن خشک برگ ۵۴
۴-۱-۲- وزن خشک ساقه ۵۵
۴-۱-۳- وزن خشک غلاف ۵۶

۴-۲- شاخص سطح برگ ۵۷
۴-۳- ارتفاع ساقه ۵۸
۴-۴- قطر ساقه ۶۰
۴-۵- شاخه فرعی ۶۱
۴-۶- شاخه فرعی فرعی ۶۲
۴-۷- ارتفاع اولین غلاف از سطح خاک ۶۴
۴-۸- عملکرد و اجزای عملکرد ۶۵
۴-۸-۱- عملکرد سبز (وزن غلاف تازه) ۶۵
۴-۸-۲- تعداد غلاف در بوته ۶۶
۴-۸-۳- تعداد دانه در غلاف ۶۷
۴-۸-۴- وزن صد دانه ۶۸
۴-۸-۵- عملکرد نهایی ۶۹
۴-۹- صفات فیزیولوژیک ۷۰
۴-۹-۱- رنگدانه‌های برگ ۷۰
۴-۹-۱-۱- کلروفیل a ۷۰
۴-۹-۱-۲- کلروفیل b ۷۱
۴-۹-۱-۳- کلروفیل کل ۷۲
۴-۹-۱-۴-کاروتنوئید ۷۳
۴-۹-۲- محتوای آب نسبی برگ ۷۴
۴-۹-۳- پایداری غشاء ۷۵
۴-۹-۴- محتوای قندهای محلول ۷۷
۴-۹-۵- غلظت آنتوسیانین ۷۸
۴-۹-۶- میزان فلاونوئید ۷۹
۴-۱۰- فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان ۸۰
۴-۱۰-۱- میزان فعالیت آنزیم کاتالاز ۸۰
۴-۱۰-۲- میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز ۸۲
۴-۱۰-۳- میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز ۸۳
۴-۱۰-۴- میزان فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز ۸۴
۴-۱۱- صفات کیفی ۸۶
۴-۱۱-۱- میزان روی موجود در برگ ۸۶
۴-۱۱-۲- میزان روی موجود در دانه ۸۶
۴-۱۱-۳- درصد پروتئین دانه ۸۷
۴-۱۱-۴- عملکرد پروتئین ۸۸
۴-۱۲- نتیجه‌گیری ۹۱
۴-۱۳- پیشنهادات ۹۲
منابع ۱۰۳

فهرست شکل‌ها

شکل **صفحه**

۳-۱- نقشه کشت طرح آزمایشی مورد استفاده ۳۸
۳-۲- منحنی استاندارد قند محلول در طول موج ۶۲۵ نانومتر ۴۵
۳-۳- منحنی استاندارد غلظت پروتئین محلول ۴۷
۳-۴- منحنی استاندارد آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز در طول موج ۵۶۰ نانومتر ۵۰
۳-۵- منحنی استاندارد غلظت عنصر روی ۵۱
۴-۱- مقایسه میانگین وزن خشک برگ تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی ۵۵
۴-۲- مقایسه میانگین وزن خشک ساقه تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی ۵۶
۴-۳- مقایسه میانگین وزن خشک غلاف تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی ۵۷
۴-۴- مقایسه میانگین شاخص سطح برگ تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی ۵۸
۴-۵- مقایسه میانگین ارتفاع ساقه تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی ۶۰
۴-۶- مقایسه میانگین قطر ساقه تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی ۶۱
۴-۷- مقایسه میانگین تعداد شاخه فرعی تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی ۶۲
۴-۸- مقایسه میانگین تعداد شاخه فرعی فرعی تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی ۶۲
۴-۹- مقایسه میانگین ارتفاع اولین غلاف از سطح خاک تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی ۶۴
۴-۱۰- مقایسه میانگین عملکرد سبز تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی ۶۵
۴-۱۱- مقایسه میانگین تعداد غلاف در بوته تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی ۶۶
۴-۱۲- مقایسه میانگین تعداد دانه در غلاف تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی ۶۷
۴-۱۳- مقایسه میانگین وزن صد دانه تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی ۶۸
۴-۱۴- مقایسه میانگین عملکرد نهایی تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی ۶۹
۴-۱۵- مقایسه میانگین کلروفیل a تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی ۷۱
۴-۱۶- مقایسه میانگین کلروفیل b تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی ۷۲
۴-۱۷- مقایسه میانگین کلروفیل کل تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی ۷۳
۴-۱۸- مقایسه میانگین کاروتنوئید تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی ۷۴
۴-۱۹- مقایسه میانگین محتوای آب نسبی برگ تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی ۷۵
۴-۲۰- مقایسه میانگین پایداری غشای پلاسمایی تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی ۷۶
۴-۲۱- مقایسه میانگین قندهای محلول تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی ۷۷
۴-۲۲- مقایسه میانگین غلظت آنتوسیانین تحت تأثیر پیش‌تیمار عنصر روی به فرم نانو و معمولی ۷۸
۴-۲۳- مقایسه میانگین غلظت آنتوسیانین تحت تأثیر محلول‌پاشی عنصر روی به فرم نانو و معمولی ۸۰
۴-۲۴- مقایسه میانگین میزان فلاونوئید تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی ۸۱
۴-۲۵- مقایسه میانگین فعالیت کاتالاز تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی ۸۲
۴-۲۶- مقایسه میانگین فعالیت پراکسیداز تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی ۸۳
۴-۲۷- مقایسه میانگین فعالیت آسکوربات پراکسیداز تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی ۸۵
۴-۲۸- مقایسه میانگین سوپراکسیددیسموتاز تحت تأثیر پیش‌تیمارو محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو ومعمولی ۸۷

۴-۲۹- مقایسه میانگین میزان روی برگ تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی..... ۸۷
۴-۳۰- مقایسه میانگین میزان روی دانه تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی ۸۸
۴-۳۱- مقایسه میانگین درصد پروتئین دانه تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی..... ۸۹
۴-۳۲- مقایسه میانگین عملکرد پروتئین دانه تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی ۹۰

فهرست جداول

جدول **صفحه**

۲-۱- مواد غذایی موجود در لوبیا سبز (گرم در ۱۰۰ گرم دانه) ۱۰
۲-۲- املاح معدنی و ویتامین‌های موجود در لوبیا سبز (میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم دانه) ۱۰
۳-۱- خصوصیات خاک محل آزمایش..... ۳۶
۳-۲- ترکیبات تیماری مورد استفاده در آزمایش ۳۷
۳-۳- مشخصات نانو ذرات اکسید روی مورد استفاده در آزمایش ۴۰
پیوست ۱- میانگین مربعات تجمع ماده خشک و شاخص سطح برگ تحت تأثیر پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی ۹۴
پیوست ۲- مقایسه میانگین تجمع ماده خشک و شاخص سطح برگ تحت تأثیر پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی ۹۴
پیوست ۳- میانگین مربعات صفات مورفولوژیک لوبیا سبز تحت تأثیر پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی ۹۵
پیوست ۴- مقایسه میانگین صفات مورفولوژیک لوبیا سبز تحت تأثیر پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی ۹۵
پیوست۵- میانگین مربعات عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا سبز تحت تأثیر پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی ۹۶
پیوست ۶- مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا سبز تحت تأثیر پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی ۹۶
پیوست۷- میانگین مربعات کلروفیل برگ لوبیا سبز تحت تأثیر پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی ۹۷
پیوست ۸- مقایسه میانگین کلروفیل برگ لوبیا سبز تحت تأثیر پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی ۹۷
پیوست۹- میانگین مربعات برخی صفات فیزیولوژیک لوبیا سبز تحت تأثیر پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی..... ۹۸
پیوست ۱۰- مقایسه میانگین برخی صفات فیزیولوژیک لوبیا سبز تحت تأثیر پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی ۹۸
پیوست ۱۱-میانگین مربعات آنتوسیانین و فلاونوئید لوبیا سبز تحت تأثیر پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی..... ۹۹
پیوست ۱۲- مقایسه میانگین آنتوسیانین و فلاونوئید لوبیا سبز تحت تأثیر پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی ۹۹
پیوست۱۳- میانگین مربعات آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان لوبیا سبز تحت تأثیر پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی..... ۱۰۰
پیوست۱۴- مقایسه میانگین آنزیم‌های آنتی اکسیدان لوبیا سبز تحت تأثیر پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی ۱۰۰

پیوست۱۵- میانگین مربعات صفات کیفی لوبیا سبز تحت تأثیر پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی ۱۰۱
پیوست۱۶- مقایسه میانگین صفات کیفی لوبیا سبز تحت تأثیر پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی ۱۰۱

فصل اول

مقدمه

طبق مطالعات انجام شده استفاده از پروتئین‌های گیاهی می‌تواند اثرات سوء ناشی از کمبود پروتئین را تا حدی از بین ببرد. حبوبات و به‌خصوص لوبیا دارای مقادیر زیادی پروتئین هستند و گونه‌های مختلف آن از ۲۰ تا ۵۰ درصد پروتئین دارند. علاوه بر این حبوبات دارای کربوهیدرات‌ها، برخی ویتامین-ها و مواد معدنی ضروری در جیره غذایی انسان هستند و در تناوب‌های زراعی نیز برای حاصلخیزی زمین و به عنوان کود مورد استفاده قرار می‌گیرند (خاقانی و همکاران، ۱۳۸۸).

در کشور ما در بیشتر موارد توصیه کودها بدون توجه به نیاز گیاه صورت می‌گیرد و به تغذیه صحیح گیاه اهمیت داده نمی‌شود. اشکالی که در توصیه کودها وجود دارد این است که تا گیاهان زراعی نشانه‌های کمبود را نشان ندهند، کودی مصرف نمی‌شود که این اندیشه‌ای نادرست است زیرا در این شرایط عملکرد پائین آمده و کیفیت محصول کاهش می‌یابد (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۷). علاوه بر نوع کود و زمان مصرف آن، روش مصرف نیز نقش مهمی در افزایش واکنش گیاه دارد (پارسا و باقری، ۱۳۸۷). محلول‌پاشی عناصر غذایی از مؤثرترین روش‌های تأمین مواد غذایی گیاهان است و تأثیر بیشتری نسبت به روش‌های کاربرد خاکی به‌ویژه در شرایط نامطلوب خاک دارد (اردال و همکاران، ۲۰۰۴). در شرایط مزرعه‌ای که فاکتورهای تأثیرگذار روی جذب موادغذایی بی‌ثبات و متغیر هستند، کوددهی برگی یک امتیاز محسوب می‌شوند (موحدی دهنوی و همکاران، ۲۰۰۹). تاکنون مهمترین استفاده از برگ‌پاشی درکاربرد ریزمغذی‌ها بوده است. عناصر کم‌مصرف با وجود نیاز اندک گیاهان به آن‌ها نقش اساسی در تغذیه، واکنش‌های آنزیمی، فرآیندهای متابولیکی و مقاومت گیاهان در برابر بیماری‌ها و شرایط نامساعد محیطی ایفا می‌کنند. این عناصر شرایط عمومی گیاه را بهبود می‌بخشند و به‌عنوان کاتالیزور در واکنش‌های بیوشیمیایی که در گیاهان صورت می‌گیرند، شرکت می‌کنند (محمودی و حکیمیان، ۱۳۷۹ و پاتیل و همکاران، ۲۰۰۸). در این زمینه عنصر روی مثالی قابل توجه است. عنصر روی یکی از هفت عنصر کم‌مصرف و ضروری در تغذیه گیاهی است. این عنصر نقش مهمی در تولید بیوماس دارد (زند و همکاران، ۱۳۸۸ و کایا و هیگز، ۲۰۰۲). در ساختمان ۲۰۰ نوع آنزیم و پروتئین مشارکت می‌کند و به‌طور غیرمستقیم سبب افزایش رشد گیاه و اسیمیلاسیون می‌شود (سعید و محمود،

۲۰۱۰). عنصر روی علاوه بر اینکه عملکرد محصولات کشاورزی را افزایش می‌دهد، کیفیت محصولات تولیدی را بالا می‌برد. به‌عنوان مثال کاربرد کود روی سبب افزایش عملکرد و کیفیت لوبیا شده است (وفایی و همکاران، ۱۳۹۰). همچنین تیکسیرا و همکاران (۲۰۰۴) گزارش کردند که در لوبیا مصرف روی به‌صورت محلول‌پاشی منجر به افزایش صفات زراعی می‌شود.

امروزه پژوهش‌هایی در خصوص استفاده از برخی مواد به‌صورت پیش‌تیمار برای تخفیف اثرات نامطلوب محیطی بر گیاهان و بهبود رشد و نمو آن‌ها صورت گرفته است. پیش تیمار بذر روشی است که در آن به بذر اجازه جذب آب به صورت کنترل شده داده می‌شود تا فعالیت‌های اولیه جوانه‌زنی شروع گردد، اما از خروج ریشه‌چه جلوگیری می‌گردد، سپس رطوبت بذر به مقدار اولیه کاهش داده می‌شود (اکبر و همکاران، ۲۰۰۹ و مک دونالد، ۱۹۹۹). هدف اصلی فناوری پیش‌تیمار بذر، بهبود کارایی بذر در شرایط محیطی خاص است. پیش‌تیمار سبب افزایش سرعت سبز شدن در مزرعه خصوصاً در شرایط نامساعد از جمله پایین بودن دما و کمبود رطوبت می‌شود (استیل و برادفورد، ۱۹۹۷). بذر در هنگام کاشت زمان قابل توجهی را صرف جذب آب می‌کند، با کاهش این زمان می‌توان سرعت جوانه‌زنی و خروج جوانه از خاک را تسریع نمود (توسلی و کاسناوا، ۲۰۰۲).

امروزه فناوری‌هایی مورد نیاز هستند که قابلیت تولید گیاهان، دام‌ها و به‌طور کلی موجوداتی با ویژگی‌های برتر را داشته باشند (پورآتشی، ۱۳۸۸). فناوری نانو واژه‌ای است که به تمام فناوری‌های پیشرفته در عرصه کار با مقیاس نانو اطلاق می‌شود. در این راستا در سال‌های اخیر نانو ذرات به‌دلیل خواص ویژه، کاربردهای زیادی در زمینه‌های مختلف پیدا کرده‌اند. طراحی و ساخت نانو کودها در کشاورزی یکی از رویکردهای فناوری نانو می‌باشد که فرصت‌های جدیدی به منظور افزایش راندمان مصرف عناصر غذایی و به حداقل رساندن هزینه‌های حفاظت از محیط زیست را ایجاد کرده است. با بکارگیری نانو کودها به‌عنوان جایگزین کودهای مرسوم، عناصر غذایی به‌تدریج و به‌صورت کنترل شده

در خاک آزاد می‌شوند و در نتیجه از بروز پدیده مردابی شدن آب‌های ساکن و همچنین آلودگی آب آشامیدنی جلوگیری به‌عمل خواهد آمد (لیو و همکاران، ۲۰۰۶).

با توجه به نقش عمده‌ای که عنصر روی در فرآیندهای متابولیکی گیاهی دارد این گونه استنباط می‌شود که استفاده از این عنصر به شکل محلول‌پاشی و پیش‌تیمار می‌تواند موجبات کارایی بهتر این عنصر در گیاه و نیز کاهش آلودگی‌های زیست محیطی را به‌واسطه کاهش مصرف کود سبب شود و از لحاظ اقتصادی مقرون به‌صرفه باشد. همچنین این امید وجود دارد که این عنصر به‌ویژه به‌شکل نانو ذره موجب بهبود رشد، عملکرد و کیفیت لوبیا سبز شود. با عنایت به مصرف تازه‌خوری لوبیا سبز این امید وجود دارد که با افزوده شدن عنصر روی به غلاف‌های این گیاه، نقش مهمی در افزایش سلامت انسان ایفا شود.

در این مطالعه به بررسی پاسخ زراعی و فیزیولوژیکی لوبیا سبز به پیش‌تیمار بذری و محلول‌پاشی با نانو ذره روی پرداخته شد. در قالب این پژوهش اهداف زیر مطرح و دنبال گردید:

۱- بررسی اثر پیش‌تیمار بذری لوبیا سبز با روی و نانو روی در غلظت‌های مختلف.

۲- مقایسه نانو ذرات روی و روی معمولی از لحاظ تأثیر بر پارامترهای کمی و کیفی لوبیا سبز.

۳- بررسی اثر متقابل پیش‌تیمار بذور و محلول‌پاشی با عنصر روی به هر دو شکل معمولی و نانو ذره.

فصل دوم

بررسی منابع

در این فصل به ذکر اهمیت حبوبات، معرفی گیاه‌شناختی و زراعی لوبیا سبز، نانو تکنولوژی و نقش آن در کشاورزی و اهمیت عنصر روی به‌صورت پیش‌تیمار و محلول‌پاشی پرداخته می‌شود.

۲-۱- حبوبات

پس از غلات، دومین منبع مهم غذایی بشر، حبوبات است (کوچکی و بنایان اول، ۱۳۶۸). حبوبات مانند نخود، عدس، لوبیا و باقلا از جمله اولین گیاهان خوراکی هستند که از گذشته‌های بسیار دور در کشورهای شرق مدیترانه کاشته شده و بشر از دانه‌های خشک آن‌ها در رژیم‌های غذایی استفاده می‌کرده است. چرا که مقادیر قابل توجه پروتئین مرغوب موجود در دانه این محصولات در ترکیب با غلات می‌تواند یک ترکیب زیستی ارزشمند غذایی را فراهم نماید. البته پروتئین موجود در بذور حبوبات ۲ تا ۳ برابر بیشتر از پروتئین موجود در دانه‌های غلات و ۱۰ تا ۲۰ برابر بیشتر از پروتئین موجود در گیاهان غده‌ای می‌باشد. حبوبات با دارا بودن ۱۸ تا ۳۲ درصد پروتئین در مقایسه با پروتئین‌های حیوانی در رژیم غذایی انسان اهمیت بسیار دارند. ارزش بیولوژیکی حبوبات به سبب دارا بودن بسیاری از اسیدهای آمینه ضروری بالاست، گرچه اسیدهای آمینه سولفوردار از قبیل تریپتوفان، سیستین، متیونین و ایزولوسین در ترکیب حبوبات کم می‌باشند ولی اسیدآمینه لیسین در آن‌ها زیاد است. دانه حبوبات از لحاظ عناصر معدنی مانند آهن و کلسیم غنی هستند و مقادیر کمی از ویتامین‌های کاروتئین، ریبوفلاوین، اسید آسکوربیک و مقدار متوسطی نیاسین و تیامین نیز دارند. از دیگر ویژگی‌های مهم این گیاهان، می‌توان به نقش آن‌ها در ثبات تولید اکوسیستم‌های کشاورزی جهان از طریق تناوب با سایر گیاهان زراعی و تثبیت نیتروژن جوی اشاره کرد. حبوبات با داشتن ریشه عمیق به شخم بیولوژیکی خاک کمک می‌کنند و قابلیت دستیابی به منابع با ارزش رطوبت خاک را نسبت به سایر گیاهان زراعی دارا هستند. همچنین می‌توانند به‌عنوان کود سبز برای تقویت و بهبود وضع فیزیکی زمین نیز مورد استفاده قرار گیرند. در حقیقت هر بوته‌ای از حبوبات را می‌توان به‌تنهایی کارخانه کوچکی از تولید کود شیمیایی نیتروژن در نظر گرفت که علاوه بر تأمین نیاز خود به نیتروژن، برای محصول بعد از آن نیز

مفید است و نیز گذشته از ارزش غذایی و تثبیت نیتروژن حبوبات به‌دلیل بهبود خواص فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک، نقش مهمی در پایداری نظام‌های کشاورزی ایفا می‌نمایند و برای تنوع بخشیدن به نظام‌های مبتنی بر غلات که تأمین غذای جهان بر آن استوار است، به‌عنوان محصولات ممتاز در نظر گرفته می‌شوند (پارسا و باقری، ۱۳۸۷). کشورهای فقیر و پرجمعیت جهان، نظیر هندوستان، با مصرف سرانه ۱۱/۷ کیلوگرم حبوبات، سهم آن در رژیم غذایی مردم نسبت به سایر کشورها بیشتر است. در کشور ما نیز حبوبات با مصرف سرانه ۴/۸ کیلوگرم، اگرچه مصرف آن از متوسط جهانی (۶/۱ کیلوگرم) پائین‌تر است، ولی در عین حال نقش مهمی در تغذیه مردم کم‌درآمد ایفا می‌نماید (مجنون‌حسینی، ۱۳۸۷). یکی از مهم‌ترین حبوبات در جهان، لوبیا است. و در بین آن‌ها لوبیا سبز بیشترین توجه جهانی را به خود اختصاص داده است (کوچکی و بنایان اول، ۱۳۶۸).

۲-۲- لوبیا سبز

۲-۲-۱- گیاه‌شناسی

لوبیا سبز با نام علمی *Phaseolus vulgaris* L. دارای 2n =22 کروموزوم و گیاهی خودگشن است. این گیاه دارای پنج گونه زراعی و حدود ۵۰ گونه وحشی است. لوبیا گیاهی یکساله، بالارونده یا بوته‌ای، کمی کرک‌دار، با ریشه‌ی عمودی و جانبی توسعه یافته و گاهی دارای گره‌های کروی است. ساقه آن گوشه‌دار یا شبه استوانه‌ای است (پارسا و باقری، ۱۳۸۷). در لوبیای پاکوتاه فاصله میان گره‌ها کوتاه باقی می‌ماند و رشد طولی ساقه پس از تشکیل ۶ تا ۸ گره با تولید گل‌آذین در رأس ساقه متوقف می‌شود. در این حالت بوته لوبیا به ۳۰ تا ۴۰ سانتی‌متر می‌رسد. در لوبیای پابلند گل‌آذین در امتداد ساقه تشکیل می‌شود و بدین ترتیب ساقه اصلی می‌تواند تا ارتفاع بیش از ۲ متر نیز رشد کند (پیوست، ۱۳۸۸). برگ‌های لوبیا متناوب و سه قسمتی است. دمبرگ معمولاً تا ۱۵ سانتی‌متر طول دارد و روی برگ شیاردار است. برگچه‌های پائینی غیر متقارن، معمولاً بیضوی هستند. گل‌آذین محوری یا انتهایی و دارای

چند گل به رنگ سفید، صورتی، سوسنی یا ارغوانی است. کاسه گل استکانی و جام گل پروانه‌ای شکل می‌باشد پرچم‌ها به صورت دیادلفوس[1] (۱+۹) و تخمدان از جوانب فشرده و دارای ۱۲-۴ (معمولاً ۷ عدد) تخمک است. خامه برگشته به سمت بالا و پیچیده شده با یقه‌ای از کرک‌های ظریف زیر کلاله می‌باشد. کلاله بیضوی و غده‌ای است. شکل غلاف خطی حداکثر به طول ۲۰ سانتی‌متر، راست، گاهی کمی منحنی و یا منقار برجسته است. دانه‌ها تخم‌مرغی شکل و به رنگ سیاه و قهوه‌ای است. جوانه‌زنی بذر به‌صورت برون خاکی[2] است. دو برگ ابتدایی ساده و متقابل و برگ‌های بعدی متناوب و سه برگچه‌ای می‌باشند (پارسا و باقری، ۱۳۸۷).

۲-۲-۲- خصوصیات اکولوژیکی

لوبیا سبز گیاهی گرمادوست است و دمای مطلوب رشد آن ۲۰ تا ۲۹ درجه سانتی‌گراد است. دمای بیشتر از ۴۵ درجه سانتی‌گراد منجر به عدم تشکیل بذر در آن شده و دمای کمتر از ۱۵ درجه سانتی‌گراد برای رشد آن مناسب نیست. لوبیا سبز گیاهی روز کوتاه است، به‌خوبی سایه اندازی را تحمل می‌کند و در کشت‌های درهم به‌خوبی عمل می‌کند. برای رشد کامل آن ۱۲۰ الی ۱۳۰ روز وقت لازم است به‌شرط آن که دما هرگز به صفر یا زیر صفر نرسد. در حدود ۲۶ تا ۳۹ روز پس از کاشت چنانچه طول روز بین ۱۰ تا ۱۸ ساعت باشد به گل می‌نشیند. برخلاف سویا کمبود رطوبت را بهتر تحمل می‌کند، البته در شرایط خشک تولید آن به شدت کاهش می‌یابد. مخصوصاً در طی گلدهی و پر شدن غلاف‌ها به هوای خشک حساس است. بهترین منطقه کشت آن محلی است که در آخر فصل رشد آن، بارندگی صورت نگیرد. پوست بذرهای اکثر انواع لوبیا به آب غیرقابل نفوذ می‌شوند و چنانچه لوبیا سبز را در موقع وزش باد گرم برداشت کنند یا در انبارهای گرم نگهداری کنند، این سخت پوستی تشدید می‌شود. باران بیش از اندازه نیز موجب ریزش گل و افزایش ابتلاء به بیماری در آن می‌شود. در شرایط گرمسیری و نیمه

[1] Diadelphous
[2] Epigil

گرمسیری آن را در انواع خاک‌ها کشت می‌کنند اما قادر به رشد در خاک‌های رسی بافت سنگین با سطح سفره آب زیرزمینی بالا نیست. شوری زیاد خاک، به‌طور قابل توجهی باعث کاهش رشد لوبیا سبز می‌شود. pH مناسب خاک برای این گیاه حدود ۶ الی ۷ است (کوچکی بنایان اول، ۱۳۷۳).

۲-۲-۳- نیاز غذایی

مصرف عناصر ریزمغذی علاوه بر نقشی که در افزایش عملکرد کیفی و کمی محصولات کشاورزی دارند، در سلامتی انسان و دام که از مواد اولیه گیاهی استفاده می‌کنند نیز تأثیر به‌سزایی دارند و این به‌دلیل وارد شدن این عناصر به قسمت‌های خوراکی این گیاهان مانند گندم، جو، حبوبات و قسمت‌های سبزی و غیره است که به‌عنوان غذای روزمره مصرف می‌شود. با توجه به این‌که عناصر ریزمغذی علاوه بر افزایش تولید، در سلامتی و تندرستی انسان نیز مؤثر می‌باشند لذا یکی از راه‌های ساده و اقتصادی برای نیل به خودکفایی و جامعه‌ای سالم و تندرست، اضافه کردن عناصر ریزمغذی به خاک و یا مصرف آن به‌صورت پیش‌تیمار و محلول‌پاشی می‌باشد تا بدین ترتیب علاوه بر افزایش تولید، غلظت عناصر ریزمغذی را در محصولات کشاورزی افزایش داد (قادری و ملکوتی، ۱۳۸۷).

اگرچه لوبیا در خاک‌های حاصل‌خیز به خوبی به‌عمل می‌آید ولی می‌توان آن‌ها را در گروهی از سبزی‌ها قرار داد که نسبت به کاربرد کودهای شیمیایی کم‌تر واکنش نشان می‌دهند. کاربرد کودهای شیمیایی باید براساس نیازهای شناخته شده در خاک باشد (مبلی و پیراسته، ۱۳۷۳). برای تولید لوبیا پاکوتاه با توجه به موادغذایی زمین معمولاً حدود ۴۰ کیلوگرم نیتروژن، ۶۰ کیلوگرم فسفات و ۱۲۰ کیلوگرم کودهای پتاسه در هکتار نیاز است. برای لوبیای پابلند مقدار کود نیتروژن بیشتر و حدود ۱۶۰ کیلوگرم کود پتاسه بسته به نوع زمین و مواد موجود در آن در هر هکتار در نظر می‌گیرند. باید توجه داشت که زمین مورد نیاز باید از نظر منیزیم نیز غنی باشد (مجنون حسینی، ۱۳۸۷).

۲-۲-۴- ارزش غذایی دانه

لوبیا را به صورت سبز و یا خشک تهیه می‌نمایند. نوع سبز آن را ممکن است به صورت تازه و یا کنسرو شده مصرف نمایند. از نظر مواد غذایی و ویتامین‌ها شبیه نخودفرنگی است. لوبیای خشک مملو از پروتئین (۲۰ تا ۳۰ درصد)، ویتامین‌ها، فسفر و آهن است (جدول ۲-۱ و ۲-۲). باید توجه داشت که لوبیا را به‌صورت خام نباید مورد مصرف قرار داد. زیرا به‌علت داشتن ماده سمی فاسین[۳] می‌تواند اختلالاتی در دستگاه گوارش و سایر اعضای بدن ایجاد کند. این ماده سمی در اثر پخته شدن لوبیا و نیز در اثر تخمیر اسیدهای معده از بین می‌رود (پیوست، ۱۳۸۸).

جدول ۲-۱- مواد غذایی موجود در لوبیا سبز (گرم در ۱۰۰ گرم دانه)

آب	پروتئین	چربی	کربوهیدرات	مواد سلولزی
۹۰/۳	۲/۴	۰/۲	۵/۱	۱/۹

جدول ۲-۲- املاح معدنی و ویتامین‌های موجود در لوبیا سبز (میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم دانه)

کلسیم	فسفر	آهن	منیزیم	پتاسیم	ویتامین A	ویتامین C	ویتامین B_1	ویتامین B_2	ویتامین B_6
۵۵	۴۰	۰/۸	۲۵	۲۵۰	۰/۳۳	۲۰	۰/۰۸	۰/۱۲	۰/۵۷

۲-۳- اهمیت فناوری نانو

انجمن ملی نوبنیاد فناوری نانو[۴] آمریکا، واژه فناوری نانو را "تحقیق و توسعه در مقیاس اتمی، مولکولی و ماکرومولکولی در محدوده طولی ۱ تا ۱۰۰ نانومتر تعریف نموده است که منجر به فهم و درک صحیحی از مواد و رویدادها در مقیاس نانو شده و امکان ساخت ابزار و سیستم‌هایی را فراهم می‌آورد که به دلیل

[3] Fassin
[4] National Nanotechnology Initative

ابعاد و اندازه بسیار کوچکشان دارای خواص و عملکرد منحصر به فرد می‌باشند" (ان ان ای، ۲۰۰۶). فناوری نانو براساس این واقعیت است که بعضی ساختارهای معمولاً کوچکتر از ۱۰۰ نانومتر دارای خواص و رفتارهایی هستند که آن‌ها را با همان ترکیب در اندازه‌های بزرگتر از خود نشان نمی‌دهند. این بدان واسطه است که مواد در اندازه‌های نانویی خواص فیزیکی و شیمیایی خاصی دارند که مستقیماً مربوط به اندازه می‌شود (اسکرینیس، ۲۰۰۶). از علومی که می‌توان از آن در امر تولید مواد غذایی و ایجاد امنیت غذایی بهره برد، فناوری نانو می‌باشد. این فناوری پتانسیل لازم برای ایجاد انقلابی عظیم در بخش کشاورزی را دارد. امروزه دانشمندان در حوزه کشاورزی و فناوری نانو تحقیقات فراوانی انجام داده‌اند و توانسته‌اند محصولاتی را ارائه دهند. مواد تولید شده براساس فناوری نانو علاوه بر ایمنی بهداشتی بالاتر دارای قیمت کم‌تر و کیفیت بالاتر می‌باشد. در سال‌های اخیر تحقیقات در حوزه فناوری نانو به‌طور چشم‌گیری افزایش یافته است به‌طوری که در آینده نه چندان دور بسیاری از نانو ابزارها جزئی از زندگی روزمره خواهند شد. در حال حاضر بهره‌برداری از فناوری نانو در علوم پزشکی، مواد الکترونیک آغاز شده است و این موجب شده که محققان در حوزه‌های مختلف علوم از جمله کشاورزی به بررسی پتانسیل کاربردی این علم گرایش پیدا کنند. در عرصه کشاورزی، فناوری نانو منجر به تغییرات شگرفی در استفاده از منابع طبیعی، انرژی و آب، امکان بازیافت مواد و استفاده مجدد از آن‌ها می‌شود و پساب‌ها و آلودگی‌ها را کاهش خواهد داد (واراد و داتا، ۲۰۰۶).

۲-۳-۱- کاربردهای فناوری نانو در کشاورزی

فناوری نانو به‌عنوان عامل ایجاد موج بعدی توسعه و تغییر در سیستم‌های کشاورزی و صنایع غذایی مد نظر قرار گرفته است. در بخش کشاورزی، تحقیق و توسعه نانو فناوری در حوزه‌هایی نظیر آنچه در زیر عنوان می‌شود ایفای نقش می‌کند:

- تیمار مولکولی بیماری‌ها، ردیابی سریع بیماری‌ها، افزایش توانمندی گیاهان برای جذب مواد مورد نیاز.
- حسگرهای هوشمند و سیستم‌های حمل هوشمند برای ردیابی و مبارزه با ویروس‌ها و سایر عوامل بیماری‌زای گیاهی.
- کاتالیزهای نانویی جهت افزایش کارایی استفاده از آفت‌کش‌ها و کاربرد دزهای کمتر از این ترکیبات خطرناک.
- فناوری نانو به‌طور غیرمستقیم با استفاده از منابع تجدید شونده در حفظ محیط زیست کمک خواهد کرد.
- توسعه و به‌کارگیری نانو ذرات در بسته‌بندی محصولات کشاورزی جهت کنترل و کاهش خسارت ناشی از آفات و بیماری‌های پس از برداشت.
- افزایش مقاومت پوشش‌های بدنه ادوات و ماشین‌ها و ابزارهای کشاورزی و حتی شیشه‌ها در برابر خوردگی و ساییدگی و انعکاس امواج ماورای بنفش.
- اصلاح خاک.
- تولید سوخت‌های جایگزین و آلودگی کمتر محیط زیست.
- شوری زدایی از آب‌های شور.
- ساخت سوپرجاذب‌های آب از پلیمرها و مواد کامپوزیت به منظور ذخیره و حفظ رطوبت بیشتر در خاک برای مناطق خشک و کم آب.
- استفاده از نانو کودها در تغذیه گیاه.
- ساخت سیستم‌های هوشمند به منظور رهایش سموم در گیاه (کوچکی و خواجه حسینی، ۱۳۸۷).

۲-۳-۲- کاربرد نانو کودها

کودهای شیمیایی، نقش اساسی را در افزایش تولید محصولات دانه‌ای در کشورهای در حال توسعه جهان خصوصاً پس از معرفی ارقام زراعی پرمحصول و کودپذیر طی وقوع انقلاب سبز برعهده داشته‌اند (شاویو، ۲۰۰۰). این در حالی است که مصرف بیش ازحد کودهای شیمیایی نیتروژنه و فسفره، منابع آبی جهان را تحت تأثیر قرار داده است و منجر به بروز فرآیند مردابی شدن در اکوسیستم‌های آبی می‌شود. یکی از مهم‌ترین کاربردهای فناوری نانو در زمینه‌ها و گرایش‌های مختلف کشاورزی در بخش آب و خاک، استفاده از نانو کودها برای تغذیه گیاهان می‌باشد (رضایی و همکاران، ۱۳۸۸). در این راستا استفاده از نانو کودها به‌منظور کنترل دقیق آزادسازی عناصر غذایی می‌تواند گامی مؤثر در جهت دستیابی به کشاورزی پایدار و سازگار با محیط زیست باشد (کوی و همکاران، ۲۰۰۶). از جمله مزایای استفاده از نانو کودها در مقایسه با کودهای مرسوم می‌توان به افزایش راندمان و کیفیت منابع غذایی به‌واسطه سرعت جذب بالاتر، عدم اتلاف کودها به‌وسیله آبشویی و جذب کامل کود به‌وسیله گیاه به دلیل رهاسازی عناصر غذایی کود با سرعت مطلوب در تمام طول فصل رشد، کاهش قابل توجه آلودگی خاک، ذخایر آبی و محصولات غذایی به‌واسطه کاهش آبشویی کودها، کاهش میزان فشردگی خاک و سرعت از دست رفتن کیفیت آن، کاهش مسمومیت گیاهی و تنش ناشی از وجود غلظت‌های بسیار بالای موضعی نمک در خاک، افزایش عملکرد به‌واسطه وضعیت تغذیه‌ای مطلوب گیاه، بهبود خواص انبارداری و سهولت جابجایی کود اشاره کرد (نادری و دانش‌شهرکی، ۱۳۹۰).

در کشت هیدروپونیک بذرهای کدوی سبز از نانو ذرات روی استفاده شد و جوانه‌زنی و رشد ریشه مطالعه گردید و نشان داده شد که نانو ذرات روی، هیچ‌گونه تأثیر منفی ندارند (استامپولیس و همکاران، ۲۰۰۹). گزارش شده است که کاربرد اکسید روی به‌شکل نانو ذره در مقایسه با شکل معمول آن، تأثیر مثبت بر تجمع ماده خشک ذرت و افزایش رشد گیاه نخود داشت (فتحی و زاهدی، ۱۳۹۳ (الف) و پاندی، ۲۰۱۰).

به‌طور کلی بازدارندگی رشد گیاه در اثر نانو ذرات بسته به نوع نانو ذره فلزی، نوع گیاه و نیز غلظت به‌کار رفته متفاوت است. در این بین با توجه به گسترش و جایگاه نانو کودها مصرف آزمایش شده و محتاط‌تر این مواد معقولانه‌تر به نظر می‌رسد.

۲-۴- پیش‌تیمار بذر

جوانه‌زنی بذر، مرحله پیچیده و پویایی از رشد گیاه می‌باشد و از طریق اثراتی که روی استقرار گیاهچه دارد، می‌تواند عملکرد را بهبود بخشد (اشرف و فولاد، ۲۰۰۵). پیش‌تیمار بذر تکنیکی است که به‌واسطه آن بذور پیش از قرار گرفتن در بستر خود و مواجهه با شرایط اکولوژیکی محیط، به لحاظ فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی آمادگی جوانه‌زنی را به‌دست می‌آورند. این امر می‌تواند سبب بروز خصوصیات زیستی و فیزیولوژیکی متعددی در بذر پرایم شده و گیاه حاصل از آن گردد، به‌طوری که این موارد را می‌توان در چگونگی جوانه‌زنی، استقرار اولیه گیاه، بهره‌برداری از نهاده‌های محیطی، زودرسی، افزایش کمی و کیفی محصول مشاهده کرد (پیل و نکرت، ۲۰۰۱). در پرایمینگ اجازه داده می‌شود که بذرها مقداری آب جذب کنند به‌طوری که مراحل اولیه‌ی جوانه‌زنی انجام شود اما ریشه‌چه خارج نشود. به عبارت دیگر، بذرها تا مرحله دوم جذب آب پیش می‌روند اما وارد مرحله سوم نمی‌شوند، پس از آن بذرها خشک می‌شوند و همانند بذرهای تیمار نشده ذخیره و کشت می‌شوند (مک دونالد، ۲۰۰۰). پیش‌تیمار بذر سبب کوتاه کردن زمان کاشت تا سبز شدن و حفاظت بذرها از عوامل زنده و غیر زنده در مرحله بحرانی استقرار گیاهچه می‌شود. همچنین این تیمارها یکنواختی سبز شدن را موجب می‌شوند که منجر به استقرار یکنواخت و بهبود عملکرد در محصول می‌شوند (باسرا و همکاران، ۲۰۰۳). مسرت و همکاران (۱۳۹۲) گزارش دادند پرایمینگ بذر سبب افزایش میزان اسیدنوکلئیک، پروتئین و افزایش تحرک مواد ذخیره‌ای در بذر می‌گردد، در نتیجه بذر سریعتر جوانه زده و رشد می‌کند. تیمار پرایمینگ

بذر به شکل‌های مختلفی مثل هیدروپرایمینگ، اسموپرایمینگ، ماتریک پرایمینگ و پرایمینگ مزرعه‌ای (پرایمینگ بذر) انجام می‌گیرد (هریس، ۲۰۰۶). رایج‌ترین روش‌های پرایمینگ شامل هیدروپرایمینگ و اسموپرایمینگ می‌باشند. اسموپرایمینگ نوعی خاصی از آماده‌سازی پیش از کاشت بذرها می‌باشد که از طریق خواباندن بذرها در محلول‌هایی با مواد شیمیایی مختلف و با غلظت‌های متفاوت نظیر انواع اسیدهای آلی، کودهای شیمیایی، مواد فنولی، مانیتول و .. صورت می‌گیرد (اشرف و همکاران، ۲۰۰۵). پیش‌تیمار بذر با عناصر ریزمغذی می‌تواند به‌عنوان یک روش ساده و کم‌هزینه برای بهبود تغذیه گیاه باشد (هریس و همکاران، ۱۹۹۹). در روش هیدروپرایمینگ بذرها با آب خالص و بدون استفاده از هیچ ماده شیمیایی تیمار می‌شوند که این نوع پیش‌تیمار بسیار ساده و ارزان است و مقدار جذب آب از طریق مدت زمانی که بذرها درتماس با آب هستند کنترل می‌شود (جودی و شریف‌زاده، ۱۳۸۵). در پیش‌تیمار بذر عواملی از جمله مدت زمان اعمال پیش‌تیمار، گونه و ژنوتیپ گیاهی می‌تواند حائز اهمیت باشد (عبدالرحمانی، ۱۳۹۰). در آزمایشی به‌منظور بررسی زمان پیش‌تیمار آبی بر سرعت جوانه‌زنی بذرگندم مشاهده شد که افزایش در مدت زمان خیس خوردگی بذر، سرعت جوانه‌زنی را افزایش داد و در مورد بذر گندم بالاترین سرعت جوانه‌زنی در پیش‌تیمار آبی ۱۲ ساعت حاصل شد (هوشمندفر، ۱۳۸۵). پرایمینگ مزرعه‌ای با سولفات روی ۰/۰۳ درصد به مدت ۱۶ ساعت در مقایسه با پرایم با آب معمولی در افزایش سرعت سبز شدن، ارتفاع بوته، قطر و طول بلال، کارایی مصرف آب گیاه و درصد پروتئین دانه مؤثرتر بود (دادرسی و ابوطالبیان، ۱۳۹۴). پرایمینگ موجب افزایش آنزیم های آنتی اکسیدانت از قبیل گلوتاتیون و آسکوربات در بذر می‌گردد که این آنزیم ها فعالیت پراکسیداسیون لیپید را در طی جوانه زنی کاهش می‌دهند و در نتیجه سبب افزایش درصد جوانه زنی می‌شوند (انصاری و شریف زاده، ۲۰۱۲).

۲-۵- محلول‌پاشی

محلول‌پاشی روی گیاهان که اصطلاحاً تغذیه برگی نیز نامیده می‌شود در برخی موارد از مصرف عناصر در خاک بهتر و مفیدتر است. مانند شرایط آهکی یا قلیایی خاک‌های زراعی که کود مصرفی در خاک تثبیت و غیرقابل استفاده برای گیاه می‌گردد. بنابراین در مزرعه که فاکتورهای تأثیرگذار روی جذب مواد غذایی بی‌ثبات و متغیر هستند، کوددهی برگی یک امتیاز محسوب می‌شود (موحدی دهنوی و همکاران، ۲۰۰۹). این روش بهره‌وری از عناصرغذایی را سریع‌تر و رفع کمبودهای مشاهده شده را در مدتی کمتر از آن‌چه با تیمارهای خاکی لازم است، امکان‌پذیر می‌کند برای کارایی بیشتر، دو یا سه برگ‌پاشی در فواصل کوتاه زمانی لازم است. به‌ویژه وقتی که کمبود موجب توقف شدید رشد گیاه شده باشد (ملکوتی و ریاضی همدانی، ۱۳۷۱). مشکل اصلی در محلول‌پاشی، سوختگی برگ است. اگر فشار اسمزی محلول برگ‌پاشی شده بیش از فشار اسمزی شیره سلولی باشد، آب از نسوج گیاهی خارج و سوختگی حاصل می‌گردد (ملکوتی و همایی، ۱۳۸۳). محلول‌پاشی بهتر است در صبح یا عصر که شدت نور خورشید کمتر است، صورت پذیرد. دمای محیط باید کم‌تر از ۲۹ درجه سانتی‌گراد باشد. در حالی‌که رطوبت نسبی بالاتر از ۷۰ درصد مطلوب است. هنگام محلول‌پاشی نباید سرعت باد زیاد باشد و به منظور تأثیر بیشتر، توصیه می‌شود پس از محلول‌پاشی، مزرعه و باغ آبیاری شوند. اسیدیته محلول نیز باید کنترل شود و معمولاً مقدار مطلوب آن بین ۶ تا ۸ بیان می‌شود (ملکوتی و طهرانی، ۱۳۷۹ و خوش-گفتارمنش، ۱۳۸۶). مطالعات زیادی نشان داده است که در مورد عناصری مثل بر، مس، منیزیم، منگنز و روی محلول‌پاشی به دلیل رفع سریع کمبود، کاهش سمیت ناشی از تجمع این عناصر در خاک و جلوگیری از تثبیت آن‌ها، روش مناسب‌تری نسبت به کاربرد در خاک است (کمبراتو، ۲۰۰۴). تیکسیرا و همکاران (۲۰۰۴) گزارش کردند که در لوبیا مصرف روی و منگنز به‌صورت محلول‌پاشی به‌ترتیب منجر به افزایش ۱۸ و ۳۲ درصدی وزن خشک در مقایسه با شاهد گردید. در تحقیقی روی لوبیا، محلول‌پاشی عناصر نسبت به مصرف کود در خاک بیشترین میزان آهن، روی و منگنز در برگ‌ها را موجب گردید.

هم‌چنین محلول‌پاشی آهن و روی سبب افزایش میزان این عناصر در بذر نسبت به سایر روش‌های مصرف شد (کاظمی پشت‌مساری و همکاران، ۲۰۰۸). در پژوهش دیگری توسط فرجزاده و همکاران (۱۳۸۹) روی گیاه ذرت، محلول‌پاشی عنصر روی بیشترین تأثیر را در افزایش میزان روی در برگ‌ها داشت. همچنین محلول‌پاشی آهن، روی و منگنز در چندین محصول از جمله چغندرقند، افزایش عملکرد بین ۱ تا ۵۱ درصد مشاهده شد (عبدالهادی، ۱۹۸۶). محلول‌پاشی عنصر بر نیز نسبت به سایر روش‌های کاربرد، میزان توسعه بیشتری را در شاخص سطح برگ چغندرقند در پی داشت (یارنیا و همکاران، ۱۳۸۸). رز و همکاران (۲۰۰۲) بیان داشتند که محلول‌پاشی روی قبل از گلدهی، سبب افزایش عملکرد و درصد پروتئین دانه سویا گردید.

۲-۶- روی

۲-۶-۱- نقش روی در سلامتی انسان

روی یکی از دو عنصر ضروری شرکت کننده در مجموعه مکانیزم‌های حفاظتی بدن و ترمیم سریع‌تر زخم‌ها و یکی از مواد معدنی کمیاب است که پس از آهن بیشترین میزان را در بدن داراست (۳ گرم). در خصوص اهمیت روی می‌توان اظهار داشت که بدن بدون این عنصر نمی‌تواند به حیات خود ادامه دهد. زیرا برای سنتز DNA، RNA، متابولیزه کردن کربوهیدرات‌ها، چربی‌ها و پروتئین‌ها، دفع دی-اکسیدکربن و استفاده بهینه از ویتامین آ مورد نیاز است. روی فعالیت آنتی‌اکسیدان بدن را افزایش داده و مانع از خستگی زودرس در انجام کارهای روزانه می‌شود. همچنین در درمان آسم، بیماری‌های قند، کم‌کاری غدد به‌خصوص غده تیروئید، استرس‌های عصبی و غیره نقش بسیار مهمی را ایفا می‌کند و در جریان اعمال حیاتی بدن نظیر نگه‌داری، کارکرد سیستم آنزیم‌ها و سلول‌های مغزی مؤثر است. روی حس چشایی را تقویت کرده و در جلوگیری از ریزش مو و شکنندگی ناخن‌ها و لطافت پوست بدن

تأثیرگذار است و برای ثبات حالت خون و برقراری تعادل اسیدی-قلیایی بدن وجود آن لازم است. بر اساس تحقیقات به‌عمل آمده، اضافه کردن مکمل روی در جیره غذایی، میزان بروز بی‌اشتهایی، سرفه، تب و استفراغ را در کودکان کاهش می‌دهد. منابع روی در مواد غذایی گوشتی دریایی به‌ویژه صدف، میگو و ماهی، جگر، گوشت قرمز و تخم‌مرغ به مقدارفراوان یافت می‌شود. حداکثر روی در موادغذایی گیاهی در تخمه کدو است. بهترین روش برای حل مشکل کمبود روی در بدن، غنی‌سازی محصولات کشاورزی در مزرعه بیان شده است (ملکوتی و داوودی، ۱۳۸۲).

۲-۶-۲- نقش روی در گیاهان

روی یکی از عناصر ضروری در تغذیه گیاه می‌باشد (زند و همکاران، ۱۳۸۸). این عنصر نقش مهمی در تولید بیوماس بازی می‌کند (کایا و هیگز، ۲۰۰۲ و کاکماک، ۲۰۰۸) و علاوه بر این‌که عملکرد محصولات کشاورزی را افزایش می‌دهد، کیفیت محصولات تولیدی را بالا می‌برد و غنی‌سازی و ارتقاء سلامت جامعه نیز تحقق می‌یابد. از جمله نقش‌های اساسی این عنصر مشارکت در ساختمان ۳۰۰ نوع آنزیم و پروتئین است و کمبود آن فعالیت چندین آنزیم مهم از جمله فسفاتازها، الکل دهیدروژناز، دیمیدین کیناز، کربوکسی پپتیداز، DNA و RNA پلیمراز را کاهش می‌دهد (مارچنر، ۱۹۹۵). عنصر روی با فعال کردن آنزیم الکل دهیدروژناز سبب تبدیل استالدئید به اتانول می‌شود و از سیاه شدن میوه جلوگیری می‌کند. همچنین می‌توان به نقش این عنصر در بیوسنتز اکسین به‌عنوان یک هورمون محرک رشد اشاره کرد. زیرا روی به احتمال زیاد به‌عنوان کوفاکتور بسیاری از آنزیم‌ها در بیوسنتز اسیدآمینه تریپتوفان به‌عنوان پیش‌ماده سنتز اکسین و یا در تبدیل اسیدآمینه تریپتوفان به ایندول استیک اسید نقش دارد (قربانلی و همکاران، ۱۳۸۲). از دیگر نقش‌های روی ایجاد سیستم دفاعی سلولی در برابر گونه‌های واکنش‌دهنده با اکسیژن فعال[5]می‌باشد. روی با اتصال به فسفولیپیدها و گروه‌های سولفیدریل

[5] Reactive Oxygen Species

غشای سلولی سبب پایداری این غشاها می‌شود و آن‌ها را در برابر خسارات ناشی از اکسایش محافظت می‌کند. به نحوی که در شرایط کمبود روی بروز خسارت‌های اکسیداتیو ناشی از تهاجم رادیکال‌های آزاد از طریق ایجاد اختلال در عملکرد غشاهای سلولی و تولید رادیکال‌های هیدروکسیل و سوپر اکسیداز مشاهده می‌شود (ریون و آلووی، ۲۰۰۴). این عنصر به‌واسطه شرکت در ساختمان ریبوزوم‌ها، دارای نقش اساسی در پروتئین‌سازی است و در غیاب آن ریبوزوم‌ها متلاشی می‌شوند (خوش‌گفتارمنش، ۱۳۸۶). به‌علاوه روی برای تولید کلروفیل، عمل گرده‌افشانی، لقاح و جوانه‌زنی نیاز است (پاندی و همکاران، ۲۰۰۶ و کاکماک، ۲۰۰۸). کمبود این عنصر در گیاهان، بر تغذیه انسان نیز تأثیر منفی گذاشته و موجب بروز بیماری‌های مختلف در انسان می گردد (فاگریا، ۲۰۰۹).

۲-۶-۳- علایم کمبود و بیش‌بود روی در گیاهان

مقدار روی در خاک‌های زراعی بسیار اندک است و حلالیت همین مقدار کم نیز به دلیل آهکی بودن، اسیدیته بالا، بی‌کربناته بودن آب آبیاری، تنش خشکی و شوری، مواد آلی کم، استمرار خشکسالی و تداوم مصرف نامتعادل کودها بسیار ناچیز است. مقدار روی قابل استفاده در خاک‌های ایران به‌طور معمول کمتر از ۰/۸ میلی‌گرم درکیلوگرم اندازه‌گیری شده است در حالی که در شرایط کاملاً مطلوب مقدار آن بایستی ۲ میلی‌گرم در کیلوگرم باشد. بدیهی است گیاهانی که در چنین خاک‌هایی رشد می‌کنند از کمبود روی صدمه می‌بینند (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۴). کمبود روی سبب اختلال در فرآیندهای سلولی و در نتیجه، کاهش شدید رشد و نمو گیاه می‌شود. کمبود این عنصر ابتدا در برگ‌های جوان‌تر ظاهر می‌گردد. علائم با کلروز شروع و به دنبال آن رشد شاخه‌های جوان به شدت کاهش می‌یابد (عزیزی و امینی دهقی، ۱۳۸۷). آشکارترین نشانه ظاهری کمبود روی در دولپه‌ای‌ها، کم شدن رشد طولی به علت کاهش فاصله میانگره‌ها و همچنین کاهش بسیار زیاد در اندازه برگ است. کمبود روی در پنبه سبب پیدایش علامتی می‌شود که ریزی برگ نام دارد (ملکوتی و ریاضی همدانی، ۱۳۷۱).

همچنین بوته‌های پنبه مبتلا به کمبود روی به‌طور طبیعی رشد نمی‌کنند. طویل شدن ساقه برای مدتی متوقف و فاصله میان‌گره‌ها کم می‌شود و در این شرایط بوته‌های جوان حالت جارویی شکل پیدا می‌کنند. البته در اواخر فصل معمولاً رشد به وضعیت عادی بر می‌گردد. در سویا و لوبیا کمبود روی سبب کاهش رشد طبیعی و کوچک شدن بوته‌ها می‌شود. فاصله بین رگبرگ‌ها زرد و رنگ پریده می‌شود. بافت‌های کلروز شده ممکن است قهوه‌ای یا خاکستری شوند و قبل از بلوغ از بین بروند. در یک مزرعه سویا یا لوبیا علایم کمبود روی، از دور به‌صورت رنگ قهوه‌ای متمایل به زرد آشکار است. در گیاه سیب‌زمینی که در شرایط کمبود روی رشد کرده است، بوته‌ها کوتاه و برگ‌های جوان فنجانی هستند و به طرف بالا تابیده می‌شود به طوری که حالت سرخسی به گیاه داده می‌شود. این علامت را برگ سرخسی می‌گویند (خوش‌گفتارمنش، ۱۳۸۶). در غلات در شرایط کمبود روی نوارهای زرد رنگ در راستای رگبرگ‌های اصلی و لکه‌های قرمز رنگ به‌علت انباشتگی آنتوسیانین در برگ‌ها دیده می‌شود (مارچنر، ۱۹۹۵). در بسیاری از گیاهان کمبود روی علامتی به نام «خپلگی» ایجاد می‌کند. در ذرت و ذرت خوشه‌ای این علامت سفیدی جوانه گفته می‌شود. همچنین سبب کاهش رشد ریشه و کاهش تولید ماده خشک ساقه می‌شود (زای‌اکسین و همکاران، ۲۰۰۶).

فلز روی نیز همانند سایر فلزات سنگین هنگامی که در خاک و در نهایت در بافت‌های گیاهی تجمع می‌یابد، بسته به گونه گیاهی موجب تغییر در برخی فرآیندهای متابولیکی گیاه می‌شود و از این طریق در رشد و نمو گیاهان اختلال ایجاد می‌کند. روی در غلظت‌های بالا موجب کاهش کلروفیل و آنزیم‌های دخیل در فتوسنتز، مهار واکنش‌های چرخه کالوین و کاهش تثبیت کربن و سنتز کربوهیدرات و در نهایت کاهش ماده‌سازی می‌شود و از طریق بازدارندگی از جذب سایر عناصر ضروری به‌ویژه آهن، پتاسیم و کلسیم مانع رشد گیاه می‌شود (خاوری نژاد و همکاران، ۱۳۹۰).

۲-۷- تأثیر عنصر روی بر رشد و نمو و عملکرد گیاهان

۲-۷-۱- تجمع ماده خشک

تجمع ماده خشک به‌عنوان یک صفت مهم برای حصول عملکرد بالا در گیاهان مورد توجه است (ساکسنا و همکاران، ۱۹۹۰). طبق گزارش موحدی دهنوی و همکاران (۲۰۰۹) استفاده از روی سبب افزایش ماده خشک در گیاه می‌گردد. اثر مثبت محلول‌پاشی روی و منگنز مبنی بر افزایش ماده خشک، در نتایج تالوس و همکاران (۲۰۰۶) نیز مشاهده شد. در پژوهش انجام شده توسط حاجی‌بلند و همکاران (۱۳۸۶) در مقایسه تعدادی از ارقام برنج نسبت به تحمل کمبود عنصر روی در شرایط مزرعه‌ای و آبکشت، کمبود این عنصر سبب کاهش وزن خشک اندام هوایی در تمام ارقام شد. محلول‌پاشی بر وزن خشک کل در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود و بالاترین میانگین مربوط به تیمار آهن و روی (۲۳۷/۲۶) و پایین‌ترین مربوط به تیمار آهن، روی، مس و منگنز (۲۰۸/۶۱) بود. تیمار روی و آهن با توجه به اثری که آن‌ها در تولید شاخص سطح برگ، افزایش کلروفیل و در نتیجه فتوسنتز بیشتر دارند، بر تجمع ماده خشک کل گیاه در طول فصل رشد مؤثر هستند (صفیان و همکاران، ۱۳۹۰). تریهان و شارما (۲۰۰۰) اظهار داشتند که استفاده از روی سبب افزایش عملکرد ماده خشک ذرت، گندم و آفتابگردان گردید. کمبود روی به‌طور معنی‌داری تولید ماده خشک کل گیاه ذرت را از ۲۶/۶ درصد تا ۷۴ درصد کاهش می‌دهد (سافایا و گوپتا، ۱۹۷۹). مصرف گوگرد همراه با آهن و روی سبب افزایش ماده خشک گیاه و عملکرد دانه در آفتابگردان شد (راوی و همکاران، ۲۰۰۸). در آزمایش فتحی و زاهدی (۱۳۹۳، ب) محلول‌پاشی نانو ذرات اکسید آهن و روی سطح برگ و وزن خشک اندام هوایی در گیاه گندم را افزایش داد.

۲-۷-۲- سطح برگ

سطح برگ کانوپی شاخصی مهم و مؤثر در جذب تشعشع و تعیین عملکرد بیولوژیکی است. سطح برگ به ژنتیک، خصوصیات زراعی و شرایط آب و هوایی وابسته است (ابراهیمیان و بایبوردی، ۲۰۱۱). عملکرد ماده خشک کل نتیجه کارایی جامعه گیاهی از نظر استفاده از تشعشع خورشید در طول فصل رشد است، در این ارتباط جامعه گیاهی نیاز به سطح برگ کافی دارد تا سطح زمین را کاملاً بپوشاند. افزایش سطح برگ و رسیدن به شاخص سطح برگ بحرانی که موجب می‌شود هرچه زودتر میزان فتوسنتز و سرعت رشد گیاه به حداکثر برسد، دارای اهمیت است. این عوامل تضمین کننده عملکرد زیاد و کاهش رقابت علف‌های هرز نیز می‌شود (کوچکی و همکاران، ۱۳۷۶). در پژوهش انجام شده توسط زارع ده‌آبادی و همکاران (۱۳۸۶، الف) روی گیاه نعناع طول اندام هوایی، طول ریشه و سطح برگ‌ها در غلظت‌های ۵ و ۱۰ میکرومولار روی افزایش یافت. خلیلی محله و همکاران (۱۳۸۵) در بررسی اثرات محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی آهن، روی و منگنز بر عملکرد و خصوصیات کیفی سورگوم در کشت دوم دریافتند که مصرف این عناصر موجب افزایش درصد پروتئین، ارتفاع بوته، تعداد پنجه در بوته و شاخص سطح برگ گردید. در حالی که ملئا و همکاران (۱۹۹۵) با مطالعه اثرات روی بر مرگ و میر سلول‌های برگ *Halophyla stipulecea* به این نتیجه رسیدند که این فلز در غلظت بالا موجب نکروزه شدن سلول‌های اپیدرمی و مزوفیلی برگ و همچنین مهار رشد سطحی برگ‌ها می‌شود. کاهش میزان سطح برگ در گیاهان تیمار شده با غلظت‌های بالای روی در پژوهش انجام شده توسط خاوری نژاد و همکاران (۱۳۹۰) نیز مؤید این مطلب است.

۲-۷-۳- ارتفاع

ارتفاع گیاه را می‌توان معرف رشد رویشی دانست (جعفرزاده و پوستینی، ۱۳۷۶). کاربرد توأم آهن و روی بیش‌ترین طول ساقه گندم با میانگین ۱۱۷/۷۲ سانتی‌متر را به خود اختصاص داد (قربانی و

همکاران، ۱۳۸۹). در بررسی تأثیر کود سولفات روی بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و عملکرد دانه نخود تحت تراکم‌های مختلف کاشت، افزایش کاربرد سولفات روی سبب افزایش ارتفاع گیاه شد. به‌نحوی که بالاترین ارتفاع (۷۷/۴۱ سانتی‌متر) از تیمار کودی ۲۵ کیلوگرم در هکتار سولفات روی به‌دست آمد (احمدی، ۱۳۸۹). همچنین طبق گزارش رز و همکاران (۲۰۰۵) نیز محلول‌پاشی روی، ارتفاع گیاه را افزایش داد. حاجی‌بلند و همکاران (۱۳۸۶) کاهش ارتفاع را در شرایط کمبود روی گزارش دادند. محلول-پاشی عناصر مس و روی در گیاه نیشکر در کمترین میزان سبب افزایش تعداد میانگره، طول میانگره و در نتیجه افزایش طول ساقه و افزایش ارتفاع متوسط گیاه گردید. همچنین استفاده از منگنز و بور در بالاترین میزان سبب افزایش این خصوصیت گردید (جامرو و همکارن، ۲۰۰۲). پهلوان‌راد و همکاران (۱۳۸۶) نشان دادند کاربرد روی، آهن و منگنز در گندم زراعی اثر معنی‌داری بر ارتفاع بوته در واحد سطح نداشت. در آزمایشی دیگر اثر پرایمینگ و محلول‌پاشی بر صفت ارتفاع بوته معنی‌دار نبود در حالی که بیشترین ارتفاع بوته معادل ۱۷۴/۸ سانتی‌متر از تیمار پرایمینگ با ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانو ذرات سولفات روی به‌دست آمد که با تیمار ۶۰۰ میلی‌گرم در لیتر اختلاف معنی‌داری را نشان نداد (داوری و همکارن، ۱۳۹۳، الف). افزایش ارتفاع بوته ذرت با پیش‌تیمار بذری روی توسط عارف و همکاران (۲۰۰۵) نیز گزارش شد. بیشترین ارتفاع گیاه ریحان مقدس (۳۹/۰۳ سانتی‌متر) در تیمار محلول‌پاشی نانو کلات روی با غلظت ۱/۵ گرم در لیتر به‌دست آمد (مقیمی‌پور و همکاران، ۱۳۹۴). همچنین محلول‌پاشی با عنصر روی به‌مقدار یک لیتر در هکتار تأثیر معنی‌داری بر صفت ارتفاع بوته سویا نشان داد (جامسون وهمکاران، ۱۳۸۸).

۲-۷-۴- قطر ساقه

بهبود شرایط تغذیه‌ای و نقش مثبت آهن و روی می‌تواند در فتوسنتز و عملکرد فتوسیستم‌های نوری در افزایش شاخص‌های رشد از قبیل قطر ساقه مؤثر باشد (ملکوتی و طهرانی، ۱۳۷۹). در آفتابگردان

بیش‌ترین قطر ساقه معادل ۲/۳ سانتی‌متر در ترکیب تیماری آهن صفر و ۴۰ کیلوگرم روی به‌دست آمد (پیروی، ۱۳۸۰). نجفی وفا و همکاران (۲۰۱۵) به این نتیجه رسیدند که نانو کلات روی سبب افزایش قطر ساقه با میانگین ۰/۵۶۸۷ سانتی‌متر در گیاه دارویی مرزنجوش می‌شود. در مطالعات خلیلی محله و رشدی (۱۳۸۷) نشان داده شد که زمان مصرف کود تأثیر معنی داری بر قطر ساقه ندارد، ولی نوع کود مصرفی تأثیر معنی‌داری داشت. بیشترین قطرساقه با میانگین ۱۷/۶ میلی‌متر در تیمار کودی (محلول-پاشی آهن و روی) به‌دست آمد. مقیمی‌پور و همکاران (۱۳۹۴، الف) گزارش کردند که محلول‌پاشی نانو کلات روی با غلظت ۱/۵ گرم در لیتر افزایش معنی‌داری در قطر ساقه گیاه ریحان مقدس ایجاد کرد.

۲-۷-۵- انشعابات جانبی

با مصرف عناصر ریزمغذی آهن و روی فعالیت فتوسنتزی گیاه افزایش می‌یابد که سبب توسعه پوشش گیاهی و افزایش شاخه و برگ می‌شود (کوچکی و بنایان اول، ۱۳۷۳). کاربرد ۵۰ میلی‌گرم در لیتر سولفات روی به صورت محلول‌پاشی در زیره سبز سبب افزایش تعداد انشعابات ساقه و عملکرد دانه شد (ال‌ساوی و محامد، ۲۰۰۲). روی از طریق تولید هورمون اکسین سبب افزایش رشد رویشی و شاخه بندی می‌شود (کمرکی و گلوی، ۱۳۸۵). محلول‌پاشی گیاه رزماری با عنصر روی تأثیر مثبت و معنی‌داری بر تعداد شاخه‌های فرعی این گیاه داشته است (طارف و همکاران، ۱۹۹۴).

۲-۷-۶- عملکرد و اجزای عملکرد

روی با افزایش مقدار تنظیم کننده‌های رشد، کمک به متابولیسم مواد و با تأثیر گذاشتن بر واکنش-های انتقال الکترون در چرخه کربس و مشارکت در تقسیم سلولی بافت‌های مریستمی، شرکت در تولید مواد هیدروکربن‌دار و پروتئین و انتقال آن‌ها و هم‌چنین با متمرکز بودن در اندام‌های زایشی به‌ویژه در گل‌ها به همراه آهن به‌عنوان کاتالیزور در بسیاری از واکنش‌های شیمیایی اکسیداسیون و احیاء در

بسیاری از سیستم‌های آنزیمی حضور فعال دارد (کامکار و همکاران، ۱۳۹۰ و برودلی و همکاران، ۲۰۰۷ و ملکوتی، ۲۰۰۸). بنابراین، تغذیه گیاه با روی و آهن سبب ذخیره کربوهیدرات‌های دانه گرده و افزایش طول عمر آن و در نتیجه، موجب افزایش گرده افشانی و در نهایت عملکرد دانه می‌شود. کاربرد عناصر ریزمغذی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد بذر و دیگر صفات مورد بررسی در گیاه چغندر داشت، به‌طوری که بیش‌ترین عملکرد بذر در واحد سطح با مصرف توأم آهن و روی حاصل گردید (نصیری و همکاران، ۱۳۸۵). سیلسپور (۱۳۸۶) نشان داد که با مصرف توأم کودهای آهن و روی میزان عملکرد گندم به‌طور متوسط ۸۶۷ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت. ایشان علت افزایش عملکرد را بالا رفتن میزان نشاسته و پروتئین دانه دانست. رز و همکاران (۲۰۰۵) گزارش دادند که دو بار محلول‌پاشی سولفات روی به مقدار ۴ کیلوگرم در هکتار، عملکرد دانه سویا را از ۵۷ تا ۲۰۸ درصد افزایش داده است. در پژوهش دیگری عشقی‌زاده و همکاران (۱۳۹۰) مشاهده کردند که کاربرد ۵ و ۱۵ کیلوگرم روی در هکتار به‌صورت تغذیه برگی سبب افزایش عملکرد دانه در مقایسه با شاهد شد. در حالی که در تیمار ۱۰ کیلوگرم روی در هکتار کاهش عملکرد دانه مشاهده شد. با مصرف نانو اکسید روی تعداد دانه در نیام و تعداد نیام در بوته سویا افزایش یافت (خرم‌دل و شریفی، ۱۳۹۵). همانتارنجان و گرای (۱۹۸۸) نیز نشان دادند که مصرف آهن و روی موجب افزایش معنی‌دار تعداد دانه در خوشه گندم گردیده است. عنصر روی سبب افزایش وزن دانه می‌شود که به دلیل نقش آن در تشکیل دانه و افزایش وزن دانه از طریق تأثیر بر فرآیند رشد زایشی و کمک به ماده‌سازی و تولید کربوهیدرات و پروتئین دانه می‌باشد (برودلی و همکاران، ۲۰۰۷). حیدریان و همکاران (۲۰۱۱) در سویا گزارش کردند که عناصر ریزمغذی موجب بهبود اجزای عملکرد و عملکرد می‌شود. از آن‌جا که تعداد دانه‌های لوبیا از اجزای مهم عملکرد دانه محسوب می‌شود با افزایش تعداد دانه در غلاف، مخازن بزرگتری برای انتقال مواد جذب شده به‌وجود خواهد آمد و هر عاملی که سبب افزایش این عامل شود منجر به افزایش عملکرد دانه خواهد شد. در تحقیقی که توسط سپهری و وزیری‌امجد (۱۳۹۴) انجام شد محلول‌پاشی نانو اکسید روی سبب افزایش وزن هزار دانه در گیاه کاسنی شد. همچنین نتایج نشان داد که استفاده از محلول‌پاشی نانو ذرات نسبت به عدم محلول‌پاشی در مرحله

غلاف‌دهی گندم افزایش عملکردی به میزان ۵/۴ درصد به همراه داشته است (جابرزاده و همکاران، ۱۳۸۹). در توجیه کارآیی بهتر ذرات نانو اکسید روی نسبت به اکسید معمولی باید به خود ساختار ذرات نانو توجه کرد، از آنجایی که ذرات نانو دارای ابعاد بسیار ریزی هستند و سطح ویژه بالایی دارند (یعنی نسبت سطح به حجم بالاتری دارند)، این امر واکنش‌پذیری و تحرک بالاتری در گیاه ایجاد می‌کند و سبب می‌شود 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 (نایر و همکاران، ۲۰۱۰).

۲-۸- تأثیر عنصر روی بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی گیاهان

۲-۸-۱- کلروفیل

از آنجا که کلروفیل نور خورشید را به انرژی شیمیایی تبدیل می‌کند، کاهش مقدار کلروفیل برگ منجر به کاهش ماده‌سازی در گیاه و در نهایت کاهش محصول می‌شود (ملکوتی و طباطبایی، ۱۳۷۸). در گیاهی مثل ذرت، کلروز بین رگبرگی و در پی آن لکه‌های سفید رنگ نکروزه در برگ‌های مسن‌تر ممکن است دلیلی بر نیاز گیاه به روی، جهت بیوسنتز کلروفیل باشد (کافی و همکاران، ۱۳۸۳). کاکماک (۲۰۰۰) نیز به کاهش کلروفیل و کاروتنوئیدهای برگ تحت کمبود روی اشاره کرده است. این کاهش می‌تواند بر اثر رادیکال‌های آزاد اکسیژن باشد که در غیاب روی به دلیل سم‌زدایی ناکافی، اثر تخریبی بالایی روی غشای فتوسنتزی دارند. از طرفی تجمع بالای این عنصر مثل سایر عناصر سنگین از طریق بازدارندگی دو آنزیم آمینولولینیک اسید دهیدروژناز و پروتوکلروفیلیدردوکتاز سبب کاهش بیوسنتز کلروفیل در گیاهان می‌شود (خاوری‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۰). گزارش‌های بسیاری مؤید تأثیر مثبت عنصر روی در افزایش محتوای کلروفیل ذرت می‌باشد (ایاد و همکاران، ۲۰۱۰). تغذیه برگی ۰/۷۵ گرم در لیتر نانو اکسید روی سبب افزایش محتوای کلروفیل گیاه جو شد (سیدشریفی و همکاران، ۱۳۹۴). همچنین نتایج آزمایش محمدی و همکاران (۱۳۸۹) نشان داد که کاربرد برگی کود روی به میزان ۲۵

کیلوگرم در هکتار و کود آهن ۰/۶۵ گرم در لیتر می‌تواند میزان رنگیزه‌های کلروپلاست برگ نعناع فلفلی را بهینه کند.

۲-۸-۲-محتوای آب نسبی برگ

محتوای آب نسبی (RWC)[6] برگ معرف بسیار خوبی از وضعیت آبی گیاه است که به‌عنوان یک شاخص جهت تحمل به خشکی پیشنهاد شده است (تئولیت و همکاران، ۱۹۹۷). محتوای نسبی آب برگ به‌ویژه در مرحله پر شدن دانه اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کند، زیرا در زمان پر شدن دانه به دلیل افزایش تشعشع و دما و کاهش رطوبت نسبی محیط، افزایش میزان RWC برگ شرایط را برای پر شدن دانه فراهم می‌کند و فتوسنتز جاری که نقش قابل توجهی در پر شدن دانه دارد، افزایش پیدا می‌کند (بلوم و همکاران، ۱۹۸۲). محلول‌پاشی روی در گیاه توت‌فرنگی موجب افزایش پایداری غشاء و وضعیت آب گیاه شد و میزان آب نسبی برگ را افزایش داد (سعادتی و معلمی، ۱۳۹۰). کمبود روی در لوبیا و پسته موجب القای سطوح بالاتر تنش رطوبتی شد (قانع‌پور و همکاران، ۱۳۹۱ و تولایی و همکاران، ۲۰۰۹). سعیدی ابواسحاقی و همکاران (۱۳۹۳) گزارش کردند که تیمار محلول‌پاشی با سولفات روی، ۵/۲۱ درصد محتوای آب نسبی برگ لوبیا قرمز را نسبت به شاهد افزایش داد، همچنین در گیاه آفتابگردان نیز تیمارهایی که سولفات روی بیشتری دریافت کرده بودند از محتوای آب نسبی برگ بالاتری برخوردار بودند (بنی‌عباس و همکاران، ۲۰۱۲).

۲-۸-۳- پایداری غشاء پلاسمایی

روی از جمله عناصری است که برای حفظ تمامیت غشای سلول‌های ریشه ضروری است. در شرایط کمبود روی نفوذپذیری غشای سلول‌های ریشه افزایش می‌یابد (پارکر و همکاران، ۱۹۹۲). در پژوهش

[6] Relative Water Content

انجام شده توسط سعادتی و معلمی (۱۳۹۰) نیز محلول‌پاشی روی با حفظ ثبات غشای سلولی موجب کاهش نشت الکترولیت‌ها شد. عنصر روی می‌تواند به‌عنوان تثبیت کننده و محافظ غشاهای حیاتی در برابر تنش اکسیداتیو عمل کند (حسن و همکاران، ۲۰۰۵). این در حالی است که در پژوهش دیگری در مورد تأثیر تنش خشکی و تغذیه برگی برخی از عناصر کم‌مصرف (روی) مشاهده شد که تغذیه برگی نه تنها موجب پایداری غشا نگردید، بلکه احتمالاً با اثرگذاری بر ترکیبات ساختمانی دیواره موجب تخریب بیشتر آن و نشت مواد یونی به بیرون از دیواره گشته است (درویش‌بلوچی و همکاران، ۱۳۸۹). در پژوهش دیگر کاربرد کود روی سبب افزایش معنی‌دار پایداری غشاء در گیاه نخود شد (عباس مقدم و همکاران، ۱۳۹۰).

۲-۸-۴- محتوای قندهای محلول

دلایل متعددی برای انباشت قندهای محلول در برگ می‌تواند وجود داشته باشد. مواد فتوسنتزی پس از تولید در برگ به طرف مقصدهای خود (دانه) انتقال می‌یابند، بنابراین تجمع کربوهیدرات‌های محلول در برگ معرف عدم انتقال آن‌ها به مقصد به واسطه پایین بودن ظرفیت مقصد (دانه) و عدم نیاز دانه به کربوهیدرات‌های محلول است (احمدی و سی‌وسه مرده، ۱۳۸۳). از طرفی مارتین و همکاران (۱۹۹۳) گزارش کردند که ترکیباتی همانند کربوهیدرات‌های محلول در تنظیم اسمزی و مکانیسم‌های حفاظتی نقش دارند. تجمع کربوهیدرات‌های محلول برگ به واسطه غلظت بیشتر کلروفیل a، b و توان فتوسنتزی بیشتر برگ می‌باشد اما عکس این رابطه علیتی نیز ممکن است صادق باشد، به عبارت دیگر همبستگی مثبت بین غلظت کربوهیدرات‌های محلول برگ و کلروفیل ممکن است به واسطه نقش کربوهیدارت‌های محلول در حفظ کلروفیل باشد (احمدی و سی‌وسه‌مرده، ۱۳۸۳). سعیدی ابواسحاقی و همکاران (۱۳۹۳) تأثیر مثبت محلول‌پاشی سولفات روی بر تولید قندهای محلول در لوبیا را گزارش دادند.

۲-۸-۵-آنتوسیانین و فلاونوئید

امروزه استفاده از رنگ‌های طبیعی در صنعت غذا به دلیل آگاهی از اثرات زیانبار اغلب رنگ‌های سنتزی افزایش یافته است. آنتوسیانین‌ها جایگزین مناسبی برای رنگ‌های سنتزی است زیرا علاوه بر دارا بودن رنگ جذاب و درخشان، خواص ضدسرطانی و ضد ویروسی آن نیز ثابت شده است (آندرسون و همکاران، ۲۰۱۰). این رنگدانه‌های طبیعی متعلق به دسته‌ی بزرگی از ترکیبات شیمیایی به نام فلاونوئیدها بوده که طی چرخه فنیل پروپانوئید ساخته می‌شود. فلاونوئیدها و آنتوسیانین‌ها از مهم‌ترین ترکیبات آنتی‌اکسیدانی هستند. این ترکیب‌ها نه تنها رادیکال‌های آزاد را از بین می‌برند بلکه از تولید بیشتر آن‌ها در گیاه نیز جلوگیری می‌کنند. آنتوسیانین‌ها به احتمال زیاد سبب تسهیل ورود فلزات سنگین به واکوئل سلول‌ها و در نتیجه جمع‌آوری آن‌ها از سایر بخش‌ها می‌شوند (تریپاتیو و همکاران، ۲۰۰۶). این مواد رنگی در شیره سلولی بیشتر گیاهان وجود دارند. در طبیعت بسیار پراکنده هستند و صدها نوع (حدود ۸۰۰ نوع) از آن‌ها تاکنون شناسایی و مشخص شده‌اند. هسته ساختمانی آن‌ها از بنزوپیرن تشکیل شده است. اساساً در ساختمان آن‌ها اسکلت فلاویلیوم وجود دارد و بر حسب اختلاف در اکسیداسیون حلقه مرکزی به گروه‌های آنتوسیانین‌ها، فلاون‌ها، فلاونول‌ها و فلاوانون‌ها تقسیم می‌شوند. در محدوده‌ی طیف مرئی در ابتدا رنگ زرد را نشان می‌دهند سپس رنگ‌های نارنجی، قرمز و بنفش را نمایان می‌کنند (پترسن، ۱۹۹۷). این تحقیقات در سم‌شناسی گیاهان مفید هستند و به اندازه زیادی در تحقیقات عالی بیوشیمیایی مؤثر می‌باشند. به جز تعدادی استثناء، فلاونوئیدها در غذاها به مقیاس وسیع مشاهده نمی‌گردند. فلاونوئیدها یا بیوفلاونوئیدها در فعالیت سینرژیستی با اسیدآسکوربیک موجب کاهش پارگی مویرگ‌ها می‌گردند. ضد سرطان، ضد آلرژی، ضد میکروبی (ضد باکتری – ضد ویروس) و ضد جهش بودن از ویژگی‌های فلاونوئیدهاست (فلتچر، ۲۰۰۵). افزایش محتوای ترکیبات فنلی مانند فلاونوئیدها و آنتوسیانین در گیاهان تیمار شده با غلظت ۴۰ میکرومولار روی در گیاه نعناع سبز گزارش شد (زارع‌ده آبادی و اسرا، ۱۳۸۸، ب).

۲-۹- آنزیم‌های آنتی اکسیدان

هر نوع رادیکال آزاد که قادر به برداشتن هیدروژن متصل به گروه فعال متیل موجود در زنجیرهٔ اسید چرب غیراشباع باشد می‌تواند سبب پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء سلولی شود (هالی ول، ۱۹۹۹). پراکسیداسیون غشاء به نشت محتویات سلول و در نهایت مرگ سلول منجر می شود. گیاهان سازوکارهای متفاوتی برای کاهش اثر مخرب رادیکال های آزاد اکسیژن دارند که از جمله آنها، تولید ترکیبات آنزیمی و غیرآنزیمی است، بدین صورت که مقدار گونه‌های فعال اکسیژن در سلول‌های گیاهی به‌وسیله فعالیت آنتی اکسیدان‌ها کنترل می‌شود (سلوته، ۲۰۰۴). آنزیم‌های آنتی اکسیدانی نقش مهمی در پاکسازی گونه‌های فعال اکسیژن از طریق یکسری واکنش‌های پیچیده ایفا می‌کنند. این واکنش‌ها شامل تبدیل اکسیژن مولکولی (O_2) به پراکسید هیدروژن (H_2O_2) توسط آنزیم سوپراکسیددیسموتاز (SOD) و سمیت زداییH_2O_2 به‌وسیله آنزیم‌های متعددی از جمله پراکسیداز (POX)، آسکوربات پراکسیداز (APX)، کاتالاز (CAT) و گلوتاتیون ردوکتاز (GR) می‌باشد (نتو و همکاران، ۲۰۰۵). عنصر روی به‌عنوان کوفاکتور در ساختمان بسیاری از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مشارکت دارد و از این رو در شرایط تنش، فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی در اثر کمبود عناصر ریزمغذی کاهش یافته و در نتیجه حساسیت گیاهان به تنش‌های محیط افزایش می‌یابد (کاکماک، ۲۰۰۰). عنصر روی به‌عنوان بخش فلزی از آنزیم‌ها در ساختمان آن‌ها، و یا به‌عنوان فعال کننده شماری از آن‌ها از جمله سوپراکسیددیسموتاز می‌باشد. آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز آنزیمی است که در کلروپلاست مستقر بوده و مس و روی در ساختمان آن وجود دارد که در برطرف کردن گونه‌های فعال اکسیژن تولید شده در اثر تنش نقش مهمی را ایفا می‌کند. عنصر روی سبب افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز می‌شود. در پژوهشی بیشترین فعالیت آنزیم پراکسیداز مربوط به تیماری بود که عنصر روی را به تنهایی دریافت کرده بود و کمترین میزان فعالیت این آنزیم در تیمار شاهد مشاهده شد (شجاعی و همکاران، ۱۳۹۱). کاتالاز آنزیم مهمی است که در سیستم دفاعی برای تبدیل H_2O_2 به H_2O و O_2 به‌کار می‌رود. بدین شکل از تولید ROSها جلوگیری می‌نماید و بنابراین، با بالا رفتن سطوح فعالیت این آنزیم گیاه کمتر

مورد تهاجم ROSها قرار می‌گیرد (لی و همکاران، ۲۰۱۲). در آزمایشی بر روی گیاه دارویی *Fogopyrum esculentom* تحت تیمارهای مختلف نانو اکسید روی مشاهده شد که میزان فعالیت این آنزیم تا غلظت‌های بالای ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر افزایش می‌یابد (پاندی و همکاران، ۲۰۱۲). محلول‌پاشی کود اکسید نانو روی نسبت به فرم معمولی فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز را افزایش داد در حالی که اثر محلول‌پاشی نانو روی بر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان دیگر شامل کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز در اندام هوایی معنی‌دار نبود (ترابیان و زاهدی، ۱۳۹۰). فراوان‌ترین ایزوزیم سوپراکسیددیسموتاز در گیاهان عالی، نوع واجد روی و مس است. که در آن روی نقش ساختاری و مس نقش کاتالیتیکی دارد. روی به همراه مس بخش اصلی آنزیم سوپراکسیددیسموتاز را به عنوان جاروب کننده رادیکال‌های آزاد تشکیل می‌دهد (لوپزمیلان و همکاران، ۲۰۰۵). محلول‌پاشی دو ترکیب سولفات و کلات روی، اکسین و حتی بدون اکسین قادر است سیستم آنتی‌اکسیدانی آنزیمی گیاه را تقویت نموده و گیاه را نسبت به بروز شرایط تنش مانند تنش کمبود آب متحمل‌تر سازد (زند و همکاران، ۱۳۸۹). همچنین مقدار آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز تحت محلول‌پاشی هورمون‌ها، اسیدجیبرلیک و کینتین نسبت به شاهد افزایش یافتند (مهری، ۱۳۹۳). اثرات سودمند پرایمینگ بذر به بازسازی و تجمع اسیدهای نوکلئیک، سنتز پروتئین‌ها و بازسازی غشاها مربوط است، همچنین یافته‌ها نشان داده است که تحت تأثیر تیمارهای پرایمینگ بذر، مقدار ترکیب مضر مالون‌دی‌آلدهید و پراکسیداسیون کل مواد به‌طور معنی‌داری کاهش یافته و در مقابل بسته به گونه گیاهی، آنتی‌اکسیدان‌هایی نظیر اسید آسکوربیک، سوپراکسیددیسموتاز، کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، گلوتاتیون‌ردوکتاز و ترکیبات ایزوسیترات، مالات سنتاز و مقدار پروتئین محلول در بذرهای پرایم شده افزایش معنی‌داری داشته است (وانگ و همکاران، ۲۰۰۳).

۲-۱۰-تأثیر روی بر برخی صفات کیفی

۲-۱۰-۱- غلظت روی در اندام رویشی

در تحقیقی روی لوبیا محلول‌پاشی عناصر نسبت به مصرف کود در خاک بیشترین غلظت آهن، روی و منگنز در برگ‌ها را موجب گردید (کاظمی‌پشت‌مساری و همکاران، ۲۰۰۸). با محلول‌پاشی کود روی، غلظت آن در گیاه سیاهدانه افزایش یافت و دلیل آن کمبود این عنصر در مزرعه بیان شد. زیرا در شرایط دسترسی به روی، میزان جذب آن توسط گیاه افزایش یافت (شعبان‌زاده و همکاران، ۱۳۹۰). گزارش رز و همکاران (۲۰۰۵) نیز افزایش غلظت روی در گیاه را با محلول‌پاشی عنصر روی تأکید می‌کند. بر اثر محلول‌پاشی روی و ترکیبی از روی و آهن غلظت روی در برگ سیاهدانه افزایش یافت (موسی و همکاران، ۲۰۰۵). محلول‌پاشی نانو ذرات اکسید آهن و روی سبب افزایش بیشتر غلظت این عناصر در گیاه گندم نسبت به فرم معمول آن‌ها شد (فتحی و زاهدی، ۱۳۹۳). آزمایشات مختلف نشان داده‌اند که با افزایش کاربرد روی، غلظت روی در ریشه، ساقه و برگ ذرت افزایش می‌یابد به‌طوری که مقدار آن در اندام‌های هوایی بیشتر از ریشه می‌باشد (هونگ و جی‌یون، ۲۰۰۷).

۲-۱۰-۲- غلظت روی در دانه

کاربرد روی علاوه بر افزایش عملکرد، موجب بالا رفتن غلظت روی و پروتئین دانه می‌گردد و کیفیت بهتر محصول را سبب می‌شود (بایبوردی، ۱۳۸۵). در تحقیقی روی لوبیا محلول‌پاشی آهن و روی سبب افزایش میزان این عناصر در بذر گردید (کاظمی‌پشت‌مساری و همکاران، ۲۰۰۸). همچنین مصرف ۴۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی عملکرد دانه سویا را ۱۶ و غلظت روی دانه را ۱۵ درصد نسبت به شاهد بهبود بخشید. درحالی که نژادحسینی و همکاران (۱۳۸۹) گزارش کردند که کاربرد روی کاهش معنی-داری در غلظت عناصر روی، بور و مس در دانه ایجاد کرد. بررسی‌ها نشان داده‌اند که نانو اکسید روی بر

میزان جذب عناصر تأثیر دارد. با افزایش مصرف نانو اکسید روی افزایش در میزان روی در ذرت گزارش شده است (یلماز و همکاران، ۲۰۰۳).

۲-۱۰-۳- پروتئین دانه

جهت حصول حداکثر عملکرد محصول کاربرد کودهای ماکرو و هم‌چنین میکروالمنت‌ها به‌صورت پرایمینگ و محلول‌پاشی زمینه رشد مطلوب‌تر گیاه را فراهم می‌آورند و ریزمغذی‌هایی نظیر روی در گیاه اثر مثبتی بر تحمل به شرایط تنش‌زای محیطی و افزایش عملکرد محصول دارند (رحیمی‌زاده و همکاران، ۲۰۰۹). در گیاهانی که کمبود روی دارند، ساخته شدن پروتئین کاهش می‌یابد و انباشته شدن اسیدهای آمینه در گیاهان نشان‌دهنده اهمیت عنصر روی در سنتز پروتئین است. عنصر روی یکی از اجزای ضروری آنزیم RNA پلی‌مراز است و در هر مولکول این آنزیم دو اتم روی، وجود دارد و اگر روی برداشته شود آنزیم غیرفعال می‌شود. بدون عنصر روی ریبوزوم‌ها از هم پاشیده می‌شوند اما با مصرف آن ساختمان آن‌ها به حالت اول برمی‌گردد. روی از طریق اتصال به گروه سولفیدریل سبب استحکام آنزیم‌ها، پروتئین‌ها و ساختمان چربی غشای سلول می‌شود (بهتاش و همکاران، ۱۳۸۹). در آزمایشی جهت بررسی کاربرد خاکی و محلول‌پاشی آهن، روی و منگنز بر عملکرد پروتئین لوبیا مشاهده شد که مصرف این عناصر درصد پروتئین دانه لوبیا را افزایش داد و استفاده از کودهای شیمیایی از جمله عناصر کم‌مصرف بر عملکرد، درصد پروتئین و تثبیت نیتروژن در لوبیا مؤثر بود (همتی، ۱۳۸۴). نخزری مقدم (۱۳۹۱) افزایش پروتئین را با مصرف روی در باقلا گزارش کرد. طبق مطالعات فرجزاده وهمکاران (۲۰۰۹) استفاده مطلوب آهن و روی در گندم نیز سبب افزایش میزان پروتئین دانه می گردد. اثر پرایمینگ با سولفات روی با میانگین ۸/۲۹ درصد بیشترین مقدار نسبت به عدم پرایم با میانگین ۷/۴۳ درصد کمترین میزان پروتئین دانه ذرت را دارا بودند (دادرسی و ابوطالبیان، ۱۳۹۴). همچنین ساخت پروتئین در گندم تحت تأثیر اسموپرایمینگ افزایش یافت (دونالدسون و همکاران، ۲۰۰۱).

فصل سوم

مواد و روش‌ها

۳-۱- زمان و مشخصات محل اجرای آزمایش

آزمایش در سال ۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود، واقع در شهر بسطام (کیلومتر ۸ جاده شاهرود- آزادشهر) اجرا شد. شهر بسطام در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۹ دقیقه شمالی و ۵۵ دقیقه طول شرقی واقع شده است و میانگین ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۶۶ متر است. منطقه بسطام دارای اقلیم سرد و خشک است و میانگین بارندگی سالانه در این منطقه حدود ۱۵۴ میلی‌متر است و بارندگی‌ها عمدتاً در فصل پائیز و بهار رخ می‌دهد. حداقل و حداکثر دمای منطقه به‌ترتیب ۹/۶- و ۴۰ درجه سانتی‌گراد است.

۳-۲- خصوصیات خاک محل اجرای آزمایش

نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری در جدول ۳-۱ نشان داده شده است.

جدول۳-۱- خصوصیات خاک محل آزمایش

پارامترهای اندازه‌گیری شده	مقدار	واحد
شن	۲۰/۱	درصد
لای	۴۹/۲	درصد
رس	۳۰/۷	درصد
کربن آلی	۰/۴	درصد
نیتروژن کل	۰/۱۰	درصد
پتاسیم قابل جذب	۲۸۰	پی‌پی‌ام
فسفر قابل جذب	۱۰	پی‌پی‌ام
روی	۱/۱	پی‌پی‌ام
هدایت الکتریکی	۱/۵	دسی‌زیمنس بر متر
اسیدیته اشباع	۷/۸	-

۳-۳- مشخصات طرح آزمایشی

آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه‌ی بلوک کامل تصادفی در ۳ تکرار اجرا شد. فاکتورها شامل پیش‌تیمار بذر در شش سطح (صفر، آب خالص، روی معمولی در دو غلظت ۳ و ۶ گرم در لیتر و نانو روی در دو غلظت ۳ و ۶ گرم در لیتر) و محلول‌پاشی عنصر روی در سه سطح (صفر، معمولی و نانو با غلظت ۴ گرم در لیتر) بودند. در مجموع در هر تکرار ۱۸ ترکیب تیماری (جدول ۳-۲) وجود داشت و تعداد کل کرت‌های آزمایشی ۵۴ کرت بود (شکل ۳-۱).

جدول ۳-۲- ترکیبات تیماری مورد استفاده در آزمایش

شاهد	a_1b_1
پیش‌تیمار صفر و محلول‌پاشی روی معمولی ۴ گرم در لیتر	a_2b_1
پیش‌تیمار صفر و محلول‌پاشی نانو روی ۴ گرم در بر لیتر	a_3b_1
پیش‌تیمار آب خالص و محلول‌پاشی صفر	a_1b_2
پیش‌تیمار آب خالص و محلول‌پاشی روی معمولی ۴ گرم در لیتر	a_2b_2
پیش‌تیمار آب خالص و محلول‌پاشی نانو روی ۴ گرم در لیتر	a_3b_2
پیش‌تیمار روی معمولی ۳ گرم در لیتر محلول‌پاشی صفر	a_1b_3
پیش‌تیمار روی معمولی ۳ گرم در لیتر و محلول‌پاشی روی معمولی ۴ گرم در لیتر	a_2b_3
پیش‌تیمار روی معمولی ۳ گرم در لیتر و محلول‌پاشی نانو روی ۴ گرم در لیتر	a_3b_3
پیش‌تیمار روی معمولی ۶ گرم در لیتر و محلول‌پاشی صفر	a_1b_4
پیش‌تیمار روی معمولی ۶ گرم در لیتر و محلول‌پاشی روی معمولی ۴ گرم در لیتر	a_2b_4
پیش‌تیمار روی معمولی ۶ گرم در لیتر و محلول‌پاشی نانو روی ۴ گرم در لیتر	a_3b_4
پیش‌تیمار نانو روی ۳ گرم در لیتر و محلول‌پاشی صفر	a_1b_5
پیش‌تیمار نانو روی ۳ گرم در لیتر و محلول‌پاشی روی معمولی ۴ گرم در لیتر	a_2b_5
پیش‌تیمار نانو روی ۳ گرم در لیتر و محلول‌پاشی نانو روی ۴ گرم در لیتر	a_3b_5
پیش‌تیمار نانو روی ۶ گرم در لیتر و محلول‌پاشی صفر	a_1b_6
پیش‌تیمار نانو روی ۶ گرم در لیتر و محلول‌پاشی روی معمولی ۴ گرم در لیتر	a_2b_6
پیش‌تیمار نانو روی ۶ گرم در لیتر و محلول‌پاشی نانو روی ۴ گرم در لیتر	a_3b_6

تکرار ۱	a_3 b_3	a_3 b_6	a_2 b_2	a_1 b_4	a_2 b_3	a_2 b_6	a_3 b_2	a_2 b_4	a_1 b3	a_3 b_1	a_1 b_2	a_2 b_5	a_1 b_6	a_3 b_5	a_1 b_1	a_1 b_5	a_3 b_4	a_2 b_1
تکرار ۲	a_1 b_2	a_3 b_1	a_1 b_5	a_2 b_2	a_3 b_4	a_1 b_1	a_2 b_3	a_1 b_6	a_2 b_1	a_3 b_5	a_2 b_4	a_1 b_3	a_3 b_2	a_1 b_4	a_2 b_5	a_3 b_3	a_2 b_6	a_3 b_6
تکرار ۳	a_1 b_6	a_2 b_5	a_3 b_1	a_1 b_1	a_1 b_5	a_2 b_3	a_1 b_4	a_3 b_3	a_3 b_2	a_2 b_6	a_3 b_5	a_3 b_4	a_2 b_1	a_2 b_2	a_3 b_6	a_2 b_4	a_1 b_3	a_1 b_2

شکل ۳-۱- نقشه کشت طرح آزمایشی مورد استفاده

نوع و غلظت عنصر روی (گرم بر لیتر)

پیش‌تیمار: b_1 (صفر)، b_2 (آب خالص)، b_3 (معمولی ۳)، b_4 (معمولی ۶)، b_5 (نانو ۳)، b_6 (نانو ۶)

محلول‌پاشی: a_1 (صفر)، a_2 (معمولی ۴)، a_3 (نانو ۴)

۳-۴- عملیات اجرایی

۳-۴-۱- پیش‌تیمار بذر

برای اعمال پیش‌تیمار بذر، ابتدا با توجه به مساحت زمین و فواصل کشت مقدار مورد نیاز بذر برای هر تیمار محاسبه گردید. سپس مقدار بذرهای تعیین شده در پنج ظرف جداگانه قرار داده شدند. محلول‌های مورد نظر در داخل هر ظرف حاوی بذر با توجه به تیمار مربوطه ریخته شدند. بعد از گذشت ۱۲ ساعت از مدت زمان خیس خوردگی، بذرها از داخل محلول‌ها جدا و به صورت سایه خشک اقدام به خشک کردن آن‌ها شد.

۳-۴-۲- آماده سازی بستر و کاشت

زمین در سال قبل به‌صورت آیش بود. سه روز قبل از کاشت اقدام به آماده‌سازی زمین با استفاده از دیسک گردید. بذر لوبیا سبز مورد استفاده رقم سانری (رقم هلندی) بود.

عملیات کاشت در تاریخ ۲۳ خرداد ماه ۱۳۹۴ با دست انجام شد. عمق کاشت بذر ۵-۳ سانتی‌متر بود. در هر کرت آزمایشی ۴ خط کاشت به طول ۵ متر با فاصله‌ی ۵۰ سانتی‌متر بین ردیف و ۱۰ سانتی‌متر روی ردیف قرار داشت. دو خط کناری به‌عنوان حاشیه در نظر گرفته شد و صفات مورد نظر از خطوط وسط اندازه‌گیری گردیدند. در محل کاشت ۳ بذر لوبیا سبز قرار داده شد.

۳-۴-۳- داشت

آبیاری به صورت جوی و پشته‌ای هر ۷ روز یک‌بار انجام شد. مقادیر آب مصرفی برای تمام تیمارها تقریبا یکسان بود. پس از استقرار بوته‌ها اقدام به تنک کردن بوته‌های اضافی گردید. هر هفته یکبار وجین علف‌های هرز به صورت دستی انجام گرفت، همچنین علف‌کش سوپرگالانت به میزان توصیه شده برای از بین بردن علف‌های هرز باریک برگ مورد استفاده قرار گرفت.

۳-۴-۴- محلول‌پاشی

تیمار محلول‌پاشی روی با غلظت‌های مورد نظر طی یک مرحله، قبل از گلدهی (۶۳ روز پس از کاشت)، هنگام غروب و در هوای ملایم انجام شد به‌طوری‌که برگ‌های گیاه کاملاً خیس شدند. شکل قابل استفاده در هر دو حالت معمولی و نانو، اکسید روی بود. مشخصات ارائه شده توسط شرکت تولید کننده ذرات نانو اکسید روی در جدول ۳-۳ مشاهده می‌گردد.

۳-۴-۵- برداشت

برداشت در دو مرحله، یکبار ۸۰ روز بعد از کشت زمانی که غلاف‌ها مصرف تازه‌خوری داشتند جهت تعیین عملکرد سبز انجام شد و برداشت دوم جهت تعیین عملکرد نهایی و اجزای عملکرد، در تاریخ ۷

مهر ۱۳۹۴ یعنی ۱۰۴ روز پس از کشت انجام شد، زمانی که بوته‌ها در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، و بذر داخل غلاف قابل تشخیص و جدا شدن بودند.

جدول ۳-۳- مشخصات نانو ذرات اکسید روی مورد استفاده در آزمایش

شکل ذره	متمایل به کروی
رنگ	سفید
دامنه قطر ذرات (نانومتر)	<۱۰۰
خلوص (درصد)	۹۹/۹۹
حجم مولی (گرم بر مول)	۸۱/۳۷
چگالی توده (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	۵/۶۱

۳-۵- نمونه‌برداری جهت صفات زراعی و مورفولوژیک

یک هفته پس از محلول‌پاشی نمونه‌برداری جهت اندازه‌گیری صفات زراعی و مورفولوژیک آغاز گردید و هر هفت روز یک‌بار ادامه پیدا کرد. در مجموع تعداد ۳ نمونه‌برداری انجام شد. برای این منظور دو ردیف کناری و ۵۰ سانتی‌متر از ابتدا و انتهای هر کرت به‌عنوان حاشیه حذف شدند. سپس ۵ بوته لوبیا سبز به نحوی انتخاب شدند که بتوانند تا حد زیادی خصوصیات کرت مربوطه را نشان دهند. قطع بوته‌ها از سطح خاک و از ناحیه طوقه صورت گرفت. نمونه‌ها پس از برداشت در پاکت قرار داده شدند و جهت تعیین برخی صفات به آزمایشگاه انتقال داده شد.

۳-۶- اندازه‌گیری صفات زراعی و مورفولوژیک

ارتفاع ساقه اصلی و فاصله اولین غلاف از سطح خاک در ۵ بوته از هر کرت بر حسب سانتی‌متر اندازه‌گیری و پس از میانگین‌گیری ثبت گردید. قطر ساقه با استفاده از کولیس دیجیتالی روی ۵ بوته

اندازه‌گیری و سپس میانگین آن محاسبه گردید. همچنین صفاتی مانند تعداد انشعابات جانبی (شاخه-های فرعی و فرعی فرعی) شمارش و در نهایت از میانگین آن‌ها برای انجام محاسبات استفاده گردید.

۳-۶-۱- وزن خشک برگ، ساقه و غلاف

نمونه‌های منتقل شده به آزمایشگاه به بخش‌های برگ، ساقه و غلاف تفکیک شدند. به‌طور مجزا در پاکت قرار داده شدند و وزن خشک آن‌ها تعیین گردید. برای این منظور بخش‌های تفکیک شده به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرار گرفتند. پس از اعمال زمان لازم، پاکت‌ها به مدت ۲۵ دقیقه در هوای آزمایشگاه نگهداری شدند تا با محیط به تعادل دمایی برسند و در نهایت با ترازوی حساس به دقت ۰/۰۱ گرم توزین شدند. مقادیر به‌دست آمده بر حسب گرم در مترمربع محاسبه گردید.

۳-۶-۲- شاخص سطح برگ

در هر بار نمونه‌برداری پس از جداسازی برگ‌ها و اندازه‌گیری سطح برگ توسط دستگاه سنجش سطح برگ[۷]، شاخص سطح برگ بر حسب مترمربع سطح برگ به متر مربع سطح زمین محاسبه گردید. براساس تعریف واژه شاخص سطح برگ[۸] شامل نسبت سطح برگ محصول به سطح زمینی است که محصول روی آن سایه می‌اندازد. از آنجا که تشعشع خورشیدی به‌طور یکنواخت روی سطح زمین پخش می‌شود. لذا LAI یک معیار تقریبی از مساحت برگ‌ها در واحد سطح است که تشعشع خورشیدی برای آن‌ها قابل دسترس می‌باشد.

[7] Leaf Area Meter
[8] Leaf Area Index

۳-۶-۳- عملکرد سبز، اجزای عملکرد و عملکرد نهایی

از هر کرت آزمایش تعداد ۵ بوته با در نظر گرفتن حاشیه و به منظور تعیین عملکرد سبز برداشت گردید. مساحت اشغال شده توسط این ۵ بوته محاسبه و عملکرد بر حسب گرم در مترمربع برآورد گردید. اجزای عملکرد در یک گیاه زراعی مؤلفه‌های میزان تولید گیاه می‌باشند و در هر گیاه زراعی دارای اجزای خاص خود است. اجزای عملکرد در گیاه لوبیا سبز شامل تعداد غلاف در گیاه، تعداد دانه در غلاف و وزن صد دانه می‌باشد که در ۵ بوته برداشت شده اندازه‌گیری شد.

۳-۷- اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیک

۳-۷-۱- میزان کلروفیل وکاروتنوئید

به منظور اندازه‌گیری کلروفیل برگ، یک هفته پس از محلول‌پاشی به‌طور تصادفی از چند گیاه در هر کرت، از برگ‌های همسن نمونه‌برداری انجام شد. به این صورت که برگ‌های همسن در قسمت یک سوم بالا، وسط و پایین در هر کرت نمونه‌برداری شدند. جهت ارزیابی غلظت کلروفیل برگ از روش بدون لهیدگی استفاده شد. بدین ترتیب ۰/۰۱ گرم از بافت تازه برگ توزین و به قطعات کوچکی خرد شد. به نمونه‌ها ۶ میلی‌لیتر دی متیل سولفوکسید اضافه شد و محلول حاصل به مدت ۴ ساعت درون حمام آب گرم با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. نمونه‌ها از حمام آب گرم خارج شدند و پس از سرد شدن با قرار گرفتن در اسپکتروفتومتر مدل ۶۳۰۵ Jenway ساخت کشور آلمان، میزان جذب نمونه‌های حاوی کلروفیل در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر خوانده شد. سپس با استفاده از روابط موجود میزان کلروفیل a، b و کاروتنوئید محاسبه گردید (هیسوکس و ایسریلستام، ۱۹۷۹).

$$\text{Chl a } (\mu g/ml) = (12.25\ A\ 663) - (2.55 A64) \qquad \text{(رابطه ۳-۱)}$$

$$\text{Chl b } (\mu g/ml) = (20.31\ A\ 645) - (4.91\ A\ 663) \qquad \text{(رابطه ۳-۲)}$$

$$Chl\ T = chl\ a + chl\ b$$ (رابطه ۳-۳)

$$Car\ (\mu g/ml) = (1000\ A\ 470 - 1.90\ Chla - 63.14\ Chlb)/\ 214$$ (رابطه ۳-۴)

پس از جایگزین کردن داده‌ها در روابط بالا اعداد به دست آمده در V/ W ×1000 ضرب گردید تا اعداد برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر به دست آیند. V حجم محلول کلروفیلی بر حسب میلی‌لیتر و W وزن نمونه تر برگ برحسب گرم می‌باشد.

۳-۷-۲- محتوای آب نسبی برگ

به منظور تعیین مقدار آب نسبی برگ، از هر کرت سه بوته به‌طور تصادفی انتخاب شد و از هر بوته یک برگ جوان و کاملاً رشد یافته قطع گردید. برگ‌ها بلافاصله درون پوشش‌های پلاستیکی داخل یخدان قرار داده و به آزمایشگاه منتقل شدند. پس از توزین با ترازو با دقت ۰/۰۰۱ گرم (وزن تر)، به مدت ۲۴ ساعت درون آب مقطر و در یخچال با دمای ۴ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند (روش کرامر، ۱۹۸۳). سپس برگ‌ها از آب مقطر خارج و آب روی آن‌ها با دستمال گرفته و خشک گردیدند و دوباره توزین شدند (وزن اشباع)، در نهایت نمونه‌ها به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری گردید (وزن خشک). مقدار نسبی آب برگ با استفاده از رابطه ۳-۵ محاسبه شد.

رابطه (۳-۵) مقدار آب نسبی = {(وزن خشک- وزن اشباع)/(وزن خشک- وزن تر)}×۱۰۰

۳-۷-۳- پایداری غشای پلاسمایی برگ

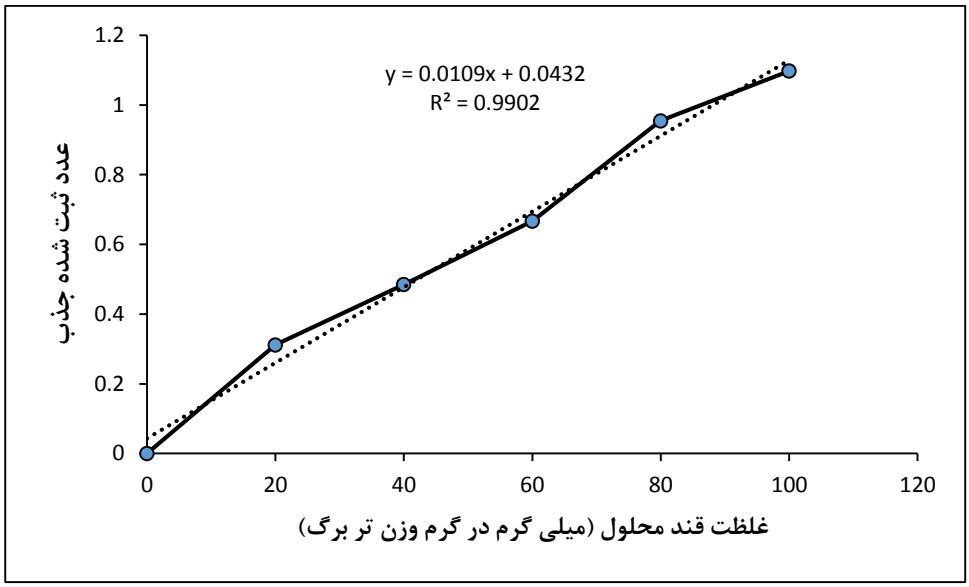
برای تعیین شاخص پایداری غشاء پلاسمایی اقدام به نمونه‌گیری تعدادی برگ هم‌سن از هر ترکیب تیماری گردید، از نمونه برگ‌های تهیه شده به اندازه ۰/۰۱ گرم به‌صورت قطعات کوچک و هم‌اندازه جدا گردید، سپس این قطعات به فالکن‌های حاوی ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد و ۳۰ دقیقه در حمام آب گرم در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد (C1) قرار داده شدند. به همین ترتیب سری دوم فالکن‌ها آماده سازی گردید و این بار به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد (C2) قرار گرفتند. پس از خنک شدن، در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد هدایت الکتریکی آن‌ها توسط دستگاه Ec متر اندازه‌گیری شد و از طریق رابطه ۳-۶ میزان پایداری غشای پلاسمایی محاسبه گردید (سایرام و سریواساوا، ۲۰۰۱).

رابطه (۳-۶) شاخص پایداری غشای پلاسمایی $= 1 - (C1/C2) \times 100$

۳-۷-۴- محتوای قندهای محلول

۰/۵ گرم از بافت برگ به همراه ۵ میلی‌لیتر از اتانول ۹۵ درصد در داخل هاون چینی کوبیده و قسمت رویی محلول جدا گردید. عمل استخراج دو بار دیگر و هر بار با ۵ میلی‌لیتر اتانول ۷۰ درصد تکرار شد، سپس محلول به‌دست آمده به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد و بعد از جدا کردن بخش رویی فاز مایع، عصاره الکلی حاصل تا زمان اندازه‌گیری کربوهیدرات داخل یخچال نگهداری شد، برای اندازه‌گیری کربوهیدرات محلول با توجه به روش ایریگوین و همکاران (۱۹۹۲)، ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره الکلی نگهداری شده در یخچال برداشته و در لوله آزمایش ریخته شد و سپس ۳ میلی‌لیتر آنترون تازه تهیه شده (۱۵۰ میلی‌گرم آنترون + ۱۰۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک) به آن اضافه شد. لوله‌های آزمایش به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب جوش قرار گرفتند تا ماده رنگی حاصل شود. بعد از خنک شدن نمونه‌ها میزان جذب در طول موج ۶۲۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. برای تهیه استاندارد قند، از گلوکز با غلظت‌های ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰

و ۱۲۰ میلی‌گرم در لیتر استفاده و کلیه مراحل آزمایش روی آن تکرار گردید (شکل ۳-۲). میزان کربوهیدرات محلول براساس میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ بیان گردید.



شکل ۳-۲- منحنی استاندارد قند محلول در طول موج ۶۲۵ نانومتر

۳-۷-۵-میزان آنتوسیانین

برای سنجش میزان آنتوسیانین کل مقدار ۰/۰۲ گرم از بافت تازه گیاهی با ۴ میلی‌لیتر محلول اسید کلریدریک ۱ درصد و متانول در یک هاون چینی ساییده شد. محلول حاصل به مدت ۲۴ ساعت در یخچال نگهداری شد. سپس، محلول به مدت ۱۰ دقیقه و در ۱۳۰۰۰ دور سانتریفیوژ گردید. فاز رویی را برداشته و جذب محلول‌ها در طول موج ۵۳۰ و ۶۵۷ نانومتر اندازه‌گیری شد. میزان آنتوسیانین برای هر عصاره با استفاده از رابطه‌ی ۳-۷ اندازه‌گیری گردید (میتا و همکاران، ۱۹۹۷).

رابطه (۳- ۷) $A = A530 – (0.25\ A657)$

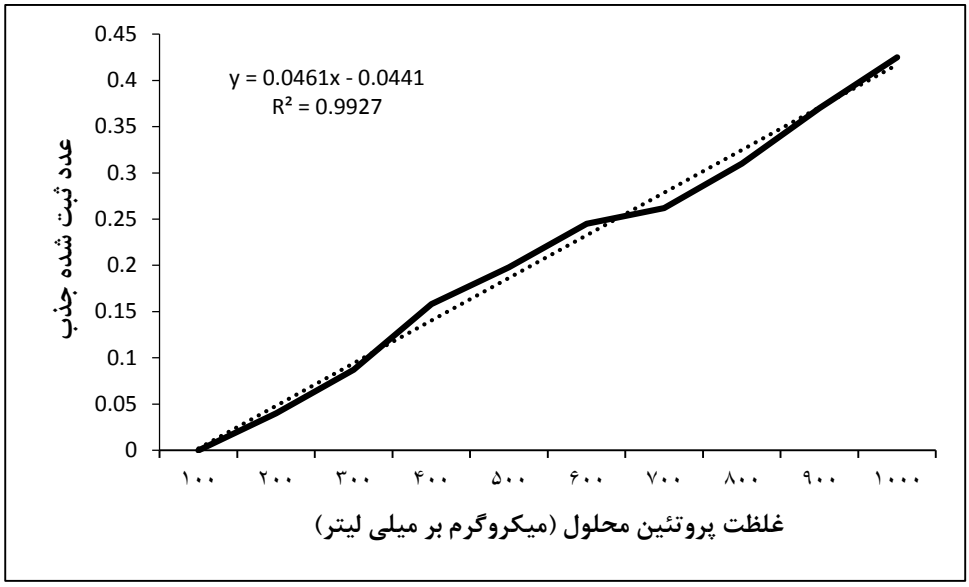
۳-۷-۶- اندازه‌گیری فلاونوئید

برای سنجش فلاونوئید، میزان ۰/۲ گرم از برگ در ۳ میلی‌لیتر اتانول اسیدی (شامل اتانول و اسید کلریدریک به نسبت ۹۹ به ۱) به‌طور کامل سائیده و به مدت ۱۵ دقیقه در ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. محلول رویی به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب گرم با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از سرد شدن توسط دستگاه اسپکترفوتومتر در طول موج ۳۰۰ نانومتر خوانده شد. برای محاسبه غلظت از ضریب خاموشی $33000\ Cm^{-2}mol^{-6}$ استفاده شد (کرزک و همکاران، ۱۹۹۸).

۳-۸- سنجش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان

۳-۸-۱- تهیه عصاره پروتئینی

جهت اندازه‌گیری آنزیم‌ها ۰/۵ گرم اندام تر برگ در یک هاون چینی محتوی ۵ میلی‌لیتر بافر تریس (۰/۰۵ مولار pH= ۷/۵) به مدت ۳۰ دقیقه و در حمام یخ کاملاً ساییده شد. سپس به لوله سانتریفیوژ منتقل شد و پس از ده دقیقه سکون به مدت ۳۰ دقیقه در ۱۵۰۰۰ دور، سانتریفیوژ نمونه‌ها انجام شد. در پایان مرحله سانتریفیوژ لوله‌ها به آرامی از دستگاه خارج و مرحله رویی از کاغذ صافی عبور داده شد، و در طول موج ۵۹۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکترفتومتر قرائت شد عصاره‌های پروتئینی حاصل برای بررسی فعالیت آنزیم‌ها مورد استفاده قرار گرفت (برادفورد، ۱۹۷۶). منحنی استاندارد غلظت پروتئین در شکل ۳-۳ نشان داده شده است.



شکل ۳-۳- منحنی استاندارد غلظت پروتئین محلول

۳-۸-۲- سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز(CAT)

اندازه‌گیری کاتالاز به روش ابی (۱۹۸۴) انجام پذیرفت. مخلوط واکنش شامل ۲/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار (pH =۷) شامل ۰/۲ میلی‌لیتر پراکسید هیدروژن ۱ درصد و ۰/۳ میلی‌لیتر عصاره استخراجی بود. سپس فعالیت آنزیم کاتالاز به صورت کاهش در جذب طی ۱ دقیقه در طول موج ۲۴۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر محاسبه شد. برای سنجش فعالیت کاتالاز از ضریب خاموشی ($۰/۰۴۳ \ Mm^{-1} \ Cm^{-1}$) استفاده شد.

۳-۸-۳- سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز(PX)

فعالیت آنزیم پراکسیداز براساس روش هالی (۱۹۷۲) اندازه‌گیری شد. بدین منظور ابتدا ۲ میلی‌لیتر تامپون استات ۰/۲ مولار با pH= ۵، ۰/۲ میلی‌لیتر آب اکسیژنه ۰/۳ درصد، ۰/۱ میلی‌لیتر بنزیدین ۰/۰۲ مولار محلول در متانول ۵۰ درصد، در حمام یخ مخلوط شدند، سپس ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره آنزیمی برگ به این مخلوط واکنش اضافه شد، منحنی جذب نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در

دمای اتاق، هر ۳۰ ثانیه به مدت ۳ دقیقه در طول موج ۵۳۰ نانومتر رسم شد. واحد آنزیم به ازای µmol $ml^{-2}H_2O_2$ تجزیه شده در هر دقیقه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد تعریف شد و با کمک منحنی استاندارد فعالیت ویژه‌ی آنزیم برحسب تغییرات واحد آنزیم در دقیقه به ازای هر میلی‌گرم پروتئین محاسبه شد. برای سنجش فعالیت پراکسیداز از ضریب خاموشی (۶/۲۶ Mm^{-1} Cm^{-1}) استفاده شد.

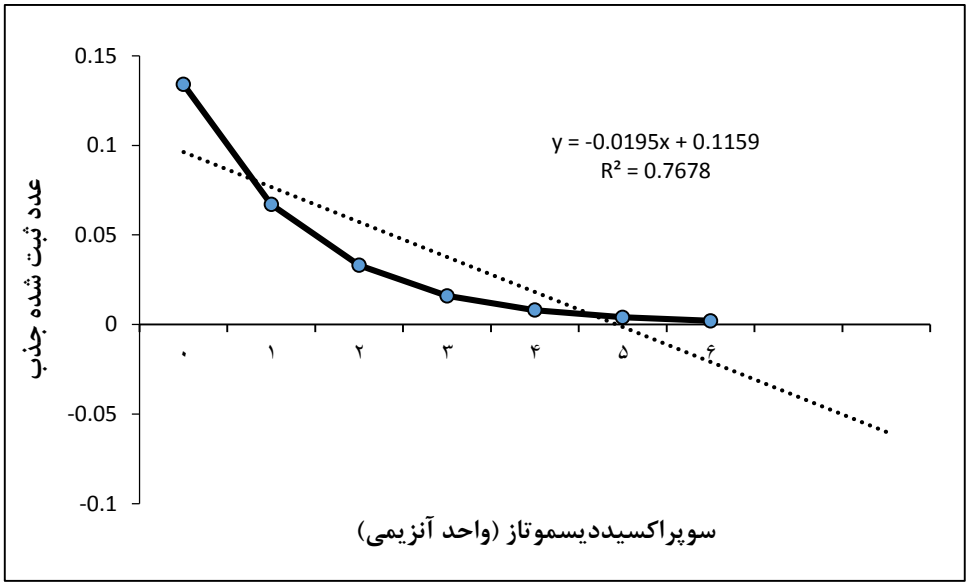
۳-۸-۴- سنجش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز(APX)

جهت اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز از روش آسادا و تاکاهاشی (۱۹۸۷)، استفاده شد. بر این اساس، ابتدا ۲ میلی‌لیتر بافر فسفات سدیم ۰/۰۵ مولار با pH =۶/۵ با ۲ میلی‌لیتر آب اکسیژنه ۳ درصد و ۲ میلی‌لیتر آسکوربات ۵ میکرومول در حمام یخ مخلوط شده، بلافاصله ۰/۱ میلی‌لیتر عصاره آنزیمی برگ اضافه و منحنی تغییرات جذب در ۲۵۶ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر به مدت ۲ دقیقه و با فواصل ۱۰ ثانیه، بررسی شد. واحد آنزیمی به صورت حجم مورد نیاز از آنزیم جهت هیدرولیز ۱mmol از عصاره در یک دقیقه و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد تعریف شد. سپس فعالیت آنزیم بر حسب واحد در دقیقه به ازای هر میلی‌گرم پروتئین محاسبه شد.

۳-۸-۵- سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز(SOD)

اندوفنل اکسیداز (IPO) یا تترازولیوم اکسیداز (TO) از نام‌های دیگر این آنزیم است. برای اندازه‌گیری فعالیت این آنزیم از روش بیوچمپ و فری دوویچ (۱۹۷۱) استفاده شد. سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز با استفاده از سنجش مهار احیاء نوری نیتروبلوتترازولیوم (NBT) در طول موج ۵۶۰ نانومتر انجام گرفت. بدین منظور ابتدا محلول بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار با pH = ۷/۵ تهیه شد. سپس برای تهیه مخلوط واکنش، ترکیبات زیر با حجم‌های مشخص به بافر اضافه شد. EDTA ۰/۱

میلی‌مولار، نیتروبلوتترازولیوم (NBT) ۷۵ میکرومولار، متیونین ۱۳ میلی‌مولار، ریبوفلاوین ۴ میکرومولار، به ترتیب اضافه گردید. قبل از اضافه کردن این ترکیبات به بافر فسفات پتاسیم ظرف حاوی مخلوط واکنش با فویل آلومینیومی به خوبی پوشانده شد تا به هیچ‌وجه نور نبیند. سپس ۱۰۰ میکرولیتر از هر نمونه عصاره با سمپلر در هر لوله آزمایش ریخته و ۳ میلی‌لیتر از محلول فوق به آن اضافه شد. بعد از این مرحله، خیلی سریع لوله‌ها داخل جا لوله‌ای، تحت روشنایی لامپ فلورسنت (۴۰ وات) با فاصله ۵۰ سانتی‌متر قرار داده شدند و بلافاصله واکنش آغاز گردید. پس از گذشت ۱۵ دقیقه جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۶۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. برای صفر کردن دستگاه، به عنوان شاهد، ۳ میلی‌لیتر از محلول تهیه شده با بافر فسفات پتاسیم را که فاقد عصاره بود، بدون آن‌که نور ببیند، درون کووت ریخته و دستگاه با آن صفر شد. برای سنجش فعالیت این آنزیم علاوه بر این شاهد، نیاز به نمونه کنترل نیز می‌باشد، که به آن شاهد روشنایی گفته می‌شود. برای تهیه شاهد روشنایی یک لوله آزمایش حاوی ۳ میلی‌لیتر از محلول واکنش (فاقد عصاره) همراه با دیگر لوله‌های حاوی عصاره، در زیر نور فلورسنت با همان مدت زمان، قرار گرفت. میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در نمونه‌ها در مقایسه با شاهد روشنایی سنجیده شد. به دلیل عدم وجود آنزیم در لوله شاهد روشنایی، احیاء NBT در حضور نور به طور ۱۰۰ درصد انجام گرفته و تمام نیتروبلوتترازولیوم موجود در محلول واکنش به فورمازون تبدیل شد و رنگ این لوله از بقیه تیره‌تر بود. میزان جذب این شاهد در ۵۶۰ نانومتر، احیاء نوری ۱۰۰ درصد NBT را نشان داد که نیمی از میزان این جذب معادل یک واحد آنزیمی در نظر گرفته شد. یک واحد آنزیمی سوپراکسیددیسموتاز مقدار آنزیمی در نظر گرفته شد که موجب ۵۰ درصد ممانعت از احیاء نوری NBT گشت. اختلاف جذب نمونه‌ها و شاهد روشنایی در ۵۶۰ نانومتر، مهار احیاء نوری NBT در حضور آنزیم سوپراکسیددیسموتاز موجود در نمونه‌ها را نشان داد. با استفاده از این اختلاف جذب، واحد آنزیمی نمونه‌ها محاسبه و فعالیت آنزیمی بر حسب واحد آنزیم در مقدار پروتئین کل (میلی‌گرم) در ۱۰۰ میکرولیتر عصاره که به روش نوری محاسبه شد، بیان گردید (شکل ۳-۴).

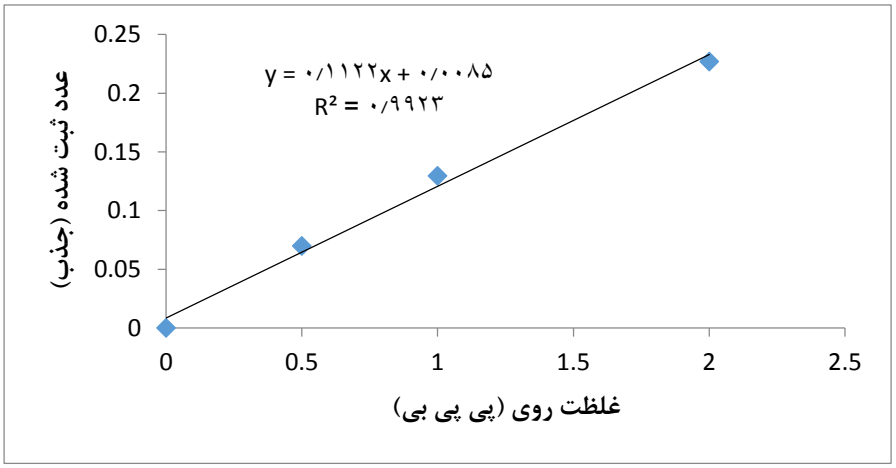


شکل ۳-۴- منحنی استاندارد آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز

۳-۹- اندازه گیری صفات کیفی

۳-۹-۱- غلظت عنصر روی

نمونه‌های خشک شده گیاهی با استفاده از آسیاب پودر گردیدند. مقدار یک گرم از نمونه وزن گردید و درون کروزه (بوته چینی) ریخته شد و درون کوره الکتریکی در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ ساعت قرار گرفت. در مرحله بعد به هر یک از نمونه ها ۱۰ میلی لیتر اسید کلریدریک ۲ نرمال اضافه شد و نمونه ها در بن‌ماری به مدت ۱۵ دقیقه قرار گرفتند. سپس نمونه ها با استفاده از کاغذ صافی واتمن صاف و به حجم ۱۰۰ میلی لیتر رسانده شدند. از نمونه‌های صاف شده به مقدار لازم بر داشته و میزان عنصر روی با استفاده از دستگاه جذب اتمی (PERKIN ELMER) ساخت کشور آمریکا اندازه-گیری شد (شکل ۳-۵).



شکل ۳-۵- منحنی استاندارد غلظت عنصر روی

۳-۹-۲- درصد و عملکرد پروتئین دانه

برای انجام عمل هضم ۲۵۰ میلی‌گرم از ماده گیاهی خوب پودر شده را درون فلاسک‌های شیشه‌ای مخصوص کجلدال[9] ریخته و مقدار ۱/۵ گرم سولفات پتاسیم و ۰/۱۵ گرم سولفات مس به‌عنوان کاتالیزور به هر فلاسک اضافه گردید. سپس به هر فلاسک ۱۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ افزوده شد و فلاسک‌ها درون اجاق مخصوص قرار داده شدند. دمای اجاق به آرامی و هر بار ۴۰ درجه سانتی گراد افزایش یافت تا به دمای ۳۸۰ درجه سانتی گراد رسید. این شیوه برای جلوگیری از جوشش و کف کردن مواد درون فلاسک‌ها بسیار مؤثر بود. پایان عمل هضم پس از ۲ تا ۲/۵ ساعت و با تبدیل محلول سیاه رنگ درون فلاسک‌ها به محلولی نسبتاً زلال به رنگ سبز بسیار کم رنگ مشخص می‌شد. مقدار نیتروژن نمونه‌ها پس از سرد شدن در دمای آزمایشگاه توسط دستگاه کجلدال سنجیده شد.

دستگاه دارای سه مخزن آب مقطر، سود سوزآور ۴۰ درصد و محلول دریافت کننده بود. محلول دریافت کننده از ترکیب ۱۰۰ میلی‌لیتر بروموکروزول سبز (۰/۱ گرم بروموکروزول سبز در ۱۰۰ میلی‌لیتر الکل)، ۷۰ میلی لیتر متیل قرمز (۰/۱ گرم متیل قرمز در ۱۰۰ میلی‌لیتر الکل) و ۱۰ لیتر اسید بوریک

[9] Kjeldahl

۱ درصد تشکیل شده بود. پس از قرارگیری فلاسک‌ها در دستگاه به ترتیب ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر و ۳۰ میلی‌لیتر سود سوزآور ۴۰ درصد به نمونه اضافه شده و با فشار بخارآب عمل تقطیر انجام گرفت. طی مرحله تقطیر نیتروژن موجود در نمونه به‌صورت گاز آمونیاک متصاعد شده و رنگ محلول حاوی نمونه به قهوه ای سوخته تبدیل می‌گردد. گاز آمونیاک حاصل به ظرفی حاوی محلول دریافت کننده منتقل شده و به همراه اسید بوریک بورات آمونیوم را تشکیل می‌دهد که معرف‌های موجود در محلول دریافت کننده آن را به‌صورت رنگ سبز نمایان می‌سازند. عمل تیتراسیون نیز صورت گرفت. طی این عمل بورات آمونیوم حاصل در محلول دریافت کننده توسط مقدار کافی از محلول تیتریزول اسید کلریدریک ۰/۱ نرمال و تا رسیدن به رنگ ارغوانی تیره تیتر شد. به‌منظورتبدیل مقدار اسید کلریدریک ۰/۱ نرمال مصرف شده در تیتراسیون به درصد نیتروژن نمونه و تبدیل آن به درصد پروتئین از روابط ۳-۸ و ۳-۹ استفاده شد. ضریب تبدیل برای لوبیا سبز ۶/۲۵ در نظر گرفته شد. برای محاسبه عملکرد پروتئین از حاصلضرب عملکرد در درصد پروتئین آن استفاده گردید (والینگ و همکاران، ۱۹۸۹).

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

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

A = حجم اسید کلریدریک ۰/۱ مولار مصرفی بر حسب میلی لیتر

۳-۱۰- تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای SAS 9.1 و MSTATC و رسم شکل‌ها توسط نرم افزار EXCEL انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح ۵ درصد صورت پذیرفت.

فصل چهارم

نتایج و بحث

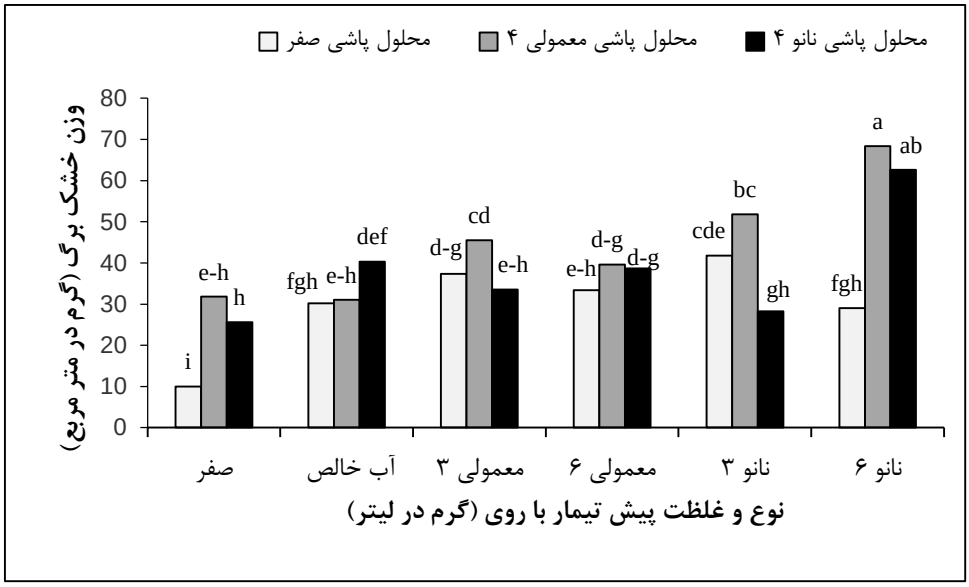
۴-۱- تجمع ماده خشک برگ، ساقه و غلاف

از بین خصوصیات وابسته به رشد، میزان ماده خشک به دلیل اهمیت بیشتر به‌عنوان عاملی تعیین کننده محسوب می‌شود (کوچکی و خواجه‌حسینی، ۱۳۸۷).

۴-۱-۱- وزن خشک برگ

نتیجه حاصل از تجزیه واریانس (جدول پیوست ۱) نشان داد اثر تمامی منابع تغییر بر وزن خشک برگ معنی‌دار ($p < ۰/۰۱$) شد. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد، وزن خشک برگ در گیاهان حاصل از بذور شاهد (۱۰ گرم در مترمربع) و کمترین مقدار ثبت شده بود. سایر سطوح تیمارها از جمله پیش‌تیمار بذر، محلول‌پاشی و کاربرد توأم آن‌ها این صفت را بهبود بخشید. مقادیر بالایی از وزن خشک برگ (۶۸/۴۰ گرم در مترمربع) در پیش‌تیمار بذر با نانو روی ۶ گرم در لیتر همراه با محلول‌پاشی روی معمولی ۴ گرم در لیتر مشاهده شد که البته با تیمار محلول‌پاشی نانو روی در همین سطح از پیش‌تیمار بذر اختلاف معنی‌داری نداشت. به‌طور کلی پیش‌تیمار بذر در هر دو شکل نانو و معمولی هنگامی که با محلول‌پاشی نانو روی توأم گردید تأثیر منفی بر ماده خشک برگ گیاه لوبیا سبز داشت. در شرایط عدم پیش‌تیمار نیز چنین وضعیتی مشاهده گردید (شکل ۴-۱).

سعیدی (۲۰۰۸) افزایش غیرمستقیم رشد گیاه را به کاربرد عنصر روی نسبت داد. گیاهان محلول-پاشی شده با روی معمولی ماده خشک بیشتری را در برگ‌های خود تجمع دادند. در حالی‌که محلول-پاشی با نانو ذرات روی اثر منفی بر وزن خشک برگ داشت (طالع‌زاده و همکاران، ۱۳۹۱). همچنین نتایج آزمایش مزرعه‌ای نشان داد که پرایمینگ بذر با عنصر روی موجب بهبود تجمع ماده خشک گیاه جو شد. بیان شده است که تیمارهای پرایمینگ از طریق بهبود جذب تشعشع خورشیدی همزمان با افزایش سطح برگ (پوشش سبز) موجب افزایش سرعت تجمع ماده خشک می‌شوند (عبدالرحمانی و همکاران، ۱۳۹۰).

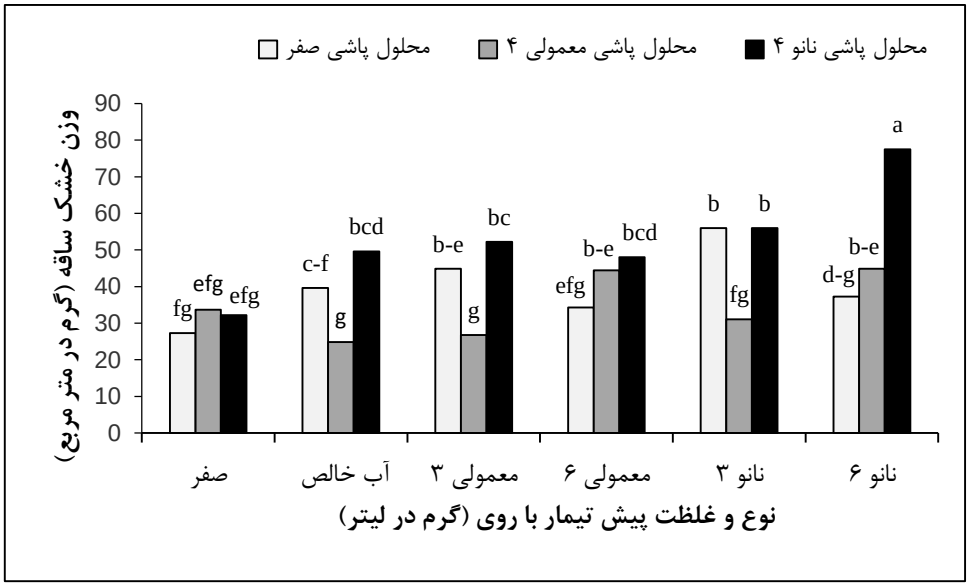


شکل ۴-۱- مقایسه میانگین وزن خشک برگ تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی

۴-۱-۲- وزن خشک ساقه

ساقه محل اصلی ذخیره است که می‌تواند دانه‌های در حال پرشدن را از طریق انتقال مجدد ذخایر حمایت کند (گیونتا، ۱۹۹۵). لذا وزن خشک بیشتر ساقه می‌تواند صفتی مطلوب باشد.

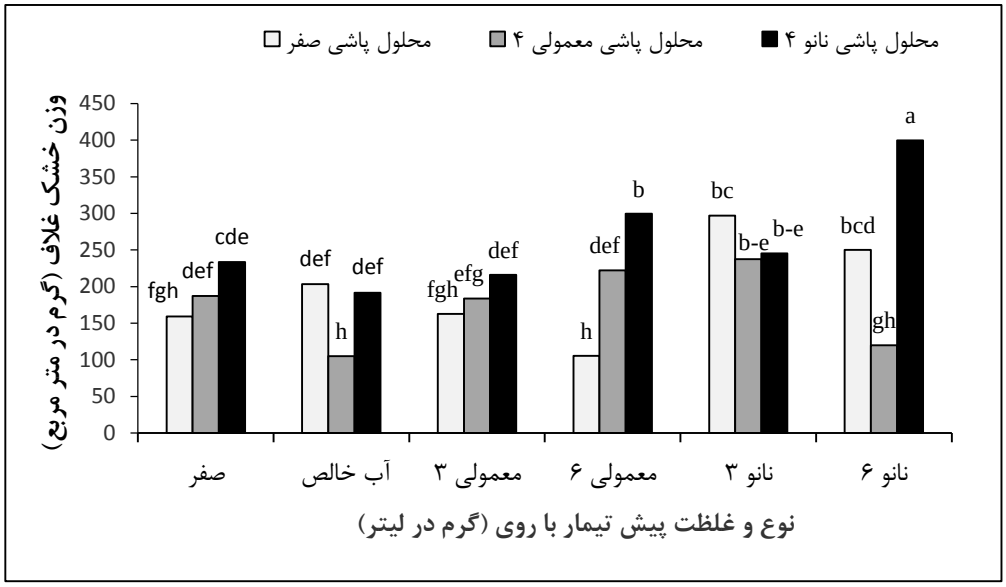
نتایج تجزیه واریانس وزن خشک ساقه در جدول پیوست ۱ نشان داده شده است. اثر اصلی و اثرات متقابل پیش‌تیمار و محلول‌پاشی بر این صفت معنی‌دار ($p < ۰/۰۱$) شد. گیاهانی که بذر آن‌ها با نانو روی ۶ گرم در لیتر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی آن‌ها نیز با نانو روی صورت گرفت، بالاترین وزن خشک ساقه را با میانگین ۷۷/۵۰ گرم در مترمربع به خود اختصاص دادند که نسبت به تیمار شاهد ۱۸۴/۲۹ درصد افزایش نشان داد. محلول‌پاشی روی به‌تنهایی در هر دو فرم نانو و معمولی از لحاظ تأثیر گذاری بر این صفت سودمند نبود. همچنین در شرایط پیش‌تیمار با آب خالص و غلظت‌های پایین روی، محلول‌پاشی با روی معمولی تأثیری بر وزن خشک ساقه نداشت (شکل ۴-۲). طی آزمایشی در ذرت ترکیب محلول‌پاشی و پرایمینگ بذر با نانو کود روی بالاترین وزن خشک ساقه را نشان داده است (بهزادی‌فر، ۱۳۹۲).



شکل ۴-۲- مقایسه میانگین وزن خشک ساقه تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی

۴-۱-۳- وزن خشک غلاف

پیش‌تیمار روی، محلول‌پاشی و اثر متقابل آن‌ها اثر معنی‌دار ($p < ۰/۰۱$) بر صفت وزن خشک غلاف داشت (جدول پیوست ۱). در شکل ۴-۳ مشاهده می‌شود در شرایط عدم پیش‌تیمار، محلول‌پاشی با نانو روی ۴ گرم در لیتر وزن خشک غلاف را به‌طور معنی‌دار و معادل ۴۶/۷۰ درصد نسبت به شاهد بهبود بخشید. در سطح پیش تیمار بذر با نانو روی ۶ گرم در لیتر نیز، محلول‌پاشی نانو روی وزن خشک غلاف را حدود ۱۵۰ درصد نسبت به شاهد افزایش داد که بالاترین وزن خشک غلاف ثبت شده در بین ترکیبات تیماری مورد مقایسه بود. شجاعی و همکاران (۱۳۹۲) در شرایط تنش قطع آبیاری در گیاه ماش نشان دادند که محلول‌پاشی با ۱۰ گرم نانو اکسید روی، به میزان ۱۵ درصد ماده خشک را نسبت به شاهد افزایش داد. همچنین در پژوهش دیگر محلول‌پاشی اکسید روی به فرم معمول سبب افزایش ۹ درصدی و محلول‌پاشی اکسید روی به فرم نانو موجب افزایش ۲۶ درصدی وزن خشک اندام هوایی شد (زاهدی و همکاران، ۱۳۹۴).



شکل ۴-۳- مقایسه میانگین وزن خشک غلاف تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی

۴-۲- شاخص سطح برگ

شاخص سطح برگ یکی از شاخص‌های بسیار مهم در آنالیز رشد محسوب می‌شود، به این علت که LAI نشان‌دهنده مقدار لایه‌های برگ در یک کانوپی گیاهی است که قادر به جذب نور و در نهایت فتوسنتز می‌باشد (کوچکی و همکاران، ۱۳۶۷). پیش‌تیمار روی، محلول‌پاشی و اثر متقابل آن‌ها بر صفت شاخص سطح برگ بسیار معنی‌دار شد. (جدول پیوست ۱). ترکیبات تیماری حاصل از پیش‌تیمار و محلول‌پاشی از لحاظ تأثیرگذاری بر شاخص سطح برگ در شکل ۴-۴ مقایسه شده‌اند. ملاحظه می‌گردد که میزان ثبت شده برای این صفت در ترکیب پیش‌تیمار بذر نانو روی ۶ گرم در لیتر همراه با محلول-پاشی روی به هردو فرم معمولی و نانو، ۹۷/۲۷ و ۹۴/۵۵ درصد نسبت به شاهد بیشتر بود. به‌طور کلی شاخص سطح برگ لوبیا سبز در سطح پیش‌تیمار با غلظت بالای نانو روی، در اثر محلول‌پاشی با روی در هر دو شکل معمولی و نانو موجب بهبود این شاخص شد.

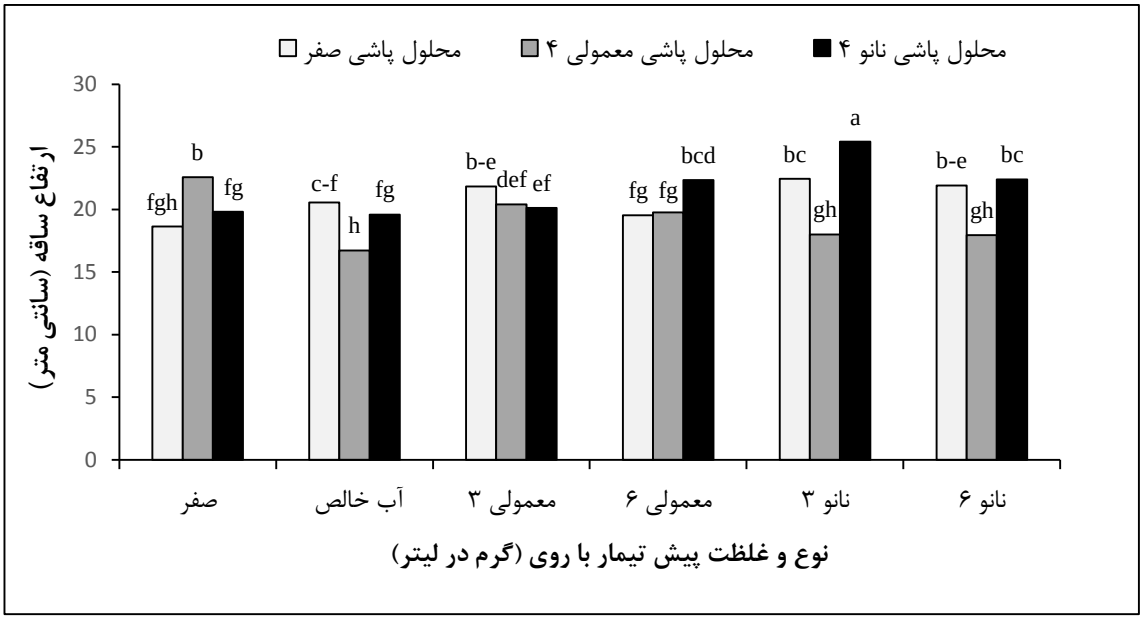
شکل ۴-۴- مقایسه میانگین شاخص سطح برگ تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی

در آزمایش داوری و همکاران (۱۳۹۳، ب) بیشترین شاخص سطح برگ آفتابگردان در تیمار پرایمینگ با ۶۰۰ میلی‌گرم در لیتر سولفات روی توأم با محلول‌پاشی ۲ گرم در لیتر سولفات روی بود که نسبت به شاهد و پرایم با آب مقطر ۱۹/۹۴ و ۱۴/۸۵ درصد افزایش نشان داد. هم‌چنین ضیائیان و ملکوتی (۱۳۷۷) بیان داشتند که نقش آهن، روی و منگنز در افزایش سطح برگ ذرت بیش از سایر عناصر ریزمغذی است.

۴-۳- ارتفاع ساقه

تمامی منابع تغییر شامل اثرات اصلی پیش‌تیمار و محلول‌پاشی و اثر متقابل آن‌ها بر ارتفاع ساقه معنی‌دار ($p < ۰/۰۱$) شد (جدول پیوست ۳). بیشترین طول ساقه با میانگینی معادل ۲۵/۲۴ سانتی‌متر از ترکیب پیش‌تیمار بذری نانو روی ۳ گرم در لیتر و محلول‌پاشی نانو روی ۴ گرم در لیتر به‌دست آمد که در گروه آماری برتر قرار گرفت. پیش‌تیمار بذری آب خالص و محلول‌پاشی روی معمولی ۴ گرم در

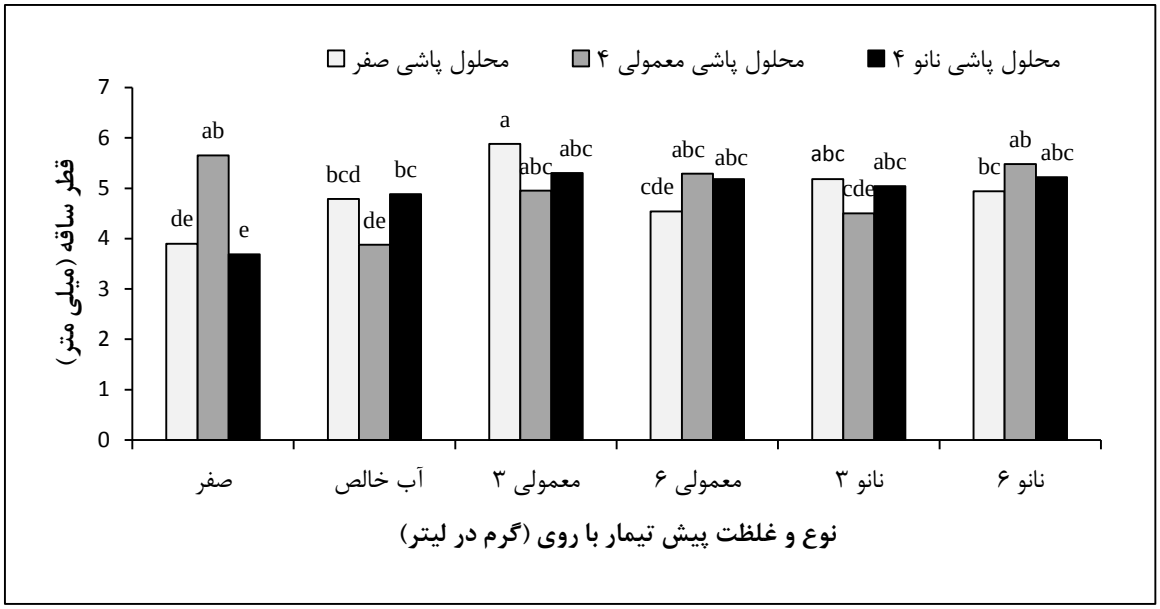
لیتر نسبت به شاهد کاهش ۱۰ درصدی را نشان داد که البته اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشت. سایر ترکیبات تیماری مورد مطالعه اعم از پیش‌تیمار بذری و محلول‌پاشی به تنهایی و توأم باهم تقریباً این صفت را نسبت به شاهد بهبود بخشیدند در این بین تنها ۶ ترکیب تیماری اختلاف معنی‌داری با شاهد داشتند (شکل ۴-۵). عنصر روی سبب تحریک رشد گیاه می‌شود که آن‌را می‌توان به نقش این فلز در بیوسنتز اکسین به‌عنوان یک هورمون محرک رشد در گیاه نسبت داد. این هورمون از طریق انتقال پروتون به درون سلول و در نتیجه کاهش pH درون سلولی و تغییر در غلظت کلسیم سیتوسولی، سبب افزایش نفوذ پذیری غشای سلول‌ها و تحریک رشد می‌شود. از طرفی اکسین ممکن است سنتز رسوب مواد پلی‌ساکاریدی مورد نیاز برای ظرفیت نرم شوندگی دیواره را افزایش دهد. بنابراین افزایش روی در حد مناسب محرک طویل شدن سلول‌ها در ساقه و کلئوپتیل می‌باشد (خاوری‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۰). به‌عنوان مثال محلول‌پاشی سولفات روی در گیاه نخود سبب افزایش ارتفاع، تعداد دانه در غلاف، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه گردیده است (آرمین و بیدی، ۱۳۹۳). شایان ذکر است معمولاً افزایش ارتفاع بوته با تشکیل محور گل آذین بلندتر و تعداد گل و نیام بیشتر همراه می‌باشد. در مرحله پرشدن دانه‌ها به‌دلیل ریزش برگ‌ها، فتوسنتز گیاه توسط نیام‌ها صورت می‌گیرد، بنابراین داشتن ساقه‌های بلند سبب افزایش فتوسنتز در گیاه می‌شود که نتیجه آن افزایش وزن دانه و عملکرد است (سینهاروی و همکاران، ۱۹۹۰).



شکل ۴-۵- مقایسه میانگین ارتفاع ساقه تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی

۴-۴- قطر ساقه

صفت قطر ساقه از نظر تأمین استحکام و پایداری گیاه، مقاومت آن در برابر ورس و نیز برخی از بیماری‌های قارچی حائز اهمیت است. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی محلول‌پاشی بر قطر ساقه معنی‌دار نبود ولی اثر اصلی پیش‌تیمار بذری و اثر متقابل آن‌ها در سطح ۱ درصد معنی‌دار گردید (جدول پیوست ۳). در بین ۱۸ ترکیب تیماری مورد مطالعه میزان قطر ساقه بین ۳/۷ تا ۵/۶ میلی‌متر متغیر بود. قطر ساقه گیاهان شاهد ۳/۹ میلی‌متر بود که در اثر همه ترکیبات تیماری به جز محلول‌پاشی با نانو روی در سطح صفر پیش‌تیمار به‌طور معنی‌دار یا غیرمعنی‌دار بهبود یافت. طوری‌که این صفت در گیاهانی که فقط بذر آن‌ها با روی معمولی ۳ گرم در لیتر پیش‌تیمار شده بود با ۵۰/۷۶ درصد افزایش نسبت به شاهد، معادل ۳/۹ میلی‌متر ثبت گردید (شکل ۴-۶).



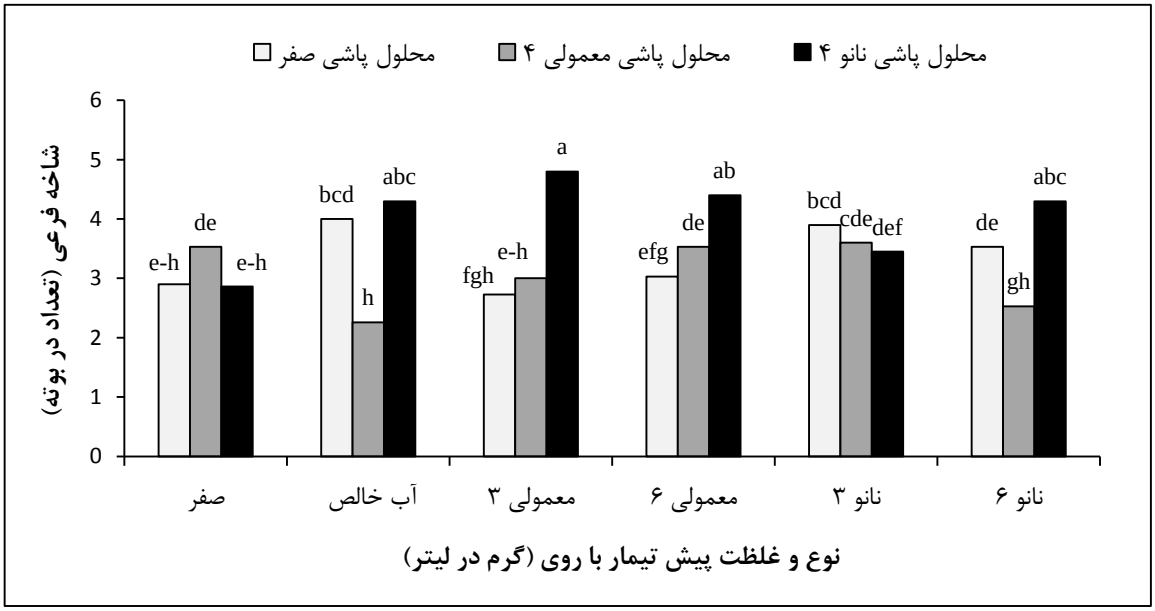
شکل ۴-۶- مقایسه میانگین قطر ساقه تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی

شیخ بگلو و همکاران (۱۳۹۰) کمترین قطر ساقه ذرت از تیمار بدون محلول‌پاشی با میانگین ۱/۶ سانتی‌متر را گزارش دادند همچنین محلول‌پاشی با سولفات روی دارای کمترین تأثیر (۱/۴ سانتی‌متر) بر قطر ساقه بود.

۴-۵- شاخه فرعی

اثر منابع تغییر شامل محلول‌پاشی و اثر متقابل پیش‌تیمار و محلول‌پاشی بر تعداد شاخه فرعی ساقه در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد و تنها اثر اصلی پیش‌تیمار بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول پیوست ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که تعداد شاخه فرعی گیاهان در شرایط محلول‌پاشی نانو روی در همه سطوح پیش‌تیمار (به‌جز پیش‌تیمار با غلظت ۳ گرم در لیتر نانو روی) بیش از ۴ عدد در بوته بود. در حالی‌که این تعداد در گیاهان شاهد کمتر از ۳ عدد در بوته بود. در کنار ترکیبات تیماری یاد شده پیش‌تیمار با آب خالص و نانو روی ۳ گرم در لیتر بدون محلول‌پاشی نیز توانست این صفت را به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش دهد. تعداد شاخه فرعی در پیش‌تیمار با آب خالص و نانو روی ۶ گرم

در لیتر توأم با محلول‌پاشی روی معمولی کاهش قابل توجهی یافت به‌طوری که حتی کمتر از شاهد بود (شکل ۴-۷).

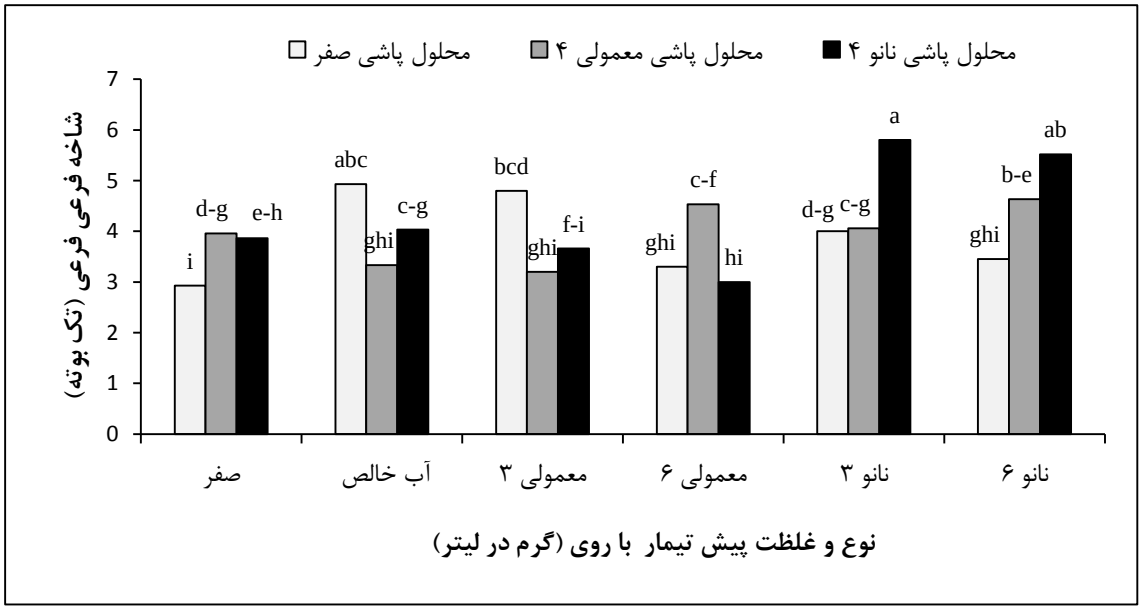


شکل ۴-۷- مقایسه میانگین تعداد شاخه فرعی تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی

در گیاهان دیگر اثرات مثبت محلول‌پاشی با عناصر مختلف گزارش شده است. چاکرالحسینی و همکاران (۱۳۸۸) گزارش کردند مصرف ۴۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی به‌علاوه محلول‌پاشی سولفات روی با غلظت ۳ در هزار سبب افزایش تعداد پنجه‌های بارور شد. تالوس و همکاران (۲۰۰۶) نشان دادند که در ماش تحت شرایط تنش خشکی تعداد شاخه‌های تولید شده در هر بوته به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد اما محلول‌پاشی با عنصر روی در مراحل رشد رویشی و زایشی به‌طور مؤثری از طریق تحریک جوانه‌های جانبی و همچنین افزایش تقسیم سلولی، از کاهش تعداد شاخه فرعی جلوگیری می‌کند. محلول‌پاشی عنصر روی تعداد شاخه را در هر گیاه افزایش می‌دهد (القیزاوی و همکاران، ۲۰۰۹).

۴-۶- شاخه فرعی فرعی

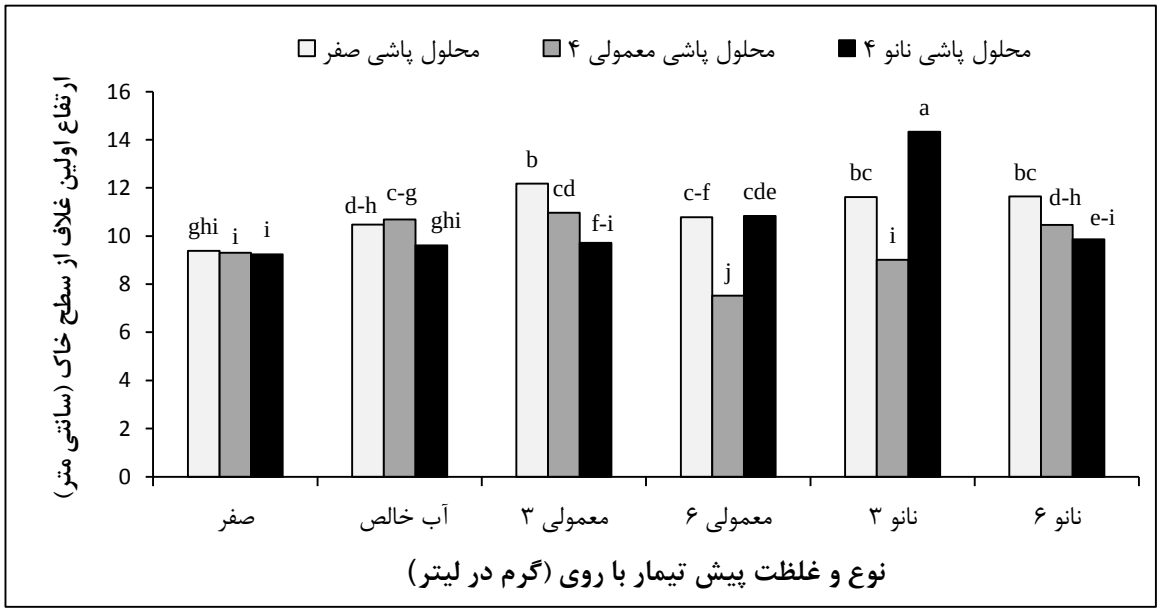
نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اختلاف معنی‌داری از لحاظ تأثیرگذاری پیش‌تیمار و اثر متقابل پیش‌تیمار و محلول‌پاشی در سطح یک درصد بر شاخه فرعی فرعی وجود داشت (جدول پیوست ۳). مقایسه برهمکنش سطوح پیش‌تیمار و محلول‌پاشی نشان داد (شکل ۴-۸). در اثر کاربرد توأم ۳ گرم نانو روی به‌صورت پیش‌تیمار و ۴ گرم نانو روی به‌صورت محلول‌پاشی تعداد شاخه فرعی فرعی ۵/۸۰ عدد بود که نسبت به شاهد ۹۷/۹۵ درصد افزایش نشان داد. محلول‌پاشی عنصر روی به‌ویژه به فرم نانو در گیاهانی که بذر آن‌ها با نانو روی ۶ گرم در لیتر پیش‌تیمار شده بود نیز تعداد شاخه فرعی فرعی را افزایش داد. البته محلول‌پاشی با هر دو فرم روی به‌تنهایی و پیش‌تیمار با آب خالص و ۳ گرم در لیتر روی معمولی نیز تأثیر به‌سزایی در این صفت داشت. این در حالی است که تعداد شاخه‌های فرعی فرعی در گیاهان شاهد (عدم پیش‌تیمار و محلول‌پاشی) پایین و کمتر از ۳ عدد بود. پیش از این نیز افزایش تعداد شاخه‌های لوبیا در اثر کاربرد روی گزارش شده است (هامسا و همکاران، ۲۰۱۲).



شکل ۴-۸- مقایسه میانگین تعداد شاخه فرعی فرعی تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی

۴-۷- ارتفاع اولین غلاف از سطح خاک

ارتفاع اولین غلاف از سطح زمین ویژگی مؤثر در برداشت مکانیزه لوبیا است که در این آزمایش به‌طور معنی‌داری ($p < ۰/۰۱$) تحت تأثیر تیمارهای مورد بررسی قرار گرفت (جدول پیوست ۳). بیشترین ارتفاع اولین غلاف از سطح خاک در کاربرد توأم پیش تیمار بذری در سطح نانو روی ۳ گرم در لیتر و محلول‌پاشی نانو روی مشاهده شد که ۵۲/۷۷ درصد افزایش نسبت به شاهد نشان داد. براساس نتایج به‌دست آمده از لحاظ تأثیرگذاری بر این صفت انجام پیش‌تیمار بذر به‌تنهایی مفیدتر بود و به جز ترکیب تیماری یاد شده در سایر موارد کاربرد برگی روی در هر دو فرم نانو و معمولی نه تنها مفید نبود بلکه گاهی اثر منفی برجای گذاشت. به‌طوری که پایین‌ترین غلاف‌ها در گیاهانی مشاهده شد که ابتدا بذر آن‌ها با ۶ گرم در لیتر روی معمولی پیش‌تیمار و سپس با ۴ گرم در لیتر روی معمولی محلول‌پاشی شدند (شکل۴-۹).

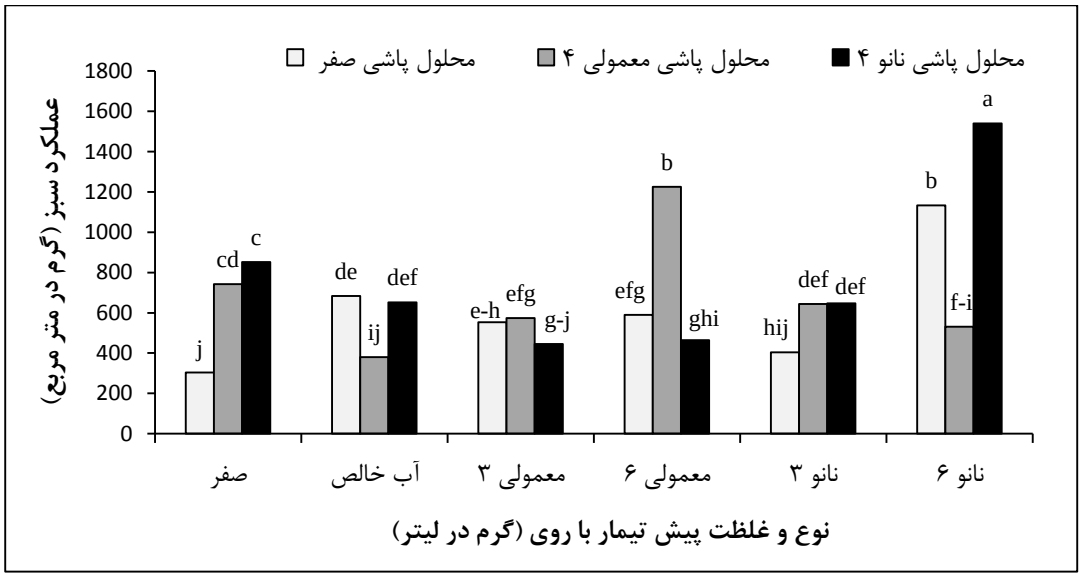


شکل ۴-۹- مقایسه میانگین ارتفاع اولین غلاف از سطح خاک تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی

۴-۸- عملکرد و اجزای عملکرد

۴-۸-۱- عملکرد سبز (وزن غلاف تازه)

براساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر پیش‌تیمار بذری و اثر متقابل پیش‌تیمار بذری و محلول-پاشی عنصر روی بر عملکرد در سطح احتمال یک درصد و اثر اصلی محلول‌پاشی روی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول پیوست ۵). تیمار شاهد دارای عملکردی معادل ۳۰۳/۳ گرم در مترمربع بود. بالاترین مقدار عملکرد سبز در گیاهانی مشاهده شد که غلظت بالایی از نانو روی را به صورت پیش‌تیمار و محلول‌پاشی دریافت کردند. عملکرد این گیاهان ۱۳۷۶/۸۳ گرم در مترمربع به‌دست آمد که به‌طور چشمگیر و معادل ۳۵۴/۹۴ درصد بیشتر از شاهد بود. بالا بودن ماده خشک بخش‌های مختلف، سطح برگ، رنگدانه‌های برگ، پایداری غشاء و اجزای عملکرد در این ترکیب تیماری می‌تواند دلیلی برای حصول این نتیجه باشد. البته در برخی منابع افزایش عملکرد با مصرف کود سولفات روی را به نقش مستقیم این عنصر در فعالیت‌های آنزیمی نسبت داده‌اند (روی و همکاران، ۲۰۰۶). در بین ترکیبات تیماری مورد مطالعه گیاهانی که فقط با ۶ گرم در لیتر نانو روی پیش‌تیمار شده بودند و گیاهانی که با همین مقدار روی معمولی پیش‌تیمار و سپس با روی معمولی محلول‌پاشی شده بودند نیز عملکرد سبز بالایی از خود نشان دادند و به لحاظ آماری در رتبه بعدی قرار گرفتند (شکل ۴-۱۰).

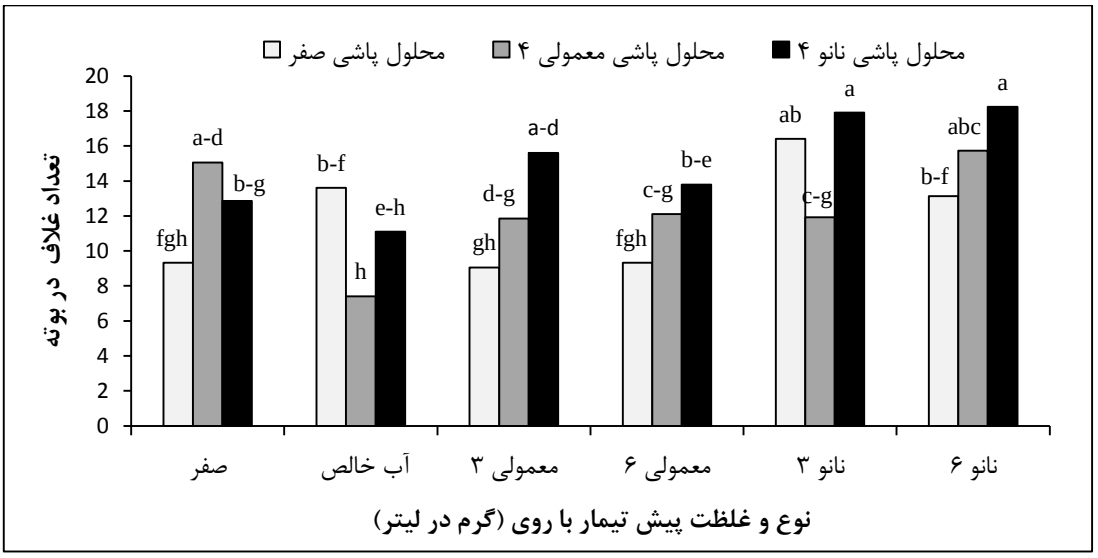


شکل ۴-۱۰- مقایسه میانگین عملکرد سبز تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی

۴-۸-۲- تعداد غلاف در بوته

بنابر اعتقاد بسیاری از پژوهش‌گران در بین اجزای عملکرد، تعداد غلاف در بوته مهم‌ترین صفت در تعیین عملکرد لوبیا بوده و بیش‌ترین همبستگی را با عملکرد دانه دارد (بیات وهمکاران، ۲۰۱۰).

پیش‌تیمار، محلول‌پاشی و اثر متقابل آن‌ها تأثیر معنی‌دار ($p < ۰/۰۱$) بر صفت تعداد غلاف در بوته داشت (جدول پیوست ۵). در ترکیبات تیماری مورد مطالعه تعداد غلاف در بوته بین ۷/۴ تا ۱۸/۲۳ متغیر بود. در این بین تعداد غلاف بیشتر در بوته‌هایی ثبت گردید که بذور آن‌ها توسط نانو روی پیش‌تیمار شده بودند. به‌عنوان مثال مقدار این صفت در ترکیب تیماری پیش‌تیمار با نانو روی ۳ و ۶ و محلول‌پاشی با نانو روی ۴ گرم در لیتر حدود ۱۸ غلاف در بوته بود که نسبت به شاهد حدود ۸۳ درصد افزایش نشان داد. تأثیر مثبت محلول‌پاشی با نانو روی در سطوح پیش‌تیمار روی معمولی نیز مشهود بود. هرچند محلول‌پاشی روی به‌تنهایی نیز این صفت را بهبود بخشید (شکل ۴-۱۱).



شکل ۴-۱۱- مقایسه میانگین تعداد غلاف در بوته تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی

محلول‌پاشی عنصر روی در سویا از طریق افزایش سطح برگ، وزن خشک و طول دوره گلدهی سبب افزایش تعداد غلاف در گیاه شده است (کوبرایی و همکاران، ۲۰۱۱). احمدی (۱۳۸۹) در بررسی خود

نشان داد که هر چه میزان مصرف کود سولفات روی بالاتر رود تعداد دانه در نیام، تعداد غلاف در بوته و عملکرد دانه افزایش می‌یابد. که می‌توان این افزایش عملکرد را به افزایش گرده افشانی در گیاه نسبت داد.

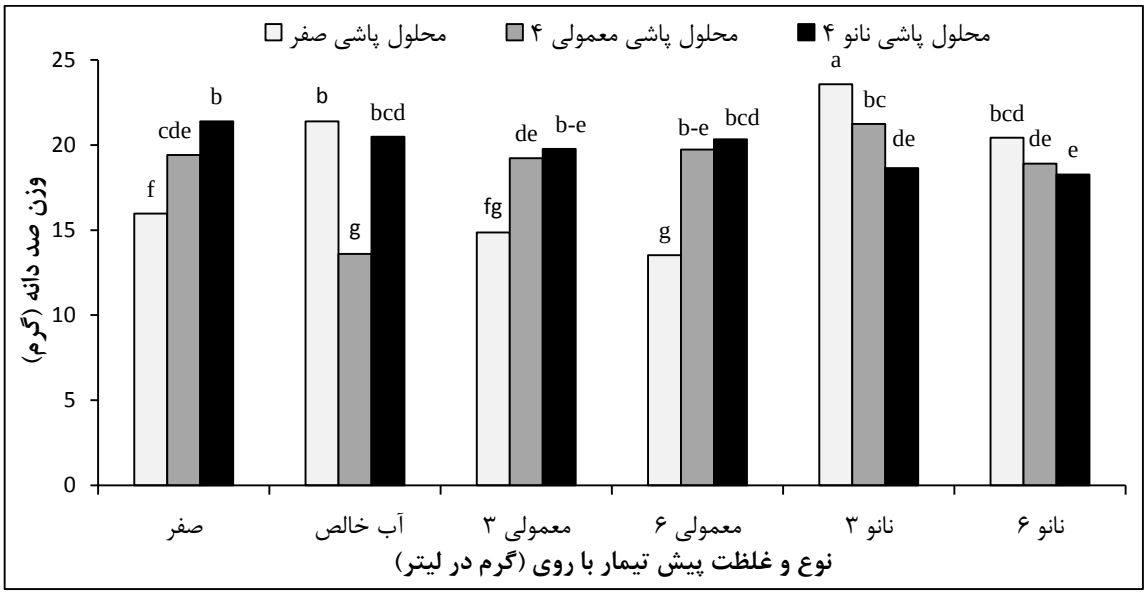
۴-۸-۳- تعداد دانه در غلاف

پیش‌تیمار روی و اثر متقابل پیش‌تیمار و محلول‌پاشی روی بر صفت تعداد دانه در غلاف در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول پیوست ۵). مقادیر بالایی از تعداد دانه در غلاف (۴/۷۹) در پیش‌تیمار با نانو روی ۶ گرم در لیتر و محلول‌پاشی نانو روی ۴ گرم در لیتر مشاهده شد (شکل ۴-۱۲). گزارش شده است که عنصر روی در ساخت پروتئین لوله گرده شرکت کرده و سبب ذخیره آن در این اندام می‌شود که این امر منجر به افزایش گرده افشانی و تشکیل میوه و دانه می‌شود (مارچنر، ۱۹۹۵). افزایش تعداد دانه در بوته در اثر کاربرد روی توسط نخزری و همکاران (۱۳۹۰) نیز گزارش شد.

شکل ۴-۱۲- مقایسه میانگین تعداد دانه در غلاف تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی

۴-۸-۴- وزن صد دانه

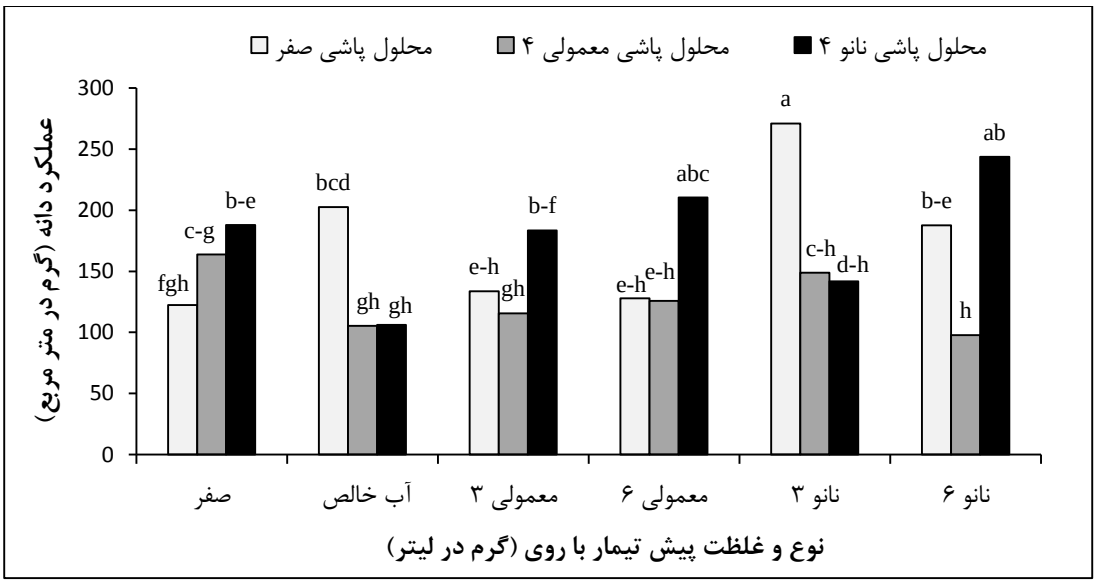
همانطور که در نتایج حاصل از تجزیه واریانس در جدول پیوست ۵ مشاهده می‌گردد اثرات اصلی پیش‌تیمار و محلول‌پاشی و اثر متقابل آن‌ها بر وزن صد دانه معنی‌دار ($p < ۰/۰۱$) بود. گیاهانی که بذر آن‌ها فقط با نانو روی ۳ گرم در لیتر پیش‌تیمار شد بالاترین وزن صد دانه را معادل ۲۳/۵۶ گرم را به خود اختصاص دادند که نسبت به تیمار شاهد ۴۷/۶۱ درصد افزایش نشان داد. در خصوص پیش‌تیمار تنها با نانو روی ۶ گرم در لیتر و آب خالص نیز نتیجه خوبی حاصل شد ولی پیش‌تیمار با روی معمولی در هر دو غلظت تأثیر منفی داشت. در مقابل کاربرد برگی روی به هر دو شکل نانو و معمولی در گیاهانی که حاصل از بذور تیمار شده با روی معمولی بودند، نقش قابل توجهی در افزایش وزن صد دانه داشت. محلول‌پاشی روی معمولی و نانو به‌تنهایی نیز موجب افزایش معنی‌دار در این صفت شد (شکل ۴-۱۳). بزرگی و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعه‌ای نشان دادند که محلول‌پاشی ۱ گرم در لیتر روی سبب افزایش صفت وزن صد دانه باقلا با میانگین ۲۴۷/۷ گرم شد.



شکل ۴-۱۳- مقایسه میانگین وزن صد دانه تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی

۴-۸-۵- عملکرد نهایی

دانه‌ها آخرین مقصد مواد فتوسنتزی هستند و کارآیی یک رقم یا یک کشت یا تیمار نهایتاً تولید اقتصادی را در زراعت‌هایی که دانه هدف تولید است، تعیین می‌کند و ممکن است کاهش یک جزء و افزایش اجزاء دیگر تغییرات چندانی در عملکرد ایجاد نکند اما مقدار مناسب اجزاء عملکرد در حد آستانه اقتصادی می‌تواند سبب تولید عملکرد مناسبی گردد (صالحی و همکاران، ۱۳۹۱). عملکرد دانه لوبیا سبز تحت تأثیر محلول‌پاشی و اثر متقابل پیش‌تیمار و محلول‌پاشی در سطح احتمال ۱ درصد قرار گرفت (جدول پیوست ۵) به نحوی که پیش‌تیمار بذر با غلظت نانو روی ۳ گرم در لیتر افزایش معنی‌داری را نسبت به سایر تیمارها در عملکرد دانه ایجاد نمود. افزایش مشاهده شده در این تیمار نسبت به شاهد ۱۲۱/۵۳ درصد بود که با پیش‌تیمار روی ۶ گرم در لیتر به دو فرم معمولی و نانو همراه با محلول‌پاشی ۴ گرم در لیتر نانو روی در یک سطح آماری قرار گرفتند. همچنین در بین ترکیبات تیماری، پیش‌تیمار بذر با آب خالص و نانو روی ۶ گرم در لیتر و نیز محلول‌پاشی با نانو روی به‌تنهایی توانستند افزایش معنی‌داری در عملکرد نهایی نسبت به گیاهان شاهد ایجاد نمایند (شکل۴-۱۴).



شکل ۴-۱۴- مقایسه میانگین عملکرد نهایی تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی

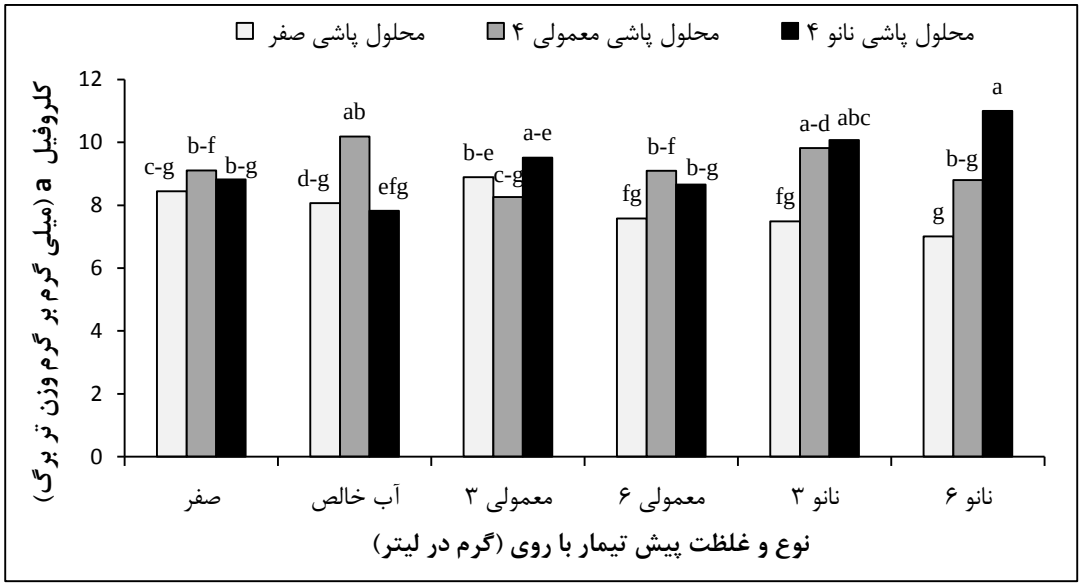
محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی منجر به افزایش عملکرد دانه همیشه بهار گردید که نشان‌دهنده تأثیر سودمند محلول‌پاشی می‌باشد (رضایی چیانه و همکاران، ۱۳۹۴). هم‌چنین براساس نتایج بدست آمده توسط وفایی و همکاران (۱۳۹۰) مصرف کود روی بر عملکرد بیولوژیک، عملکرد اقتصادی و وزن هزار دانه در گیاه لوبیا معنی‌دار بود. کود روی صفات مذکور را به ترتیب ۱۶، ۲۱ و ۵ درصد افزایش داد. هم‌چنین با اعمال پرایمینگ ۶۰۰ میلی‌گرم نانو ذرات روی به همراه محلول‌پاشی ۰/۱۳ و ۲ گرم در لیتر سولفات روی عملکرد دانه آفتابگردان نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت (داوری و همکاران، ۱۳۹۳، ب).

۴-۹- صفات فیزیولوژیک

۴-۹-۱-رنگدانه‌های برگ

۴-۹-۱-۱-کلروفیل a

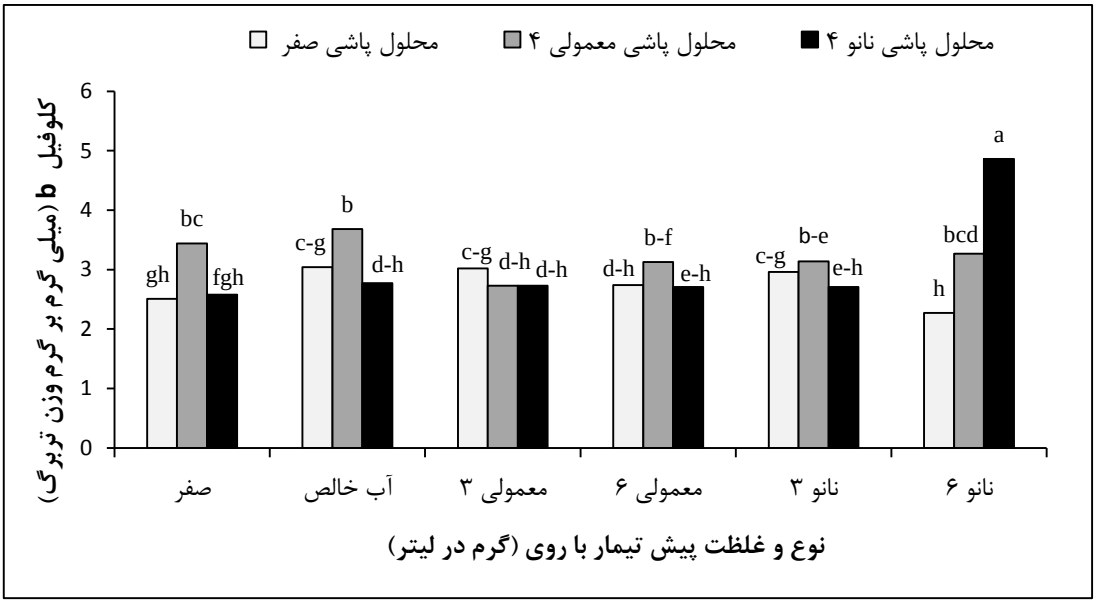
از بین منابع تغییر اثر محلول‌پاشی($p < ۰/۰۱$) و اثر متقابل پیش‌تیمار و محلول‌پاشی عنصر روی ($p <۰ /۰۵$) بر کلروفیل a معنی‌دار شد (جدول پیوست ۷). ترکیب پیش‌تیمار بذری نانو روی ۶ گرم در لیتر با محلول‌پاشی نانو روی ۴ گرم در لیتر با ۳۰/۷ درصد، افزایش نسبت به شاهد مقادیر بالایی از میزان کلروفیل a را به خود اختصاص داد در حالی که در همین سطح از پیش‌تیمار بذری (نانو روی ۶ گرم در لیتر) بدون محلول‌پاشی میزان کلروفیل a با میانگین ۷/۰۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ پایین‌تر از سایر تیمارها بود اکثر تیمارها از لحاظ تأثیرگذاری بر این صفت اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشتند (شکل ۴-۱۵). عنصر روی در بیوسنتز کلروفیل مورد نیاز است و با تولید هورمون ایندول استیک اسید ضمن جلوگیری از تخریب کلروفیل، به افزایش کلروفیل‌های b و a منجر شده و از این طریق به افزایش فتوسنتز و عملکرد دانه کمک می‌کند (همانتارنجان و گرای، ۱۹۸۸). بررسی‌های وانخاده (۲۰۰۲) نشان داد که محتوای کلروفیل برگ و وزن خشک گیاه در تیمارهای حاوی روی افزایش می‌یابد.



شکل ۴-۱۵- مقایسه میانگین کلروفیل a تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی

۴-۹-۱-۲- کلروفیل b

آنالیز داده‌ها حاکی از معنی‌دار بودن اثر پیش‌تیمار، محلول‌پاشی و برهمکنش آن‌ها در سطح احتمال ۱ درصد بر کلروفیل b بود (جدول پیوست ۷). استفاده از نانو ذره روی با غلظت ۶ گرم در لیتر جهت پیش‌تیمار بذر به همراه افزودن نانو ذره روی با غلظت ۴ گرم در لیتر روی برگ‌های گیاه موجب افزایش معنی‌دار و قابل توجه کلروفیل b برگ نسبت به شاهد و سایر تیمارها گردید به‌طوری که کلروفیل b به‌دست آمده در این ترکیب تیماری (۴/۸۶ میلی‌گرم در گرم وزن تر) معادل ۹۳/۶۲ درصد بیشتر از تیمار شاهد بود، در حالی که میزان این صفت در برگ گیاهانی که بذر آن‌ها فقط با نانو روی ۶ گرم پیش‌تیمار شده بودند و در معرض محلول‌پاشی قرار نگرفتند بسیار پایین و معادل ۲/۲۷ میلی‌گرم در گرم وزن تر بود که البته اختلاف معنی‌داری با تعدادی از تیمارها نداشت (شکل ۴-۱۶). گزارش‌های دیگری نیز وجود دارد که نشان می‌دهد محلول‌پاشی کلات آهن و روی سبب افزایش کلروفیل a، b، مجموع کلروفیل و کاروتنوئید می‌گردد. افزایش میزان رنگدانه‌ها در برگ موجب بالارفتن فتوسنتز می‌شود لذا می‌توان عملکرد لوبیا را با این روش افزایش داد (شافع و همکاران، ۱۳۹۰).

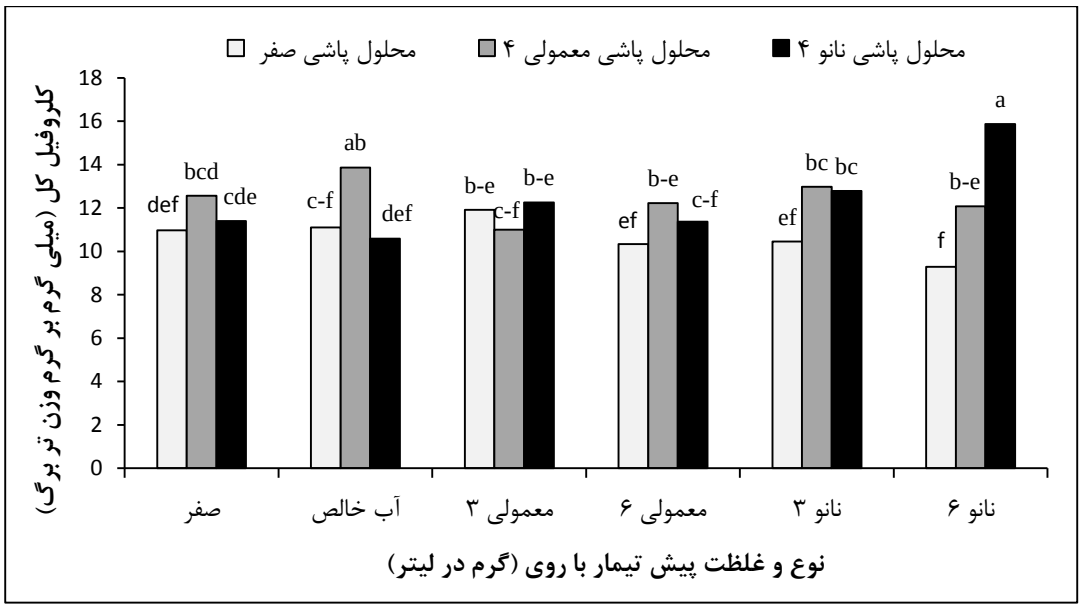


شکل ۴-۱۶- مقایسه میانگین کلروفیل b تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی

۴-۹-۱-۳- کلروفیل کل

کلروفیل کل برگ از محلول‌پاشی و اثرمتقابل آن با پیش‌تیمار در سطح احتمال ۱ درصد تأثیر پذیرفت (جدول پیوست ۷). برآیند مقادیر کلروفیل a و b در کلروفیل کل نمایان گردید طوری‌که مقدار بالایی از کلروفیل در ترکیب پیش‌تیمار بذری نانو روی ۶ گرم در لیتر و محلول‌پاشی نانو روی ۴ گرم در لیتر مشاهده شد. میزان کلروفیل کل در این ترکیب تیماری افزایش ۴۴/۶۶ درصدی را نسبت به شاهد نشان داد (شکل ۹-۱۷). عنصر روی میزان کلروفیل a و b و فعالیت فتوسیستم را افزایش داده و سبب افزایش تجمع متابولیت‌ها (ترکیبات قندی محلول، پلی‌ساکاریدها و پروتئین‌های محلول) در اندام-های هوایی می‌شود. غلظتی از روی که موجب بیشترین فتوسنتز و تجمع متابولیت‌ها می‌گردد، ۵۰ الی ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد و بیشتر از این مقدار موجب کاهش آن‌ها می‌شود. تغییرات در میزان کلروفیل می‌تواند مرتبط با اثر عنصر روی بر فرآیندهای نموی باشد که منجر به سنتز کلروفیل می‌شود، و یا بر فعالیت‌های آنزیم‌های کلروپلاست تأثیر بگذارد (عارف و همکاران، ۲۰۱۲). در آزمایش مقیمی‌پور

و همکاران (۱۳۹۰، ب) بیشترین و کمترین مقدار رنگدانه‌های فتوسنتزی در تیمارهای محلول‌پاشی با غلظت ۱/۵ گرم در لیتر نانو کلات روی و شاهد مشاهده شد.

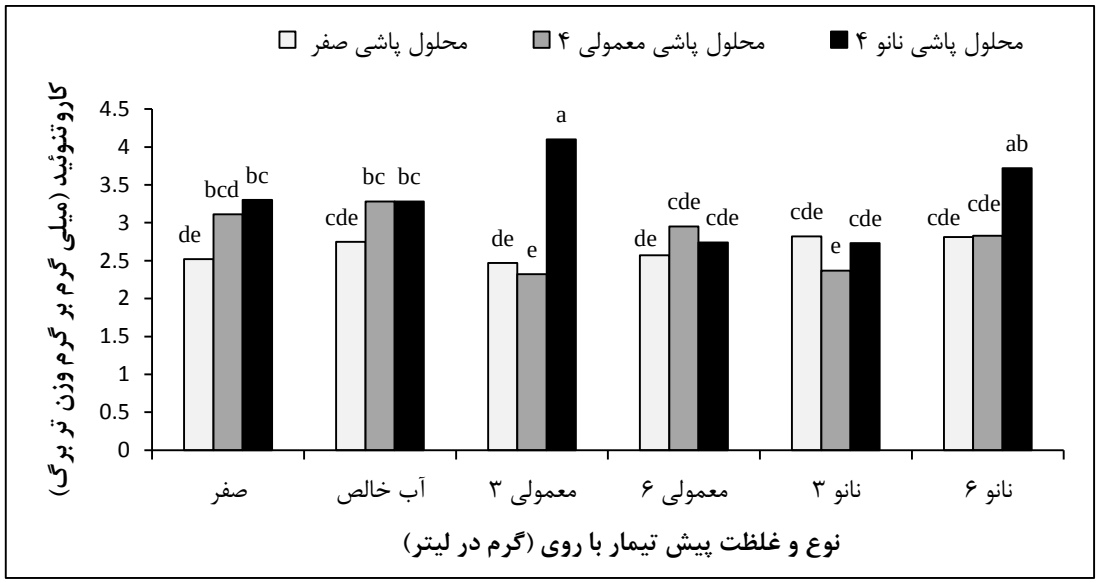


شکل ۴-۱۷- مقایسه میانگین کلروفیل کل تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی

۴-۹-۱-۴-کاروتنوئید

کاروتنوئیدها دسته‌ای از رنگدانه‌ها هستند که در جذب نور در گیاهان نقش مهمی دارند و می‌توانند اعمال فیزیولوژیکی متفاوتی را در گیاه انجام دهند. کاروتنوئیدها ترکیباتی ضروری در تشکیلات فتوسنتزی می‌باشند و نقش اساسی آنها حفاظت گیاه در برابر آسیب‌های فتواکسیداتیو می‌باشد (بارتلی و اسکولینک، ۱۹۹۵). تجزیه داده‌های حاصل از اندازه‌گیری میزان کاروتنوئید موجود در برگ نشان داد اثر محلول‌پاشی و اثر متقابل پیش‌تیمار و محلول‌پاشی بر این صفت در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول پیوست ۷). طبق نتایج مقایسه میانگین محلول‌پاشی نانو روی در گیاهان حاصل از بذور پیش‌تیمار شده با روی معمولی ۳ گرم و نانو روی ۶ گرم در لیتر به‌ترتیب سبب افزایش ۶۲/۶۹ و ۴۷/۶۱ درصدی میزان کاروتنوئید شد و به‌عنوان بالاترین مقادیر ثبت شده، در مقایسه با شاهد بودند. کاربرد

برگی روی در هر دو فرم در شرایط هیدروپرایم و بدون پرایم نیز موجب بهبود این صفت گردید (شکل ۴-۱۸).

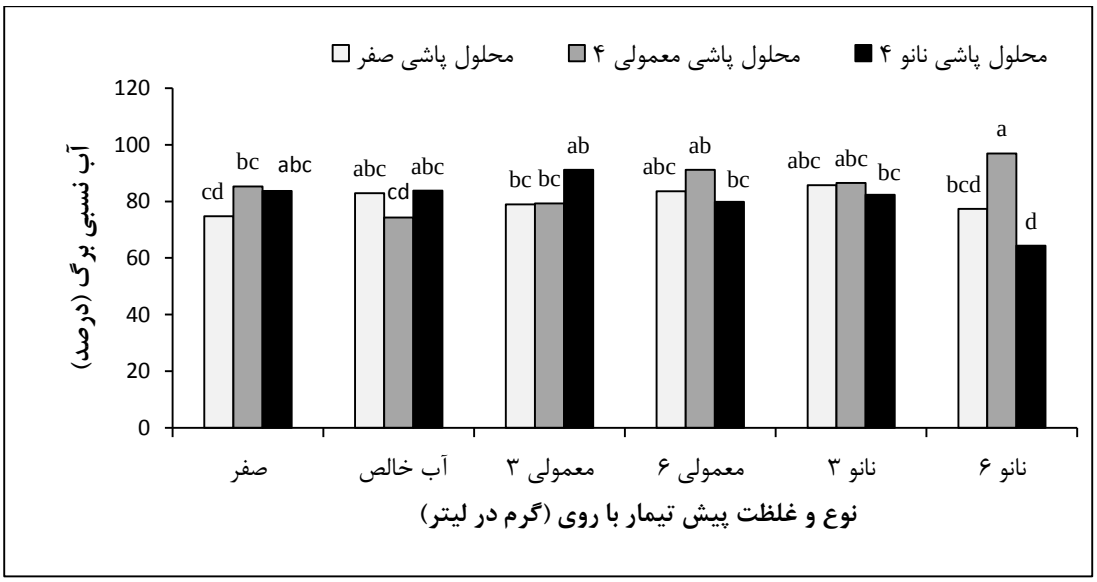


شکل ۴-۱۸- مقایسه میانگین کاروتنوئید تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی

۴-۹-۲- محتوای آب نسبی برگ

از بین منابع تغییر تنها اثر متقابل پیش‌تیمار و محلول‌پاشی بر محتوای آب نسبی برگ معنی‌دار ($p < ۰/۰۱$) شد، سایر منابع تغییر بر این صفت اثر معنی‌داری نداشت. نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل در جدول پیوست ۹ آورده شده است. همانطور که در شکل ۴-۱۹ مشاهده می‌شود مقدار آب نسبی برگ در تیمارهای مورد مطالعه بین ۶۸ تا ۹۷ درصد متغیر بود. بالاترین مقدار به میزان ۹۶/۹۲ درصد زمانی به‌دست آمد که پیش‌تیمار نانو روی ۶ گرم در لیتر با محلول‌پاشی ۴ گرم در لیتر روی معمولی توأم گردید این مقدار نزدیک به تعدادی از تیمارها بود و تنها با شاهد و نیمی از ترکیبات تیماری مورد مطالعه اختلاف معنی‌دار داشت. میزان آب نسبی برگ در گیاهان شاهد ۷۴/۷۳ درصد بود. مقدار این صفت در ترکیب تیماری پیش‌تیمار بذری نانو روی ۶ گرم در لیتر با محلول‌پاشی نانو روی ۴

گرم در لیتر پایین بود در حالی که این ترکیب تیماری همواره مقادیر بالایی از صفات مختلف را به نمایش گذاشته بود (شکل ۴-۱۹).



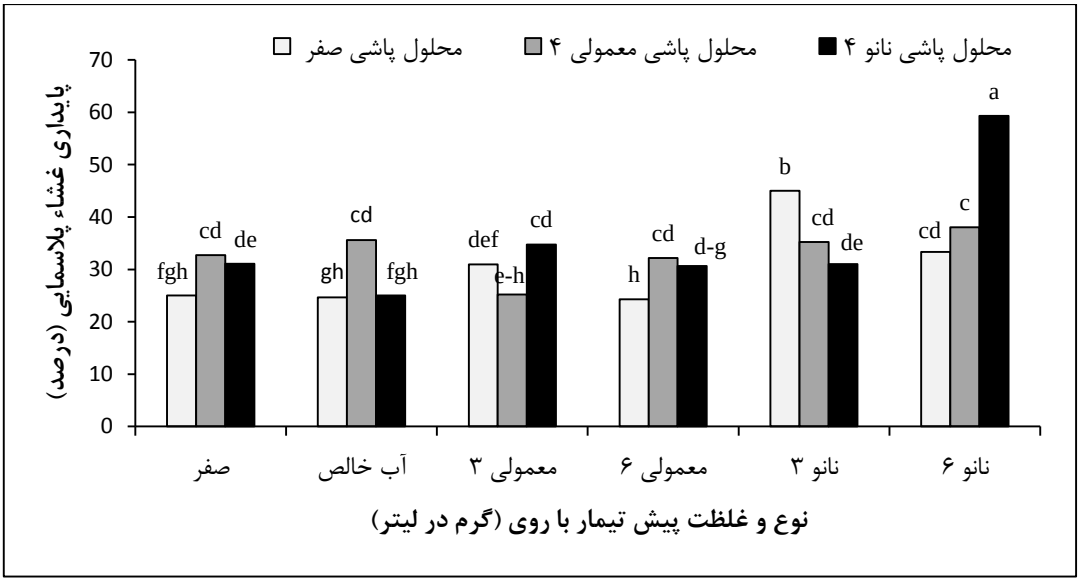
شکل ۴-۱۹- مقایسه میانگین آب نسبی برگ تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی

از عوامل دخیل در کاهش محتوای نسبی آب، تقلیل رشد و فعالیت ریشه و افزایش میزان تبخیر و تعرق جامعه گیاهی شناخته شده‌اند (تارومینکنگ و همکاران، ۲۰۰۳). اختلاف در این صفت ممکن است نشان دهنده‌ی تأثیر متفاوت تیمارها برای جذب آب از خاک و یا توانایی هدر روی آب از طریق روزنه‌ها و یا اختلاف در توانایی گیاهان برای تجمع و تنظیم اسمزی برای حفظ تورژسانس بافت و افزایش فعالیت‌های فیزیولوژیکی باشد. بین محتوای آب نسبی در شرایط طبیعی و تنش، همبستگی معنی‌داری با عملکرد بیان شده است (شکاری و همکاران، ۱۳۸۹). کاربرد عنصر روی از طریق افزایش در سطح اکسین، رشد ریشه را تقویت می‌کند (کاکماک و همکاران، ۱۹۸۹).

۴-۹-۳- پایداری غشاء

پیش‌تیمار بذری عنصر روی و اثر متقابل پیش‌تیمار و محلول‌پاشی عنصر روی بر پایداری غشای پلاسمایی در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول پیوست ۹). مقایسه میانگین اثر ترکیبات تیماری

حاصل از پیش‌تیمار و محلول‌پاشی در شکل ۴-۲۰ نشان داده شده است. هم در این شکل و هم در جدول پیوست ۱۰ ملاحظه می‌گردد که در مجموع پایداری غشاء پلاسمایی در برگ گیاهانی که از بذور پیش‌تیمار شده با نانو روی حاصل شده بود، بیشتر از سایر تیمارها بود.



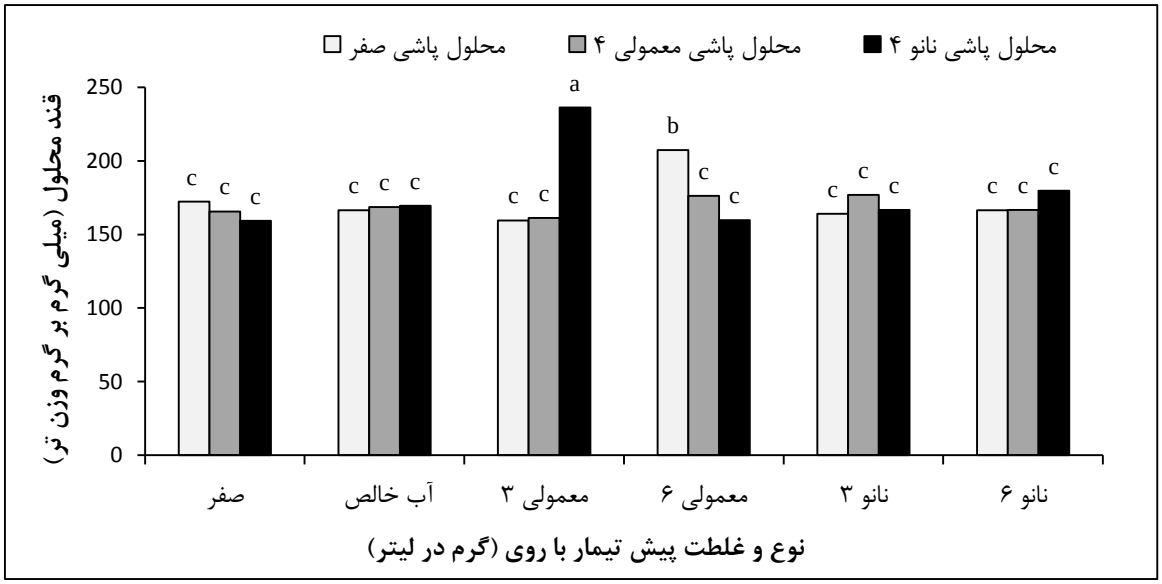
شکل۴-۲۰- مقایسه میانگین پایداری غشای پلاسمایی تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی

تیمارهای دیگر اختلاف زیادی از این لحاظ باهم نداشتند. در این بین پیش‌تیمار بذری ۶ گرم در لیتر نانو روی زمانی‌که با محلول‌پاشی نانو روی ۴ گرم در لیتر همراه شد، بالاترین پایداری غشای پلاسمایی را در بر داشت. این ترکیب تیماری سبب افزایش ۲/۵ برابری این صفت نسبت به شاهد شد. در بررسی-های دیگر نیز تأثیر ریزمغذی‌ها بر صفت پایداری غشاء معنی‌دار بوده است. غشاها مانند پروتئین‌ها به صدمه رادیکال‌های آزاد حساس هستند که آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در محافظت غشا نقش دارند (همراهی و همکاران، ۱۳۸۷).

۴-۹-۴- محتوای قندهای محلول

اثر پیش‌تیمار بر میزان قندهای محلول در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد. همچنین اثر متقابل پیش‌تیمار و محلول‌پاشی نیز تأثیر معنی‌دار ($p < ۰/۰۱$) بر این صفت داشت (جدول پیوست ۹). بیشترین میزان قند محلول در برگ گیاهانی ثبت گردید که بذر آن‌ها با روی معمولی ۳ گرم در لیتر پیش‌تیمار و با نانو روی ۴ گرم در لیتر محلول‌پاشی شد. این مقدار معادل ۲۳۶/۱۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ بود که نسبت به شاهد ۳۷/۰۸ درصد بیشتر بود و در گروه برتر آماری قرار گرفت.

-

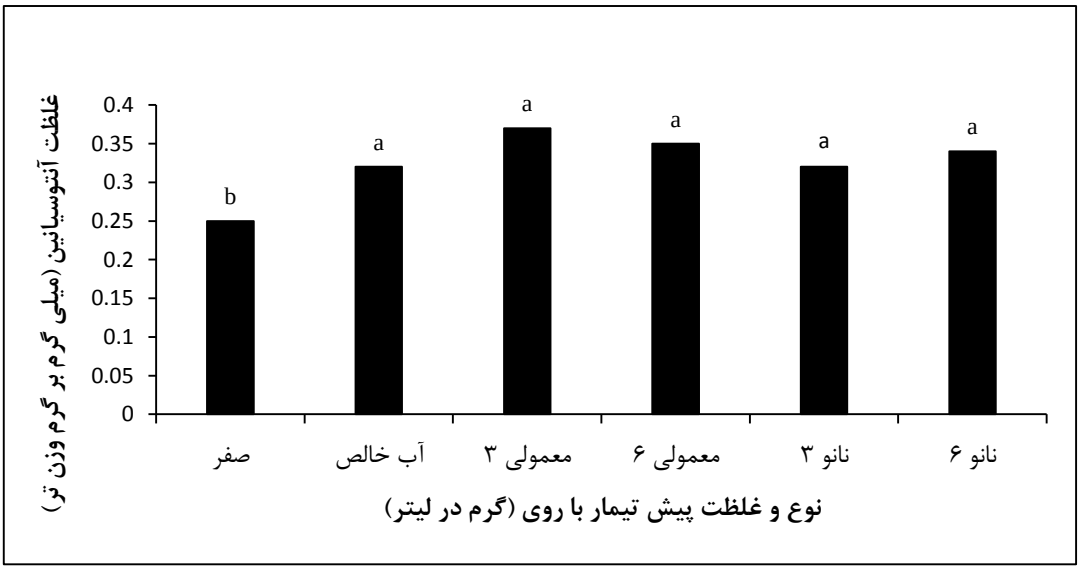


شکل ۴-۲۱- مقایسه میانگین قند محلول تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی

پیش‌تیمار با روی معمولی ۶ گرم در لیتر به تنهایی نیز اثر مثبت و معنی‌داری را بر این صفت داشت. اختلاف معنی‌داری بین سایر تیمارها در گیاه لوبیا سبز مشاهده نشد (شکل ۴-۲۱). غلظت بالای قندهای محلول موجب کاهش خسارت‌های اکسیداتیو و حفظ ساختار پروتئین می‌شود. افزایش کربوهیدرات محلول برگ گیاه آفتابگردان در اثر محلول‌پاشی کود اکسید روی به هر دو فرم معمول و نانو توسط ترابیان و زاهدی (۱۳۹۰) گزارش شد.

۴-۹-۵- غلظت آنتوسیانین

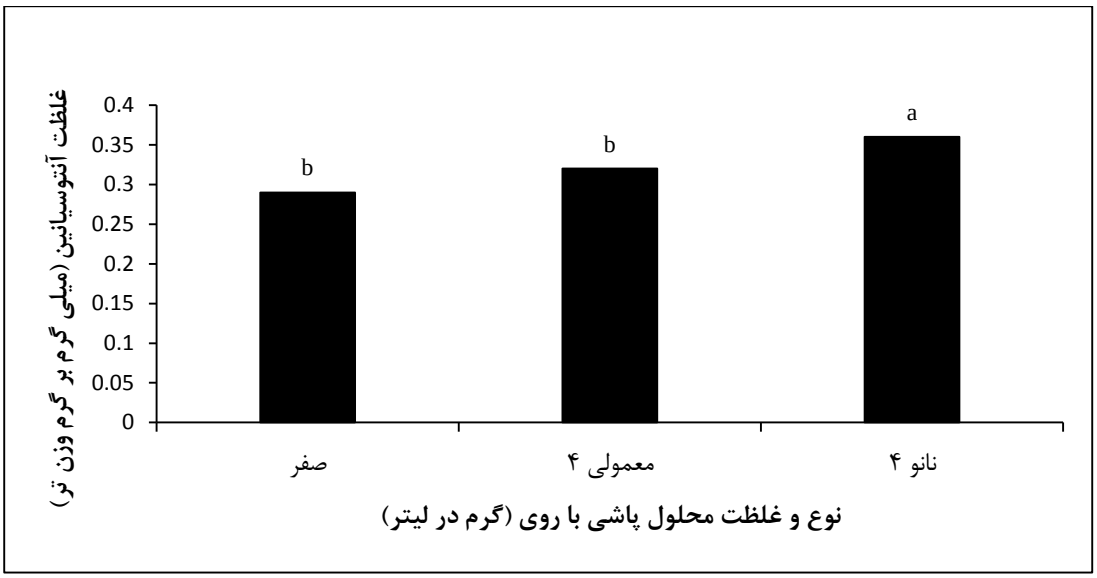
میزان غلظت آنتوسیانین در بافت تازه تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی (۰/۰۱ > p) قرار گرفت. ولی اثر متقابل آن دو بر این صفت معنی‌دار نشد (جدول پیوست ۱۱).



شکل ۴-۲۲- مقایسه میانگین غلظت آنتوسیانین تحت تأثیر پیش‌تیمار عنصر روی به فرم نانو و معمولی

مقایسه سطوح پیش‌تیمار بذر نشان داد که تیمار شاهد با میانگین ۰/۲۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر کمترین میزان آنتوسیانین را به خود اختصاص داد. سایر سطوح پیش‌تیمار به‌طور معنی‌دار و تقریباً به یک اندازه این صفت را افزایش دادند، ولی بین آن‌ها از نظر آماری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. بیشترین افزایش مربوط به پیش‌تیمار روی معمولی ۳ گرم در لیتر بود که نسبت به شاهد ۵۰/۸ درصد افزایش نشان داد (شکل ۴-۲۲). همان‌طور که در شکل ۴-۲۳ مشاهده می‌شود کاربرد محلول‌پاشی به فرم نانو سبب افزایش معنی‌دار غلظت آنتوسیانین گردید. میزان این رنگدانه غیرآنزیمی در محلول‌پاشی نانو روی ۴ گرم در لیتر ۰/۳۶۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بود. که نسبت به شاهد ۲۷/۲۴ درصد افزایش داشت. محلول‌پاشی با روی معمولی ۴ گرم در لیتر اثر معنی‌داری نداشت. طی آزمایشی در کلزا میزان

رنگیزه آنتوسیانین تحت تأثیر تیمار نانو نقره افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان داد (رضوی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۴).



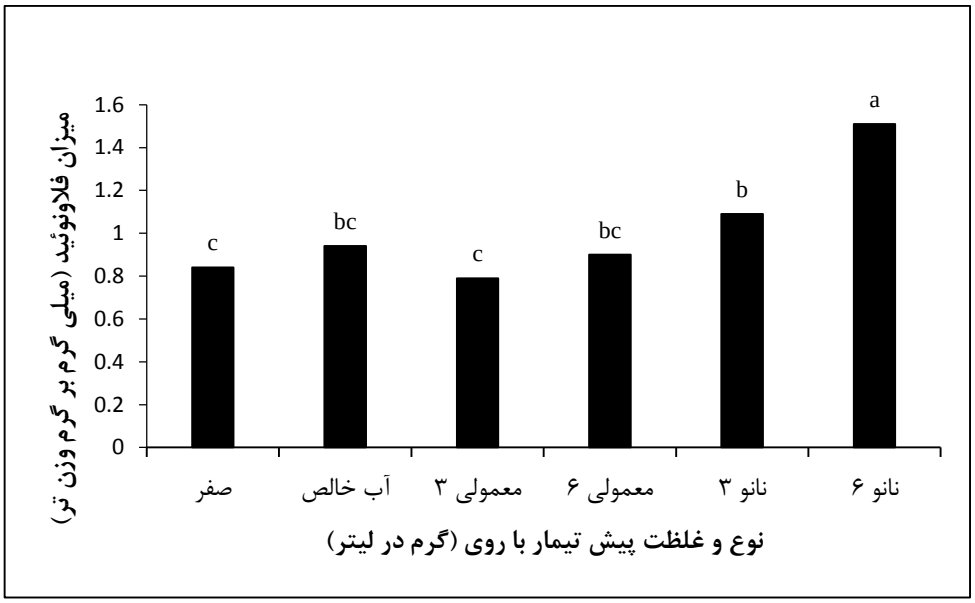
شکل ۴-۲۳- مقایسه میانگین غلظت آنتوسیانین تحت تأثیر محلول‌پاشی عنصر روی به فرم نانو و معمولی

گزارش شده است که محتوای ترکیبات فنلی مانند فلاونوئیدها و آنتوسیانین‌ها در گیاهان تیمار شده با عنصر روی و افزایش غلظت آن در محلول غذایی افزایش می‌یابد (زارع ده‌آبادی و اسرا، ۱۳۸۷، ب).

۴-۹-۶- میزان فلاونوئید

یکی از مهم‌ترین سیستم‌های دفاعی گیاهان برای کنترل و خنثی کردن رادیکال‌های آزاد القای سنتز برخی ترکیب‌های آنتی‌اکسیدان و ترکیب‌های فنلی مانند فلاونوئیدها می‌باشد (پاندی و همکاران، ۲۰۰۲). از بین منابع تغییر اثر پیش‌تیمار بذر با عنصر روی بر میزان فلاونوئید برگ در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول پیوست ۱۱). پیش‌تیمار بذر با نانو روی در هر دو غلظت ۳ و ۶ گرم در لیتر سبب شد که میزان فلاونوئید موجود در برگ گیاهان حاصل به‌طور معنی‌داری از شاهد و سایر سطوح

پیش‌تیمار بیشتر باشد. افزایش میزان این صفت در پیش‌تیمار نانو روی ۳ و ۶ گرم در لیتر نسبت به شاهد به‌ترتیب ۲۹/۷۶ و ۷۹/۷۶ درصد بود (شکل۴-۲۴).



شکل ۴-۲۴- مقایسه میانگین میزان فلاونوئید تحت تأثیر پیش‌تیمار عنصر روی به فرم نانو و معمولی

نتایج آزمایش محمدی و همکاران (۱۳۸۹) بر گیاه نعناع سبز نشان داد که کاربرد روی و آهن تأثیر معنی‌داری بر صفت فلاونوئید داشت. در حالی که تجزیه واریانس رنگیزه فلاونوئید نشان‌دهنده عدم تغییر معنی‌دار فلاونوئید کلزا تحت تیمار نانو نقره بود (رضوی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۴).

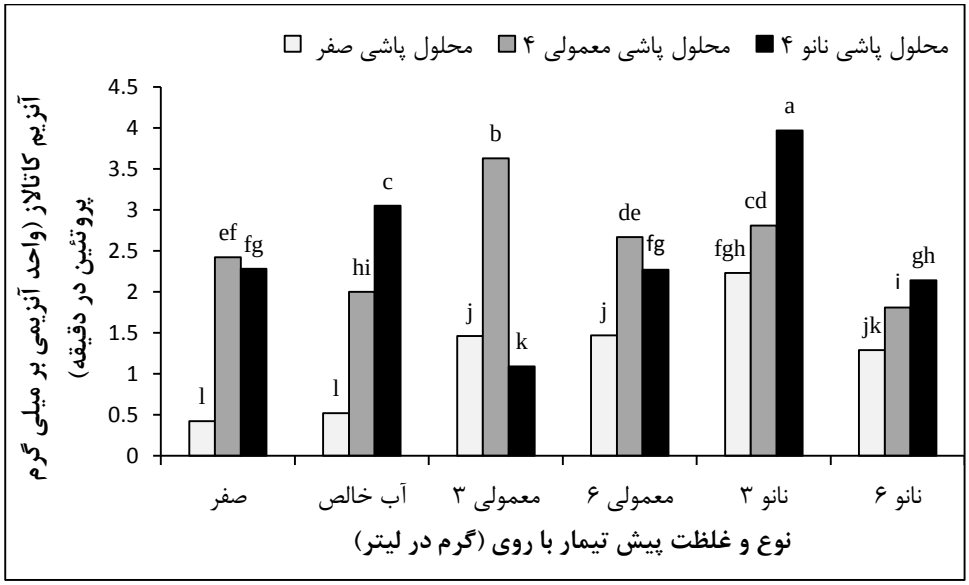
۴-۱۰- فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان

۴-۱۰-۱- میزان فعالیت آنزیم کاتالاز

آنزیم کاتالاز از دسته پروتئین‌های آهن‌دار محسوب می‌شود و هنگامی در سلول‌های گیاهی و جانوری وارد عمل می‌شود که مقدار ماده پراکسید هیدروژن (H_2O_2) در محیط زیاد باشد. گرات و همکاران

(۲۰۰۲) بیان نموده‌اند که کاتالاز سلول‌ها را از اثرات پراکسیداز هیدروژن محافظت می‌کند. کاتالاز، پراکسید هیدروژن را به آب و اکسیژن تبدیل می‌کند (حبیبی و همکاران، ۲۰۰۴)

نتایج نشان داد که پیش‌تیمار و محلول‌پاشی عنصر روی و اثر متقابل کاربرد آن‌ها در سطح احتمال ۱ درصد بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز تأثیر دارد (جدول پیوست ۱۳). فعالیت آنزیم کاتالاز در تیمار شاهد و پیش‌تیمار تنها با آب خالص بسیار پایین بود. به‌طور کلی انجام پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی با روی چه تنها و چه توأم باهم سبب تحریک فعالیت آنزیم کاتالاز گردید. در این بین پیش‌تیمار بذر با نانو روی ۳ گرم در لیتر مؤثرتر از سایر سطوح پیش‌تیمار بود. اضافه شدن محلول‌پاشی با نانو روی به این سطح از پیش‌تیمار بالاترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز را سبب شد (شکل ۴-۲۵).

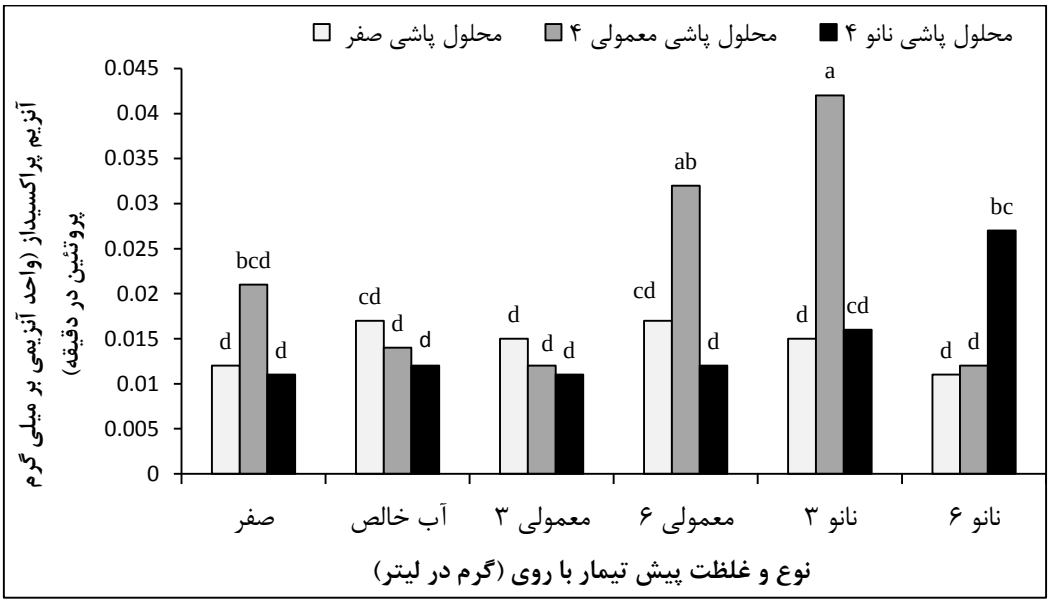


شکل ۴-۲۵- مقایسه میانگین فعالیت کاتالاز تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی

افزایش میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در غلظت‌های بالای روی در گیاه ذرت نیز به اثبات رسیده است. این میزان در غلظت ۶۰۰ میکرومول در اندام هوایی نسبت به شاهد قابل توجه و معنی‌دار بوده است ولی افزایش فعالیت آنزیم در ریشه تحت تیمار روی نسبت به شاهد معنی‌دار نبود (لی و همکاران، ۲۰۱۲).

۴-۱۰-۲- میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز

اثر کلیه منابع تغییر شامل پیش‌تیمار، محلول‌پاشی روی و اثر متقابل آن دو بر فعالیت آنزیم پراکسیداز در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول پیوست ۱۳). میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در تیمار شاهد معادل ۰/۰۱۲ واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه بود. بیشترین فعالیت آنزیم در دو سطح پیش‌تیمار با نانو روی ۳ گرم در لیتر و روی معمولی ۶ گرم در لیتر همراه با محلول‌پاشی روی معمولی مشاهده شد که به‌طور چشمگیر و به‌ترتیب ۲۵۰ و ۱۶۷ درصد بیشتر از شاهد بود. محلول-پاشی نانو زمانی مؤثر واقع شد که با پیش‌تیمار نانو روی ۶ گرم در لیتر توأم گردید. سایر ترکیبات تیماری اختلاف معنی‌داری نسبت به یکدیگر و شاهد نداشتند (شکل ۴- ۲۶).

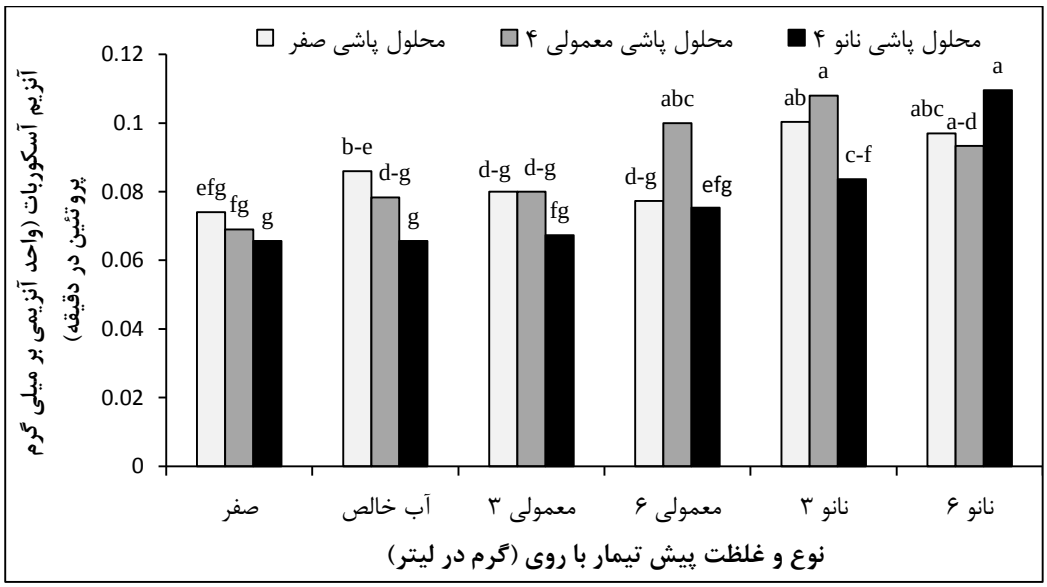


شکل ۴-۲۶- مقایسه میانگین فعالیت پراکسیداز تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی

گزارش شده است که در اثر اعمال پرایمینگ فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی افزایش و در نتیجه پراکسیداسیون لیپیدهای سلولی کاهش می‌یابد. در این خصوص مشاهده گردید که گیاهان تیمار شده با عناصر نانو اکسید روی و کلسیم و آب مقطر، به طور معمول فعالیت آنتی‌اکسیدانی کاتالاز و پراکسیداز و پروتئین محلول بالاتری در مقایسه با گیاهچه‌های تیمار نشده داشتند (مددی و خماری، ۱۳۹۲).

۴-۱۰-۳- میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز

آنزیم آسکوربات پراکسیداز مهم‌ترین پراکسیداز در رفع سمیت H_2O_2 هم در سیتوزول و هم در کلروپلاست‌هاست (میتووا و همکاران، ۲۰۰۰). آسکوربات پراکسیداز دارای چندین نقش اساسی در فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه مانند رشد و نمو و متابولیسم است و هم‌چنین به‌عنوان یک احیاکننده برای خیلی از رادیکال‌های آزاد و به‌خصوص پراکسیدهیدروژن عمل می‌کند. بنابراین خسارت ناشی از تنش اکسیداتیو را به کم‌ترین مقدار می‌رساند (آتیه و همکاران، ۲۰۰۲ و آرورا و همکاران، ۲۰۰۲).



شکل ۴-۲۷- مقایسه میانگین فعالیت آسکوربات پراکسیداز تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی

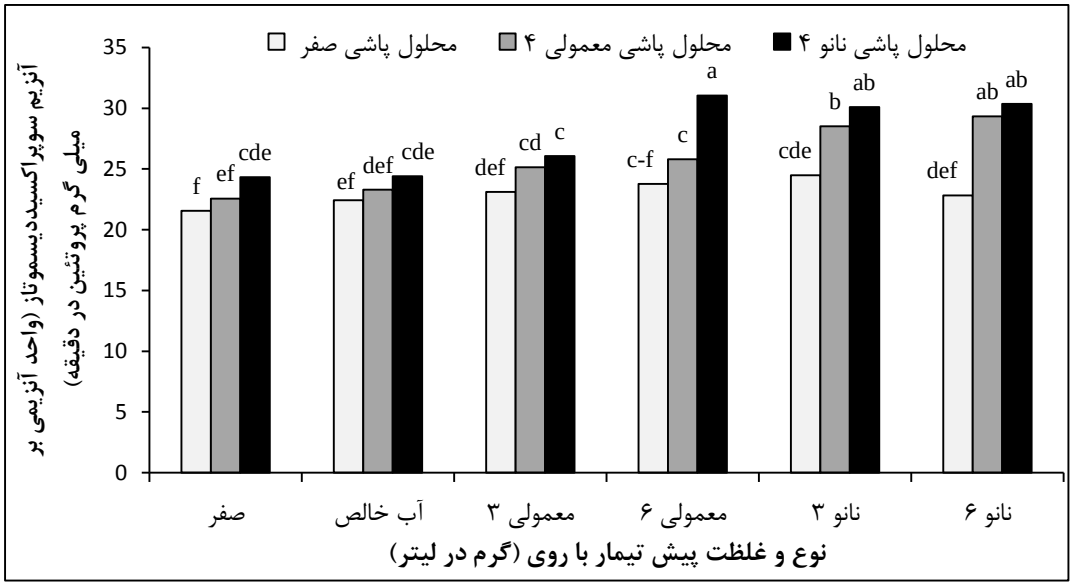
اثرات اصلی پیش‌تیمار و محلول‌پاشی روی در سطح احتمال ۱ درصد و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال ۵ درصد بر فعالیت آنزیمی آسکوربات پراکسیداز معنی‌دار شد (جدول پیوست ۱۳). پیش‌تیمار بذر با نانو روی ۶ گرم در لیتر به‌تنهایی و همراه با محلول‌پاشی با هر دو فرم روی، پیش‌تیمار با نانو روی ۳ گرم در لیتر به‌تنهایی و همراه با محلول‌پاشی با روی معمولی و نیز ترکیب پیش‌تیمار با روی معمولی ۶ گرم در لیتر همراه با جذب برگی روی معمولی افزایش معنی‌داری در فعالیت آسکوربات پراکسیداز ایجاد نمودند. سایر تیمارها اثر معنی‌داری نداشتند (شکل ۴-۲۷).

۴-۱۰-۴- میزان فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز

سوپر اکسید دیسموتاز یک آنتی‌اکسیدان قوی است که اولین ماده تولید شده از احیاء یک ظرفیتی اکسیژن، یعنی رادیکال سوپر اکسید را از بین می‌برد، بنابراین به SOD دفاع اولیه در مقابل رادیکال‌های آزاد اکسیژن اطلاق می‌شود (آلن، ۱۹۹۵). فعالیت سوپر اکسید دیسموتاز به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان آنزیمی به‌طور معنی‌داری ($P < ۰/۰۱$) تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی و اثر متقابل آن‌ها قرار گرفت (جدول پیوست ۱۳).

فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز در برگ گیاهان شاهد ۲۱/۵۶ واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه بود. فعالیت این آنزیم در پیش‌تیمار روی معمولی ۶ گرم در لیتر همراه با محلول‌پاشی نانو روی بالا بود که نسبت به شاهد ۴۴/۰۱ درصد افزایش نشان داد. به‌طور کلی در تمامی سطوح پیش‌تیمار، محلول‌پاشی روی به‌ویژه به فرم نانو اثر مثبتی بر فعالیت این آنزیم داشت. در این بین تأثیر کاربرد برگی روی در سطوح پیش‌تیمار به فرم نانو بیشتر بود (شکل ۴-۲۸).

ترابیان و زاهدی (۱۳۹۰) طی مطالعه‌ای گزارش دادند محلول‌پاشی نانو ذرات اکسید روی در آفتابگردان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز را نسبت به فرم معمولی روی افزایش داد. که با نتایج فتحی و همکاران (۱۳۹۴) در گیاه ذرت مطابقت داشت. همچنین فعالیت سوپر اکسید دیسموتاز در گیاه پریوش در غلظت ۱۵ میکرومولار نانو اکسید روی بهبود یافت (امیرجانی و همکاران، ۱۳۹۳).



شکل ۴-۲۸- مقایسه میانگین سوپر اکسید دیسموتاز تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی

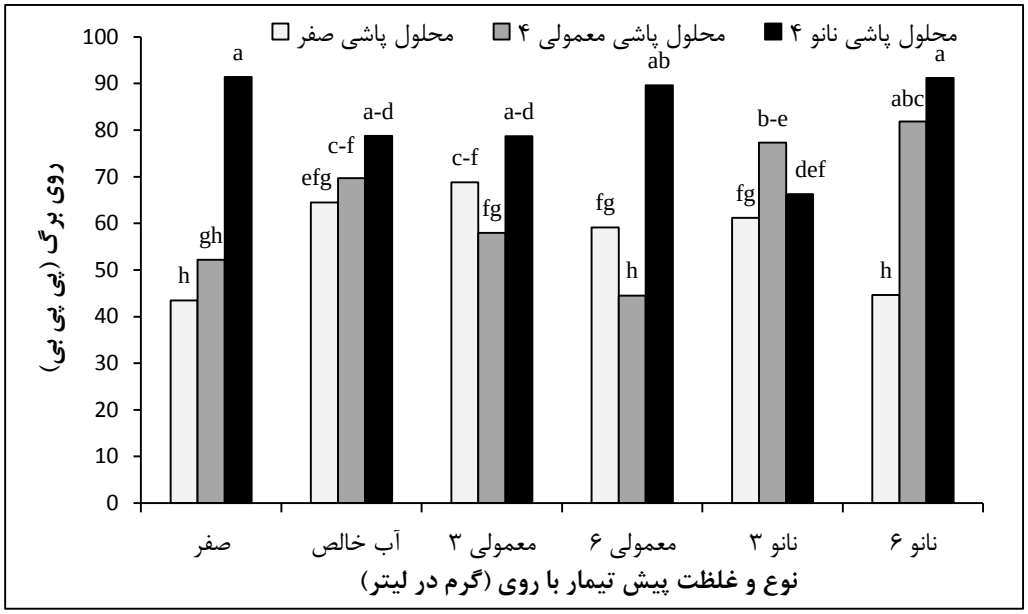
با توجه به نتایج به‌دست آمده، ذرات نانو به دلیل نسبت سطح به حجم بیشتر، قابلیت جذب و انتقال بیشتری در مقایسه با فرم معمول داشت و در این آزمایش نیز تأثیر تعدیل کنندگی بیشتری در مقایسه با فرم معمول داشت. افزایش فعالیت سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز بیانگر برخورد گیاه با شرایط تنشی است. در مورد محلول‌پاشی نانو ذرات روی و افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی دو نکته شایان بررسی است. اول این‌که ممکن است افزایش بیشتر آنزیم‌های آنتی-اکسیدانی به دلیل اثرهای تنش‌زای نانو ذرات با توجه به ماهیت این مواد باشد. دوم این‌که ممکن است با توجه به نقش عنصر روی در ساختمان برخی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و جذب بیشتر فرم نانو، افزایش فعالیت این آنزیم‌ها توجیه پذیر باشد. تفکیک این دو نکته از هم مستلزم آزمایش‌های بیشتر است ولی شایان ذکر است که استفاده از نانو ذرات باید در شرایط خاص و با رعایت دقیق غلظت آن‌ها باشد.

۴-۱۱- صفات کیفی

۴-۱۱-۱- میزان روی موجود در برگ

اثر اصلی محلول‌پاشی روی و اثر متقابل پیش‌تیمار و محلول‌پاشی بر میزان روی در برگ در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول پیوست ۱۵). کاربرد برگی روی به هر دو شکل نانو و معمولی در کلیه سطوح پیش‌تیمار بذر (به‌جز روی معمولی ۶ گرم در لیتر) سبب بهبود قابل توجه در میزان روی برگ شد. این افزایش در محلول‌پاشی روی به فرم نانو بیش‌تر از فرم معمولی بود. به‌طور مشخص در همه سطوح پیش‌تیمار بذر (به‌جز نانو ۳ گرم در لیتر) میزان روی در برگ گیاهانی که توسط نانو روی محلول‌پاشی شدند، در گروه برتر آماری قرار داشت. میزان روی برگ در اثر محلول‌پاشی با نانو روی در سطح پیش‌تیمار صفر و نانو روی ۶ گرم در لیتر با حدود ۱۱۰ درصد افزایش به بیش از ۹۰ پی پی بی رسید، در حالی که این مقدار در گیاهان شاهد ۴۳/۴۴ پی پی بی بود (شکل ۴-۲۹).

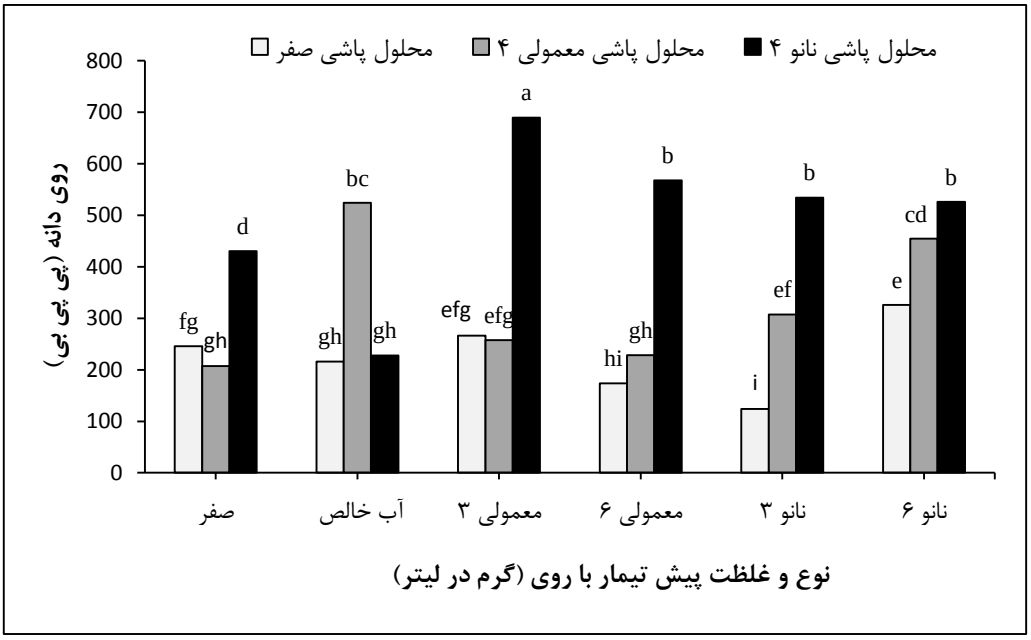
تجمع بالای روی در برگ احتمالاً به دلیل تحرک کم این عنصر در گیاه می‌باشد. بنابراین به مقدار کمتری به قسمت‌های دیگر انتقال یافته است. گزارش شده است که برگ‌ها در مراحل ابتدایی توسعه دانه، روی را ذخیره می‌کنند و با رشد گیاه در مرحله رسیدگی کامل، این غلظت کاهش می‌یابد، زیرا روی به سمت دانه‌های رسیده حرکت می‌کند و در آن‌جا ذخیره می‌شود (هیل و همکاران، ۱۹۷۹). در آزمایشی گزارش شد که حداکثر میزان روی برگ با مصرف ۳۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی حاصل شد (جمالی و همکاران، ۱۳۹۱). همچنین در پژوهش دیگری توسط فرجزاده و همکاران (۱۳۸۹) محلول‌پاشی بیشترین تأثیر را در افزایش میزان روی در برگ گیاه ذرت داشت.



شکل ۴-۲۹- مقایسه میانگین میزان روی برگ تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی

۴-۱۱-۲- میزان روی موجود در دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول پیوست ۱۵) نشان داد اثر پیش‌تیمار، محلول‌پاشی و اثر متقابل آن‌ها بر صفت میزان روی در دانه معنی‌دار ($p < ۰/۰۱$) بود. ترکیبات تیماری حاصل از پیش‌تیمار و محلول‌پاشی از لحاظ تأثیرگذاری بر میزان روی دانه در شکل۴-۳۰ مقایسه شده‌اند. تأثیر محلول‌پاشی با نانو روی بر میزان روی دانه چشمگیر بود. ملاحظه می‌گردد که در تمام سطوح پیش‌تیمار (به جز آب خالص) دانه گیاهانی که با فرم نانو محلول‌پاشی گردیدند به‌طور قابل توجه از روی بالاتری برخوردار بودند. در این بین محلول‌پاشی نانو روی با پیش‌تیمار روی معمولی ۳ گرم در لیتر کاملاً متمایز بود تا جایی که بالاترین میزان روی دانه با میانگین ۶۸۹/۶ پی پی بی در این ترکیب تیماری مشاهده شد.

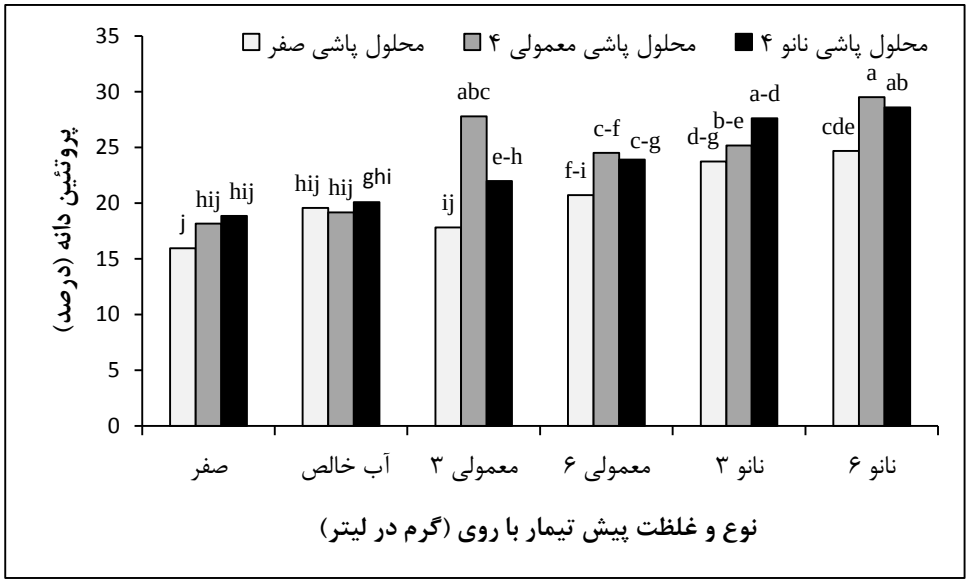


شکل ۴-۳۰- مقایسه میانگین میزان روی دانه تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی

میزان عنصر کم‌مصرف روی در دانه بستگی به مقدار جذب این عنصر به‌وسیله ریشه در طی مرحله توسعه دانه و انتقال مجدد این عنصر از بافت گیاه به دانه از طریق آوند آبکش دارد و مقدار انتقال مجدد از این طریق بستگی زیادی به حرکت عنصر در آوند آبکش دارد. عنصر روی انتقال مجدد قابل توجهی از برگ‌ها به دانه دارد (گارنت و گراهام، ۲۰۰۵). کاظمی پشت‌مساری و همکاران (۲۰۰۸) با محلول‌پاشی سولفات روی در لوبیا غلظت این عنصر را در دانه افزایش دادند که نتایج این آزمایش را تأیید می-کند.کاربرد توأم پیش‌تیمار و محلول‌پاشی ۲ درصد عنصر روی، محتوای روی دانه ذرت هیبرید را نیز افزایش داد (محسین و همکاران، ۲۰۱۴).

۴-۱۱-۳- درصد پروتئین دانه

پیش‌تیمار و محلول‌پاشی روی در سطح احتمال ۱ درصد و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال ۵ درصد تأثیر معنی‌داری بر درصد پروتئین دانه داشت (جدول پیوست ۱۵).

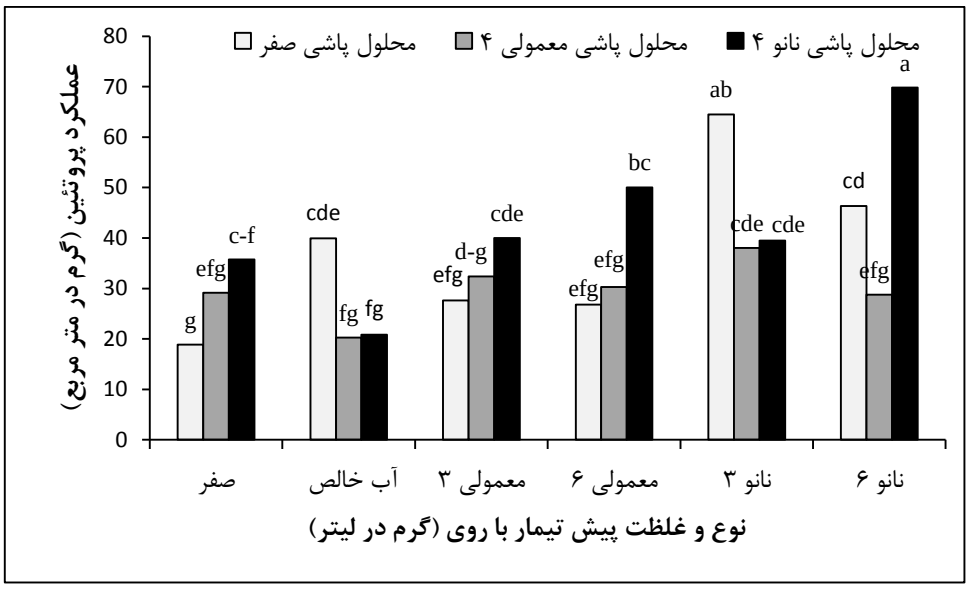


شکل ۴-۳۱- مقایسه میانگین درصد پروتئین دانه تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی

پیش‌تیمار بذر با روی معمولی و افزایش غلظت آن و پیش‌تیمار با نانو روی و افزایش غلظت آن به‌ترتیب موجب افزایش درصد پروتئین دانه گردید. به همین ترتیب افزودن کاربرد برگی به هر دو فرم معمولی و نانو نیز در تمامی سطوح پیش‌تیمار این صفت را بهبود بخشید. در نهایت مقادیر بالایی از پروتئین بذر با میانگین حدود ۲۹ درصد از پیش‌تیمار با نانو روی ۶ گرم در لیتر همراه با محلول پاشی روی معمولی و نانو به‌دست آمد. مقدار پروتئین دانه در تیمار شاهد حدود ۱۶ درصد بود (شکل ۴-۳۱). در مطالعات متعددی نقش مثبت روی در فرآیندهای فیزیولوژیکی سنتز پروتئین دانه اثبات شده است (برودلی و همکاران، ۲۰۰۷). در گیاه نیز بیشترین درصد پروتئین ۲۶/۸۲ درصد از محلول‌پاشی روی و کمترین درصد پروتئین از تیمار شاهد حاصل شد (افشانی و همکاران، ۱۳۹۴). افزایش درصد پروتئین خام را می‌توان بدین صورت توجیه کرد که عناصر ریزمغذی مخصوصاً عنصر روی و بور در تقسیم سلولی بافت‌های مریستمی، متابولیسم قندها و کربوهیدرات‌ها، متابولیسم نیتروژن و هم‌چنین به‌عنوان بخشی از آنزیم‌ها و یا به‌صورت کوفاکتورهای تنظیم کننده در تعداد زیادی از آنزیم‌ها عمل می‌نمایند و آنزیم‌ها قسمت اعظم از مواد پروتئینی را تشکیل می‌دهند (بداقی، ۱۳۸۶و ملکوتی و مشایخی، ۱۳۷۶).

۴-۱۱-۴- عملکرد پروتئین

اثر کلیه منابع تغییر شامل پیش‌تیمار، محلول‌پاشی و اثر متقابل آن‌ها بر عملکرد پروتئین در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول پیوست ۱۵). پیش‌تیمار تنها با آب خالص و نانو روی در هر دو غلظت تأثیر قابل توجهی در افزایش عملکرد پروتئین داشت. پیش‌تیمار بذر با روی معمولی از لحاظ تأثیرگذاری بر این صفت وقتی مفید بود که گیاهان حاصل از این بذور با نانو روی محلول‌پاشی شدند و در نهایت عملکرد پروتئین در سطح پیش‌تیمار نانو روی ۶ گرم در لیتر و محلول‌پاشی نانو ۴ گرم در لیتر به ۶۹/۸۲ گرم در مترمربع رسید که بالاترین مقدار ثبت شده برای این صفت بود (شکل ۴-۳۲). گزارش شده است که بیشترین عملکرد پروتئین کلزای پائیزه با میانگین ۸۶۹/۱۲ کیلوگرم در هکتار از محلول‌پاشی روی و کمترین مقدار با ۳۷۷/۶۶ کیلوگرم در هکتار از تیمار شاهد حاصل گردید (افشانی و همکاران، ۱۳۹۴).



شکل ۴-۳۲- مقایسه میانگین عملکرد پروتئین دانه تحت تأثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی

نتیجه‌گیری

با توجه به افزایش روزافزون میزان مصرف کودهای شیمیایی در عرصه کشاورزی، می‌توان از کودهای نانو به‌عنوان یک جایگزین مناسب که هم کیفیت محصولات را افزایش می‌دهد و هم می‌تواند امنیت غذایی را در سال‌های آتی تأمین کند نام برد. از این رو با توجه به نتایج به‌دست آمده از این تحقیق، پیش‌تیمار بذر موجب افزایش اکثر صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک از جمله وزن خشک برگ، ساقه، غلاف، ارتفاع، قطر ساقه، انشعابات جانبی، شاخص سطح برگ، ارتفاع اولین غلاف از سطح خاک، اجزای عملکرد، عملکرد سبز، پایداری غشای پلاسمایی، میزان قند محلول، آنتوسیانین، فلاونوئید و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان شد. که البته تأثیر نانو ذره روی نسبت به فرم معمولی این عنصر مشهودتر بود.

محلول‌پاشی با عنصر روی به هر دو فرم معمولی و نانو تأثیر مثبت داشت و سبب افزایش برخی صفات نظیر کلروفیل a، b، کل، کاروتنوئید، روی برگ و آنتوسیانین شد.

همچنین نتایج حاصل از اثرات متقابل پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی با عنصر روی بهبود اکثر صفات مورد بررسی همچون محتوای نسبی آب برگ، درصد پروتئین، عملکرد پروتئین و روی دانه را نشان داد.

در نهایت با توجه به بررسی‌های انجام شده می‌توان نتیجه گرفت محلول‌پاشی و پیش‌تیمار به‌ویژه به‌شکل نانو ذره روی با غلظت بالا موجب بهبود رشد و عملکرد و کیفیت لوبیا سبز شد.

پیشنهادات

با توجه به آزمایش انجام شده و نتایج حاصل از آن، و این‌که پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با غلظت‌های بالا در این تحقیق تأثیر مثبت داشته است این احتمال وجود دارد که غلظت‌های بالاتر مفید یا اثرات سمی داشته باشد لذا توصیه می‌شود پیش‌تیمار و محلول‌پاشی در غلظت‌های بالاتر و زمان‌های متفاوت مورد بررسی قرار گیرند. همچنین این احتمال وجود دارد که پاسخ سایر گیاهان به پیش‌تیمار و محلول-پاشی با عنصر روی به فرم معمولی و نانو متفاوت باشد پیشنهاد می‌شود این آزمایش روی سایر گیاهان نیز انجام شود.

پیوست

جدول پیوست ۱- میانگین مربعات تجمع ماده خشک و شاخص سطح برگ تحت تأثیر پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن خشک برگ	وزن خشک ساقه	وزن خشک غلاف	شاخص سطح برگ
تکرار	۲	۶۵/۶۳	۱۶/۶۴	۱۴۰۱/۴۴	۰/۱۰
پیش‌تیمار	۵	۹۰۱/۵۷**	۵۳۳/۴۶**	۱۳۶۲/۰۹**	۴/۲۰**
محلول‌پاشی	۲	۹۳۵/۲۵**	۱۵۷۹/۳۸**	۳۷۶۶۸/۵۳**	۱/۷۲**
پیش‌تیمار × محلول-پاشی	۱۰	۲۹۲/۰۱**	۳۱۸/۵۱**	۱۲۹۴۴/۵۵**	۰/۷۹**
خطا	۳۴	۴۷/۶۸	۵۸/۹۱	۱۵۱۲/۷۹	۰/۲۰
ضریب تغییرات (درصد)		۱۸/۳۰	۱۸/۱۵	۱۸/۲۸	۱۳/۹۴

* و** بیانگر معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشد

جدول پیوست ۲- مقایسه میانگین تجمع ماده خشک و شاخص سطح برگ تحت تأثیر پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی

تیمارها (گرم در لیتر)		وزن خشک برگ	وزن خشک ساقه	وزن خشک غلاف	شاخص سطح برگ
		(گرم در مترمربع)			
پیش- روی تیمار	صفر	۲۲/۴۷ d	۳۱/۰۴ c	۱۹۳/۲۸ bc	۳/۰۰ bcd
	اب خالص	۳۳/۸۵ c	۳۸/۰۱ cd	۱۶۶/۷۰ c	۲/۵۹ d
	معمولی ۳	۳۸/۸۰ bc	۴۱/۲۸ bc	۱۸۷/۴۸ bc	۳/۲۰ bc
	معمولی ۶	۳۷/۲۲ bc	۴۲/۲۴ bc	۲۰۹/۰۴ b	۲/۸۷ cd
	نانو ۳	۴۰/۶۲ b	۴۷/۸۸ ab	۲۶۰/۱۰ a	۳/۳۳ b
	نانو ۶	۵۳/۳۳ a	۵۳/۲۱ a	۲۵۹/۳۷ a	۴/۵۵ a
	LSD 5%	۶/۶۱	۷/۳۵	۳۷/۲۶	۰/۴۳
محلول‌پاشی روی	صفر	۳۰/۲۹ c	۳۹/۹۸ b	۱۹۶/۳۷ b	۲/۹۰c
	معمولی ۴	۴۴/۶۸ a	۳۴/۲۷ c	۱۷۷/۲۹ b	۳/۴۹ a
	نانو ۴	۳۸/۱۷ b	۵۲/۵۸ a	۲۶۴/۳۲ a	۳/۳۷ b
	LSD 5%	۴/۶۷	۵/۱۹	۲۶/۳۴	۰/۳۸

حروف غیرمشترک در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد

جدول پیوست ۳- میانگین مربعات صفات مورفولوژیک لوبیا سبز تحت تأثیر پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع ساقه	قطر ساقه	شاخه فرعی	شاخه فرعی فرعی	ارتفاع اولین غلاف از سطح خاک
تکرار	۲	۱/۹۵	۰/۱۶	۰/۱۲	۰/۵۵	۰/۸۱
پیش‌تیمار	۵	۸/۳۷**	۶/۴۶**	۰/۳۷	۱/۷۹**	۶/۵۴**
محلول‌پاشی	۲	۲۶/۲۷**	۰/۰۷	۴/۲۲**	۰/۹۰	۸/۶۵**
پیش‌تیمار× محلول-پاشی	۱۰	۱۳/۴۵**	۱۲/۲۶**	۱/۵۰**	۲/۴۷**	۶/۲۷**
خطا	۳۴	۱/۴۵	۰/۳۲	۰/۲۰	۰/۳۰	۰/۴۴
ضریب تغییرات (درصد)		۵/۸۵	۱۱/۶۳	۱۲/۸۵	۱۳/۵۶	۶/۳۹

** بیانگر معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد می‌باشد

جدول پیوست ۴- مقایسه میانگین صفات مورفولوژیک لوبیا سبز تحت تأثیر پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی

تیمارها (گرم در لیتر)		ارتفاع ساقه (سانتی‌متر)	قطر ساقه (میلی‌متر)	شاخه فرعی (تک بوته)	شاخه فرعی فرعی (تک بوته)	ارتفاع اولین غلاف از سطح خاک (سانتی-متر)
پیش‌تیمار روی	صفر	۲۰/۳۴ b	۴/۱۴ c	۳/۱۰ b	۳/۵۸ b	۹/۳۰ e
	آب خالص	۱۸/۹۶ c	۴/۵۲ bc	۳/۵۲ ab	۴/۱۰ ab	۱۰/۲۵ cd
	معمولی ۳	۲۰/۷۸ b	۵/۳۸ a	۳/۵۱ ab	۳/۸۸ b	۱۰/۹۶ b
	معمولی ۶	۲۰/۵۵ b	۵/۰۰ ab	۳/۶۵ a	۳/۶۱ b	۹/۷۱ de
	نانو ۳	۲۱/۹۶ a	۴/۹۰ abc	۳/۶۵ a	۴/۶۲ a	۱۱/۶۵ a
	نانو ۶	۲۰/۷۶ b	۵/۲۱ a	۳/۴۵ ab	۴/۵۳ a	۱۰/۶۵ bc
	LSD 5%	۱/۱۵	۰/۵۴	۰/۴۲	۰/۵۲	۰/۶۳
محلول‌پاشی روی	صفر	۲۰/۸۲ a	۴/۸۷	۳/۳۵ b	۳/۹۰	۱۱/۰۱ a
	معمولی ۴	۱۹/۲۴ b	۴/۹۶	۳/۰۷ b	۳/۹	۹/۶۶ b
	نانو ۴	۲۱/۶۱ a	۴/۸۸	۴/۰۱ a	۴/۳۱	۱۰/۶۰ a
	LSD 5%	۰/۸۱	۰/۳۸	۰/۳۰	۰/۳۷	۰/۴۵

حروف غیرمشترک در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد

جدول پیوست ۵- میانگین مربعات عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا سبز تحت تأثیر پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی

منابع تغییر	درجه آزادی	تعداد غلاف در بوته	تعداد دانه در غلاف	وزن صد دانه	عملکرد سبز	عملکرد نهایی
تکرار	۲	۱۳/۰۴	۰/۰۰۵	۱/۱۱	۳۰۶۸/۲۷	۲۵۳۲/۴۴
پیش‌تیمار	۵	۳۶/۴۹**	۰/۷۰**	۱۳/۱۰**	۳۷۳۷۷۱/۹۷**	۳۱۸۷/۴۵
محلول‌پاشی	۲	۴۵/۴۳**	۰/۰۷	۱۱/۳۲**	۱۰۹۳۰۳/۰۶*	۱۵۳۱۷/۷۹**
پیش‌تیمار× محلول-پاشی	۱۰	۱۹/۱۱**	۰/۸۷**	۳۰/۴۱**	۳۱۴۶۷۱/۰۱**	۸۰۳۸/۰۵**
خطا	۳۴	۵/۴۰	۰/۱۴	۱/۳۹	۸۴۰۲/۰۷	۱۴۱۵/۷۰
ضریب تغییرات (درصد)		۱۷/۷۶	۱۰/۸۱	۶/۲۲	۱۳/۳۴	۲۳/۵۴

*و ** بیانگر معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشد

جدول پیوست ۶- مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا سبز تحت تأثیر پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی

تیمارها (گرم در لیتر)		تعداد غلاف (در بوته)	تعداد دانه (در غلاف)	وزن صد دانه (گرم)	عملکرد سبز (گرم در مترمربع)	عملکرد نهایی (گرم در مترمربع)
پیش‌تیمار روی	صفر	۱۲/۶۲ ^{b}	۳/۲۹^{bc}	۱۸/۹۱ ^{bc}	۶۳۲/۸۴ ^{c}	۱۵۷/۹۶
	آب خالص	۱۰/۷۰ ^{b}	۳/۴۸ ^{bc}	۱۸/۴۸ ^{bc}	۵۷۲/۱۹ ^{cd}	۱۳۸/۰۲
	معمولی ۳	۱۲/۱۷ ^{b}	۳/۱۲ ^{c}	۱۷/۹۵ ^{c}	۵۲۴/۶۸ ^{d}	۱۴۴/۲۲
	معمولی ۶	۱۱/۹۴ ^{b}	۳/۵۵ ^{b}	۱۷/۸۶ ^{c}	۷۵۹/۹۰ ^{b}	۱۵۴/۶۹
	نانو ۳	۱۵/۴۱ ^{a}	۳/۵۰ ^{b}	۲۱/۱۴ ^{a}	۵۶۴/۷۳ ^{cd}	۱۸۷/۱۸
	نانو ۶	۱۵/۷۰ ^{a}	۳/۹۶ ^{a}	۱۹/۲۰ ^{b}	۱۰۶۷/۹۹ ^{a}	۱۷۶/۳۸
	LSD 5%	۲/۲۷	۰/۳۶	۱/۱۲	۸۷/۸۱	۳۶/۰۴
محلول‌پاشی روی	صفر	۱۲/۰۱ ^{b}	۳/۴۷	۱۸/۲۸	۶۱۱/۲۵ ^{c}	۱۷۴/۱۷ ^{a}
	معمولی ۴	۱۲/۳۵ ^{b}	۳/۵۵	۳/۵۵	۶۸۲/۸۳ ^{b}	۱۲۶/۱۷ ^{b}
	نانو ۴	۱۴/۹۱ ^{a}	۳/۴۳	۳/۴۳	۷۶۶/۹۳ ^{a}	۱۸۷/۸۹ ^{a}
	LSD 5%	۱/۵۷	۰/۲۵	۰/۷۹	۶۲/۰۹	۲۵/۴۸

حروف غیرمشترک در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد

جدول پیوست ۷- میانگین مربعات کلروفیل برگ لوبیا سبز تحت تأثیر پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی

منابع تغییر	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید
تکرار	۲	۳/۲۰	۰/۱۵	۳/۲۰	۰/۱۶
پیش‌تیمار	۵	۰/۴۸	۰/۵۷**	۱/۲۷	۰/۲۳
محلول‌پاشی	۲	۱۰/۹۷**	۱/۰۵**	۱۸/۳**	۲/۱۴**
پیش‌تیمار × محلول‌پاشی	۱۰	۳/۱۰*	۱/۱۸**	۷/۱۵**	۰/۵۳**
خطا	۳۴	۱/۲۲	۰/۱۱	۱/۵۹	۰/۱۶
ضریب تغییرات (درصد)		۱۲/۵۶	۱۱/۱۷	۱۰/۶۷	۱۳/۷۷

**بیانگر معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد می‌باشد

جدول پیوست ۸- مقایسه میانگین کلروفیل برگ لوبیا سبز تحت تأثیر پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی

تیمارها		کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید
(گرم در لیتر)		(میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)			
پیش‌تیمار روی	صفر	۸/۷۹	۲/۸۴ ^{bc}	۱۱/۶۴	۲/۹۷
	آب خالص	۸/۶۹	۳/۱۶ ^{ab}	۱۱/۸۵	۳/۱۰
	معمولی ۳	۸/۸۹	۲/۸۳ ^{c}	۱۱/۷۲	۲/۹۶
	معمولی ۶	۸/۴۴	۲/۸۶ ^{bc}	۱۱/۳۱	۲/۷۵
	نانو ۳	۹/۱۳	۲/۹۴ ^{bc}	۱۲/۰۷	۲/۶۴
	نانو ۶	۸/۹۴	۳/۴۶ ^{a}	۱۲/۴۱	۳/۱۲
	LSD 5%	۱/۰۶	۰/۳۲	۱/۲۱	۰/۳۸
محلول‌پاشی روی	صفر	۷/۹۱ ^{b}	۲/۷۵ ^{b}	۱۰/۶۷ ^{b}	۲/۶۵ ^{b}
	معمولی ۴	۹/۲۱ ^{a}	۳/۲۳ ^{a}	۱۲/۴۵ ^{a}	۲/۸۱ ^{b}
	نانو ۴	۹/۳۲ ^{a}	۳/۰۶ ^{a}	۱۲/۳۸ ^{a}	۳/۳۱ ^{a}
	LSD 5%	۰/۷۵	۰/۲۲	۰/۸۵	۰/۲۷

حروف غیرمشترک در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد

جدول پیوست ۹- میانگین مربعات برخی صفات فیزیولوژیک لوبیا سبز تحت تأثیر پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی

منابع تغییر	درجه آزادی	آب نسبی برگ	پایداری غشاء پلاسمایی	قند محلول
تکرار	۲	۸۵/۴۸	۲/۶۳	۴۱۵/۶۶
پیش‌تیمار	۵	۴۷/۱۰	۳۳۰/۹۹**	۵۷۳/۶۹*
محلول‌پاشی	۲	۱۴۱/۰۳	۱۰۲/۳۵**	۳۹۸/۷۱
پیش‌تیمار× محلول‌پاشی	۱۰	۲۲۱/۲۴**	۱۸۲/۶۶**	۱۵۱۴/۷۷**
خطا	۳۴	۷۱/۷۴	۱۳/۰۳	۲۰۲/۵۱
ضریب تغییرات (درصد)		۱۰/۲۸	۱۰/۹۳	۸/۲۰

*و ** بیانگر معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشد

جدول پیوست ۱۰- مقایسه میانگین برخی صفات فیزیولوژیک لوبیا سبز تحت تأثیر پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی

تیمارها (گرم در لیتر)		آب نسبی برگ (درصد)	پایداری غشا پلاسمایی (درصد)	قند محلول (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)
پیش‌تیمار روی	صفر	۸۱/۲۲	۲۹/۵۹ c	۱۶۵/۶۹ c
	آب خالص	۸۰/۳۴	۲۸/۴۱ c	۱۶۸/۲۱ bc
	معمولی ۳	۸۳/۱۱	۳۰/۳۱ c	۱۸۵/۵۸ a
	معمولی ۶	۸۴/۸۳	۲۹/۰۴ c	۱۸۱/۱۴ ab
	نانو ۳	۸۴/۸۵	۳۷/۰۹ b	۱۶۹/۱۷ bc
	نانو ۶	۷۹/۵۴	۴۳/۵۶ a	۱۷۰/۹۳ bc
	LSD 5%	۸/۱۱	۳/۴۵	۱۳/۶۳
محلول‌پاشی روی	صفر	۸۰/۵۵	۳۰/۵۴ b	۱۷۲/۶۸
	معمولی ۴	۸۵/۵۴	۳۳/۱۷ a	۱۶۹/۱۸
	نانو ۴	۸۰/۸۵	۳۵/۳۰ a	۱۷۸/۵۰
	LSD 5%	۵/۷۳	۲/۴۴	۹/۶۴

حروف غیرمشترک در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد

جدول پیوست ۱۱- میانگین مربعات آنتوسیانین و فلاونوئید لوبیا سبز تحت تأثیر پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی

منابع تغییر	درجه آزادی	آنتوسیانین	فلاونوئید
تکرار	۲	۰/۰۰۵۹	۰/۴۷۸
پیش‌تیمار	۵	۰/۰۱۶۷**	۰/۶۳۰**
محلول‌پاشی	۲	۰/۰۲۸۱**	۰/۰۸۱
پیش‌تیمار× محلول‌پاشی	۱۰	۰/۰۶۵	۰/۰۳۹
خطا	۳۴	۰/۰۰۳۲	۰/۰۶۸۳
ضریب تغییرات (درصد)		۱۷/۴۸	۲۵/۱۷

* و** بیانگر معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد

جدول پیوست ۱۲- مقایسه میانگین آنتوسیانین و فلاونوئید لوبیا سبز تحت تأثیر پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی

تیمارها (گرم در لیتر)		آنتوسیانین (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	فلاونوئید (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)
پیش‌تیمار روی	صفر	۰/۲۵۰ b	۰/۸۴ c
	آب خالص	۰/۳۲۶ a	۰/۹۴ bc
	معمولی ۳	۰/۳۷۷ a	۰/۷۹ c
	معمولی ۶	۰/۳۵۱ a	۰/۹۰ bc
	نانو ۳	۰/۳۲۳ a	۱/۰۹ b
	نانو ۶	۰/۳۴۱ a	۱/۵۱ a
	LSD 5%	۰/۰۵۵	۰/۲۵
محلول‌پاشی روی	صفر	۰/۲۹۰ b	۰/۹۴۹
	معمولی ۴	۰/۳۲۵ b	۱/۰۱۶
	نانو ۴	۰/۳۶۹ a	۱/۰۸۳
	LSD 5%	۰/۰۳۸	۰/۱۷۷

حروف غیرمشترک در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد

جدول پیوست ۱۳- میانگین مربعات آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در برگ لوبیا سبز تحت تأثیر پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی

منابع تغییر	درجه آزادی	کاتالاز	پراکسیداز	آسکوربات پراکسیداز	سوپر اکسید دیسموتاز
تکرار	۲	۰/۰۳۴	۰/۰۰۰۰۱۷۰	۰/۰۰۰۱۱	۵/۳۷
پیش‌تیمار	۵	۲/۰۷**	۰/۰۰۰۰۱۸۷**	۰/۰۰۱۳**	۴۱/۴۱**
محلول‌پاشی	۲	۹/۹۱**	۰/۰۰۰۳۶۱**	۰/۰۰۰۵۲**	۹۹/۸۲**
پیش‌تیمار× محلول‌پاشی	۱۰	۱/۶۷**	۰/۰۰۰۲۰۹**	۰/۰۰۰۲۵*	۶/۶۶**
خطا	۳۴	۰/۰۲۳	۰/۰۰۰۰۵۲۷	۰/۰۰۰۱	۱/۷۴
ضریب تغییرات (درصد)		۲۳/۰۵	۱۳/۱۱	۱۲/۴۷	۵/۱۸

*و ** بیانگر معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

جدول پیوست ۱۴- مقایسه میانگین آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در برگ لوبیا سبز تحت تأثیر پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی

تیمارها (گرم در لیتر)		کاتالاز	پراکسیداز	آسکوربات پراکسیداز	سوپر اکسید دیسموتاز
		(واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه)			
پیش‌تیمار روی	صفر	۱/۷۰ ^{b}	۰/۰۱۵ ^{d}	۰/۰۶۹۵ ^{c}	۲۲/۸۱ ^{c}
	آب خالص	۱/۸۵ ^{b}	۰/۰۱۴ ^{ed}	۰/۰۷۶۶ ^{b}	۲۳/۳۷ ^{c}
	معمولی ۳	۲/۰۶ ^{b}	۰/۰۱۲ ^{e}	۰/۰۷۵۷ ^{bc}	۲۴/۷۷ ^{b}
	معمولی ۶	۲/۱۳ ^{b}	۰/۰۲۰ ^{b}	۰/۰۸۴۴ ^{b}	۲۶/۸۷ ^{a}
	نانو ۳	۳/۰۰ ^{a}	۰/۰۲۴ ^{a}	۰/۰۹۷۳ ^{a}	۲۷/۷۰ ^{a}
	نانو ۶	۱/۷۵ ^{b}	۰/۰۱۷ ^{c}	۰/۱۰۰۰ ^{a}	۲۷/۵۰ ^{a}
	LSD 5%	۰/۴۶	۰/۰۰۲۲	۰/۰۱	۱/۲۶
محلول‌پاشی روی	صفر	۱/۲۳ ^{b}	۰/۰۱۴ ^{b}	۰/۰۸۵۷ ^{a}	۲۳/۰۳ ^{c}
	معمولی ۴	۲/۵۵ ^{a}	۰/۰۲۲ ^{a}	۰/۰۸۸۲ ^{a}	۲۵/۷۷ ^{b}
	نانو ۴	۲/۴۷ ^{a}	۰/۰۱۵ ^{b}	۰/۰۷۷۸ ^{b}	۲۷/۷۲ ^{a}
	LSD 5%	۰/۳۲	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۷۱	۰/۸۹

حروف غیرمشترک در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد

جدول پیوست ۱۵- میانگین مربعات صفات کیفی لوبیا سبز تحت تأثیر پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی

منابع تغییر	درجه آزادی	روی برگ	روی دانه	پروتئین دانه	عملکرد پروتئین
تکرار	۲	۱۵/۶۲	۱۶۰۶/۲۴	۵/۴۹	۲۵۳/۴۳
پیش‌تیمار	۵	۱۳۳/۵۴	۳۳۵۶۸/۹۶**	۱۲۰/۸۰**	۷۷۶/۵۶**
محلول‌پاشی	۲	۳۱۸۲/۵۹**	۳۵۷۶۹۸/۲۴**	۶۹/۱۵**	۷۴۷/۹۷**
پیش‌تیمار× محلول-پاشی	۱۰	۵۷۴/۳۵**	۵۳۹۴۶/۸۸**	۱۱/۴۳*	۴۷۳/۹۰**
خطا	۳۴	۶۱/۹۹	۱۹۰۱/۷۶	۵/۵۱	۹۱/۰۲
ضریب تغییرات (درصد)		۱۱/۶۰	۱۲/۳۴	۱۰/۳۶	۲۶/۰۶

*و ** بیانگر معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد

جدول پیوست ۱۶- مقایسه میانگین صفات کیفی لوبیا سبز تحت تأثیر پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی با عنصر روی به فرم نانو و معمولی

تیمارها (گرم در لیتر)		روی برگ (پی پی بی)	روی دانه (پی پی بی)	پروتئین دانه (درصد)	عملکرد پروتئین (گرم در مترمربع)
پیش‌تیمار روی	صفر	۶۲/۳۸	۲۹۴/۵۵ c	۱۸/۲۱ c	۲۷/۹۱ b
	آب خالص	۷۰/۹۷	۳۲۲/۷۳ c	۱۹/۶۱ c	۲۷/۰۰ b
	معمولی ۳	۶۸/۵۰	۴۰۴/۴۷ b	۲۲/۵۲ b	۳۳/۳۴ b
	معمولی ۶	۶۴/۴۴	۳۲۳/۲۱ c	۲۳/۰۴ b	۳۵/۷۰ b
	نانو ۳	۶۸/۲۵	۳۲۱/۸۷ c	۲۵/۵۱ a	۴۷/۳۳ a
	نانو ۶	۷۲/۵۷	۴۵۲/۰۵ a	۲۷/۶۰ a	۴۸/۳۰ a
	LSD 5%	۷/۵۴	۴۱/۷۷	۲/۲۰	۹/۱۴
محلول‌پاشی روی	صفر	۵۶/۹۵ c	۲۲۵/۲۴ c	۲۰/۵۲ b	۳۷/۳۴ a
	معمولی ۴	۶۳/۹۴ b	۳۲۹/۹۲ b	۲۴/۲۱ a	۲۹/۸۱ b
	نانو ۴	۸۲/۶۷ a	۵۰۴/۲۹a	۲۳/۵۰ a	۴۲/۶۴ a
	LSD 5%	۵/۳۳	۲۹/۵۴	۱/۵۶	۴/۴۶

حروف غیرمشترک در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد

منابع

آرمین، م. و بیدی، م. ۱۳۹۳. تأثیر زمان آبیاری تکمیلی و محلول‌پاشی روی بر عملکرد و اجزای عملکرد نخود. مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارسنجان. ۶ (۱۸): ۵۴-۴۳.

احمدی، م. ۱۳۸۹. تأثیر کود سولفات روی بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و عملکرد دانه نخود (*Cicer arietinum* L.) تحت تراکم‌های مختلف کاشت. یازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات. پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی تهران، ۴-۲ مرداد. ۲۴۶۴ - ۲۴۶۶.

احمدی، ع. و سی‌وسه‌مرده، ع. ۱۳۸۳. اثر تنش خشکی بر کربوهیدرات‌های محلول، کلروفیل و پرولین در چهار رقم گندم سازگار با شرایط متفاوت اقلیمی ایران. مجله علوم کشاورزی ایران. ۳ (۳۵):۷۵۳-۷۶۳.

افشانی، س.، امیرنیا، ر. و هاری، ه. ۱۳۹۴. دانشگاه فردوسی مشهد. ۱۳(۱): ۴۳-۵۲.

امیرجانی، م. ر.، عسکری، م. و عسکری، ف. ۱۳۹۳. بررسی تأثیر نانو اکسید روی میزان آلکالوئید-های آنتی اکسیدان‌های آنزیمی و غیر آنزیمی و برخی شاخص‌های فیزیولوژی گیاه پریوش *Catharantus roseus*. مجله سلول و بافت (علمی پژوهشی). ۵ (۲): ۱۷۳-۱۸۳.

بایبوردی، ا. ۱۳۸۹. روی در خاک و عناصر غذایی گیاه. نشر پریور. ۱۷۹ صفحه.

بداقی، س. ۱۳۸۶. تأثیر عناصر ریز مغذی بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت در شرایط آب و هوای خوی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد زراعت. دانشگاه آزاد اسلامی خوی. ۹۸ صفحه.

بقایی، ن.، کشاورز، ن. و نظران، م.ح .۱۳۹۰. بررسی اثر نانو کود کلاته آهن خضراء بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج رقم شریودی. اولین همایش ملی مباحث نوین در کشاورزی ساوه. ۱۰ صفحه.

بهتاش، ف.، طباطبایی، س.ج.، ملکوتی، م.ج.، سرورالدین، 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): ۳۱-۴۱.

بهزادی‌فرد، م. ۱۳۹۲. بررسی اثر پرایمینگ بذر و محلول‌پاشی نانو کودهای آهن، کلسیم و روی بر صفات زراعی ذرت. دانشگاه آزاد اسلامی سنندج. ۱۷ صفحه.

پارسا، م. و باقری، ع.ر. ۱۳۸۷. حبوبات. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۵۲۲ صفحه.

پورآتشی، م. ۱۳۸۸. کاربرد بیوتکنولوژی در کشاورزی راهی به سوی نیل به امنیت غذایی. همایش منطقه‌ای غذا و بیوتکنولوژی. دانشگاه آزاد ایلام. واحد کرمانشاه. ۱۳-۱۴ اسفند.

پهلوان‌راد، م.، کیخا، غ. و ناورئی‌راد، م.ر. ۱۳۸۷. تأثیر کاربرد روی، آهن و منگنز بر عملکرد، اجزای عملکرد، غلظت و جذب عناصر غذایی در دانه گندم. مجله پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی. (۷۹): ۱۴۲-۱۵۰.

پیروی، م.ه. ۱۳۸۰. بررسی اثر ریزمغذی آهن و روی بر عملکرد دو رقم آفتابگردان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه زراعت. دانشگاه آزاد اسلامی ارسنجان. ۵۸ صفحه.

پیوست، غ. ۱۳۸۸. سبزیکاری. انتشارات دانش‌پذیر تهران. ۵۷۷ صفحه.

ترابیان، ش. و زاهدی، م. ۱۳۹۰. تأثیر تغذیه‌برگی نانو ذرات آهن و روی بر برخی صفات فیزیولوژیک آفتاب‌گردان تحت تنش شوری. دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد زراعت. ۸۴ صفحه.

جابرزاده، ا.، معاونی، پ.، توحیدی مقدم، ح. و مرادی، ا. ۱۳۸۹. بررسی اثر محلول پاشی نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم بر روی برخی خصوصیات زراعی در گندم تحت شرایط تنش خشکی. فصلنامه علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی. ۴ (۲): ۲۹۵-۳۰۱.

جامسون، م.، گالشی، س.ا.، پهلوانی، م.ه. و زینلی، ا. ۱۳۸۸. بررسی اثر محلول‌پاشی روی (Zn) بر عملکرد و خواص کیفی دانه دو رقم سویا در کشت تابستانه. مجله پژوهش‌های تولید گیاهی.۱۶ (۱): ۱۷-۲۸.

جعفرزاده کنارسری، م. و پوستینی، ک. ۱۳۷۶. بررسی اثر تنش خشکی در مراحل مختلف رشد بر برخی از ویژگی‌های مورفولوژیکی و اجزای عملکرد آفتابگردان (رقم رکورد). علوم کشاورزی ایران. ۲۹(۲): ۳۵۳-۳۶۱.

جمالی، ج.، انتشاری، ش. و سید حسینی، م. ۱۳۹۱. تأثیر عناصر پتاسیم و روی بر تغییرات بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی مقاومت به خشکی در ذرت (رقم سینگل‌کراس ۷۰۴). فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۴ (۱۴): ۳۷-۴۴.

جودی، م. و شریف‌زاده، ف. ۱۳۸۵. بررسی اثر هیدروپرایمینگ در ارقام مختلف جو، بیابان، ۱۱ (۱): ۹۹-۱۰۹.

چاکرالحسینی، م. ر.، محتشمی، ر. و اولیایی، ح. ر. ۱۳۸۸. بررسی اثرات میزان، منبع و روش مصرف کود بر صفات کمی و کیفی برنج زراعی رقم چرام ۱. مجله پژوهش در علوم کشاورزی. ۵ (۱): ۳۳- ۴۳.

حاجی‌بلند، ر.، صالحی، ی.، آقاجانزاده، ط.، ابهری، م. و نظیفی، ا. ۱۳۸۶. مقایسه تعدادی از مهم‌ترین ارقام برنج نسبت به تحمل کمبود روی در شرایط مزرعه‌ای و آبکشت. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۱ (۱): ۲۹۴-۳۱۴.

خاقانی، ش.، بی‌همتا، م.، چنگیزی، م.، دری، ح.،خاقانی، ش.، بختیاری، ا. و صفاپور، م. ۱۳۸۸. مقایسه صفات کمی و کیفی لوبیای سفید و قرمز در شرایط آبیاری معمولی تنش خشکی. مجله تنش‌های محیطی در علوم گیاهی. ۲ (۱): ۱۷۰-۱۸۲.

خاوری‌نژاد، ر.، نجفی، ف. و فیروزه، ر. ۱۳۹۰. اثرات سولفات روی بر برخی پارامترهای فیزیولوژیکی گیاه لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.). فصلنامه پژوهش‌های علوم گیاهی، ۲۱ (۱): ۱-۱۴.

خرم‌دل، س. و شریفی، س.ر. ۱۳۹۵. تأثیر نانو اکسید روی و تلقیح بذر با باکتری‌های افزاینده رشد بر عملکرد و اجزای عملکرد و پر شدن دانه سویا. پژوهش‌های زراعی ایران. ۱۳: ۷۳۸-۷۵۳.

خلیلی‌محله، ج.، رضادوست، س. و رشدی، م. ۱۳۸۵. اثرات مصرف برگی عناصر ریزمغذی آهن، روی و منگنز بر خصوصیات کمی و کیفی سورگوم اسپیدفید در کشت دوم در خوی. نهمین کنگره زراعت و اصلاح نباتات ایران. پردیس ابوریحان. دانشگاه تهران. ۵ تا ۷ شهریور. ۸۰-۸۵.

خلیلی محله، ج. و رشدی، م. ۱۳۸۷. اثر محلول پاشی عناصر کم مصرف بر خصوصیات کمی و کیفی ذرت سیلویی ۷۰۴ در خوی. مجله نهال و بذر. ۲۴ (۲): ۲۸۱-۲۹۳.

خوش‌گفتارمنش، ا.ح. ۱۳۸۶. مبانی تغذیه گیاه. انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان. ۴۶۲ صفحه.

دادرسی، و.ا. و ابوطالبیان، م.ح. ۱۳۹۴. بررسی تأثیر پرایمینگ بذر روی صفات مورفولوژیکی، پروتئین دانه و کارایی مصرف آب دو هیبرید ذرت میان‌رس در شرایط مزرعه. نشریه زراعت (پژوهش و سازندگی). ۱۰۷: ۸۲-۹۰.

داوری، آ.، ساجدی، ن. ع. و گماردیان، م. ۱۳۹۳ (الف). تأثیر پرایمینگ بذر و محلول پاشی نانو ذرات و سولفات روی بر خصوصیات زراعی آفتابگردان. اولین کنگره بین المللی و سیزدهمین کنگره ملی علوم زراعت و اصلاح نباتات و سومین همایش علوم و تکنولوژی بذرکرج. ۶-۴ شهریور.

داوری، آ.، ساجدی، ن. ع. و گماردیان، م. ۱۳۹۳ (ب). تأثیر پیش تیمار بذر و محلول‌پاشی با نانو ذرات و سولفات روی بر عملکرد طبق ، عملکرد دانه و شاخص تلاش و بازآوری در آفتابگردان. اولین کنگره بین المللی و سیزدهمین کنگره ملی علوم زرات و اصلاح نباتات و سومین همایش علوم و تکنولوژی بذر کرج. ۶-۴ شهریور.

درویش بلوچی، م.، پاک نژاد، ف.، کاشانی، ع.، اردکانی، م.ر. و درویش بلوچی، م. ۱۳۸۹. بررسی تأثیر تنش خشکی و تغذیه برگی برخی از عناصر کم مصرف بر پارامترهای فلورسانس کلروفیل، محتوی کلروفیل، RWC، پایداری غشا و عملکرد دانه ذرت (SC ۷۰۴). مجله علوم گیاهان زراعی ایران. ۴۱ (۳): ۵۴۳-۵۳۱.

رضایی، ر.، حسینی، س. و شعبانعلی قمی، ح. ۱۳۸۸. شناسایی و تحلیل موانع توسعه فناوری نانو در بخش کشاورزی ایران از دیدگاه محققان. فصلنامه علمی-پژوهشی سیاست علم وفناوری. ۲(۱): ۱۷-۲۶.

رضائی چیانی، ا.، زهتاب سلماسی، س.، پیرزاد، ع. و رحیمی، ا. ۱۳۹۴. اثر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی آهن، روی و منگنز بر عملکرد و اجزای عملکرد و روغن دانه همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.). نشریه علوم باغبانی و علوم صنایع کشاورزی. ۲۹ (۱): ۹۵-۱۰۲.

رضوی زاده، ر.، طباطبایی پژوه، ز. و رستمی، ف. ۱۳۹۴. تأثیر نانو نقره در رشدی و فیزیولوژیکی گیاهچه‌های کلزا (*Brasica nupus* L.) در شرایط کشت درون شیشه‌ای. مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی. ۲۲ (۷): ۲۲۱-۲۳۶.

زارع‌ده‌آبادی، س.، اسرار، ز. و مهربانی، م. ۱۳۸۶. اثر فلز روی بر رشد و برخی از شاخص‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاه نعناع خوراکی (*Mentha spicata* L.). مجله زیست شناسی ایران. ۲۰ (۳): ۲۳۰ - ۲۴۱.

زارع ده آبادی، س. و اسرا، ز.۱۳۸۷. اثر مقدار اضافی عنصر روی بر میزان تجمع برخی عناصر ضروری و پاسخ‌های آنتی اکسیدانی گیاه دارویی نعنا سبز (*Mentha spicata* L.). فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات دارویی و معطر ایران. ۲۴(۴): ۵۳۰-۵۴۰ .

زارع‌ده آبادی، س. و اسرا، ز. ۱۳۸۸. بررسی اثر مقدار اضافی عنصر روی (Zinc) بر القای تنش اکسیداتیو و تجمع برخی عناصر در گیاه نعناع سبز (*Mentha spicata* L.). مجله زیست شناسی ایران. ۲۲ (۲): ۲۱۸-۲۲۸.

زند،ب.، سروش‌زاده، ع.، قناتی، ف. و مرادی، ف. ۱۳۸۸. اثر محلول‌پاشی عنصر روی و تنظیم کننده رشد اکسین بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه ذرت دانه‌ای در شرایط کمبود آب. مجله به‌زراعی نهال و بذر. ۲۵ (۴): ۴۳۱ - ۴۴۸.

زند، ب.، سروش زاده، ع.، قناتی، ف. و مرادی، ف. ۱۳۸۹. اثر محلول‌پاشی روی (Zn) و اکسین (IBA) بر فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی اکسیدانت در ذرت دانه ای. مجله زیست شناسی گیاهی ایران. ۲ (۱): ۳۵-۴۸.

سپهری، ع. و وزیری امجد، ز. ۱۳۹۴. اثر نانو کودهای آهن و روی بر عملکرد کمی کاسنی در تراکم‌های مختلف کاشت. ویژه‌نامه نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار. ۶۱-۷۴.

سعادتی، ص. و معلمی، ن. ۱۳۹۰. بررسی تأثیر محلول‌پاشی عنصر روی بر رشد و عملکرد گیاه توت فرنگی در شرایط تنش شوری. مجله علوم باغبانی ایران. ۴۲ (۳): ۲۷۵-۲۶۷.

سعیدی ابواسحاقی، ر.ا.، یدوی، ع.ر.، موحدی‌دهنوی، م. و بلوچی، ح.م. ۱۳۹۳. اثر دور آبیاری و محلول‌پاشی آهن و روی بر برخی صفات فیزیولوژیک و مورفولوژیک لوبیا قرمز(*Phaselous vulgaris* L.). فرآیند کارکرد گیاهی. ۳ (۷): ۲۷-۴۱.

سلیسپور، م. ۱۳۸۶. بررسی اثرات مصرف عناصر آهن و روی در خصوصیات کمی و کیفی گندم آبی و تعیین بحرانی آن‌ها در خاک‌های دشت ورامین. پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی. ۷۶: ۱۲۳ - ۱۳۳.

سیدشریفی، ر.، کمری، ح.، و نجفی، ق. ۱۳۹۴. تأثیر تنش شوری و تغذیه برگی با نانو اکسید روی بر عملکرد و برخی خصوصیات مورفولوژیکی جو (*Hordeum vulgare* L.) دانشگاه فردوسی مشهد. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. ۱۳(۲): ۳۹۹-۴۱۰.

شافع، ل.، صفاری، م.، امام، ی. و محمدی‌نژاد. ق. ۱۳۹۰. اثر مصرف ک.دهای نیتروژن و روی بر میزان کلروفیل و میزان روی برگ بر عملکرد و ترکیب عناصر دانه دو هیبرید ذرت (*Zea mays* L.) مجله به‌زراعی نهال و بذر. ۲ (۲): ۲۳۵-۲۶۵.

شجاعی، ح.، مکاریان، ح. و دماوندی، ع. ۱۳۹۲. اثر تنش قطع آبیاری و محلول‌پاشی روی بر رشد و عملکرد ماش. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه آزاد اسلامی واحد دامغان. ۶۷ صفحه.

شعبان‌زاده، ش.، رمرودی، م. و گلوی، م. ۱۳۹۰. تأثیر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بر عملکرد دانه و ویژگی‌های سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) در رژیم‌های مختلف آبیاری. مجله تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی. (۲): ۷۹-۸۹.

شکاری، ف.، پاک مهر، آ.، راستگو، م.، صبا، ج.، وظایفی، م. و زنگانی، ا. ۱۳۸۹. اثر پرایمینگ بذر با اسیدسالیسیلیک بر پاره‌ای صفات فیزیولوژیک لوبیا چشم‌بلبلی تحت تنش کم‌آبی در زمان غلاف-بندی. مجله علمی-پژوهشی علوم کشاورزی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز. ۴ (۱۳): ۱۳-۲۹.

شیخ‌بگلو، ر.، صدقی، م.، تاجبخش شیشوان، م. و سید شریفی، ر. ۱۳۹۰. اثر محلول‌پاشی نانو اکسید آهن بر عناصر معدنی دانه سویا. اولین کنگره ملی علوم و فناوری‌های نوین کشاورزی، زنجان. دانشگاه زنجان. ۱۹ تا ۲۱ شهریور.

صالحی، ر.، ملکی، ع. و دهقان‌زاده، ح. ۱۳۹۱. تأثیر پتاس و روی بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت سینگل گراس ۷۰۴ تحت تنش قطع آبیاری. فصلنامه تولید گیاهان زراعی در شرایط تنش‌های محیطی. ۳ (۴): ۵۹-۷۰.

صفیان، ن.، نادری، م.ر.، شمس، م. و دارخال، ه. ۱۳۹۰. بررسی تغذیه برگی عناصر میکرو بر رشد و عملکرد ذرت دانه ای رقم سینگل‌کراس ۳۰۲ در منطقه اصفهان. اولین همایش ملی مباحث نوین در کشاورزی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساوه. ۱۱ آبان.

ضیائیان، ع. و ملکوتی، م.ج. ۱۳۷۷. بررسی اثر کودهای محتوی عناصر ریز مغذی و زمان مصرف آنها در افزایش تولید ذرت. مجله علمی پژوهشی آب و خاک، (ویژه نامه مصرف بهینه کود). ۱۲ (۱): ۵۶-۶۳.

طالع‌زاده، م. ۱۳۹۱. تأثیر محلول‌پاشی نانو ذره روی و منیزیم بر برخی خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک لوبیا چشم بلبلی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی شاهرود. ۱۴۸ صفحه.

عبدالرحمانی، ب.، قاسعی گلعذانی، ک.، ولی زاده، م.، فیضی اصل، و. و توکلی، ع. ۱۳۹۰. اثر پرایمینگ بذر فسفر بر روند رشد و عملکرد دانه جو در (*Hordeum Vulgarel* L.) رقم آبیدر در شرایط دیم. مجله زارعی نهال و بذر. ۲۷ (۲): ۱۱۱-۱۲۹.

عزیزی، خ. و امینی دهقی، م. ۱۳۸۷. تأثیر محلول‌پاشی عنصر روی بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه ارقام گندم آبی در شرایط اقلیمی خرم‌آباد. مجله دانشور علوم زراعی. ۱ (۱): ۲۳ - ۳۴.

عشقی‌زاده، ح.ر.، کافی، م.، خوش‌گفتارمنش، ا.ح. و عزیزی، خ. ۱۳۹۰. پاسخ چهار ژنوتیپ گندم (*Triricum aestivum*) به تغذیه برگی روی در یک خاک آهکی. نشریه زراعت (پژوهش و سازندگی). ۹۱: ۳۵-۴۳.

فتحی، ع.ر. ، زاهدی، م. و ترابیان، ش. ۱۳۹۴. ارزیابی اثر محلول‌پاشی اکسید روی معمول محلول و نانو ذرات بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و محتوای پرولین در دو رقم (*Zea mays* L.) تحت تنش شوری. ۲ (۴۶): ۲۵۷-۲۶۶.

فتحی، ع.ر. و زاهدی، م. ۱۳۹۳ (الف). تأثیر محلول‌پاشی نانو ذرات اکسید آهم و روی بر رشد و محتوای یونی دو ژنوتیپ ذرت (*Zea mays* L.) در شوری‌های متفاوت خاک. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. ۱ (۱۲): ۱۱۰-۱۱۷.

فتحی، ع.ر. و زاهدی، م. ۱۳۹۳ (ب). تأثیر محلول پاشی نانو ذرات آهن و روی بر رشد و محتوای یونی دو رقم گندم تحت تنش شوری. مجله تولید و فراوری محصولات زراعی و باغی. ۴ (۱۲): ۲۹۰-۳۰۴.

فرج‌زاده معماری تبریزی، ا.، یارنیا،م.، احمدزاده، و. و فرج‌زاده معماری تبریزی، ن. ۱۳۸۹. بررسی اثر روش‌های مختلف مصرف کوددهای میکرو بر میزان تجمع عناصر میکرو در بذر و برگ و عملکرد ذرت رقم Jeta. فصلنامه دانش نوین کشاورزی پایدار. ۲۱: ۶۷-۷۴.

قادری، ج. و ملکوتی، م.ج. ۱۳۸۷. نقش منگنز در افزایش عملکرد و غنی سازی دانه گندم. سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی. موسسه تحقیقات خاک و آب. نشریه فنی شماره ۴۶.

قانع‌پور، ص.، شکیبا، م.ر.، تورچی، م. و اوستان، ش. ۱۳۹۱. وضعیت آبی برگ و برخی پارامترهای فتوسنتزی لوبیا در واکنش به کاربرد Zn تحت تنش کمبود رطوبتی. دوازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران. دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج. ۱۴ تا ۱۶ شهریور.

قربانی، س.، ناصریان‌خیابانی، ب.، اردکانی، ک.ر. و رسائی موخر، س. ۱۳۸۹. بررسی تأثیر عناصر ریزمغذی آهن و روی بر عملکرد و برخی صفات مورفولوژیکی لاین‌های موتانت گندم طبسی. مجموعه خلاصه مقالات یازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران. پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی تهران، دوم تا چهارم مرداد. ۳۲۲ تا ۳۲۵.

قربانلی، م. و بابالار، م. ۱۳۸۲ . تغذیه معدنی گیاهان. انتشارات دانشگاه تربیت معلم تهران. ۳۵۶ صفحه.

کامکار ب.، صفاهانی لنگرودی ع.ر. و محمدی، ر. ۱۳۹۰. کاربرد مواد معدنی در تغذیه گیاهان زراعی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد ۵۰۰. صفحه.

کافی، م.، لاهوتی، م.، زند، ا.، شریفی، ح.ر و گلدانی، م. ۱۳۸۳. فیزیولوژی گیاهی (ترجمه). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۴۵۶ صفحه.

کمرکی، ح. و گلوی، م. ۱۳۸۵. اثر محلول‌پاشی روی، آهن، بور و ترکیبات آن‌ها بر خصوصیات کمی گلرنگ. نهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران، دانشگاه تهران- پردیس ابوریحان. ۷-۵ شهریور. صفحه ۱۶۶.

کوچکی،ع . و بنایان اول، م. 1368. زراعت حبوبات. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. 236 صفحه.

کوچکی، ع. و خواجه حسینی، م. ۱۳۸۷. زراعت نوین. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۵۵۰ صفحه.

کوچکی، ع. و بنایان اول، م. ۱۳۷۳. فیزیولوژی گیاهان زراعی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۳۸۰ صفحه.

کوچکی، ع.، راشدمحصل، م.ح.، نصیری محلاتی، م. و صدرآبادی، ر. ۱۳۷۶. مبانی فیزیولوژیکی رشد و نمو گیاهان زراعی. بنیاد فرهنگی رضوی. ۴۰۴ صفحه.

مبلی، م. و پیراسته، ب.۱۳۷۳. تولید سبزی (ترجمه). انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان. ۸۷۵ صفحه.

مجنون حسینی، ن.۱۳۸۷. زراعت و تولید حبوبات. سازمان انتشارات جهاد دانشگاهی تهران. ۲۸۳ صفحه.

محمدی، م.، مجنون‌حسینی، ن.، دشتکی، م. و شیخ‌بگلو، ر. ۱۳۸۹. بررسی تأثیر محلول‌پاشی نانو اکسید آهن و سولفات روی بر میزان رنگیزه‌های کلروپلاست برگ نعناع فلفی (*Mentha piperita*

L) در شرایط مزرعه. همایش ملی گیاهان دارویی. دانشکده کشاورزی کرج. گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه تهران. ۱۱-۱۳ اسفند.

محمودی، ش. و حکیمیان، م. ۱۳۷۹. مبانی خاک (ترجمه). انتشارات دانشگاه تهران. ۷۰۶ صفحه.

مددی، م. و خماری، س. ۱۳۹۲. اثر پرایمینگ بذور سیاه دانه با عناصر نانو اکسید روی و کلسیم بر قابلیت جوانه زنی و رشد گیاهچه‌ها تحت تنش شوری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه محقق اردبیلی. دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی.

مسرت، ن.، سیادت، ع.، شرفی زاده، م. و حبیبی خانیانی، ب. ۱۳۹۲. تأثیر پرایمینگ بر جوانه زنی و رشد گیاهچه ذرت هیبرید SC704 در شرایط تنش شوری و خشکی. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. ۵ (۱۵): ۱۳-۲۵.

مقیمی پور، ز.، محمودی سورستانی، م.، عالم زاده انصاری، ن. و رمضانی، ز. ۱۳۹۵. الف. بررسی اثر محلول‌پاشی نانو کلات روی و سولفات روی بر خصوصیات مرفولوژیکی گیاه دارویی ریحان مقدس *Oclimum Sanctum*. مجله تولیدات گیاهی. ۳ (۳۸): ۴۱-۵۳.

مقیمی پور، ز.، محمودی سورستانی، م. و عالم زاده انصاری، ن. ۱۳۹۵. ب. تأثیر محلول‌پاشی روی بر میزان عنصر روی و خصوصیات فتوسنتزی ریحان مقدس *Oclimum Sanctum*. نشریه علوم باغبانی. (۲): ۳۰.

ملکوتی، م.ج. و ریاضی همدانی، ع. ۱۳۷۱. کودها و حاصل‌خیزی خاک. انتشارات دانشگاه تهران. ۸۰۸ صفحه.

ملکوتی، م.ج. و مشایخی، ح.ح. ۱۳۷۶. ضرورت مصرف روی برای افزایش کمی و کیفی و غنی‌سازی تولیدات کشاورزی کشور نشریه آموزش کشاورزی. معاونت آموزش و تجهیز نیروی انسانی. سازمان تات. وزارت کشاورزی. شماره ۲۵. ۲۱ صفحه.

ملکوتی، م.ج. و طباطبایی، ج. ۱۳۷۸. تغذیه صحیح درختان میوه. انتشارات آموزش کشاورزی. کرج. ۲۵۵ صفحه.

ملکوتی، م.ج. و طهرانی، م.م. ۱۳۷۹. نقش ریز مغذی‌ها در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی ((عناصر خرد با تأثیر کلان)). انتشارات دانشگاه تربیت مدرس. ۲۹۹ صفحه.

ملکوتی، م.ج. و داوودی، م.ح. ۱۳۸۲. روی در کشاورزی عنصری فراموش شده در چرخه حیات گیاه، انسان و دام (ترجمه). نشر سنا. ۲۲۰ صفحه.

ملکوتی، م.ج. و همایی، م. ۱۳۸۳. حاصلخیزی مناطق خشک و نیمه خشک ((مشکلات و راه حل‌ها)). انتشارات دانشگاه تربیت مدرس. ۵۰۸ صفحه.

ملکوتی، م.ج.، ملکوتی، ا.، بای بوردی، ع. و خامسی، ع.۱۳۸۴. روی عنصر فراموش شده در چرخه حیات گیاه، دام و انسان. نشریه فنی شماره۴۵۷ شورای عالی سیاست گذاری توسعه کاربرد مواد بیولوژیک و استفاده بهینه از کود و سم در کشاورزی.

ملکوتی، م.ج.، کشاورز، پ. و کریمیان، ن. ۱۳۸۷. روش جامع تشخیص و توصیه بهینه کود برای کشاورزی پایدار. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس. ۷۱۸ صفحه.

مهری، ش. ۱۳۹۳. بررسی اثر محلول پاشی اسید جیبرلیک و کینتین بر روی میزان آنزیم‌های آنتی اکسیدانت کاتالاز و پراکسیداز در ذرت دانه‌ای تحت تنش خشکی. دومین همایش ملی پژوهش‌های کاربردی در علوم کشاورزی. تهران. ۲۱ اسفند.

نادری، م. و دانش شهرکی، ع. ۱۳۹۰. کاربرد فناوری نانو در بهینه سازی فرمولاسیون کودهای شیمیایی. ماهنامه فناوری نانو. ۱۰(۴): ۲۱-۲۳.

نخزری مقدم، ع. ، تاتاری، م. و ارنیاز قرنجیک، ا. ۱۳۹۰. بررسی تأثیر زمان و سطوح مختلف کود روی بر عملکرد و اجزای عملکرد دعدس. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی. ۴ (۱): ۱۷-۲۹.

نخزری مقدم، ع. ۱۳۹۱. تأثیر زمان و میزان مصرف کود روی بر کمیت و کیفیت باقلا. دوازدهمین کنگره علووم زراعت و اصلاح نباتات ایران. دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج. ۱۴ تا ۱۶ شهریور.

نژادحسینی، ط.، آستارایی، ع.، خراسانی، ر. و معمولی، ا. ۱۳۸۹. بررسی دو نوع کود آلی همراه با عناصر بور و روی بر عملکرد، اجزای عملکرد و غلظت عناصر غذایی در دانه ارزن معمولی. نشریه پژوهش-های زراعی ایران. ۹ (۱): ۷۰-۷۷.

نصیری، م.، سیدشریفی، ر.، امینی، ا. و فرزانه، س. ۱۳۸۵. تأثیر ریزمغذی‌های آهن و منگنز و بر بر عملکرد بذر چغندرقند. نهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران. دانشگاه تهران- پردیس ابوریحان. ۷-۵ شهریور.

نوابی، ف. و ملکوتی، م. ج. ۱۳۸۱. بررسی تاثیر تغذیه متعادل عناصر غذایی بر کمیت و کیفیت ذرت دانه ای. مجله علوم خاک و آب. ۱۶(۲): ۱۶۱-۱۶۸.

وفایی، م.ح.، سپهری، ع.، ارادتمنداصل، د. و ورمزیار، ع. ۱۳۹۰. اثر روی بر شاخص‌های فیزیولوژیکی مؤثر بر عملکرد دو ژنوتیپ لوبیا تحت تنش رطوبتی. اولین همایش ملی مباحث نوین در کشاورزی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساوه. ۱۱ آبان.

همراهی، س.، حبیبی، د.، مدنی، ح. و مشهدی اکبر بوجار، م. ۱۳۸۷. اثر سایکوسل و عناصر ریزمغذی بر میزان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت به عنوان شاخص‌های مقاومت به تنش خشکی در کلزا. یافته‌های نوین کشاورزی. ۲(۳): ۳۱۶-۳۲۹.

همتی، ا. ۱۳۸۴. بررسی کاربرد خاکی و محلول پاشی آهن، روی و منگنز بر عملکرد و پروتئین لوبیا. چکیده مقالات اولین همایش ملی حبوبات. پژوهشکده علوم گیاهی دانشکده فردوسی مشهد، ۲۹ و ۳۰ آبان. ۳۸۷ تا ۳۹۰.

هوشمندفر، ع.ر. ۱۳۸۵. بررسی اثر زمان پیش‌تیمار آبی بر جوانه‌زنی ارقام گندم. پنجمین همایش ملی ایده‌های نو در کشاورزی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان (اصفهان). ۲۷-۲۸ بهمن.

یارنیا، م.، فرج زاده، ا.، رضایی، ف.، احمدی‌زاده، و نوبری، ن. ۱۳۸۸. تأثیر روش کاربرد عناصرریزمغذی بر تولید چغندرقند رقم منوژرم رسول، مجله علمی پژوهشی علوم کشاورزی. دانشگاه آزاد واحد تبریز. ۳ (۱۰): ۲۵-۳۸.

Abd El Hadi, E.A.A. 1986. Effect of foliar fertilization in different crops under Egyption conditions. Plant Soil Sci., 22: 126-141.

Aebi, H. 1984. Catalase in Vitro. Methods in Enzymology., 105: 121–126.

Akbar, M., Bashir, A., Muhammad, A., Gulzar, A., Zubair, Sh. and Wang, J. 2009. Water absorption and priming with osmotica responses on germination of pearl millet cultivar. Sarhad. J. of Agric., 25: 7-13.

Allen, R.D. 1995. Dissection of oxidative stress tolerance using transgenic plants. Plant Physiol., 57: 1049-1054.

Ansari, O. and Sharifzadeh, F. 2012. Osmo and hydropriming mediated germination improvement under cold stress conditions in mountainrye. (*Secale montanum*). Agron. Res in Moldavia. 151 (3): 51-56.

Andersen, M. and Jordheim, M. 2010. Chemistry of Flavonoid-Based Colors in Plants, Comprehensive Natural Products II: 547-614., University of Bergen, Bergen, Norway.

Arora, A., Sairam, R.K. and Srivastava, G.C. 2002. Oxidative stress and antioxidative system in plants. Curr. Sci. India., 82: 1227-1238.

Aref, F. 2012 Effect of different zinc and boron application methods on leaf nitrogen, phosphorus and potassium concentrations in maize grown on zinc and boron deficient calcareous soils. J. of Soil Nature., 6(1): 1-10.

Arif, M., Ali, S., Shah, A., Javed, N. and Rashid, A. 2005. Seed priming maize for improving emergence and seedling growth. Sarhad .J. Agric., 21: 539-543.

Asada, K. and Takahashi, M. 1987. Production and scavenging of active oxygen in photosynthesis. In: Kyle, D.J. (Eds). Photoinhibition. Elsevier. PP. 227-287.

Ashraf, M. and Foolad, M.R. 2005. Prea-sowing seed treatment a shotgun approach to improve germination growth and crop yield under saline and none-saline condition. Advan., Agron. 88: 223-271.

Atiyeh, R.M., Lee, S., Edwards, C.A., Arancon, N.Q. and Metzger, J.D. 2002. The influence of humic acids derived from earthworms- processed organic wastes on plant growth. Bioresource Technol., 84:7–14.

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 J. of Agric. Sci., 6: 601-608.

Baniabbass, Z., Zamani, G. and Sayyari, M. 2012. Effect of drought stress and zinc sulfate on the yield and some physiological characteristics of sunflower (Helianthus. Annuus L.). Environmental Biology 6: 518-525.

Basra, A., Dhillon, R. and Malik, C. 1989. Influence of seed pre-treatment with plant growth regulators on metabolic alternations of germination maize embryos under stressing temperature regimes. Ann. Bot., 64: 76-70.

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

Bayat, A.A., Sephri, A., Ahmad, G. and Dorri, H.R. 2010. Effect of Water deficit stress on yield and yield component of pinto bean (*phaseolus vulgaris* L.). Iran. J. Crop Sci., 12 (1): 42-54.

Beauchamp, C. and Fridovich, I. 1971. Superoxide dismutase: improved assays and applicable to acrylamide gels. Annu. Biochem., 44:276-287.

Bozorgi, H.R., Azarpour, E. and Moradi, M. 2011. The effects of biomineral nitrogen fertilizeation and foliar zinc spraying on yield and yield components of faba bean. Word Appl. Sci. J. 13(6): 1409-1414.

Blum, A., Mayer, J. and Gozland, G. 1982. Infrared thermal sensing of plant canopies as a sereening technique for dehydration avoidance in wheat. Field crops Res. 5:137-146.

Bradford, M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Annu. Rev. Biochem.72: 248-254.

Brodley, M.R., Philips, J.W., Hammon, J.P., Zelko, I. and Alexander, L. 2007. Zinc in plants. new phytologist, 173: 677- 702.

Cakmak, I., Marschner, H. and Bangerth, F. 1989. Effect of zinc nutritional status on growth, protein metabolism and levels of indole-3-acetic acid and other phytohormones in bean (*Phaseolus vulgaris* L.). J. Exp. Bot., 40:405-412.

Cakmak, I. 2000. Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species. New Phytol., 146: 185-205.

Cakmak, I. 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification, Plant Soil, 302: 1-17.

Camberato, J.J. 2004. Foliar application on sugar beet. J. of Fruit and Oranamental Plant Res., 12: 120- 126.

Cui, H., Sum, C., Liu, Q., Jiang, J. and Gu, W. 2006. Applications of nanotechnology in agrochemical. Formoulation, Perspective, Challenges and Strateaies, Innstitute of Environment and Sustainabledevelopment in Agriculture, Chinese Academy of Agricultrul Sciencces, Berjing, Cina, PP. 1-6.

Donaldson, E., Schilinger, W.F. and Stephen, M.D. 2001. Straw production and grain yield relationships in winter wheat. Crop Sci. 41: 100-106.

Ebrahimian, E. and Bybordi, A. 2011. Effect of iron foliar fertilization on growth, seed and oil yield of sunflower grown under different irrigation regimes. Middle-East J. of scientifitic Res. 9 (5): 621-627.

El-Gizawy, N.K.h.B. and Mehasen, S.A.S. 2009. Response of faba bean to bio, mineral phosphorus fertilizers and foliar application with zinc. World Appl. Sci. J., 6(10): 1359-1365.

El-Sawi, S.A. and Mohamed, M.A. 2002. Cumin herb as a new source of essential oils and its response to foliar spray with some micro-elements. Food Chemistry, 77: 75-80.

Erdal, I., Kepenek, K. and Kizilgos, I. 2004. Effect of foliar iron application at different growth stage on iron and some nutrient concentration in strawberry cultivars. Turk. J. Agric. For., 28: 421-427.

Fageria, N.K., Baligar, V.C. and Clark, R.B. 2006. Physiology of Crop Production. Food Products Press. pp. 363.

Farajzadeh, E., Yarnia, M., Khorshidi, M.B. and Ahmadzade, V. 2009. Effects of micronutrients and their application method on yield, crop growth rate (CGR) and net assimilation rate (NAR) of corn cv. Jetlag. J. of food, Agric. and Environ., 7(2): 611- 615.

Fletcher, S. 2005. Heat stress reduces the accumulation of rosmarinic acid and total antioxidant capacity in spearmint (*Mentha spicata* L.). J. of the Sci. of Food and Agric 85, 14:2429-2436.

Garnett, T.P. and Graham, R.D. 2005. Distribution and remobilization of iron and cupper in wheat. Annals of Bot., 95: 817-826

Giunta, F., Motza, R. and Deidda, M. 1995. Effeect of drought on leaf area development, biomass production and nitrogen uptake of durum wheat grown in a Mediterranean environ Aust. J. of Agric. Res., 96: 99-111.

Habibi, D., Mashdi Akbar Boojar, M., mahmoudi, A., Ardakani, M.R. and Taleghani, D. 2004. Antioxidative enzyme in sunflower subjected to drought stress. 4th inter. Crop Sci. Congress, Brisbane, Aust, 26 September-1 Octobr. pp. 1-4.

Halliwell, B. 1999. Antioxidant defense mechanism from the beginning to the end. Free Radical Res., 31: 261-272.

Hamsa, A. and Puttaiah, E.T. 2012. Residual effect of zinc and boron on growth and yield of French bean (*Phaseolus vulgaris* L.) rice (*Oryza sativa* L.) cropping system. Inter. J. of Environ. Sci., 3: 4124-4135.

Harris, D., Raghuwanshi, B.S., Gangwar, J.S., Singh, S.C. and Hollington, PA. 1999. Participatory evaluation by farmers of on-farm seed priming in wheat in India, Nepal and Pakistan. Experience Agron. 37(3):403–415.

Harris, D. 2006. Development and testing of on-farm seed priming. Adv. Agron. 90:129–138.

Hassan , M.J., Zhang, G., WU, F., Wei, K., and Chen, Z. 2005. Zinc alleviates growth inhibition and oxidative stress caused by cadmium in rice. J. of Plant Nutrition Soil Sci., 168: 255-261.

Heidarian, A.R., Kord, H., Mostafavi, K.H., Lak, A.P. and Amini Mashhadi, F. 2011. Investigating Fe and Zn foliar application on yield and its components of soybean (*Glycine max* L.) at different growth stages. J. of Agric. Biotechnol. and Sustainable Develop., 3: 189 -19

Hemantaranjan, A. and. Gray, O.K. 1988. Iron and zinc fertilization with reference to the grain quality of wheat (*Triticum aestivum* L.). J. of Plant Nutrition, 11: 1439-1450.

Hill, J., Rabson, and Loneragan, J.F. 1979. The effect of copper supply on the senescence and the retranslocation of nutrients of the oldest leaf of wheat. Annal. of B0t., 44:279-287.

Hiscox, J.D. and Israelstam, G.F. 1978. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. Can. J. Bot., 57: 1332-1334.

Holy, M.C. 1972. Indole acetic acid oxidase: a dual catalytic enzyme. Plant Physiol., 50: 15-18.

Hong, W. and Ji-Yun, J. 2007. Effects of zinc deficiency and drought on plant growth and metabolism of reactive oxygen species in maize (*Zea mays* L.). Agric. Sci. in China., 6(8): 988-995.

Irigoyen, J.J., Emerich, D.W. and Sanchez-Diaz, M. 1992. Water stress induced changes in concentration of prolun and total soluble sugarsin nodulated alfalfa (*Medicago sativa* L.). Plant Physiol., 84: 55-60.

Jamro, G.H., Kazi, B.R., Oad, F.c., Jamali, N.M. and Oad, N.L. 2002. Effect of micronutrients on trait of sugarcane variety Cp-65/357(Ratoon Crop). J. of Biolo. Sci. Pak., 20 Pp.

Kaya, A. and Higgs, D. 2002. Response of tomato (*Lycopersicon esculentun* L.) cultivars to foliar application of zinc when grown in sand culture at low zinc. Sci. Hortic., 93: 53-64.

Kazemiposhtmasari, H., Bahmanyar, M.A., Pirdasht, H. and Ahmadishad, M.A. 2008. Effects of Zn rates and application forms on protein and some micronutrients accumulation in common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Asian J. of Biol. Sci., 11: 1042-1046.

Khoshvaghti, H. 2006. Effect of water limitation on growth rate, grain filling and yield of three pinto bean cultivars. MSc. Thesis. Faculty of Agriculture. Tabriz University. (In Persian).

Kobraee, S., Noormohamadi, G., Heidari sharifabad, H., Darvish kajori, F. and Delkhosh, B. 2011. Influence of micronutrient fertilizer on soybean nutrient composition. Indian J. of Sci. and Technol., 4(7): 736-769.

Kramer, P.S. 1983. Water relations of plants. Academic Press. Pp. 342-415.

Ladan Moghadam, A., Vattani, H., Baghaei, N. and Keshavarz, N. 2012. Effect of different levels of fertilizer nano-iron calates on growth and yield characteristics of two varieti es of spinach (*Spinacia oleracea* L.): varamin 88 and viroflay. Res. J. of Appl. Sci., Engin. and Technol., 4(12): 4813-4818.

Lee, S., Kim, S., Kim, S. and Lee, I. 2012. Assement of phytoxicity if ZnO NPs on a medicinal plant, *Fogopyrum esculentom*. Environ. Sci pollut. Res., (10): 8-12.

Liu, X., Feng, S., Zhang, J., Xiao, Q. and Wang, Y. 2006. Preparation and testing of cementing nano- subnano composites of slower controlled release of fertilizers. Scientia Agric. Sinica.39:1598-1604.

Lo´pez-Milla´n, A.F., Ellis, D.R. and Grusak, A. 2005. Effect of zinc and manganese supply on the activities of superoxide dismutase and carbonic anhydrase inMedicago truncatula wild type and raz mutant plants. Plant Sci., 168: 1015–1022.

Martin, M., Micell, F., Morgan, J.A., Scalet, M. and Zerbi, G. 1993. Synthesis of osmotically active substance in winter wheat leaves as related to drought resistance of different genotypes. J. of Agron. and Crop Sci., 171: 176 – 184.

Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd Ed, Academic Press, London.

Malakouti M.J. 2008. The effect of micronutrients in ensuring efficient use of macronutrients. Turkish J. of Agric. and Forestry, 32: 215-220.

Malea, P., Keverkidis, T. and Haritonidis, S. 1995. The short term uptake of zinc and cell mortality of the sea grass Halophylla stipulecea. Plant Sci., 43: 21-30.

McDonald, M.B. 2000. Seed Priming. In: M. Black and J. D. Bewley (eds.). Shiffied Academic Press. Pp:287-325.

Mc Donald, M.B. 1999. Seed deterioration: physiology, repair and assessment. Seed Sci. and Technol., 27: 177-237.

Mita, R. 1997. Oxidative stress. Antioxidants and stess tolerance. Trends Plants Sci., 7: 405-410.

Mittova, V., Volokita, M., Guy, M. and Tal, M. 2000. Activities of SOD and the ascorbate-glutathione cycle enzymes in subcellular compartments in leaves and roots of the cultivated tomato and its wild salt tolerant relative (*Lycopersi conpennellii)*. Physiology Plant., 110: 45-51

Mohsin, A.U., Ahmad, A.U.H., Farooq, M. and Ullah, S. 2014. Influence of zinc application through seed treatment and foliar spray on growth, productivity and grain quality of hybrid mize. The J. of Animal and Plant Sci., 24(5): 1494-1503.

Mousa, G.T., El-Sallami, I.H. and Ali, E.F. 2005. Response of *Nigella sativa* L. to foliar application of gibberellic acid, benzyladenine, iron and zinc. Assiut Journal of Agric. of Sci. (Egypt), 32: 141-156.

Movahedi dehnavi, M., Modares sanavi, A. and Mokhtassi bidgoli, A. 2009. Foliar application of zinc and manganese imprives seed yield and quality of safflower. Indust. Crops and Products., 30(1): 82-92.

National Nanotechnology Invitive. 2006. Aailable from: http://www.nano.gov/html/facts/whatIsNano.html. Accessed May 15, 2006.

Nair, R., Hanna Varghese, S, Nair, B.G., Maekawa, T., Yoshida, Y. and Sakthi kumar, D. 2010. Nanoparticulate material delivery to plants. Plant Sci., 179: 154-163.

Najafi Vafa, Z., Sirousmehr, A.R., Ghanbari, A., Khammari, I. and Falahi, N. 2015. Effects of nano zinc and humic acid on quantitative and qualitative characteristics of savory (*Satureja hortensis* L.), Inter. J. of Biosci. | IJB |. 6(3): 124-136.

Neto, A.D., Prisco, J.T., Eneas-Filho, J., Abreu, C.E.B. and Gomes-Filho, E. 2005. Effect of salt stress on antioxidative enzymes and lipid peroxidation in leaves and roots of salt-tolerant and salt-sensitive maize genotypes**.** Environ. Exp. Bot., 56: 87-94.

Pandey, N., Pathak, G.C. and Sharma, C.P. 2006. Zinc is critically required for pollen function and fertilization in lentil. J. of Trace Elements in Medicine and Biol., 20: 89-96

Pandey, N., Singh, A.K., Pathak, G.C., and Sharma, C.P. 2002. Effect of zinc on antioxidant response in maize (*Zea mays* L.) leaves. Indian J. Exp. Biol. 40: 954-956.

Pandey, A.C., S.S. Sanjay, and Yadav, R.S. 2010. Application of ZnO nanoparticlesin influencing the growth rate of Cicer arietinum.Journal of .Experience Nanoscience. 5: 488-497.

Pandey, N., Gupta B. and Pathak C. 2012. Antioxidant responses of Pea Genotypes to zinc deficiency. J. of Plant Physiol., 59(2): 195-205.

Parker, D.R., Aguilera, J.J. and Thomason, D.N. 1992. Zinc- Phosphorus Interactions two cultivars of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) grown in chelator- buffered nutrie solutions. Plant and Soil., 143: 163-177.

Patil, B.C., Hosamani, R.M., Ajjappalavara, P.S., Naik, B.H., Smitha, R.P. and Ukku K.C. 2008. Effect of foliar application of micronutrients on growth and yield component tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). Karnataka J. of Agric. Sci. 21: 428-430.

Peltonen-Sainio, P., Kontturi, M., and Peltonen, J. 2006. Phosphorus seed coati enhancement on erly growth and yield components in oat. Agronomy Journal 98: 206–211.

Petersoen, M. 1997. Cytochrome P-45-Dependent hydroxylation in the biosynthesis of rosmarinic acid in Coleus. Phtochemistry., 45: 1165-1172.

Pill, W.G. and Necket, A.D. 2001. The effect of seed treatment on germination and establishment of kentacky bluegass (*Poa partensis* L.) Seed Sci. Technol. 29: 65-72.

Rahimizadeh, A., kashani, M., zare Fizabady, A., Madani, H. and Sohani, **F**. **2009**. Effect of Micronutrient fertilizer on sunflower growth yeild in draught stress condition. 17(3): 215-222.

Ravi, S., Channal, H.T, Hebsur, N.S, Patil, B.N and Dharamtti, P.R. 2008. Effect of sulphur, zinc and iron nutrition on growth, yield, nutrient uptake and quality of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Karnataka J. of Agric. Sci., 21: 382-385.

Rion, B. and Alloway, J., 2004. Fundamental aspects of Zinc in soils and plants. Inter. Zinc Association. 1-128.

Rose, I.A., Felton, W.L. and Banks, L.W. 2005. Responses of four soybean varieties to foliar zinc fertilizer. Aust. J. of Exp. Agric. and Animal Husbandry, 21(109): 236-240.

Roy, R.N., Finck, A., Blair, G.J. and Tandon, H.L.S. 2006. Plant nutrition for food security. Aguide for integrated nutrient management. FAO Fertilizer and Plant Nutrition

Bulletin 16. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. 368 pp.

Saeedi, G.H. 2008. The effect of some macro and microelements on grain yield and other agronomic characters on (*Sesamum indicum* L.) in Isfahan. J. of Sci. and Technol. of Agric. and Natural Res. 45: 379-402.

Safaya, N.M. and Gupta, A.P. 1979. Differantial susceptibility of corn cultivars to zinc deficiency. Agron. J., 71: 1-132.

Said, A.l., Ahl, H.A.H. and Mahmoud, A. 2010. Effect of zinc and iron foliar application on growth and essential oil of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) under salt stress. Ozean J. of Appl. Sci.,

Sairam, R.K. and Srivastsva, G.C. 2001. Water stress tolerance of wheat (*Triticum aestivium* L.) vaiation in hydrogen peroxide assumulation and antioxidant activity in tolerant and susceptible genotype. J. Agron. and Crop Sci., 186:63-700.

Saxena, C.M., Silim, S.N. and Singh, B.K. 1990. Effect of foliar fertilization in different crops under Egyption conditions. Plant Soil Sci., 22: 126-141

Scrinis, G. 2006. Nanotechnology and the environment: the nano-atomic recinstruction of nature. Chain Reaction. 97:23-26.

Selote, D.S. and Khanna-Chopra, R. 2004. Drought-induced spikelet sterility is associated with an inefficient antioxidant defense in rice panicles. Plant Physiol., 121: 462-471.

Shaviv, A. 2000. Advances in controlled releasa of fertilizers. Adv. In Agron. 71: 1-49.

Sinharoy, A., Samul, R.C. Ahasan, A.K.M.N. and Roy, B. 1990. Effect of different sources and level of nitrogenon yield attributes and seed yield of sesame varieties. Environ. Ecology, 8: 211-215.

Stampouslis, D., Sinha, S.K. and White, J.C. 2009. Assay-dependent phytotoxicity of nanoparticles to plant. Environ. Sci. Technol., 43: 9473-9479.

Still, D.W. and Bradford, K.J .1997. Endo-B-manganase activity from individual tomato endosperm caps and radicale tips in relation to germination rate. Plant Pysiol. 113: 21-29.

Tarumingkeng, R.C. and Coto, Z. 2003. Effects of drought stress on growth and yield of soybean. Kisman, Science Philosopy PPs 702, Term paper, Graduate School, Borgor Agricultural University (Institut Ppertanian Bogor).

Tarraf, Sh., El-Sayed, A.A., and Ibrahim, M.E. 1994. Effect of some micronutrients on Rosmarinus afficinalis. Journal Physiological Science, 18(1): 201-208.

Tavallayi, V., Maftoon, M., Panahi, B., Karimi, S., Ramazani. A. and Vaezpoor, M. 2009. Zinc influence and salt stresss on photosynthesis, water relations, and carbonic anhydrase activity in pistachio. Sci. Hort., 123: 272-279.

Teixeira, I.R., Borem, A., Andrade Araujo, G.A., Lucio, R. and Fontes, F. 2004. Manganese and zinc leaf application on common bean on a cerrado soil. Sci. Agric. 61(1): 77-81.

Teulate, B., Rakika, D., Nachit, M.M. and Monneveux, P. 1997. Comparative osmotic a adjustments in barley and tetraploid wheays. Plant Breed. 116:519-523.

Thalooth, A. T., Tawfik, M.M. and Magda Mohamad, H. 2006. A comparative study on the effect of foliar application of zinc, potassium and magnesium on growth, yield and some chemical constituents of mungbean plants grown under water stress conditions, Bulletin of Egypt. World J. of Agric. Sci., 2: 37-46.

Toselli, M.E. and Casenave, E.C. 2002. The hydrotime model analysis of cotton seed germination as tool in priming. Seed Sci. and Technol., 30: 549-557.

Trehan, S.P. and Sharma. R.C. 2000. Phsphours and zinc uptake efficiency of potato (*Solanum tubberosum* L.). in cpmparison to wheat (*Triticum aestivium* L.). inter. J. of plant prod., 30 (4): 485-488.

Tripathi, B.N., Mehta, S.K., Amar, A. and Gaur, J.P. 2006. Oxidative stress in *Scenedemus* sp. During short- and long-term exposure to Cu and Zn. Chemosphere, 62: 538-544.

Vankhadeh, S. 2002. Response of sunflower to applied Zn, Fe, P, N. Pak. J. of Bot.,1: 143-144.

Wang, W.X., Vinocur, B. and Altman, A. 2003. A plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towads genetic engineering to stress tolerance. Planta. 218: 1-14.

Waling. L., Vark, W.V., Houba, V.J.G. and Van der Lee, J.J. 1989. Soil and Plant and Analysis, a series of syllabi. Plant Analysis Procedures, Wageningen Agriculture University, the Netherlnd.

Warad, H.C. and Dutta, J. 2006. Nanotechnology for agriculture and food systems-A review, Asian Institute of Nanotechnology. 496pp.

Yilmaz, A., Ekis, H. and Cakmak, I. 1997. Effect of different zinc application methods on grain yield and zinc concentration in wheat. Plant Nutrition. 20:461-471.

Zhi-xin, Y., Shu-qing, L., Da-wei, Zh. and Sheng- dong, F. 2006. Effect of cadmium, zinc and lead on soil enzyme activities . J. of Environ. Sci., 6: 1135- 1141.

Abstract

Increasing uses of chemical fertilizers in agriculture regarding their hazards concerns toward replacing them with nano fertilizers which support both food security and quality. Zinc as one of the essential microelements has drown considcrable attention of rescarchers to use it in both as seed pre-treatment and foliar application to alleviate adverse effects of environmental stresses on plant growth. For this purpose, on experiment has been designed to study the agronomical and physiological response of green bean to seed pre-treatment and foliar application of zinc nano particle in research field of Shahrood University of Technology in 1394. Research treatments included seed pretreatment in 6 levels (zero, distilled water, common zinc in 2 concentrations (3 and 6 g/lit), nano zinc in 2 concentrations (3 and 6 g/lit) and foliar application of zinc in 3 levels (zero, common zinc and 4 g/lit nano zinc) as a factorial based on randomized complete block with 3 replications. Seeds were pretreated for 12 hours was performed before flowering. The results indicated that 6 g/lit nano zinc seed pretreatment along with foliar application positively affected dry matter accumulation (184.22, 58.4 and 150 percent in leaf, stem and pod dry matters, respectively. 3 g/lit nano zinc pretreatment induced significant increase in stem height, number of branches, height the first pod to the ground number of pods in plant, weight of 100 seeds and seed yield compared to the other treatments. It is worthy to mention that accompaniment the foliar application showed beneficial effects for these traits. In addition, applying seed pre-treatment and foliar application of common and also nano zinc effecttivety impressed some physiological characteristics such as leaf pigments and stability of the plasma membrane. Nano zinc seed pretreatment with foliar application of both common and nano zinc induced antiofidant enzyms activity including catalas, peroxidase, ascorbate, super oxide dismutase. Nano zinc foliar application increased zinc content in leaves and seed, while zince foliar application in all levels of pretreatment improved seed protein. In other words, nano zinc, specially in heigh levels both in seed pretreatment and foliar application forms has more effects on traits within the treatments of this study.

Key words: Nano fertilizer, Bean, Yield components, Antioxidants

Shahrood University of Technology

Faculty of Agriculture

MSc thesis in Agronomy

The agronomical and physiological response of green bean to seed pre-treatment and foliar application of zinc nano particle

By: Zeinab Baninameh

Supervisor:

Dr. M. Baradaran Firouz Abadi

Advisors:

Dr. H. Makariyan

Dr. M. Parsaeyan

september 2016