بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده کشاورزی

گروه زراعت

عنوان پایان نامه

تاثیر محلول‌پاشی نانو ذره آهن و منیزیم بر برخی خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک لوبیا چشم بلبلی

دانشجو

مریم دلفانی

اساتید راهنما

دکتر مهدی برادران فیروزآبادی

دکتر حسن مکاریان

اساتید مشاور

دکتر ناصر فرخی

مهندس حمیده خلج

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

بهمن ۹۰

آنان که محیط فضل و آداب شدند　　در جمع کمال شمع اصحاب شدند

ره زین شب تاریک نبردند برون　　کفتند فسانه ای و در خواب شدند

تقدیم به همراهان صبور تمام لحظات زندگیم :

پدرم

و

مادرم

قدردانی و تشکر

سپاس پروردگاری که در سایه رحمت بی پایانش توانستم گامی دیگر بردارم اکنون که با یاری خداوند مهربان مقطع دیگری از تحصیل را به پایان می برم شایسته تر آن است که از زحمات اساتید بزرگوارم جناب آقای دکتر مهدی برادران فیروز آبادی وجناب آقای دکتر حسن مکا ریان و اساتید مشاور جناب آقای دکتر ناصر فرخی و خانم دکتر حمیده خلج ارج نهم که در سایه راهنمایی های عالمانه شان، سعی و تلاش بی حد و حصرشان، دلسوزی های صبورانه و همکاری های بی دریغشان، این بار گران به منزل رسید و شاگردی در محضرشان برایم کمال امتنان است. بر خود لازم میدانم از زحمات استاد فرزانه ام آقای دکتر حمیدرضا اصغری که همواره الگوی من در متانت بوده اند، تشکر کنم. صمیمانه ترین مراتب قدردانی خود را از اساتید داور جناب آقای دکتر حمیدرضا اصغری وجناب آقای دکتر محمدرضا عامریان و نیز از نماینده محترم تحصیلات تکمیلی جناب آقای دکتر محمود رحیمی و نیز سایر اساتید بزرگوار گروه زراعت و کارکنان دانشکده کشاورزی به ویژه جناب آقای مهدی بیاری ابراز می دارم.

دوستان عزیز و خوبم :

خانم ها مهندس سمیه قاضوی، بیتراصالحی پور، انیسه رستم زاده، مریم اکبری، زهره اکباتانی، نازیلا باقریان، فاطمه رجب زاده، خدیجه مسلمی، محبوبه رفیعی، سمیه ندایی، فاطمه مهقانی، نرگس طالع زاده، زهرا غیاثی، نعیمه بی طرفان، صفیه عرب، مریم خسروی، شادی شفاعی، سیامطاهری نیا، راحله رهام و آقایان مهندس آرش محمدزاده و محمد یعقوبی و به ویژه دوستان عزیزم خانم ها زهرا کاظمی و محدثه قاضی زاده.

خانواده گرامیم :

پدر و مادرم، برادرانم و عموهای بسیار عزیزم

چکیده

کمبود عناصر ریز مغذی موجب کاهش عملکرد و کیفیت گیاهان می‌شود و سلامت انسان‌ها و گیاهخواران را به خطر می‌اندازد. آهن و منیزیم جزء عناصر ضروری برای انجام فتوسنتز و فعال شدن تعداد زیادی از آنزیم‌ها هستند. همچنین در سنتز پروتئین‌ها و RNA دخالت دارند. با توجه به اهمیت این عناصر در فرآیند فتوسنتزی گیاه، آزمایشی جهت ارزیابی تاثیر محلول پاشی این عناصر بر برخی خصوصیات مرفولوژیک و فیزیولوژیک لوبیا چشم بلبلی (*Vigna sinensis* L.) در دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود اجرا شد. فاکتور اول شامل پنج سطح آهن (صفر، ۰/۲۵ و ۰/۵ گرم در لیتر از نانو ذره و همین غلظت‌ها از آهن معمولی) و فاکتور دوم محلول‌پاشی کود منیزیم شامل سه سطح (صفر و غلظت ۱ درصد از نانو ذره و همین غلظت از منیزیم معمولی) بودند که در قالب آزمایش فاکتوریل با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. محلول پاشی اول و دوم به ترتیب ۵۷ و ۷۴ روز پس از کاشت صورت گرفت. نتایج نشان داد که صفات مورفولوژیکی از قبیل ماده‌ی خشک برگ، ساقه، دانه و غلاف، ارتفاع ساقه، قطر ساقه، تعداد برگ، تعداد انشعابات جانبی، طول غلاف و فاصله‌ی اولین غلاف از سطح خاک تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم قرار گرفتند. بیشترین عملکرد در ترکیب تیماری آهن معمولی ۰/۵ گرم در لیتر × نانو منیزیم با میانگینی معادل ۲۳۷۷/۷۳ کیلوگرم در هکتار و کمترین در تیمار نانو منیزیم به تنهایی با میانگینی معادل ۷۹۲/۵۵ کیلوگرم در لیتر مشاهده گردید. یکی از دلایل افزایش مشاهده شده در عملکرد در ترکیب تیماری آهن معمولی ۰/۵ گرم در لیتر و نانو منیزیم افزایش تعداد غلاف در بوته و وزن هزار دانه بوده است. این در حالی است که از بین اجزای عملکرد، تعداد دانه در غلاف در همین سطح از آهن و منیزیم معمولی بیشترین مقدار را دارا بود. از بین تیمارهای آزمایش، تیمار منیزیم معمولی در سطوح مختلف آهن موجب کاهش خسارت غشای پلاسمایی و نیز افزایش کلروفیل برگ از اواسط دوره‌ی رشد به بعد گردید. پروتئین دانه بر اثر محلول‌پاشی نانو اکسید آهن ۰/۲۵ گرم در لیتر به میزان ۲۲/۳۵ درصد افزایش یافت. در مجموع از لحاظ تاثیرگذاری بر اکثر صفات به ویژه صفات زراعی و مورفولوژیک ترکیب تیماری آهن معمولی ۰/۲۵ و نانومنیزیم نسبت به سایر ترکیبات تیماری نقش موثرتری داشت.

کلمات کلیدی: لوبیا چشم بلبلی، نانو ذره آهن، نانو ذره منیزیم، صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک.

لیست مقالات مستخرج از پایان‌نامه

۱- دلفانی، م.؛ برادران‌فیروزآبادی، م.؛ مکاریان، ح. و فرخی، ن. ۱۳۹۰. تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم بر تجمع ماده خشک و پایداری غشاء پلاسمایی در لوبیا چشم بلبلی. دومین کنفرانس ملی فیزیولوژی گیاهی ایران. ۹-۸ اردیبهشت، دانشگاه یزد.

۲- دلفانی، م.؛ برادران‌فیروزآبادی، م.؛ مکاریان، ح.؛ فرخی، ن.؛ خلج، ح. و کاظمی، ز. ۱۳۹۰. تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم بر عملکرد و اجزاء عملکرد در لوبیا چشم بلبلی. نخستین همایش ملی جهاد اقتصادی در عرصه کشاورزی و منابع طبیعی. ۲۵-۲۴ آبان، سازمان نظام مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی قم.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: مقدمه	۱
فصل دوم :بررسی منابع	۵
۲-۱- لوبیا چشم بلبلی	۶
۲-۱-۱- اهمیت حبوبات	۶
۲-۱-۲- گیاه شناسی	۶
۲-۱-۳- مراحل رشد و نمو	۷
۲-۱-۴- سازگاری	۷
۲-۱-۵- سطح زیر کشت	۹
۲-۱-۶- نیاز غذایی	۱۰
۲-۱-۷- ارزش غذایی دانه	۱۰
۲-۱-۸- عملیات زراعی حبوبات	۱۲
۲-۱-۸-۱- کاشت	۱۲
۲-۱-۸-۲- داشت	۱۳
۲-۱-۸-۳- برداشت	۱۴
۲-۲- نانو تکنولوژی	۱۴
۲-۲-۱- روش سنتز نانوذرات	۱۵
۲-۲-۲- کاربرد نانو در کشاورزی	۱۶
۲-۲-۳- کاربرد نانوکودها	۱۷
۲-۳- آهن	۱۹
۱-۳-۱- نقش آهن در سلامتی انسان	۱۹
۱-۳-۲- نقش آهن در تغذیه گیاهان زراعی و باغی	۲۰
۱-۳-۲- تشخیص علائم کمبود یا بیش بودن آهن در گیاهان	۲۱
۲-۴- منیزیم	۲۲
۲-۴-۱- نقش منیزیم در سلامت انسان	۲۲

۲-۴-۲- نقش منیزیم در تغذیه گیاهان ۲۳
۲-۴-۳- تشخیص علائم کمبود منیزیم در گیاهان ۲۴
۲-۵- تغذیه گیاهان از طریق محلول‌پاشی ۲۵
۲-۶- اثر آهن و منیزیم بر رشد، نمو و عملکرد گیاهان ۲۶
۲-۶-۱- سطح برگ ۲۶
۲-۶-۲- وزن خشک برگ ۲۷
۲-۶-۳- وزن خشک ساقه ۲۸
۲-۶-۴- ارتفاع ۲۹
۲-۶-۵- عملکرد و اجزای عملکرد گیاهان زراعی ۳۰
۲-۷- تاثیر آهن و منیزیم بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی گیاهان ۳۵
۲-۷-۱- پایداری و خسارت غشای پلاسمایی ۳۵
۲-۷-۲- غلظت آهن و منیزیم در اندام‌های هوایی ۳۷
۲-۷-۳- کلروفیل ۳۹
۲-۷-۴- پروتئین دانه ۴۱

فصل سوم : مواد و روش‌ها ۴۴
۳-۱- زمان و مشخصات محل اجرای آزمایش ۴۵
۳-۲- خصوصیات خاک محل آزمایش ۴۵
۳-۳- مشخصات طرح آزمایشی ۴۵
۳-۴- عملیات اجرایی ۴۷
۳-۴-۱- کاشت ۴۷
۳-۴-۲- داشت ۴۷
۳-۴-۳- اعمال تیمارها ۴۸
۳-۴-۴- برداشت ۴۸
۳-۵- نمونه‌برداری ۴۸
۳-۶- صفات زراعی و مورفولوژیک ۴۸
۳-۶-۱- سطح برگ، وزن خشک برگ و ساقه ۴۹
۳-۶-۲- ارتفاع بوته ۴۹

۳-۶-۳- تعداد انشعابات جانبی ۴۹
۳-۶-۴- عملکرد و اجزای عملکرد ۵۰
۳-۷- صفات فیزیولوژیک ۵۰
۳-۷-۱- پایداری و خسارت غشای پلاسمایی ۵۰
۳-۷-۲- غلظت عناصر آهن و منیزیم ۵۱
۳-۷-۳- کلروفیل ۵۱
۳-۷-۴- پروتئین دانه ۵۲
۳-۸- تجزیه و تحلیل داده‌ها ۵۲

فصل چهارم: نتایج و بحث ۵۳
۴-۱- ماده خشک برگ و ساقه ۵۴
۴-۱-۱- وزن خشک برگ ۵۴
۴-۱-۱-۱- نمونه‌برداری اول وزن خشک برگ ۵۶
۴-۱-۱-۲- نمونه‌برداری چهارم وزن خشک برگ ۵۸
۴-۱-۲- وزن خشک ساقه ۵۹
۴-۱-۲-۱- نمونه‌برداری اول وزن خشک ساقه ۶۲
۴-۱-۲-۲- نمونه‌برداری چهارم وزن خشک ساقه ۶۴
۴-۲- ارتفاع ساقه ۶۵
۴-۳- قطر ساقه ۶۶
۴-۴- تعداد برگ ۶۸
۴-۵- تعداد انشعابات جانبی ۷۰
۴-۶- فاصله اولین غلاف از سطح خاک ۷۲
۴-۷- وزن خشک دانه ۷۳
۴-۸-وزن خشک کل غلاف ۷۴
۴-۹- طول غلاف ۷۶
۴-۱۰- شاخص سطح برگ ۷۸
۴-۱۱- عملکرد و اجزای عملکرد ۸۳
۴-۱۱-۱- تعداد غلاف در بوته ۸۳

۴-۱۱-۲- تعداد دانه در غلاف ۸۵
۴-۱۱-۳- وزن هزاردانه ۸۶
۴-۱۱-۴- عملکرد ۸۸
۴-۱۲- صفات فیزیولوژیک ۹۲
۴-۱۲-۱- پایداری و خسارت غشای پلاسمایی ۹۲
۴-۱۲-۲- میزان آهن موجود در برگ ۹۵
۴-۱۲-۳- میزان منیزیم برگ ۹۸
۴-۱۲-۴- میزان منیزیم ساقه ۹۹
۴-۱۲-۵- کلروفیل ۱۰۱
۴-۱۲-۵-۱- کلروفیل یک سوم بالای کانوپی ۱۰۱
۴-۱۲-۵-۲- کلروفیل یک سوم میانی کانوپی ۱۰۱
۴-۱۲-۵-۳- کلروفیل یک سوم پایین کانوپی ۱۰۳
۴-۱۲-۵-۴- میزان کلروفیل کل کانوپی گیاه ۱۰۵
۴-۱۲-۶- درصد پروتئین دانه ۱۱۱
نتیجه‌گیری ۱۱۴
پیشنهادات ۱۱۵
منابع ۱۱۶
پیوست ۱۳۶

فهرست شکل‌ها

شکل **صفحه**

۳-۱- نقشه کاشت ۴۷
۴-۱- روند تغییرات وزن خشک برگ تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن ۵۴
۴-۲- روند تغییرات وزن خشک برگ تحت تاثیر محلول‌پاشی منیزیم ۵۶
۴-۳- مقایسه میانگین وزن خشک برگ در ۸۱ روز پس از کاشت تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم ۵۷
۴-۴- مقایسه میانگین وزن خشک برگ در ۱۲۳ روز پس از کاشت تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم ۵۸

۴-۵- روند تغییرات وزن خشک ساقه تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن ۶۰
۴-۶- روند تغییرات وزن خشک ساقه تحت تاثیر محلول‌پاشی منیزیم ۶۲
۴-۷- مقایسه میانگین وزن خشک ساقه در ۸۱ روز پس از کاشت تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم ۶۳
۴-۸- مقایسه میانگین وزن خشک ساقه در ۱۲۳ روز پس از کاشت تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم ۶۴
۴-۹- مقایسه میانگین ارتفاع ساقه در ۱۳۷ روز پس از کاشت تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم ۶۵
۴-۱۰- مقایسه میانگین قطر ساقه در ۱۳۷ روز پس از کاشت تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم ۶۷
۴-۱۱- مقایسه میانگین تعداد برگ در ۱۲۳ روز پس از کاشت تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم ۶۹
۴-۱۲- مقایسه میانگین تعداد انشعابات جانبی در ۱۳۷ روز پس از کاشت تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم ۷۰
۴-۱۳- مقایسه میانگین فاصله اولین غلاف از سطح خاک در ۱۳۷ روز پس از کاشت تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم ۷۲
۴-۱۴- مقایسه میانگین وزن خشک دانه در ۱۳۷ روز پس از کاشت تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم ۷۴
۴-۱۵- مقایسه میانگین وزن خشک کل غلاف در ۱۳۷ روز پس از کاشت تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم ۷۵
۴-۱۶- مقایسه میانگین طول غلاف در ۱۵۱ روز پس از کاشت تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن منیزیم ۷۷
۴-۱۷- روند تغییرات شاخص سطح برگ تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن ۷۹
۴-۱۸- روند تغییرات سطح برگ تحت تاثیر محلول‌پاشی منیزیم ۸۰
۴-۱۹- مقایسه میانگین شاخص سطح برگ در ۱۲۳ روز پس از کاشت تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم ۸۲
۴-۲۰- مقایسه میانگین تعداد غلاف تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم ۸۳
۴-۲۱- مقایسه میانگین تعداد دانه در غلاف تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم ۸۵

۴-۲۲- مقایسه میانگین ورن هزاردانه تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم ۸۷
۴-۲۳- مقایسه میانگین عملکرد تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم ۸۹
۴-۲۴- مقایسه میانگین پایداری غشای پلاسمایی تحت تاثیر محلول‌پاشی منیزیم ۹۳
۴-۲۵- مقایسه میانگین خسارت غشای پلاسمایی تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم ۹۵
۴-۲۶- مقایسه میانگین میزان آهن برگ تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم ۹۶
۴-۲۷- مقایسه میانگین میزان منیزیم برگ تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم ۹۸
۴-۲۸- مقایسه میانگین میزان منیزیم ساقه تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم ۱۰۰
۴-۲۹- مقایسه میانگین میزان کلروفیل یک سوم میانی کانوپی در ۹۲ روز پس از کاشت (۹۰۱/۵ درجه روز رشد) تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم ۱۰۲
۴-۳۰- مقایسه میانگین میزان کلروفیل یک سوم پایین کانوپی در ۹۲ روز پس از کاشت (۹۰۱/۵ درجه روز رشد) تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم ۱۰۴
۴-۳۱- تاثیر محلول‌پاشی آهن بر میزان کلروفیل برگ در ۸۵ روز پس از کاشت (۷۹۸/۵ درجه روز رشد) ۱۰۶
۴-۳۲- مقایسه میانگین میزان کلروفیل برگ تحت تاثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی آهن و منیزیم در نمونه‌برداری‌های مختلف (درجه روز رشد) ۱۰۷
۴-۳۳- روند تغییرات میزان کل کلروفیل کانوپی تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن ۱۰۹
۴-۳۴- روند تغییرات میزان کلروفیل کل کانوپی تحت تاثیر محلول‌پاشی منیزیم ۱۱۱
۴-۳۵- مقایسه میانگین میزان پروتئین دانه تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن ۱۱۲

فهرست جداول

جدول **صفحه**

۲-۱- مراحل رشد و نمو ۸
۳-۱- تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش ۴۶
پیوست ۱- میانگین مربعات وزن خشک برگ تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم در نمونه‌برداری‌های مختلف ۱۳۷
پیوست ۲- مقایسه میانگین وزن خشک برگ (گرم در متر مربع) تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم در نمونه‌برداری‌های مختلف ۱۳۷
پیوست ۳- مقایسه میانگین وزن خشک برگ (گرم در متر مربع) تحت تاثیر ترکیب‌های ۱۳۸

تیماری حاصل از محلول‌پاشی آهن و منیزیم
پیوست ۴- میانگین مربعات وزن ساقه برگ تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم در نمونه‌برداری‌های مختلف ۱۳۹
پیوست ۵- مقایسه میانگین وزن خشک ساقه (گرم در متر مربع) تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم در نمونه‌برداری‌های مختلف ۱۳۹
پیوست ۶- مقایسه میانگین وزن خشک ساقه (گرم در متر مربع) تحت تاثیر ترکیب‌های تیماری حاصل از محلول‌پاشی آهن و منیزیم ۱۴۰
پیوست ۷- میانگین مربعات ارتفاع ساقه تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم در نمونه‌برداری‌های مختلف ۱۴۱
پیوست ۸- مقایسه میانگین ارتفاع ساقه (سانتی‌متر) تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم در نمونه‌برداری‌های مختلف ۱۴۱
پیوست ۹- مقایسه میانگین ارتفاع ساقه (سانتی‌متر) تحت تاثیر ترکیب‌های تیماری حاصل از محلول‌پاشی آهن و منیزیم ۱۴۲
پیوست ۱۰- میانگین مربعات قطر ساقه تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم در نمونه‌برداری‌های مختلف ۱۴۳
پیوست۱۱- مقایسه میانگین قطر ساقه (سانتی‌متر) تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم در نمونه‌برداری‌های مختلف ۱۴۳
پیوست ۱۲- مقایسه میانگین قطر ساقه (سانتی‌متر) تحت تاثیر ترکیب‌های تیماری حاصل از محلول‌پاشی آهن و منیزیم ۱۴۴
پیوست ۱۳- میانگین مربعات تعداد برگ تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم در نمونه‌برداری‌های مختلف ۱۴۵
پیوست ۱۴- مقایسه میانگین تعداد برگ (در مترمربع) تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم در نمونه‌برداری‌های مختلف ۱۴۵
پیوست ۱۵- مقایسه میانگین تعداد برگ (در مترمربع) تحت تاثیر ترکیب‌های تیماری حاصل از محلول‌پاشی آهن و منیزیم ۱۴۶
پیوست ۱۶- میانگین مربعات تعداد انشعابات جانبی تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم در نمونه‌برداری‌های مختلف ۱۴۷
پیوست ۱۷- مقایسه میانگین تعداد انشعابات جانبی (در تک بوته) تحت تاثیر محلول‌پاشی ۱۴۷

آهن و منیزیم در نمونه‌برداری‌های مختلف
پیوست ۱۸- مقایسه میانگین تعداد انشعابات جانبی (در تک بوته) تحت تاثیر ترکیب‌های تیماری حاصل از محلول‌پاشی آهن و منیزیم ۱۴۸
پیوست ۱۹- میانگین مربعات فاصله‌ی اولین غلاف از سطح خاک و طول غلاف تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم به ترتیب در ۱۳۷ و ۱۵۱ روز پس از کاشت ۱۴۹
پیوست ۲۰- مقایسه میانگین فاصله‌ی اولین غلاف از سطح خاک (سانتی‌متر) و طول غلاف (سانتی‌متر) تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم به ترتیب در ۱۳۷ و ۱۵۱ روز پس از کاشت ۱۴۹
پیوست ۲۱- مقایسه میانگین فاصله‌ی اولین غلاف از سطح خاک (سانتی‌متر) و طول غلاف (سانتی‌متر) تحت تاثیر ترکیب‌های تیماری حاصل از محلول‌پاشی آهن و منیزیم ۱۵۰
پیوست ۲۲- میانگین مربعات وزن خشک دانه تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم در نمونه‌برداری‌های مختلف ۱۵۱
پیوست ۲۳- مقایسه میانگین صفت وزن خشک دانه (گرم در مترمربع) تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم در نمونه‌برداری‌های مختلف ۱۵۱
پیوست ۲۴- مقایسه میانگین وزن خشک دانه (گرم در مترمربع) تحت تاثیر ترکیب‌های تیماری حاصل از محلول‌پاشی آهن و منیزیم ۱۵۲
پیوست ۲۵- میانگین مربعات وزن خشک کل غلاف تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم در نمونه بردارهای مختلف ۱۵۳
پیوست ۲۶- مقایسه میانگین وزن کل خشک غلاف (گرم در مترمربع) تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم در نمونه‌برداری‌های مختلف ۱۵۳
پیوست ۲۷- مقایسه میانگین وزن خشک کل غلاف (گرم در مترمربع) تحت ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی آهن و منیزیم در نمونه‌بردارهای مختلف ۱۵۴
پیوست ۲۸- میانگین مربعات عملکرد و اجزای عملکرد تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم ۱۵۵
پیوست ۲۹- مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم ۱۵۵
پیوست ۳۰- مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد تحت تاثیر ترکیب‌های تیماری حاصل از محلول‌پاشی آهن و منیزیم ۱۵۶

پیوست ۳۱- میانگین مربعات شاخص سطح برگ تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم در نمونه‌برداری‌های مختلف ۱۵۷
پیوست ۳۲- مقایسه میانگین شاخص سطح برگ (مترمربع در مترمربع) تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم در نمونه‌برداری‌های مختلف ۱۵۷
پیوست ۳۳- مقایسه میانگین شاخص سطح برگ (مترمربع در مترمربع) تحت تاثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی آهن و منیزیم ۱۵۸
پیوست ۳۴- میانگین مربعات پایداری و خسارت غشاء تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم ۱۵۹
پیوست ۳۵- مقایسه میانگین پایداری و خسارت غشای پلاسمایی (درصد) تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم ۱۵۹
پیوست۳۶- مقایسه میانگین خسارت غشای پلاسمایی (درصد) تحت تاثیر ترکیب‌های تیماری حاصل از محلول‌پاشی آهن و منیزیم ۱۶۰
پیوست ۳۷- میانگین مربعات مقدار (آهن و منیزیم) در برگ و ساقه تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم ۱۶۱
پیوست ۳۸- مقایسه میانگین مقدار آهن برگ (میلی‌گرم بر کیلوگرم) و مقدار منیزیم برگ و ساقه (درصد) تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم ۱۶۱
پیوست ۳۹- مقایسه میانگین مقدار آهن برگ (میلی‌گرم بر کیلوگرم) و مقدار منیزیم برگ و ساقه (درصد) تحت تاثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی آهن و منیزیم ۱۶۲
پیوست ۴۰- میانگین مربعات کلروفیل یک سوم بالای کانوپی تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم در نمونه‌برداری‌های مختلف ۱۶۳
پیوست۴۱- مقایسه میانگین کلروفیل یک سوم بالای کانوپی (واحد اسپد)۰تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم در نمونه‌برداری‌های مختلف ۱۶۳
پیوست ۴۲- میانگین مربعات کلروفیل یک سوم میانی کانوپی تحت محلول‌پاشی آهن و منیزیم در نمونه‌برداری‌های مختلف ۱۶۴
پیوست ۴۳- مقایسه میانگین کلروفیل یک سوم میانی کانوپی (واحد اسپد) تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم در نمونه‌برداری‌های مختلف ۱۶۴
پیوست ۴۴- مقایسه میانگین کلروفیل یک سوم میانی کانوپی (واحد اسپد) تحت تاثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی آهن و منیزیم ۱۶۵
پیوست ۴۵- میانگین مربعات کلروفیل یک سوم پایین کانوپی تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن ۱۶۶

و منیزیم در نمونه‌برداری‌های مختلف
پیوست ۴۶- مقایسه میانگین کلروفیل یک سوم پایین کانوپی (واحد اسپد) تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم در نمونه‌برداری‌های مختلف ۱۶۶
پیوست ۴۷- مقایسه میانگین کلروفیل یک سوم پایین کانوپی (واحد اسپد) تحت تاثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی آهن و منیزیم ۱۶۷
پیوست ۴۸- میانگین مربعات کلروفیل کل کانوپی تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم در نمونه‌برداری‌های مختلف ۱۶۸
پیوست ۴۹- مقایسه میانگین کلروفیل کانوپی (واحد اسپد) تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم در نمونه‌برداری‌های مختلف ۱۶۸
پیوست ۵۰- مقایسه میانگین کلروفیل میانگین کل کانوپی (واحد اسپد) تحت تاثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی آهن و منیزیم ۱۶۹
پیوست ۵۱- میانگین مربعات پروتئین دانه تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم ۱۷۰
پیوست ۵۲- مقایسه میانگین پروتئین دانه (درصد) تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم ۱۷۰

فصل اول

مقدمه

جمعیت جهان در سال ۱۹۸۴ میلادی بالغ بر ۴/۷۴ میلیارد نفر بوده است و با توجه به نرخ رشد فعلی تا سال ۲۰۱۵ میلادی، یعنی در فاصله زمانی تقریبا ۳۰ ساله، به حدود دو برابر یعنی ۸/۲ میلیارد نفر افزایش می‌یابد. با رشد سریع جمعیت، نیاز به غذا بیشتر احساس می‌گردد. در سال ۱۹۴۵ سازمان جدیدی در سازمان ملل به نام سازمان خواربار کشاورزی (فائو) بنیان نهاده شد. این سازمان موظف شد تا جهت تولید غذای سالم در سطح جهانی تلاش نماید دولت‌ها را در راه توسعه اقتصادی به گونه‌ای هدایت نماید که انسان‌ها به غذای کافی دست یابند و فقر و گرسنگی از بین برود تا تمامی ملل در سراسر جهان زندگی بهتری داشته باشند. اجلاس جهانی غذا در سال ۱۹۹۶ در تعریفی اعلام کرد که امنیت غذایی هنگامی وجود دارد که همه مردم در تمامی ایام به غذای کافی، سالم و مغذی دسترسی فیزیکی و اقتصادی داشته باشند و غذای در دسترس نیازهای یک رژیم تغذیه‌ای سازگار با ترجیحات آنان را برای یک زندگی سالم و فعال فراهم سازد (فائو، ۲۰۰۱). بالغ بر ۹۸ درصد از مواد غذایی مورد نیاز بشر از تولیدات و فرآورده‌های کشاورزی تامین می‌گردد و تنها دو درصد باقیمانده از منابع دیگر مانند غذاهای دریائی و ... به دست می‌آید. با توجه به نقش فرآورده‌های کشاورزی در تامین غذا، بشر همواره در جستجوی یافتن راه‌هایی برای افزایش تولید و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی بوده است. این امر عمدتا از دو راه امکان پذیر می‌گردد: افزایش سطح زیر کشت و افزایش تولید در واحد سطح در واحد زمان. در سال‌های اخیر، به دلیل کاهش منابع خاکی و آبی در اثر عوامل مختلف، اعتقاد بر این بوده است که تنها راه برای تامین غذا، افزایش تولید در واحد سطح در واحد زمان است (ضیائیان، ۱۳۸۲). غلبه بر کمبود غذا از طریق خود اتکایی و کشاورزی پایدار هدفی جهانی است. به منظور تحقق این هدف ضرورت دارد که بهره‌وری زمین زیر کشت افزایش یابد و امکان استفاده از زمین‌های خشک که به واسطه کمبود آب رها شده است، فراهم گردد.

از علومی که می‌توان از آن در امر تولید مواد غذایی بهره برد فناوری نانو می‌باشد. این فناوری پتانسیل لازم برای ایجاد انقلابی عظیم در بخش کشاورزی را دارد (کوچکی و خواجه‌حسینی، ۱۳۸۷). تا کنون استفاده از علم نانو در زمینه کشاورزی جنبه نظری داشته است. اما اخیرا کاربرد آن به صورت

علمی نیز امکان‌پذیر شده است و مسلما در آینده نیز این مسیر رو به رشد ادامه خواهد داشت و اثرات شگرف آن هر روز بیش از پیش مشخص خواهد گردید. نوید نانوتکنولوژی در خصوص کشاورزی و تولید غذا ممکن است به احیای زمین‌های کشاورزی کمک نماید (یونسی و همکاران، ۱۳۹۰).

عوامل ژنتیکی و محیطی به طور کلی بر رشد و نمو گیاهان دخالت دارند که از جمله عوامل محیطی می‌توان به دما، رطوبت، انرژی تشعشعی، ترکیب اتمسفر، ساختمان خاک و ترکیب هوای خاک، واکنش خاک و عناصر غذایی اشاره کرد. عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان به سه دسته عناصر مضر (غیر ضروری)، عناصر مفید و عناصر لازم (ضروری) تقسیم می‌شوند (ضیائیان، ۱۳۸۲). بر اساس معیارهای فوق، زمانی یک عنصر برای یک گیاه ضروری تلقی می‌شود که حیات گیاه بدون آن میسر نباشد، نقش آن عنصر یا عنصر دیگری تامین نگردد و عنصر نقش مستقیم و کلیدی در تغذیه گیاه داشته باشد (آرنون و اسکات، ۱۹۳۹). تا کنون عناصر کربن، اکسیژن، هیدروژن، نیتروژن، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن، گوگرد، منگنز، روی، مس، بر، مولیبدن و کلر برای رشد و نمو گیاهان ضروری تشخیص داده شده است.

فقر آهن یکی از شایع ترین اختلالات تغذیه ای در کشور های در حال توسعه و مهمترین علت کم خونی در کودکان و زنان درسنین بارداری است (استولتزف، ۲۰۰۱). گفته می‌شود که نانوذرات آهن شاید برای غنی سازی مواد غذایی مناسب‌تر باشند (به خاطر حلالیت بیشتر، جذب بهتر و اثرات مخرب کمتر در رنگ مواد غذایی). نانوذرات اکسید آهن درصد جذب و پایداری خوبی دارند، با این حال برای افزایش پایداری می‌توان آن‌ها را در کنار منیزیم یا کلسیم استفاده کرد. به‌علاوه افزودن کلسیم و منیزیم در حفظ ویژگی‌های طعم مواد غذایی نقش موثری دارد (چا و چینان، ۲۰۰۴).

منیزیم نیز عنصری مهم در گیاه است که کمبود آن سبب اختلال در ساختمان و عملکرد کلروپلاست و اختلال در انتقال کربوهیدرات‌ها و تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌شود. نتیجه آن جلوگیری از انجام بهینه فتوسنتز در گیاه است (لاون و گولدشیت، ۱۹۹۹). محلول‌پاشی عناصر غذایی از موثرترین روش‌های تامین مواد غذایی گیاهان است که تاثیر بیشتری نسبت به روش‌های

خاک‌کاربرد به ویژه در شرایط نامناسب خاک برای دسترسی به مواد غذایی می‌باشد (ایردال و همکاران، ۲۰۰۴).

محلول‌پاشی آهن و منیزیم روی شاخ و برگ گیاهان از طریق تاثیر بر کلروفیل و فتوسنتز گیاه منجر به افزایش عملکرد می‌شود (ملکی و همکاران، ۲۰۱۰). با توجه به نقش آهن و منیزیم در فرآیندهای مختلف متابولیکی گیاهی، از جمله افزایش کلروفیل، فتوسنتز و در نهایت افزایش عملکرد محصولات زراعی، این‌گونه استنباط می‌شود که استفاده از این دو عنصر به شکل محلول‌پاشی نانوذرات اکسیدی می‌تواند موجب کارآیی بهتر و موثرتر این عناصر و نیز کاهش آلودگی‌های زیست محیطی از طریق استفاده کمتر از کودها گردد و در نهایت از لحاظ اقتصاد کشاورزی مقرون به صرفه باشد.

اهداف تحقیق

در این مطالعه به بررسی نقش احتمالی محلول‌پاشی نانوذرات اکسید آهن و منیزیم در گیاه لوبیا چشم بلبلی پرداخته شد. در قالب این پژوهش اهداف زیر مطرح و دنبال گردید:

۱- بررسی تفاوت بین ذرات نانوآهن و آهن معمولی از لحاظ تاثیر بر رشد و عملکرد لوبیا چشم بلبلی

۲- بررسی تفاوت بین ذرات نانومنیزیم و منیزیم معمولی از لحاظ تاثیر بر رشد و عملکرد لوبیا چشم بلبلی

۳- بررسی تاثیر غلظت‌های مختلف آهن و منیزیم بر خصوصیات فیزیولوژیکی، مورفولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا چشم بلبلی.

۴- بررسی عکس‌العمل لوبیا چشم بلبلی به محلول‌پاشی توام آهن و منیزیم درغلظت‌های متفاوت.

فصل دوم

بررسی منابع

در این فصل به ذکر اهمیت حبوبات، معرفی گیاه شناختی و زراعی لوبیا چشم بلبلی، نانو تکنولوژی و نقش آن در کشاورزی با تاکید بر نانو کودها می‌پردازیم در پایان نیز اهمیت عناصر کم مصرف آهن و منیزیم در گیاه در دو سطح ماکرو و میکرو با تاکید بر لوبیا چشم بلبلی روشن می‌گردد.

۲-۱- لوبیا چشم بلبلی

۲-۱-۱- اهمیت حبوبات

حبوبات از منابع گیاهی غنی از پروتئین است که بعد از غلات، دومین منبع مهم غذایی انسان به شمار می‌روند. این گیاهان با تثبیت زیستی نیتروژن ضمن بهبود حاصلخیزی خاک، به صورت گیاهان پوششی و یا در تناوب با بسیاری از گیاهان زراعی در جلوگیری از فرسایش خاک موثر هستند و نقش مهمی در پایداری نظام‌های کشاورزی ایفا می‌نمایند و برای تنوع بخشی به نظام‌های کشت مبتنی بر غلات به عنوان محصولات ممتاز در نظر گرفته می‌شوند. علاوه بر آن، گیاهانی کم توقع هستند که برای کشت در نظام‌های زراعی کم نهاده مطلوب و از این‌رو از نظر اکولوژی و زیست‌محیطی، در پیشگیری از آلودگی اراضی نقش دارند (پارسا و باقری، ۱۳۸۷). حبوبات منبع مهم ویتامین‌هایی مانند ریبوفلاوین، ویتامین ب و کاروتن می‌باشند و از لحاظ اسیدهای‌آمینه ضروری به‌ویژه لیزین غنی می‌باشند از این‌رو می‌توانند همراه با غلات مصرف شوند (بغدادی، ۱۳۸۴).

۲-۱-۲- گیاه شناسی

لوبیا چشم بلبلی (*Vigna sinensis* L.) گیاهی یک ساله، علفی، با رشد کم، بوته‌ای، نیمه بالارونده یا پیچک‌دار است. سیستم ریشه‌ای آن توسعه یافته، عمودی با تجمع گره‌های کروی تثبیت کننده‌ی نیتروژن می‌باشد. مقطع ساقه کم و بیش چهارگوش، کمی راه‌راه با گره‌های اغلب بنفش رنگ و گوشواره‌هایی برجسته و بیضوی است. قطر ساقه ۰/۵ تا ۱/۵ سانتی‌متر، به طول ۳۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر بسته به رقم و شرایط محیطی کشت، به رنگ‌های زرد، سبز روشن یا قهوه‌ای است. برگ‌های آن

متناوب، سه برگچه‌ای می‌باشند. پرچم‌ها دیادلفوس[1] (۹+۱) و تخمدان با ۱۲ تا ۲۱ عدد تخمک فشرده فشرده و چسبیده از طرفین (بدون پایه) و کمی کرک‌دار می‌باشد. گل‌ها به رنگ سفید، زرد یا بنفش دیده می‌شوند. غلاف‌ها، آویزان، خطی و به طول ۱۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر هستند. دانه‌ها از نظر شکل، اندازه و رنگ متفاوت می‌باشند. جوانه زنی لوبیا چشم بلبلی نیز به صورت اپی‌جیل[2] است. وزن هزاردانه از ۶۰ تا ۳۰۰ گرم متغیر است (پارسا و باقری، ۱۳۸۷).

۲-۱-۳- مراحل رشد و نمو

فنولوژی رشد و نمو در حبوبات به چهار مرحله جوانه‌زنی، رشد رویشی، گلدهی و غلاف‌دهی تقسیم می‌شود (جدول ۲-۱). جوانی‌زنی مناسب، نیاز اولیه برای استقرار گیاه است. رشد رویشی شامل شاخه‌دهی و توسعه کانوپی گیاه است. گل‌دهی در غالب حبوبات یک فرآیند پیوسته است که تا مرحله نمو غلاف ادامه دارد. در این گیاهان که گل‌دهی آن‌ها از نوع رشد نامحدود می‌باشد، رشد رویشی حتی در هنگام گل‌دهی و نمو غلاف ادامه می‌یابد. رسیدگی نیز معمولا با پیر شدن برگ‌ها توام است. مدت زمان هریک از مراحل فنولوژی بسته به رقم، فتوپریود، دما و آب قابل دسترس متغیر است (پارسا و باقری، ۱۳۸۷).

۲-۱-۴- سازگاری

گیاه لوبیا چشم بلبلی، لگومی سازگار به دمای بالا و خشکی است که در سطحی بالغ بر هفت میلیون هکتار و در مناطق گرمسیری جهان کشت و کار می‌شود. مناسب‌ترین دمای خاک برای رشد اولیه آن ۱۹ درجه سانتی‌گراد است و چنانچه دمای خاک کمتر شود، بذر خوب و سریع جوانه نخواهد زد.

1- Diadelphous
2 - Epigial = Epigel

جدول ۲-۱- مراحل رشد و نمو گیاه لوبیا (شارون اندرسون ۲۰۰۳)

روز پس از کاشت	توضیح مراحل	مرحله
۱۰	در اولین گره برگی، برگ‌ها رشد کرده‌اند.	V_1
۱۹	اولین گره در بالای اولین گره برگی، زمانی که لبه‌های برگ‌ها طویل نشده‌اند.	V_2
۲۹	سه گره در ساقه اصلی حاوی اولین گره برگی وجود دارد. شاخه‌های ثانویه از شاخه‌ی ایجاد شده مرحله V1 شروع می‌شوند.	V_3
گره جدید هر سه روز	**n گره در ساقه اصلی، اما شکوفه‌ها هنوز مرئی نیستند**	V_n
۴۰	گیاهان بوته‌ای (رشد محدود) اقدام به ظهور گل‌آذین نموده و وارد مرحله R_1 می‌شوند	V_5
۵۰	گیاهان رونده (رشد نامحدود) ممکن ظهور گل‌آذین نموده و وارد مرحله R_1 می‌شوند	V_8
	تیپ ۱ بوته‌ای رشد نامحدود (مرحله زایشی)	
۵۰	یک شکوفه از هر گره باز شده است	R_1
۵۳	در موقعیت اولین گره، غلاف‌ها به اندازه نصف طول خود می‌رسند و معمولا در گره ۲ تا ۳ ایجاد می‌شوند	R_2
۵۶	در موقعیت اولین گل‌ها طول غلاف‌ها به ۲/۵ سانتی‌متر می‌رسد. شاخه‌های ثانویه در تمام گره‌ها متراکم‌تر می‌شوند، اما طویل‌تر نمی‌شوند. نصف گلدهی صورت می‌گیرد.	R_3
۵۹	طول غلاف‌ها به ۸ سانتی‌متر می‌رسد. دانه‌ها قابل تشخیص نیستند. انواع بوته‌ای کوتاه هستند.	R_4
۶۴	طول غلاف‌ها ۱۰-۸ سانتی‌متر و دانه‌ها قابل تشخیص هستند.	R_5
۶۶	بذرها در حداقل ۰/۵ سانتی‌متر بالای خوشه اصلی قرار دارند.	R_6
۷۲	غلاف‌های اولیه دارای دانه‌های رشد یافته هستند. سایر قسمت‌های گیاه به رشد کامل رسیده‌اند. غلاف‌ها در تمام خوشه رشد یافته‌اند.	R_7
۹۰	برگ‌ها در بیش از نصف گیاه زرد شده‌اند، تعداد بسیار کمی از غلاف‌ها در زوایای شاخه‌های ثانویه ایجاد شده‌اند. غلاف‌های کوچک ممکن است خشک شوند. حداکثر تولید به‌وجود می‌آید.	R_8
۱۰۵	بلوغ، حداقل ۸۰٪ غلاف‌ها زرد شده‌اند و غالبا رسیده‌اند. تنها حدود ۴۰٪ برگ‌ها رنگ سبز دارند.	R_9
	تیپ ۲ فرم رشد رونده (مراحل زایشی)	
۴۰	یک شکوفه در هر گره باز می‌باشد، پیچک‌ها بروز می‌کنند.	R_1
۴۳	غلاف‌ها در موقعیت اول گل‌دهی به میزان ۱ سانتی‌متر طول دارند (۲ تا ۵ گره در اغلب گیاهان) گل‌ها کم‌کم ناپدید می‌شوند.	R_2
۴۶	غلاف‌ها به طول ۲/۵ سانتی‌متر در اولین موقعیت گلدهی قرار دارند. غلاف‌ها در بالاترین گره‌ها دیده می‌شوند. شکوفه‌ها به نصف تقلیل می‌یابند.	R_3
۵۰	در اولین موقعیت گل‌دهی، غلاف‌ها به طول ۵ سانتی‌متر می‌رسند.	R_4
۵۶	غلاف‌ها به ۸ سانتی‌متر رسیده‌اند و دانه‌ها با لمس قابل تشخیص هستند.	R_5
۶۰	غلاف‌ها به ۱۲ سانتی‌متر رسیده‌اند و دارای مهمیز با حداکثر طول هستند. بذرها کمتر از ۰/۵ سانتی‌متر در ساقه اصلی قرار دارند.	R_6
۷۰	غلاف‌های اولیه به طور کامل توسعه یافته و بذرها سبز شده‌اند. سایر قسمت‌های گیاه دارای حداکثر طول در غلاف‌شان بوده و بذور هم بدین شکل‌اند. غلاف‌ها در بالا و شکوفه‌ها بر روی پیچک‌ها دیده می‌شوند. ۱۳-۱۰ گره وجود دارند.	R_7
۸۲	شکوفه تازه به وجود می‌آید. غلاف‌های کوچک ممکن است خشک شوند. نقطه حداکثر تولید می‌باشند.	R_8
۹۴	بلوغ، حداقل ۸۰٪ غلاف‌ها زرد رنگ‌اند. غالبا رسیده‌اند. تنها ۳۰٪ از برگ‌ها هنوز سبز هستند.	R_9

حداقل دمای هوا برای جوانه‌زنی ۱۲ تا ۱۵ درجه سانتی‌گراد است و در دمای بین ۲۷ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد بهترین شرایط رشد و نمو را خواهد داشت. این گیاه حساس به سرما است و در یخبندن از بین می‌رود. لوبیا چشم بلبلی به خشکی هوا مقاوم است ولی خشکی خاک بر تولید محصول آن اثر نامطلوب می‌گذارد. آبیاری در مرحله‌ی گل‌دهی و تشکیل بذر ضروری است، حساس به آفات و بیماری‌ها می‌باشد. اسیدیته (pH) مناسب برای این گیاه ۷-۶/۵ می‌باشد ولی خاک‌های اسیدی (۵/۵-۵) را تحمل و در برخی مواقع به عنوان اصلاح کننده‌ی خاک‌های اسیدی کشت می‌شود، خاک‌های شنی رسی با زهکش مناسب بهترین شرایط خاکی برای این گیاه می‌باشد. گیاهی روز کوتاه است و در سیستم کشت مخلوط همراه با سورگوم، ارزن، ذرت، کاساوا و پنبه یا در فواصل ردیف کاشت درختان (در آمریکا بین درختان میوه و خشک‌بار) مورد استفاده قرار می‌گیرد (مجنون حسینی، ۱۳۸۷).

۲-۱-۵- سطح زیر کشت

یکی از سیاست‌های کلیدی دولت دستیابی به امنیت غذایی در تولید محصولات کشاورزی می‌باشد. سلامت و ارزش غذایی محصولات کشاورزی و توجه به ترجیح غذایی مصرف‌کنندگان، با توجه به تعریف جدید امنیت غذایی اهمیت فراوان دارد و تنها تامین انرژی و سیر شدن جمعیت کشور مد نظر نمی‌باشد. بر اساس برآورد انجام شده، از سرانه پروتئین و انرژی گیاهی در طول دوره برنامه چهارم، حبوبات نقش ویژه‌ای در تامین این منابع خوآهند داشت. به همین دلیل افزایش تولید حبوبات در برنامه مورد توجه قرار گرفته است، به نحوی که مقرر گردید میزان تولید حبوبات از ۶۴۷ هزار تن در سال ۱۳۸۳ به ۷۲۹ هزار تن در سال ۱۳۸۸ افزایش یابد. همچنین عرضه سرانه حبوبات در سال‌های برنامه چهارم یعنی ۱۳۸۴ تا ۱۳۸۸ به ترتیب ۷/۱، ۷/۳، ۷/۵، ۷/۶ و ۷/۸ کیلوگرم در سال‌های متوالی برآورد شده است. در سال زراعی ۸۴- ۱۳۸۳، ۱۰۶,۰۶۲ هکتار لوبیای آبی و ۵,۲۵۲ هکتار لوبیای دیم کشت گردید که میزان تولید به ترتیب ۲۰۹,۶۸۲ تن و ۶,۴۴۸ تن بود. متوسط عملکرد در هکتار لوبیای دیم و آبی به ترتیب ۱,۲۲۷ و ۱,۹۷۶ کیلوگرم در هکتار گزارش شد. بدین

ترتیب و در مجموع میزان تولید لوبیا از ۵۹,۷۶۱ تن در سال زراعی ۶۲-۱۳۶۱ به ۲۱۶,۱۳۱ تن در سال زراعی ۸۴-۱۳۸۳ در یک بازه‌ی ۱۲ ساله افزایش یافته است (قربانی، ۱۳۸۹).

۲-۱-۶- نیاز غذایی

مصرف عناصر ریز مغذی علاوه بر نقشی که در افزایش عملکرد کمی وکیفی محصولات کشاورزی دارند، در سلامتی انسان و دام که از مواد اولیه گیاهی استفاده می‌کنند تاثیر به سزایی دارند و این به دلیل وارد شدن این عناصر به قسمت‌های خوراکی این گیاهان مانند دانه گندم، جو، حبوبات و قسمت‌های سبزی و غیره است که به عنوان غذای روزمره مصرف می‌شوند. در مورد تاثیر عناصر ریز مغذی بر رشد و عملکرد حبوبات مختلف یا حتی یکی از حبوبات، بررسی کاملی به منظور دستیابی به ظرفیت عملکرد حبوبات، انجام نشده است. در محدوده اسیدیته مناسب کشت لوبیا (pH= ۶/۵-۷) اغلب عناصر غذایی برای گیاه قابل جذب می‌باشند. در بین حبوبات، لوبیا بیشتر از سایرین به عناصر کم مصرف واکنش نشان می‌دهد. کمبود عناصری مانند روی، بر، آهن، مولیبدن و مس باعث اختلال در رشد و نمو طبیعی گیاه و کاهش عملکرد می‌شود. بنابراین تیمار گیاهان با عناصر کم مصرف، در صورت بروز علایم کمبود باید صورت پذیرد (پارسا و باقری، ۱۳۸۷). مقدار جذب منیزیم در گیاهان مختلف متفاوت است و عموما گیاهان خانواده بقولات در مقایسه با غیر بقولات منیزیم بیشتری دارند. مصرف کود سولفات منیزیم در مرکبات، پنبه، ذرت، سیب زمینی، چغندرقند، نیشکر، گندم و حبوبات در صورتی که منیزیم قابل دسترس خاک ۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم یا کمتر باشد باعث افزایش عملکرد خواهد شد (ملکوتی و طهرانی، ۱۳۷۸).

۲-۱-۷- ارزش غذایی دانه

پروتئین موجود در دانه حبوبات ۲ تا ۳ برابر غلات و ۱۰ تا ۲۰ برابر بیشتر از برخی گیاهان غده‌ای است. نسبت نشاسته به پروتئین در حبوبات ۳ به ۱ و در غلات ۶ به ۱ است. این نسبت در گیاهان

غده‌ای ۱۵ به ۱ می‌باشد. البته پروتئین حبوبات از نظر اسیدهای آمینه گوگرددار نظیر متیونین و سیستئین فقیر می‌باشد. میزان عناصر معدنی نظیر کلسیم، آهن، منیزیم، روی، پتاسیم و فسفر نیز در دانه‌های حبوبات بالاست، هرچند حضور برخی ترکیبات ضد تغذیه‌ای قابلیت دسترسی آن‌ها را کاهش می‌دهد. همچنین حبوبات منبع خوبی از ویتامین‌های خانواده B نظیر تیامین، اسید فولیک و پانتوتنیک به شمار می‌آیند، در حالی که از نظر ویتامین A و C فقیر می‌باشند. ۱۰۰ گرم دانه پخته لوبیا چشم بلبلی دارای ۱۱۶ کیلوکالری انرژی، ۱ گرم چربی، ۸ گرم پروتئین، ۲۱ گرم کربوهیدرات، ۶ گرم فیبر رژیمی، ۴ میلی‌گرم سدیم، ۲۴ میلی‌گرم سدیم و ۲/۵۱ میلی‌گرم آهن می‌باشد (بقایی و حبیبی، ۱۳۸۷). بر خلاف غلات که غنی از نظر پروتئین‌های ذخیره‌ای پرولامین و گلوتلین، حبوبات از نظر گلوبولین‌ها و آلبومین‌ها غنی هستند که این امر مبین کیفیت غذایی بهتر آن‌ها می‌باشد (کوچکی و سرمدنیا، ۱۳۸۴). لگوم‌ها دارای دامنه وسیعی از ترکیبات ضد تغذیه‌ای، چون بازدارنده‌های تریپسین‌ها، لکتین‌ها، سیانوژن‌ها، ساپونین‌ها، آلرژن‌ها هستند. مقادیر این ترکیبات ضد تغذیه‌ای در گونه‌ها و واریته‌های مختلف متغیر است، اما به طور کلی لگوم‌ها مواد ضد تغذیه‌ای بیشتری نسبت به غلات دارند. مواد ضد تغذیه‌ای در لگوم‌ها، عامل مقاومت گیاهان در برابر هجوم حشرات یا عوامل بیماری‌زا در مزارع یا انبارها شناخته شده است. برای مثال مقاومت لوبیا چشم بلبلی در برابر عوامل بیماری‌زا به حضور مواد تریپسین و لکتین نسبت داده شده است. ترکیبات غذایی دانه لوبیا چشم بلبلی و لوبیای معمولی شبیه است، اما لوبیا چشم بلبلی اسید فولیک بیشتر و عوامل نفخ کمتری دارد (مجنون حسینی، ۱۳۸۷). متخصصین تغذیه معتقدند که لوبیا غذای نسبتاً کاملی است و تنها مصرف یک فنجان از لوبیای خشک، بیش از ۵۰ درصد حداقل نیاز روزانه اسید فولیک، ۳۰-۲۰ درصد نیاز آهن، ۲۵ درصد از نیاز منیزیم و مس و ۱۵ درصد از نیاز روی و پتاسیم را فراهم می‌نماید (برجی، ۱۳۸۹).

۲-۱-۸-عملیات زراعی حبوبات

۲-۱-۸-۱- کاشت

در ایران در مناطقی که گرمای تابستان به بالاتر از ۳۵ درجه‌سانتی‌گراد می‌رسد، لوبیای معمولی در اولین فرصت ممکن باید کشت شود تا گرمای تابستان به رشد رویشی و زایشی و عملکرد آسیبی نرساند. در این مناطق اواخر فروردین برای کشت مناسب است. لوبیا چشم بلبلی و ماش مقاومت بهتری به گرما دارند. تاریخ کاشت این محصولات را باید به نحوی انتخاب کرد که گلدهی آن‌ها در نیمه دوم مرداد، پس از کاهش نسبی دمای حداکثر صورت پذیرد و رسیدگی در اواخر مهر تا اوایل آبان تکمیل گردد. بنابراین با کاشت لوبیا چشم بلبلی و ماش در نیمه دوم خرداد، این شرایط حاصل می‌شود. عمق کاشت عامل مهمی در سبز کردن و استقرار محصول به‌ویژه در شرایط دیم است. عوامل متعددی از جمله بافت خاک، تاریخ کاشت، شرایط اقلیمی و اندازه بذر در عمق کاشت موثرند. در شرایط گرم وخشک، کاشت حبوبات بذر درشت در عمق بیشتر از ۷/۵ سانتی‌متر به‌ویژه در خاک‌های شنی قابل توصیه است. در خاک‌های بافت ریز در شرایط وجود رطوبت عمق کاشت ۵ سانتی‌متر مناسب‌تر است. برای حبوبات بذر ریز عمق کاشت ۲/۵ تا ۴ سانتی‌متر در شرایط وجود رطوبت، کافی است. مقدار بذر مطلوب عاملی کلیدی برای رسیدن به عملکرد بالقوه حبوبات است. این عامل بسته به نوع عملیات زراعی، تیپ رشدی، نوع خاک و غیره تغییر می‌کند. با وجود پوشش گیاهی ضعیف معمولا عملکرد کاهش می‌یابد. جمعیت گیاهی نباید فقط بر حسب تعداد گیاه در واحد سطح زمین بیان شود. بلکه باید به هندسه کاشت نیز توجه شود. توزیع یکنواخت گیاهان روی زمین به مصرف موثر عناصر غذایی، رطوبت خاک و نور کمک می‌کند و همچنین ممکن است علف‌های هرز را تحت فشار بیشتری قرار دهد که به عملکرد بیشتر می‌انجامد (پارسا و باقری، ۱۳۸۷).

۲-۱-۸-۲- داشت

بذور برای جوانه‌زنی علاوه بر نیازهای دمایی، نیازهای رطوبتی مشخصی نیز دارند. به طور مثال، در نخود فرنگی و باقلا بذر خشک برای جوانه‌زنی، حداقل بایستی ۸۰ تا ۱۲۰٪ وزن خود آب جذب نمایند و در این مقدار برای انواع بذر ریز ۸۵٪ و برای بذر درشت ۱۰۰٪ است. در نواحی گرمسیری، لوبیا به صورت دیم در فصل باران کشت می‌شود. کشت دیم لوبیا در ایران به دلیل عدم پراکنش مناسب بارندگی حتی در مناطقی که بارندگی به میزان کافی وجود دارد، با خطرات همراه است. مقدار آب مورد نیاز گیاه و تعداد دفعات آبیاری به جنس زمین و آب و هوای منطقه کشت بستگی دارد. در روش هیرم کاری فاصله اولین و دومین آبیاری بعد از کاشت با آبیاری‌های دیگر تفاوت دارد. اولین آبیاری بعد از کاشت بر اساس بافت خاک به فاصله ۲۰ تا ۳۰ روز می‌باشد. در این مدت بذرهای لوبیا جوانه‌زده و به مرحله دو برگی می‌رسند. آبیاری دوم به فاصله ۸-۱۲ روز و آبیاری‌های بعدی بسته به بافت خاک به طور متوسط هر ۴ تا ۸ روز یکبار انجام می‌شود. مرحله حساس لوبیا به تنش خشکی از ابتدای گلدهی تا مرحله تشکیل غلاف‌ها می‌باشد. کمبود آب در این دوره خسارت زیادی به لوبیا وارد می‌کند. آخرین آبیاری باید طوری انتخاب گردد که حدود ۲۵٪ از غلاف‌های لوبیا رسیده باشد (پارسا و باقری، ۱۳۸۷). در مزرعه به علت اینکه لوبیا چشم بلبلی دارای شاخ و برگ و قدرت رویشی زیادی می‌باشد اقدام به تنک بوته‌ها ضروری است تا فضای کافی برای استفاده کامل سایر گیاهان از نور آفتاب، مواد غذایی و رطوبت خاک فراهم گردد. معمولاً موقع کاشت، فاصله بذور را از یکدیگر ۵ تا ۶ سانتی‌متر در نظر می‌گیرند و وقتی بوته‌ها به مرحله ۳ یا ۴ برگی رسیدند و دیگر احتمال از بین رفتن بعضی از بوته‌ها به وسیله سله بستن خاک و امراض و آفات نباتی و غیره نمی‌رود، یک در میان بوته‌ها را تنک می‌کنند تا فاصله بوته‌ها از همدیگر به ۱۰ الی ۱۲ سانتی‌متر برسد و بتوان محصول خوبی برداشت نمود. در بعضی ارقام لوبیا چشم بلبلی به علت داشتن شاخ و برگ فراوان و سنگینی زیاد بعضی اوقات بوته‌ها به طرف زمین متمایل و با بوته‌های ردیف‌های بعدی مخلوط می‌شوند (مجنون حسینی، ۱۳۷۲).

۲-۱-۸-۳- برداشت

دوره کامل رشد لوبیا در ارقام مختلف آن‌ها متفاوت است. به طور متوسط در انواع مختلف لوبیا از کاشت تا رسیدگی حدود ۹۰ تا ۱۲۰ روز طول می‌کشد. زمان رسیدن محصول موقعی است که ساقه‌ها و غلاف‌ها زرد و کاملا خشک شده باشند. بعضی ارقام لوبیا خاصیت ریزش دارند و باید قبل از شروع ریزش، نسبت به برداشت آن‌ها اقدام شود (پارسا و باقری، ۱۳۸۷).

۲-۲- نانو تکنولوژی

نانو کلمه‌ای یونانی به معنی کوچک است که برای تعیین مقدار یک میلیاردم یا $۱۰^{-۹}$ یک کمیت استفاده می‌شود. چون یک اتم تقریبا ۱۰ نانومتر است، این اصطلاح برای مطالعات عمومی روی ذرات اتمی و مولکولی نیز به کار برده می‌شود. برای اولین بار ریچارد فاینمن (۱۹۸۱) برنده جایزه نوبل فیزیک، پتانسیل نانو را در یک سخنرانی تکان دهنده با نام ((در پایین فضاهای زیادی وجود دارد)) مطرح کرد. فاینمن اصرار داشت که دانشمندان ساخت وسائل لازم برای کار در مقیاس اتمی را شروع کنند. بعد از فاینمن، دکتر اریک درکسلر (۱۹۸۶) تعاریف نانو را کامل‌تر کرد. حوزه‌های کاربردی فناوری نانو شامل: مواد و ساخت و تولید، نانو الکترونیک و فناوری کامپیوتر، هوانوردی و اکتشافات فضایی، محیط زیست و انرژی، امنیت ملی، پزشکی و بهداشت و کشاورزی می‌باشد. طبق تعریف عمومی، نانوذرات فلزی ذراتی به ابعاد ۱ تا ۱۰۰ نانومتر هستند. از جمله نانو پودرهای اکسید فلزی می‌توان به سیلیکات (SiO_2)، تیتانیا (TiO_2)، آلومینا (Al_2O_3) و یا اکسیدهای آهن (Fe_2O_3 و Fe_3O_4) اشاره کرد. اکسیدهای آهن از لحاظ اقتصادی بسیار حائز اهمیت می‌باشند (خیام‌نکویی و همکاران، ۱۳۸۹).

نانوذرات در صنایع غذایی کاربرد فراوانی دارند. دی‌اکسید تیتانیا (لانگ و همکاران، ۲۰۰۶)، نانوذرات روی یا اکسید روی (وانگ و همکاران، ۲۰۰۷)، دی‌اکسید سیلیکون و کربن (چن و مایکز، ۲۰۰۵) و پلاتین یا نانو طلا (وانگ و همکاران، ۲۰۰۷) در مقیاس کوچکتر از ۱۰۰ نانومتر به عنوان

یک عامل ضد میکروبی برای بسته‌بندی، انبارداری و فریز کردن غذا استفاده می‌شوند. بسته‌بندی‌های نانویی طوری طراحی می‌شوند که دارای خاصیت ضد میکروبی، آنتی اکسیدانی (ماده‌ی ضد اکسیداسیون که از فاسد شدن جلوگیری می‌کند)، آنزیمی و معطر کردن می‌باشند (لاکاست و همکاران، ۲۰۰۵).

استفاده از نانو تکنولوژی سبب گسترش و پیشرفت در تحقیقات کشاورزی از جمله در تکنولوژی بذر، کاهش اتلاف انرژی مواد غذایی و علوم گیاه‌پزشکی (پیشگیری بیماری‌ها و درمان گیاهان با نانوذرات) می‌شود (کارمن و همکاران، ۲۰۰۳). نانو تکنولوژی نقش مهمی در تکنیک‌های مدیریتی جدید در کشاورزی دارد. در کشاورزی مرسوم، محلول‌پاشی عناصر در غلظت‌های بسیار ناچیز برای اثربخشی در عملکرد گیاهان استفاده می‌شود، در صورتی که در بسیاری از موارد مشکلاتی از قبیل آبشوئی مواد شیمیایی، فتولیز، هیدرولیز و فعالیت‌های میکروبی باعث کاهش اثربخشی آن‌ها به‌ویژه شرایط نامساعد از قبیل آلودگی خاک و آب می‌شوند. نانو کپسول‌های مربوط به کشاورزی (کشاورزی-شیمی) به صورتی طراحی شده‌اند که دارای حلالیت بالا، توانایی و اثربخشی مناسب و زیاد، کنترل زمان رهایش در پاسخ به شرایط محرک، افزایش فعالیت هدف و کاهش سمیت از طریق روش‌های صحیح و آسان می‌باشند. این مزایا سبب جلوگیری از استفاده مکرر مواد می‌شود (گرین و بیستمن، ۲۰۰۷).

۲-۲-۱- روش‌های سنتز نانوذرات

به طور کلی دو راه معمول برای تولید نانوذرات وجود دارد. در روش اول از ماده بالک (توده) شروع می‌شود و با شکستن آن به ابعاد ریز با استفاده از فرآیندهای مکانیکی، شیمیایی و یا انرژی‌های دیگر، نانوذرات را تهیه می‌نمایند، روش دیگر سنتز نانومواد از نمونه‌های مولکولی یا اتمی با واکنش‌های شیمیایی است که اجازه رشد ذرات را می‌دهد. هر دو شیوه در حالت‌های گازی، مایع، سیال سوپر الکتریکال و جامد انجام پذیر می‌باشند. در تولید ذرات باید به اندازه ذرات، شکل ذرات، توزیع سایز

ذرات، ترکیب ذرات و درجه الگومراسیون توجه نمود. از جمله روش‌های مختلف سنتز نانومواد می‌توان به اختلاط شدید، فشرده سازی پودر، آسیاب‌های پرانرژی، روش شیمیایی اچ کردن، انفجار الکترونی (دمایی/شیمیایی)، روش میکروامولسیون، پیزولیز شعله‌ای، هیدروترمال، هم رسوبی از محلول، سل-ژل، فرآیند سنتز احتراقی، سنتز بر پایه آئروسل، روش سوخت اکسیژن با سرعت بالا، فوتولیز و پیرولیز لیزری، تراکم شیمیایی بخار، تراکم مولکولی یا اتمی اشاره نمود. بعضی از روش‌های تشخیص ساختار اتمی و ترکیب شیمیایی مواد نانویی نیز شامل روش‌های اسپکتروسکوپی، اسپکتروسکوپی ارتعاشی، رزنانس مغناطیسی هسته‌ای، اسپکتروسکوپی اشعه ایکس و ماورای بنفش هستند. برای تعیین شکل و اندازه از میکروسکوپ‌های الکترونی (TEM، SEM)[1] و میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM)[2] استفاده می‌شود (خیام‌نکویی و همکاران، ۱۳۸۹).

۲-۲-۲- کاربرد نانو در کشاورزی

تغییر در تکنولوژی کشاورزی یکی از روش‌های اصلی و کلیدی در شکل‌دهی کشاورزی مدرن است. برای تولید غذا، تغییر و تحولات در کشاورزی، نانوتکنولوژی در ردیف جدیدترین تکنولوژهای می‌باشد. گسترش روش‌های استفاده از مواد نانو در بیوتکنولوژی گیاهان و کشاورزی می‌تواند کاربرد نوینی باشد (اسکرینیز و لیونز، ۲۰۰۷). گیاهان امکان انتقال نانوذرات در محیط و ایجاد مسیری تعیین کننده برای تجمع مواد در زنجیره‌ی غذایی را فراهم می‌کنند. مطالعات متعددی در مورد اثرات مختلف نانوذرات بر رشد و متابولیسم گیاه صورت گرفته است. دیواره‌ی سلولی گیاهان به عنوان یک ناقل برای ورود آسان هر عامل بیرونی (نانوذرات) به داخل سلول گیاهی می‌باشد. اندازه‌ی منافذ دیواره‌ی سلولی که در حدود ۲۰-۵ نانومتر است، نقش تعیین کننده‌ی در غربال مواد دارد. بنابراین اندازه (قطر) نانوذره‌ی تجمع یافته باید کوچکتر از منافذ دیواره‌ی سلولی باشد که قادر به عبور آسان و رسیدن به غشای پلاسمایی باشد (موری، ۲۰۰۶). زمانی که نانوذرات در سطح برگ استفاده می‌شوند،

1- Transmission Electron Microscope and Scanning Electron Microscope
2- Atomic Force Microscope

از طریق منافذ روزنه یا از طریق کرک‌های موجود در سطح برگ وارد و سپس به بافت‌های مختلف منتقل می‌شوند (یوزو و همکاران، ۲۰۱۰). استفاده از نانوذرات آهن برای پاک‌سازی محیط زیست از روش‌های جدید و اقتصادی برای رفع آلاینده‌ها می‌باشد (زهانگ، ۲۰۰۵). کنترل علف‌های هرز انگلی با استفاده از نانوکپسول‌های حاوی علف‌کش‌ها انجام می‌شود که بدین وسیله سبب کاهش مسمومیت گیاهی (گیاه سوزی) ناشی از علف‌کش‌ها روی گیاهان زراعی می‌شود. وظیفه نانو کپسول‌ها فراهم کردن شرایط نفوذ مواد به داخل پوست (کوتیکول) به صورت کند و کنترل شده است، طوری که مواد استفاده شده را به علف هرز مورد نظر برساند. همچنین نانوکپسول‌ها از طریق فرآیندهای شیمیایی با تجزیه مواد از طریق میکروارگانیسم‌ها می‌توانند سبب افزایش غلظت مواد یا ذرات در یک ناحیه و دسترسی آسان آن‌ها برای گیاهان شود (پرز- دی- لوک و دیگو، ۲۰۰۹).

۲-۲-۳- کاربرد نانوکودها[1]

این ترکیبات نانویی به سرعت و به صورت کامل جذب گیاه می‌شوند و به خوبی نیازها و کمبودهای غذایی آن را مرتفع می‌سازد. ذرات سموم کشاورزی به کمک باد، وارد هوا شده و با ورود به سیستم تنفسی انسان، وی را در معرض انواع بیماری‌های استنشاقی قرار می‌دهد. تحولات فناوری نانو با افزایش میزان سوددهی و کاهش عوارض سموم کشاورزی، معضلات ناشی از این سموم را رفع می‌کند و آنها را به محصولاتی کاملا مفید تبدیل می‌نماید. نانوکودها قابلیت رهایش کنترل شده یا تاخیری، جذب و تاثیر گذاری بیشتر و سازگاری با محیط زیست را دارا هستند. با استفاده از فناوری نانو امکان ایجاد کودهای شیمیایی با قابلیت فعال شدن در زمان مناسب و از بین رفتن فعالیت آن‌ها در زمانی که نیاز نیست امکان‌پذیر شده است (خیام نکویی و همکاران، ۱۳۸۹). کاربرد حامل‌های نانوذرات مورد نیاز در آینده نوید بخش کنترل یا رهایش مناسب و کنترل شده در انواع ترکیبات فتوسنتزی می‌باشد. پوشش‌دار کردن کودهای کند رها شونده/کنترل شده به وسیله‌ی نانوذرات مثل

1-Nanofertillizers

پلی‌استر رسی، پلی استر- هوموس و پلاستیک - نشاسته و ساختمان‌های انعطاف‌پذیر آن‌ها سبب واکنش، تحویل به موقع و منظم این مواد در گیاه گندم شده است. نانو کمپوزیت‌ها برای جوانه‌زنی بذور گندم (بیش از ۹۹٪ جوانه‌زنی)، سبز و رشد جوانه‌ها بی‌خطر هستند. همچنین نتایج آزمایش آبشوئی مواد نشان داد که سرعت رها شدن کود نیتروژن که به وسیله‌ی نانوکمپوزیت‌های پلاستیک – نشاسته پوشش‌دار شده بود، پایین‌تر بود همچنین سرعت رها شدن کودهای کند رها شونده‌ی پوشش‌دار پایین‌تر از کودهای کند رها شونده‌ی سخت شده بود (زهانگ و همکاران، ۲۰۰۶).

در مطالعه‌ای تاثیر نانواکسید تیتانیوم (TiO_2) بر جوانه‌زنی و رشد بذرهای اسفناج مشاهده گردید که نانوذرات سبب بهبود جذب نور و افزایش فعالیت روبیسکو گردند که در نهایت منجر به افزایش رشد اسفناج شد (زهانگ و همکاران، ۲۰۰۵). در کشت هیدروپونیک بذرهای کدوی سبز از نانوذرات اکسید روی استفاده شد و جوانه‌زنی و رشد ریشه مطالعه گردید و نشان داده شد که نانوذرات روی هیچ‌گونه تاثیر منفی ندارد (استاپولیس و همکاران، ۲۰۰۹) در حالی که جوانه‌زنی بذر چچم و ذرت به ترتیب توسط نانوذرات روی (۳۵ نانومتر) و نانواکسید روی (۲۵-۱۵ نانومتر) باز داشته شدند (لین و اکزینگ، ۲۰۰۷). نانوذرات نقره در فعالیت‌های ضد میکروبی برای کنترل تعدادی از بیماری‌های گیاهی استفاده شده است (پارک و همکاران، ۲۰۰۶). نانوذرات مغناطیسی آهن موجود در کشت، توسط بافت‌های گیاهی کدو تنبل جذب، حرکت و تجمع یافتند. در حالی که در لوبیا جذب، انتقال و تجمع صورت نگرفت. بنابراین نانوذرات مشابه در گیاهان مختلف عکس‌العمل‌های متفاوتی از خود نشان می‌دهند (زهو و همکاران، ۲۰۰۸). نتایج بدست آمده از آزمایشات خلج و همکاران (۱۳۸۸، الف) نشان داده است که محلول پاشی با نانوکود کلاته آهن خضرا (آهن ۹ درصد تولید شده در ایران) در مرحله ساقه‌دهی گیاه گندم موجب افزایش ۹۹ درصدی در عملکرد و افزایش ۳۲/۴ درصدی در مقدار آهن دانه گردید. همچنین این گروه (۱۳۸۸، ج) گزارش نمودند که افزایش میزان نانو کلات آهن خضرا به صورت چال‌کود بر عملکرد و تعداد میوه سیب گلاب اثر افزایشی داشت، ولی در مقدار آهن برگ از روندی کاهشی برخوردار بود. مصرف نانوکود آلی کلاته آهن خضرا روی سیب گلاب حدود

۴۵۰ درصد افزایش در باروری داشت که تفاوت معنی‌داری را نسبت به شاهد نشان داد. همچنین در آزمایش دیگری توسط خلج و همکاران (۱۳۸۸، ب) روی گیاه خیار مشاهده شد که میزان عناصر میکرو در میوه و برگ های موثر در فتوسنتز در خیارهای تیمار شده با کود خضرا بالاتر از خیارهای تیمار شده با کود مستر (آهن ۶/۸ درصد تولید اسپانیا) بود. همچنین بازارپسندی و ماندگاری خیارهای تیمار شده با این کود بهتر از تیمار کود مستر بود و در مجموع توانست رضایت کشاورز را جلب نماید و به عنوان جایگزینی برای کود خارجی مطرح گردید. استفاده از نانو کربنات کلسیم در مقایسه با اسید هیومیک و کودهای آلی منجر به پنجه‌زنی بیشتر بادام‌زمینی گردید. همچنین غلظت کم نانو کربنات کلسیم سبب افزایش تعداد برگ، سطح برگ، وزن خشک، قندهای قابل حل و پروتئین شد (لیو و همکاران، ۲۰۰۵).

۲-۳- آهن

۲-۳-۱- نقش آهن در سلامتی انسان

کمبود ریزمغذی‌ها به‌ویژه آهن و روی در انسان‌های سراسر جهان دیده می‌شود (هائو و همکاران، ۲۰۰۷). کمبود آهن باعث شیوع کم خونی[1] (کمبود آهن یا هموگلوبین پایین)، بیماری‌های عفونی و اختلال در توزیع هموگلوبین می‌شود. سازمان جهانی بهداشت تخمین زده است که کمبود آهن در کودکان زیر ۵ سال حدود ۳۹ درصد، کودکان بین ۱۴-۵ سال حدود ۴۸ درصد، همه زنان ۴۲ درصد و زنان آبستن ۵۲ درصد می‌باشد (زیمرمن و هرول، ۲۰۰۷). سازمان یونیسف و بررسی ریز مغذی‌ها (۲۰۰۴) اعلام کردند که در کشورهای واقع در مناطق آسیای مرکزی کمبود آهن سبب کم‌خونی به میزان ۳۳ تا ۴۹ درصد در کودکان زیر ۵ سال، ۳۱ تا ۶۳ درصد در زنان ۴۹-۱۵ سال شده است. آهن در رشد بدن دخالت دارد، از خستگی جلوگیری می‌کند، مقاومت در برابر بیماری‌ها را زیاد می‌کند، رنگ موزون به پوست می‌دهد (ملکوتی و طهرانی، ۱۳۷۹). تقریبا ۶۰ درصد از آهن بدن در همو

1-Anemia

گلوبین موجود در گلبول‌های قرمز خون و ۸ تا ۹ درصد در میوگلوبین (ماده رنگین عضلات) وجود دارد. هموگلوبین و میوگلوبین به ترتیب مسئول انتقال و ذخیره اکسیژن هستند. مقدار کمی از آهن نیز در عضلات به صورت اتصال پروتئینی ذخیره می‌شود. وجود آهن برای ادامه حیات، اساسی و ضروری است. همچنین آهن برای سوخت و ساز صحیح ویتامین B ضروری است (ضیائیان، ۱۳۸۲).

۲-۳-۲- نقش آهن در تغذیه گیاهان زراعی و باغی

آهن (چهارمین عنصر لیتوسفر) در حدود ۵ درصد از پوسته‌ی زمین را تشکیل می‌دهد. مقدار کل آهن موجود در خاک بین ۲۰۰ تا۱۰۰,۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم است، با این وجود بخش کمی از آن به صورت محلول (آهن دو ظرفیتی) می‌باشد، بنابراین مقدار کل آهن موجود در خاک نمی‌تواند روش دقیقی برای تشخیص کمبود آهن در گیاهان باشد. ترکیبات شیمیایی آهن که به صورت محلول به خاک اضافه می‌شود به سرعت به صورت مواد کم‌محلول تبدیل می‌شوند (تاگلیوینی و همکاران، ۱۹۹۵). آهن قابل دسترس (فرم قابل جذب) یک فاکتور اصلی برای تولید محصولات زراعی می‌باشد. ولی فاکتورهای محیطی در جذب، انتقال و مکانیسم‌های متابولیسمی آن نقش مهم و موثری دارند. از جمله می‌توان به عواملی نظیر اسیدیته بالا، غلظت بالای بی‌کربنات (HCO^{-}_{3}) محلول در خاک و افزایش سایر عناصر غذایی خاک اشاره کرد. کمبود آهن هم در خاک‌های اسیدی و هم در خاک‌های قلیایی ایجاد می‌شود. کاربرد مقدار زیاد یا کم آهن اثرات متفاوت و قابل توجهی در گیاهان ایجاد می‌کند، در هر دو شرایط ذکر شده منجر به جلوگیری از رشد و کاهش محتویات کلروفیل و در نهایت سبب جلوگیری از فتوسنتز می‌شود (نیکالیک و کاستوری، ۲۰۰۰). آهن موجب فعال شدن آنزیم‌هایی می‌شود که در سنتز RNA دخالت دارد و سبب افزایش کارآیی فرآیند فتوسنتز می‌شود. این عنصر اصلی آنزیم‌های کاتالاز، سیتوکروم اکسیداز و پراکسیداز می‌باشد و کمبود آهن باعث کاهش آنزیم‌های پورفیرین می‌شود (ملکوتی و طهرانی، ۲۰۰۵). همچنین عنصری ضروری برای بسیاری از فرآیندها و جزء اصلی حمل کننده‌های الکترون در سیستم فتوسنتز و کوفاکتورهای آنزیمی می‌باشد (کیا و

همکاران، ۲۰۰۵). آهن جزء ریزمغذی‌های ضروری است که نقش مهم وتعیین کننده‌ی در تولید تمامی محصولات کشاورزی دارد (یانگ و همکاران، ۲۰۰۳). به عنوان مثال کمبود آهن در خاک‌های آهکی و قلیایی مشکلی اساسی برای رشد سویا می‌باشد (ویرسم، ۲۰۰۵). در مجموع در سراسر دنیا کاربرد ریزمغذی‌هایی مثل آهن، روی، منگنز و مس از طریق محلول‌پاشی برای رفع علائم کمبود آهن به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک ضروری می‌باشد (کیا و همکاران، ۲۰۰۵). آهن پیری برگ‌ها را در حبوبات کاهش می‌دهد. کمبود آهن در مرکبات و غلات (پرز-سانز و همکاران، ۲۰۰۲)، لوبیا و سورگوم (لوکاس و کنزک، ۱۹۷۲) به عنوان مشکل عمده تغذیه گیاه در خاک‌های آهکی محسوب می‌شود. آهن می‌تواند از طریق کلات‌های آلی یا سنتز شده که به خاک اضافه و یا روی گیاه محلول‌پاشی می‌شود، جذب گیاه گردد.

۲-۳-۳- تشخیص علائم کمبود یا بیش بودن آهن در گیاهان

جذب آهن به وسیله‌ی ریشه گیاهان بستگی به صرف انرژی تنفسی دارد، و در صورت کاهش انرژی تنفسی، جذب آهن متوقف می‌گردد. از آن جایی که آهن عنصری غیر پویا است، نشانه‌های کمبود آن که عمدتا کم رنگ شدن سطح برگ‌ها (کلروزه) است، از برگ‌های جوان آغاز می‌شود. علت کم رنگ شدن برگ‌ها (رگبرگ‌ها سبز باقی می‌مانند) آن است که در صورت کمبود آهن، سبزینه به مقدار کافی ساخته نمی‌شود. در این حالت، ابتدا فاصله بین رگبرگ‌ها و سپس با شدت کمبود، به جز رگبرگ‌ها تمام سطح برگ زرد می‌گردد. اگر مقدار آهن در برگ‌های جوان از ۵۰ میکروگرم در هر گرم ماده خشک گیاهی کمتر باشد، بروز علایم کمبود آهن محتمل خواهد بود (ملکوتی و همایی، ۱۳۸۳). در شرایط کمبود آهن در گیاه سیب زمینی علائم کلروزه شدن در برگ‌های جوان ظاهر می‌شود و به دنبال آن لکه‌های رنگی براق در تمامی سطح برگ گسترش می‌یابد. در صورت تامین نشدن آهن مورد نیاز پهنک برگ نازک می‌گرددو سپس از بین می‌رود (چاترجی و همکاران، ۲۰۰۶). در غلات، برگ‌های دچار کمبود آهن، راه راه به نظر می‌رسند. در درختان میوه، زردی برگ در حالی‌که

رگبرگ‌ها کم و بیش سبز مانده‌اند، پدیده شایعی می‌باشد. با شدت کمبود، حاشیه برگ‌ها به سفیدی می‌گراید و سپس علائم سوختگی (نکروزه) مشاهده می‌گردد (سینگ، ۲۰۰۱). آهن موجود در خاک برای رشد و نمو گیاهان ضروری است، ولی افزایش غلظت‌های زیاد این عنصر از طریق افزایش رادیکال‌های آزاد اکسیژن و ایجاد تنش اکسیداتیو سبب بازدارندگی رشد و ایجاد علائم سمیت در گیاهان می‌شود (الوارزا و همکاران، ۲۰۰۲). سمیت آهن سبب کاهش رشد گیاه می‌شود و در شرایط سمیت شدید، سبب قهوه‌ای تا ارغوانی شدن رنگ برگ‌ها می‌گردد (کرولی، ۲۰۰۲). در انواع خاک‌های مدیترانه‌ای که دارای مقادیر زیادی از کربنات کلسیم آزاد ($CaCO_3$)، اسیدیته بالا و مواد آلی پایین هستند، علائم کمبود آهن مشاهده می‌گردد (رشید و ریان، ۲۰۰۴).

۲-۴- منیزیم

۲-۴-۱- نقش منیزیم در سلامت انسان

این عنصر در بعضی از اعضاء بدن مانند سر، تیموس و در خون و عضلات موجود است و مقدار آن در این اعضاء از کلسیم بیشتر است. منیزیم در تبدیل قند خون به انرژی، در مبارزه با افسردگی، تنظیم کار سیستم رگ‌های خونی و قلب نقش دارد. در جلوگیری از حمله‌ی قلبی موثر است. از رسوب کلسیم در کلیه‌ها و کیسه‌ی صفرا جلوگیری می‌کند و عمل هضم را آسان می‌سازد. بدن انسان بزرگ‌سال حاوی ۲۸-۲۰ گرم منیزیم است که ۶۰ درصد آن در استخوان، ۲۶ درصد در عضله و ماهیچه‌ها، ۱درصد در خون و بقیه در بافت‌های نرم و مایعات بدن وجود دارد. بیش از ۳۰۰ واکنش بیوشیمیایی در بدن برای فعالیت خود به منیزیم نیاز دارند، چرا که منیزیم موجب حفظ فعالیت نرمال ماهیچه و عصب، ضربان منظم قلب و استحکام استخوان‌ها می‌شود. همچنین منیزیم در سنتز پروتئین و متابولیسم انرژی نقش دارد. منیزیم در جلوگیری از بیمارهای رایج از جمله، فشار خون، بیماری‌های قلبی- عروقی، پوکی استخوان و دیابت نقش دارد. اگرچه مشاهده کمبود شدید منیزیم در بدن بسیار

نادر است ولی در صورت وجود علائم بالینی آن لرزش، بی‌اشتهایی، تهوع و استفراغ می‌باشد (بی نام، ۱۳۹۰).

۲-۴-۲- نقش منیزیم در تغذیه گیاهان

منیزیم عنصری فلزی به رنگ سفید نقره‌ای است که در گروه دوم جدول تناوبی قرار دارد. منیزیم هشتمین عنصر از نظر فراوانی در پوسته زمین می‌باشد. شباهت‌های زیادی بین کلسیم، منیزیم و پتاسیم در خاک‌ها موجود است. مقدار قابل استفاده آن‌ها در خاک تابعی است از درجه هوادیدگی کانی‌ها و میزان آبشوئی آن‌ها از خاک است. هر سه این عناصر به صورت کاتیون‌های تبادلی جذب می‌شوند که در مورد کلسیم و منیزیم به صورت یون‌های Ca^{2+} و Mg^{2+} می‌باشد. بیوتیت، دولومیت، اوژیت، سرپانتین، هورن‌بلند و اولیوین کانی‌های مهم منیزیم‌دار خاک محسوب می‌شوند (محمودی و حکیمیان، ۱۳۸۲).

منیزیم نقش کلیدی درفتوسنتز دارد. فعالیت خیلی از آنزیم‌های دخیل در فتوسنتز تحت تاثیر غلظت پایین منیزیم است و کمبود این عنصر در برگ‌ها منجر به کاهش بارزی در سرعت فتوسنتز می‌شود (هرمنز و همکاران، ۲۰۰۴). حضور منیزیم در فعالیت بیشتر آنزیم‌ها نسبت به سایر ریزمغذی‌ها ضروری‌تر است (اپساین و بلوم، ۲۰۰۴). منیزیم در تعداد بی‌شماری از فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیولوژیکی در طی رشد و گسترش گیاهان دخالت دارد. منیزیم در فعالیت ATPase، ریبولوز بی فسفات کربوکسیلاز، RNA پلیمراز، پروتئین کیناز و فسفاتاز، ضروری می‌باشد (شائول، ۲۰۰۲). حضور منیزیم در مرکز اتم کلروفیل بهترین فعالیت این عنصر را در گیاه بیان می‌کند. ۶ تا ۳۵ درصد کل منیزیم در کلروپلاست موجود می‌باشد و کمبود آن باعث تغییر رنگ برگ‌ها می‌شود (اسکات و رابسن، ۱۹۹۰). منیزیم موجود در خاک به سرعت مورد آبشوئی قرار می‌گیرد و در چنین شرایطی کمبود منیزیم قابل دسترس در محیط ریشه یک فاکتور مهم در تولید و کیفیت محصولات زراعی می‌باشد (هرمنز و همکاران، ۲۰۰۴). افزایش فعالیت‌های آنزیمی آنتی‌اکسیداتیو اشاره به تولید

رادیکال‌های آزاد اکسیژن در شرایط کمبود منیزیم دارد. کمبود منیزیم بر محتوی و فعالیت آنتی اکسیدان‌ها درمقابل تنش‌های اکسیداتیو در ذرت، فلفل، شاه‌توت، برنج و لوبیا (چکماک و کایروبی، ۲۰۰۸) تاثیرگذار بوده است. منیزیم از طریق افزایش رشد و سطح ریشه سبب افزایش جذب آب و مواد غذایی و انتقال ساکارز از برگ‌ها به ریشه می‌شود. همچنین منیزیم سبب بهبود انتقال کربوهیدرات‌ها از طریق افزایش صدور از فلوئم می‌شود. این عنصر از طریق کاهش رادیکال‌های آزاد و تنش اکسیداتیو، آسیب وارده به کلروپلاست در شرایط تنش خشکی را کاهش می‌دهد (واریچ و همکاران، ۲۰۱۱). کمبود و زیادی غلظت منیزیم از طریق ممانعت از انتقال پتاسیم از سیتوزول به طرف روزنه‌ها سبب آسیب به فتوسنتز می‌شود و این امر ممکن است در هموستازی منیزیم در کلروپلاست دخالت کند (شائول، ۲۰۰۲). کمبود منیزیم در مناطقی با خاک‌های اسیدی شنی که مورد آبشویی زیاد قرار گرفته‌اند و تبادل کاتیونی پایین دارند بیشتر مشاهده می‌گردد (آیتکن و همکاران، ۱۹۹۹). گاهی اوقات ریزش زودرس برگ و شاخه گیاه نیز در اثر کمبود منیزیم اتفاق می‌افتد. کمبود منیزیم در باغ‌های مرکبات، پنبه، گندم، نیشکر و علوفه به صورت پنهان است و در این شرایط مقاومت گیاهان در برابر خطرات سرمازدگی کاهش می‌یابد (محمودی و حکیمیان، ۱۳۸۲).

۲-۴-۳- تشخیص علائم کمبود منیزیم در گیاهان

علائم کمبود منیزیم بستگی به گونه‌ی گیاهی و سایر فاکتورها (از قبیل شدت نور) دارد. کمبود منیزیم ممکن است فقط به علت عدم حضور آن نباشد بلکه حضور سایر کاتیون‌های رقابتی نیز مانع جذب منیزیم می‌شوند. از جمله عناصر بازدارنده می‌توان به کلسیم در خاک‌های آهکی، هیدروژن، آمونیوم، آلومینیوم در خاک‌های اسیدی و سدیم در خاک‌های شور اشاره کرد. منیزیم یک ریزمغذی متحرک در گیاهان می‌باشد، بنابراین کمبود منیزیم ابتدا در برگ‌های مسن‌تر ظاهر می‌شود. کمبود منیزیم باعث گسترش وسیع کلروزه شدن و نقاط قرمز مایل به قهوه‌ای در سطح برگ‌ها می‌شود (مارشنر و چکماک، ۱۹۸۹). گیاهان پنبه که از نظر منیزیم در مضیقه باشند نیز تولید برگ‌های قرمز

متمایل به بنفش با رگبرگ‌های سبز می‌نمایند. برگ‌های سورگوم و ذرت نیز در اثر کمبود منیزیم به صورت راه راه در می‌آیند، به طوری که رگبرگ‌ها به رنگ سبز باقی می‌ماند و فاصله بین رگبرگ‌ها در گیاه سورگوم بنفش و در گیاه ذرت به رنگ زرد در می‌آید. در لگوم‌ها کمبود منیزیم به صورت کلروز برگ‌ها ظاهر می‌شود (محمودی و حکیمیان، ۱۳۸۲).

۲-۵- تغذیه گیاهان از طریق محلول‌پاشی

افزایش روز افزون قیمت کودهای شیمیایی در جهان، ضرورت اقتصادی بودن تولید، آلودگی آب‌های زیرزمینی و تخریب ساختمان خاک در اثر مصرف بی‌رویه و ناآگاهانه کودهای شیمیایی مشکلاتی است که باید با روش‌های مناسب حل شوند، از این جهت محلول‌پاشی روشی موثر و مناسب می‌باشد (ملکوتی و طهرانی، ۱۳۷۹). هنگامی که جذب مواد غذایی از راه ریشه محدود می‌گردد، محلول‌پاشی برگی انجام می‌شود. رایج‌ترین املاحی که برای محلول‌پاشی برگی به کار می‌روند، سولفات‌های آهن، منگنز، مس، منیزیم و بورات می‌باشند. غالبا می‌توان تمام نیاز گیاه را به عناصر کم نیاز در یک یا دو محلول‌پاشی برگی برآورده نمود. زیرا، مقدار مورد نیاز کم و در محدوده‌ی غلظت قابل تحمل گیاه برای ترکیباتی است که مورد استفاده قرار می‌گیرند. مهمترین عامل در محلول‌پاشی، سوختگی برگ است. اثر هر محلول بر سوختگی برگی با تفاوت فشار اسمزی بین محلول مصرف شده و شیره سلولی مشخص می‌گردد. اگر فشار اسمزی محلول بیش از فشار اسمزی شیره سلولی باشد، آب از نسوج گیاهی خارج و سوختگی حاصل می‌شود (ملکوتی و همایی، ۱۳۸۳). برای موثرتر بودن محلول‌پاشی بهتر است محلول‌پاشی در صبح یا عصر صورت گیرد، دمای محیط در هنگام محلول‌پاشی پایین‌تر از ۲۹ درجه سانتی‌گراد باشد، بهتر است پس از محلول‌پاشی، آبیاری مزرعه و باغ انجام گیرد، در هنگام محلول‌پاشی رطوبت نسبی هوا بالاتر از ۷۰٪ باشد، سرعت باد موقع محلول‌پاشی پایین باشد، اسیدیته محلول‌های تهیه شده بین ۶ تا ۸ باشد و چندین دفعه محلول‌پاشی برای عناصر غیر متحرک ضروری است (ملکوتی و طهرانی، ۱۳۷۹). برای رفع کمبود آهن می‌توان از کلات‌های مختلف به

صورت خاک مصرف، تلقیح با بذر و محلول‌پاشی استفاده کرد هر چند نتایج متناقصی هم گزارش شده است. محلول‌پاشی سویا با کلات آهن Fe-EDTA باعث افزایش عملکرد دانه سویا شد اما همین کلات آهن آغشته با بذر نتوانست تاثیر مثبتی داشته باشد (گوس و جانسون، ۲۰۰۰). رشید و ریان (۲۰۰۴) بیان کردند که چندین بار محلول‌پاشی آهن در طی دوران رشد رویشی سبب رفع علائم کلروزه شدن برگ‌ها در مدت زمان کوتاهی پس از محلول‌پاشی می‌گردد. محلول‌پاشی عناصری مثل بر، مس، منیزیم، منگنز و روی در شرایط خاک‌های ایران از مصرف آن‌ها به خاک به دلیل برطرف نمودن سریع کمبود، آسان‌تر بودن اجرای آن، کاهش سمیت ناشی از تجمع این عناصر در خاک و جلوگیری از تثبیت، مناسب‌تر است (ملکوتی و طهرانی، ۱۳۷۹). استفاده از مواد آلی (ارگانیک) تاثیر معنی‌داری بر میزان دسترسی به روی، آهن و منگنز دارد اما تاثیر کمی در میزان فعالیت یا در دسترس بودن مس خاک دارد (زنگ و همکاران، ۲۰۰۱). علاوه بر این فعل و انفعالات بین عناصر ماکرو و میکرو در میزان جذب میکروالمنت‌ها توسط گیاهان موثر هستند (اولاخ و مالهی، ۲۰۰۵). کاربرد خاک مصرف کودهای حاوی میکروالمنت‌ها در کشت و کار گیاهان ممکن است نیاز غذایی گیاهان برای رشد و نمو آن‌ها را برطرف ننماید در این شرایط محلول‌پاشی جایگزین مناسب و موثرتری می‌باشد (آریف و همکاران، ۲۰۰۶). به عنوان مثال محلول‌پاشی میکروالمنت‌های مختلف در گندم نسبت به مصرف خاکی آن سبب کارآیی یا سودمندی بیشتر آن و رفع کمبود عناصر میکرو در لایه‌های زیرین خاک شده است (تورن و همکاران، ۲۰۰۱).

۲-۶- اثر آهن و منیزیم بر رشد، نمو و عملکرد گیاهان

۲-۶-۱- سطح برگ

برای استفاده کار آمد از انرژی نور خورشید بایستی حداکثر تشعشع توسط بافت‌های سبز گیاه جذب گردد. در گیاهان یک ساله سطح برگ اولیه که از گیاهچه به‌وجود می‌آید در ابتدای فصل رشد کوچک می‌باشد. وجود این وضعیت باعث می‌شود که بیشتر تشعشع توسط زمین دریافت و سبب گرم

شدن زمین شود. با افزایش سطح برگ میزان دریافت تشعشع هم بیشتر می‌شود (کوچکی و سرمدنیا، ۱۳۸۴). حضور آهن با ایجاد رشد رویشی مناسب از طریق افزایش تعداد و سطح برگ، مشارکت در فتوسنتز، افزایش ارتفاع و ماده خشک زمینه تشکیل و توسعه اجزای عملکرد و در نتیجه عملکرد دانه را فراهم می‌نماید. اگر چه آهن در ساختمان کلروفیل شرکت ندارد، اما کمبود آن سبب کاهش میزان کلروفیل و نهایتاً سبب بروز علائم کمبود می‌شود (پین‌تو و همکاران، ۲۰۰۵). طی آزمایشی دو ساله توسط کالیسکن و همکاران (۲۰۰۸) کاربرد آهن تاثیر معنی‌داری بر شاخص سطح برگ سویا در مرحله‌ی گلدهی نداشت. رشد گیاه به‌واسطه‌ی کاربرد کودهای حاوی منیزیم از طریق افزایش سطح برگ و تولید وزن خشک و همچنین نسبت وزن خشک به سطح برگ، تحت تاثیر قرار می‌گیرد (تاکاس-هاجس و کیس، ۲۰۰۴). طی آزمایشات گلدانی در گیاهان ذرت و آفتابگردان مشخص گردید که کمبود آهن سبب کاهش وزن خشک برگ، سطح برگ، غلظت آهن و کلروفیل می‌گردد. همچنین ثابت شده است که ذرت در مقابل آفتابگردان نسبت به کمبود آهن حساس‌تر است، به طوری که ذرت برای رشد مطلوب به غلظت بالاتری از آهن احتیاج دارد (ماریوتی و همکاران، ۱۹۹۶). با کاربرد عناصر ماکرو و میکرو (نیتروژن، فسفر، پتاسیم، بر، روی و منیزیم) در گیاه ذرت علاوه بر تاثیر بر اجزای عملکرد، میزان تجمع ماده خشک و شاخص سطح برگ را نیز به‌طور معنی‌دار تحت تاثیر قرار داد. همچنین تاثیر مصرف منیزیم به‌صورت کلرور در افزایش شاخص سطح برگ بیشتر از تاثیر مصرف این عنصر به صورت سولفات بوده است (نوابی و ملکوتی، ۱۳۸۱).

۲-۶-۲- وزن خشک برگ

کمبود آهن سبب کاهش سنتز کلروفیل، سطح برگ، وزن تر و خشک برگ‌ها و رشد شاخه‌های جدید می‌شود و در نهایت سبب تاخیر در گلدهی و پایین آمدن عملکرد می‌گردد (نایجار، ۱۹۹۰). کاربرد آهن و روی در گیاه دارویی آنیسون تاثیری بر عملکرد برگ نداشت. حداکثر عملکرد برگ (۱۴۲۵ کیلوگرم در هکتار) از سطوح تیماری آهن و روی ۴ در هزار حاصل گردید که با تیمارهای

کودی آهن ۶ و روی ۴ در هزار اختلاف آماری نشان نداد. همچنین حداقل آن (۱۹۳ کیلوگرم در هکتار) نیز از سطوح آهن صفر و روی ۴ در هزار بدست آمد (ناطقی و همکاران، ۱۳۸۹). در برخی پژوهش‌ها کاربرد کلات آهن تاثیر معنی‌داری بر عملکرد سویا نداشت (هودجسون و همکاران، ۱۹۹۲) و یا حتی وزن خشک اندام‌هوایی سویا را کاهش داده است (رومی‌زاده و کریمیان، ۱۹۹۶).

کود سولفات منیزیم سبب افزایش قابل توجهی در میزان ماده خشک تولیدی طی دوره رشد گیاه عدس شد. سولفات منیزیم سبب تولید سطوح فتوسنتز کننده و برگ‌ها گشت و از طریق افزایش وزن خشک برگ‌ها بر میزان فتوسنتز گیاه اثر گذاشت و در نهایت سبب افزایش عملکرد گردید (یعقوبی، ۱۳۸۸).

۲-۶-۳- وزن خشک ساقه

طی آزمایشی با موضوع اثر کاربرد محلول‌پاشی کودهای میکروالمنت روی گیاه سیب‌زمینی مشاهده شد که، اثر مراحل فنولوژیک (قبل و بعد از گلدهی) بر وزن خشک ساقه در واحد سطح یک درصد معنی‌دار بود در صورتی که کودهای میکرو المنت (فوسامکو، فوسین آهن، فوسین روی و فوسین منگنز) تاثیر معنی‌داری در این صفت بر جای نگذاشتند. همچنین اثر متقابل این دو فاکتور بر وزن خشک ساقه در سطح آماری پنج درصد معنی‌دار بود (اسدی، ۱۳۸۹). همچنین کاربرد آهن روی اندام هوایی ژنوتیپ‌های مختلف سویا نشان داد که کاربرد آهن سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی در سه رقم بلک‌هاک، الجین و آ-۳۲۳۷ شد (قاسمی‌فسایی و همکاران، ۲۰۰۳).

با افزایش سطوح پتاسیم در آفتابگردان، وزن خشک ساقه و ریشه افزایش یافت در حالی که منیزیم در این دو صفت بی‌تاثیر بود، با افزایش سطوح پتاسیم مقدار آن در گیاه افزایش و مقدار منیزیم کاهش یافت اما افزایش سطوح منیزیم در میزان پتاسیم داخل گیاه تاثیر کمتری بر جای گذاشت (آمنوایسلیپا و همکاران، ۱۹۹۱). یکی از فعالیت‌های مهم منیزیم در گیاهان دخالت آن در تجمع ماده خشک در ریشه و ساقه می‌باشد. بر اساس شواهد، منیزیم در صدور مواد فتوسنتزی در

آوند آبکش (فلوئم) از منبع به مخزن نقش مهمی دارد، کمبود منیزیم سبب تجمع کربوهیدرات‌ها در منبع می‌شود. از این‌رو انتقال مواد کاهش و تجمع مواد منجر به تغییر در متابولیسم سنتزی کربن و محدود کردن تثبیت دی‌اکسیدکربن می‌گردد (هرمنز و همکاران، ۲۰۰۴).

۲-۶-۴- ارتفاع

بررسی کاربرد آهن در گیاه آفتابگردان در شرایط تنش شوری نشان داد که تعداد برگ غیر فعال، طول ساقه و میان‌گره و تعداد دانه در طبق افزایش یافت (شریعتمداری و همکاران، ۱۳۸۹). کاربرد کودهای آهن و روی بر عملکرد دانه گندم در سطح ۵ درصد از لحاظ آماری معنی‌دار بود، اما بر تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در مترمربع، طول ساقه، طول سنبلک و تعداد گره معنی‌دار نشد. کاربرد توام آهن و روی بیشترین طول ساقه با میانگین ۱۱۷/۷۲۸ سانتی‌متر را به خود اختصاص داد (قربانی و همکاران، ۱۳۸۹). بیشترین ارتفاع گیاه زراعی جو رقم ۱۳ سراسری مربوط به ترکیب تیماری مس، روی و آهن به میزان ۷۹ سانتی‌متر و کمترین ارتفاع مربوط به تیمار شاهد به میزان ۶۹ سانتی‌متر بود، هر چند بین این ترکیب کودی و کاربرد انفرادی آن‌ها اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (فتحی و عنایت‌قلی‌زاده، ۱۳۸۸). مصرف برگی عنصر ریزمغذی آهن سبب افزایش ارتفاع ساقه و در نهایت عملکرد ماده خشک در گیاه ذرت شد (ویتی وچامبلیس، ۲۰۰۵).

کاربرد سولفات پتاسیم و منیزیم در گیاه آفتابگردان وزن هزاردانه را افزایش داد ولی در ارتفاع بوته و قطر ساقه تاثیری نداشت (سپهر و ملکوتی، ۱۳۸۳). طی آزمایشی مشخص شد که رشد و نمو ذرت به طور قابل توجهی تحت تاثیر محلول‌پاشی منیزیم قرار می‌گیرد. در این آزمایش بیان شد که با محلول‌پاشی منیزیم ارتفاع ساقه ذرت افزایش می‌یابد (اشرف و قیصر، ۲۰۰۴). در بین ارقام گیاه عدس مورد مطالعه و روش‌های کاربرد سولفات منیزیم، بیشترین ارتفاع مربوط به تیمار خاک کاربرد + محلول‌پاشی در رقم Filip-92-12L با ارتفاع ۳۱/۱۸ سانتی‌متر و کمترین در تیمار شاهد رقم گچساران به ارتفاع ۲۳/۲۸ سانتی‌متر مشاهده گردید (یعقوبی، ۱۳۸۸).

۲-۶-۵- عملکرد و اجزای عملکرد گیاهان زراعی

بیشترین میکروالمنت‌ها به همان نسبت ماکروالمنت‌ها برای نیاز غذایی گیاه مهم هستند و کمبود هر یک از مواد مغذی می‌تواند سبب کاهش عملکرد شود. نیاز غذایی کافی گیاهان به میکروالمنت‌ها به فاکتورهای متعددی بستگی دارد. تعدادی از این فاکتورها شامل توانایی خاک برای نگهداری مواد غذایی، سرعت جذب مواد غذایی در محل‌های مورد نظر، تحرک مواد غذایی در درون گیاه و عکس‌العمل بین عناصر ماکرو و میکرو المنت‌ها می‌باشند (دیوال و پاریک، ۲۰۰۴). محلول‌پاشی میکروالمنت‌ها (مس، منگنز، آهن و روی) نقش ضروری در رشد گیاهان دارند. فرآیندهای متعددی چون (فتوسنتز، تثبیت نیتروژن، تنفس و دیگر فرآیندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی) تحت تاثیر ریزمغذی‌ها قرار می‌گیرند که در نهایت نقش مهمی در افزایش عملکرد ایفا می‌کنند (هال و ویلیامس، ۲۰۰۳). کاربرد مقدار خیلی کمی از ریزمغذی‌ها به خصوص روی، آهن و منگنز به شکل محلول‌پاشی سبب افزایش عملکرد گیاهان می‌گردد (ویسووا و همکاران، ۲۰۰۸).

کاربرد آهن در خاک‌هایی که مشکل کمبود این عنصر را دارند سبب افزایش عملکرد می‌گردد (قاسمی و همکاران، ۲۰۰۶). محلول‌پاشی آهن و روی در چندین محصول از جمله سیب‌زمینی سبب افزایش ۱ تا ۵۱ درصدی عملکرد در این گیاه شد (ال- هادی، ۱۹۸۶). کمبود آهن سبب کاهش قابل توجهی در عملکرد سویا می‌گردد (ویرسم و همکاران، ۲۰۰۵). طی آزمایشی در مورد تاثیر محلول‌پاشی عناصر روی و آهن بر گیاه سویا در شرایط تنش خشکی مشاهده گردید، بیشترین تعداد دانه در غلاف (۲/۳۶)، حداکثر غلاف در هر گره ساقه اصلی (۱/۷۳) و عملکرد دانه (۲۸۶/۶۶ کیلوگرم در هکتار) با کاربرد توام محلول‌پاشی آهن و روی به دست آمد. همچنین بیشترین وزن هزاردانه (۱۳۰/۶۱ گرم) در محلول‌پاشی سولفات آهن حاصل شد (جلیل‌شش‌بهره، ۱۳۹۰). در ۲۵ آزمایش اثر ریزمغذی‌ها بر گندم در خاک‌های آهکی بررسی شد که کاربرد آهن سبب افزایش معنی‌داری در عملکرد دانه، کاه و کلش، وزن هزاردانه و تعداد دانه در سنبله گردید (ضیائیان و ملکوتی، ۲۰۰۶). در طول ۲۵ سال آزمایشی که از سال ۱۹۷۱ در مورد مواد مغذی و جذب میکروالمنت‌ها توسط برنج و

گندم انجام شد، متوجه شدند که جذب آهن به وسیله‌ی تناوب برنج-گندم-لوبیا چشم بلبلی سبب تولید عملکرد به میزان ۶۱۶۹ تا ۲۲۷۴ گرم در هکتار گردید (سینگ و رام، ۲۰۰۵). در آزمایش قربانی و همکاران (۲۰۰۹)، بیشترین میزان عملکرد دانه در گندم مربوط به تیمار نیتروژن و ترکیب تیماری نیتروژن و آهن بود. همچنین بیشترین وزن هزاردانه مربوط به ترکیب تیماری نیتروژن و روی بود. عملکرد دانه در سویا از طریق کاربرد مس، منگنز، روی و کاربرد آهن به صورت جداگانه افزایش یافت. افزایش عملکرد از طریق کاربرد آهن در خاک ممکن است به دلیل در دسترس بودن آهن درون خاک باشد. همچنین افزایش عملکرد دانه از طریق محلول‌پاشی به دلیل جذب مستقیم عنصر به وسیله محلول‌پاشی آهن می‌باشد (هایتولت و همکاران، ۲۰۰۲). نتایج بررسی‌ها نشان داد که عملکرد دانه در گندم بستگی به قابلیت در دسترس بودن آهن قابل جذب و روی در خاک دارد. همچنین کاربرد توام این دو عنصر سبب بیشترین عملکرد شد (سیلسپور، ۲۰۰۷). مصرف ترکیب کلاته آهن در لوبیا سبب افزایش رشد، مقدار کلروفیل برگ، وزن صد دانه و عملکرد دانه نسبت به شاهد گردید (سینگ، ۲۰۰۰). در اثر کاربرد عناصر ریزمغذی (آهن و روی) در گیاه سیب‌زمینی رقم اگریا، مشاهده شد بیشترین میزان عملکرد (۴۸/۱۰ تن در هکتار) از تیمار کودی آهن ۲ در هزار و روی با غلظت ۸ در هزار (Fe_1Zn_3) به دست آمد، همچنین بیشترین تعداد غده‌ها از تیمار کودی آهن ۸ در هزار و روی ۲ در هزار حاصل گردید (جم و همکاران، ۱۳۸۹). به گزارش دستفال و همکاران (۱۳۸۵) استفاده از ریزمغذی‌های آهن و روی سبب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد در گندم گردید. این افزایش عملکرد حاصل افزایش اجزای عملکرد دانه شامل وزن هزاردانه، تعداد دانه در سنبله و تعداد سنبله در واحد سطح بود. به عقیده آن‌ها برای دست‌یابی به عملکرد بیش از هفت تن در هکتار مصرف ۲۵ کیلوگرم سکوسترین آهن ۱۳۸ و ۱۰۰ کیلوگرم سولفات روی در هکتار موثر است. کاربرد آهن به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و روی به میزان ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیز اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه آفتابگردان داشته است (سارکر و ساسمال، ۱۹۹۸). استفاده از نانوکود آهن در مزارع سبب ارتقای ۳۵۰ درصدی در کارآیی فتوسنتز و افزایش تولید کمی و کیفی محصولات می‌گردد. نتایج به دست آمده از طرح‌های

تحقیقاتی موسسه تحقیقات پسته کشور روی نانوکود کلاته آهن نشان داد که به کار بردن این نوع کود در باغات پسته سبب باروری درختان پسته و ارتقای تولید محصول می‌گردد (نظران، ۱۳۸۹). استفاده از ریزمغذی‌ها (آهن، روی و منگنز) به صورت منفرد و ترکیبی در گیاه آفتابگردان سبب تغییراتی در عملکرد دانه گردید، اگرچه تفاوت معنی‌داری برای وزن هزاردانه و میزان عملکرد در اثر استفاده از انواع عناصر ریزمغذی مشاهده نگردید (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۷). کاربرد عناصر ریزمغذی تاثیر معنی‌داری بر عملکرد بذر و دیگر صفات مورد بررسی در گیاه چغندرقند داشت. به‌طوری که بیشترین عملکرد بذر در واحد سطح با مصرف توام آهن و روی حاصل گردید (نصیری و همکاران، ۱۳۸۵). محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی آهن، روی و منگنز نشان داد که این عناصر تاثیر معنی‌داری بر عملکرد و اجزای عملکرد سیب‌زمینی داشتند و با افزایش غلظت آهن و به‌ویژه روی در محلول‌پاشی، عملکرد سیب‌زمینی افزایش یافت (همتی، ۲۰۰۴). محلول‌پاشی آهن در دو مرحله ساقه‌دهی و قبل از گلدهی به میزان ۰/۶ کیلوگرم در هکتار از منبع سکوسترین، سبب افزایش وزن هزاردانه، تولید روغن در واحد سطح، افزایش غلظت آهن در دانه‌های آفتابگردان شد (رشدی و رضادوست، ۲۰۰۵).

منیزیم و سایر عناصر غذایی با توجه به دخالت در فرآیندهای مختلف بیوشیمیایی درون سلول‌های گیاهی نقش غیر قابل انکاری دارند. هر عامل ثانویه‌ای که سبب غیر قابل دسترس بودن این عنصر شود، سبب ظهور علائم کمبود می‌گردد که می‌تواند به کاهش عملکرد و غلظت این عناصر در اندام‌های مختلف گیاه منجر شود. بنابراین با مصرف عناصر غذایی از جمله منیزیم در گیاهان علاوه بر افزایش تولید، می‌توان شرایط را برای بهبود کیفی و کمی محصول، تولید بذر قوی و افزایش بهره‌وری فراهم نمود (ملکوتی، ۱۳۷۹). آسیب به ریشه و کاهش سطح آن‌ها مسئله‌ای جدی برای جذب مواد معدنی و آب توسط ریشه می‌باشد. در شرایط کمبود آب و مواد غذایی در خاک استفاده از کودهای حاوی ریزمغذی‌ها ممکن است سبب کاهش تنش کمبود منیزیم در گیاهان‌گردد. محلول‌پاشی منیزیم روی محصولات سبب کارآیی بالا برای حفظ و بهبود عملکرد گیاهان بخصوص در شرایط کمبود آب می‌شود که جذب منیزیم توسط ریشه‌ها کاهش می‌یابد (چکماک و کایروبی، ۲۰۰۸). در آزمایش

قادری و همکاران (۱۳۹۰) نشان داده شد که عملکرد گندم آبی با مصرف سولفات منیزیم افزایش یافت و بین تاثیر تیمارهای مختلف کودی این تیمار در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌داری وجود داشت. بالاترین عملکرد با مصرف ۴۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات منیزیم حاصل گردید که اختلاف آن با تیمار شاهد ۳۴۵/۷ کیلوگرم در هکتار بود. همچنین از کاربرد توام ۱۵۰ کیلوگرم سولفات منیزیم و ۴۵۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم بیشترین میزان عملکرد بدست آمد که با شاهد در حدود ۵۰۷ کیلوگرم در هکتار اختلاف داشت. در آزمایش افضلی‌چالی و بابایی (۱۳۹۰) بیشترین عملکرد دانه کلزا در تجزیه مرکب دو ساله از تیمار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار مصرف منیزیم به دست آمد ولی طبق توصیه این دو نفر به دلیل این‌که کود منیزیمی مصرفی حاوی آنیون سولفات بوده است، این احتمال وجود دارد که بخشی از افزایش عملکرد مربوط به این آنیون باشد، بنابراین توصیه می‌شود که چنانچه کود سولفات منیزیم در اختیار باشد، مقادیر بیشتر از ۱۰۰ کیلوگرم استفاده نشود. البته اثر اصلی منیزیم سبب کاهش عملکرد دانه گردید. در سیستم‌های تولید گیاهان مخصوصا در خاک‌های حاصلخیز که تنها از نیتروژن، فسفر و پتاسیم استفاده می‌شود، کمبود منیزیم یک فاکتور مهم و محدود کننده محسوب می‌گردد (چکماک و یازیکی، ۲۰۱۰). در آزمایش حدادی و همکاران (۱۳۹۰) محلول‌پاشی منیزیم سبب افزایش معنی‌داری در میزان بور، منیزیم، نیتروژن کل و فسفر میوه خیار گلخانه‌ای شد. همچنین تعداد میوه و عملکرد کل نیز به طور معنی‌داری افزایش یافت. مصرف منیزیم به میزان ۷۵ کیلوگرم در هکتار اکسید منیزیم (MgO)، تاثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه آفتابگردان نداشت، ولی مصرف ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار موجب افزایش معنی‌دار عملکرد در سطح ۵ درصد گردید. به طوری‌که افزایش مصرف منیزیم از ۷۵ به ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سبب افزایش عملکرد دانه به میزان، ۳۲۳ کیلوگرم در هکتار شد (میرزاپور و همکاران، ۱۳۸۲). در آزمایشی دیگر مصرف ۱۰۰-۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات منیزیم عملکرد دانه آفتابگردان را به طور معنی‌دار افزایش داد. در حالی‌که مقادیر بالاتر تاثیر معنی‌داری در عملکرد دانه نداشت. بیشترین میزان عملکرد دانه در اثر استفاده از تیمار ۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات منیزیم معادل ۳۹۴۸ کیلوگرم در هکتار

حاصل گردید که نسبت به شاهد ۴۵۰ کیلوگرم در هکتار افزایش داشت، وزن هزاردانه نیز حدود ۴ گرم و قطر طبق ۱/۵ سانتی‌متر نسبت به شاهد (عدم مصرف منیزیم) افزایش نشان داد. در این آزمایش اثر متقابل پتاسیم و منیزیم بر عملکرد دانه، وزن هزاردانه و قطر طبق از نظر آماری معنی‌دار نشد (سپهر و ملکوتی، ۱۳۸۳). طی مطالعاتی در مزارع شهرستان‌های خوی، ارومیه، زنجان و گنبدکاوس علی‌رغم اختلاف در میزان پتاسیم و منیزیم خاک و آب آبیاری، عملکردهای متفاوتی در آفتابگردان حاصل گردید. مصرف تیمار (NPK + Mg) به ترتیب در شهرهای مذکور سبب تولید ۴۵۹۰، ۴۵۰۰، ۳۵۶۰، ۱۶۰۰ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه در آفتابگردان شد. همچنین کاربرد تیمار (ریزمغذی‌ها + NPK + Mg) در همین شهرستان‌ها سبب تولید عملکرد دانه به میزان ۵۰۱۰، ۴۸۰۰، ۴۴۱۵ و ۱۹۷۵ کیلوگرم در هکتار گردید (ملکوتی، ۱۳۸۰ الف). در آزمایشی دیگر تیمار پتاسیم و منیزیم هر کدام به مقدار ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار همراه با عناصر کم مصرف بهترین اثر را در عملکرد دانه در کلزا داشت (جلیلی و کسرایی، ۱۳۷۹). محلول‌پاشی توام منیزیم و بور سبب بهبود عملکرد دانه سویا گردید و کاربرد هر یک به صورت منفرد تاثیری بر عملکرد نداشت. کاربرد توام این دو عنصر سبب افزایش تعداد غلاف در ساقه‌های اصلی به میزان ۱۸ درصد و در شاخه‌های فرعی به میزان ۴۴ درصد گردید (رینبوت و بلوینس، ۱۹۹۵). محلول‌پاشی منیزیم همراه با عناصر ریزمغذی بور، مولیبدن و منگنز در ابتدای گل‌دهی لوبیا سبب افزایش عملکرد دانه، وزن هزاردانه و تعداد غلاف در بوته شد (زیولیک و همکاران، ۱۹۹۲). محلول‌پاشی سولفات منیزیم عملکرد دانه در گیاه نخود را نیز به طور قابل توجهی افزایش داد (تاکاس-هاجس و کیس، ۲۰۰۴). مصرف کود سولفات منیزیم برای افزایش عملکرد محصولات زراعی از جمله ذرت، مفید گزارش شده است. سولفات منیزیم علاوه بر تامین منیزیم مورد نیاز گیاه، گوگرد را نیز به صورت قابل استفاده و قابل دسترس برای گیاه فراهم می‌نماید (ملکوتی و نفیسی، ۱۳۷۶).

۲-۷- تاثیر آهن و منیزیم بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی گیاهان

۲-۷-۱- پایداری و خسارت غشای پلاسمایی

غشاء سلول‌های گیاهی در مقابل حرکت آب و محلول‌های مختلف به صورت مانعی با نفوذپذیری متفاوت عمل می‌کند و سبب تنظیم محلول‌ها در سلول و ایجاد تورژسانس مثبت می‌گردد. در اثر آسیب‌پذیری غشاء سیتوپلاسمی محتویات سلول به بیرون تراوش می‌نماید که مقدار این خسارت را از طریق اندازه‌گیری مقدار نشت یونی می‌توان تعیین کرد. به نظر می‌رسد که ارقامی که نشت یونی کمتری دارند به خشکی متحمل‌تر هستند (خورشیدی‌بنام و همکاران، ۱۳۸۱). فراوان‌ترین پروتئین غشای پلاسمایی H^+-ATPase می‌باشد که در محاسبات صورت گرفته مقدار آن تقریبا ۵ درصد از پروتئین غشای پلاسمایی ریشه را تشکیل می‌دهد (سوسمن، ۱۹۹۴). تنظیم فعالیت‌های گیاهی در شرایط تنش محیطی برای ادامه‌ی بقا ضروری می‌باشد (مورسم و بوتری، ۲۰۰۰).

استفاده از سولفات آهن ($FeSO_4$) و کلرید آهن ($FeCl_3$) در محیط کشت حاصل از غشای پلاسمایی وزیکول جدا شده از سلول‌های ریشه گندم سبب ممانعت از فعالیت H^+-ATPase غشای پلاسمایی می‌شود. کلرید آهن نسبت به سولفات آهن ممانعت کننده‌ی قوی‌تری در فعالیت این پمپ می‌باشد (یانگ و همکاران، ۲۰۰۳). کلات‌های یونی مانند $EDTA\text{-}Na_2$ از بازدارندگی کامل فعالیت H^+-ATPase غشای پلاسمایی به‌وسیله‌ی آهن فرو و فریک (Fe^{2+} و Fe^{3+}) جلوگیری می‌کند. نتایج نشان داده است که آهن در شرایط بیش از حد نیاز سبب تشکیل رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌گردد و سبب عدم فعالیت H^+-ATPase غشای پلاسمایی می‌شود (داویس، ۱۹۸۷). همچنین آهن فرو (Fe^{2+}) می‌تواند سبب تولید پراکسید هیدروژن در سلول و به دنبال آن تجمع گونه‌های فعال اکسیژن شود و ایجاد تنش اکسیداتیو نماید (هندری و براکلیبانک، ۱۹۸۵). در مکان‌های مشخصی آهن سبب محدود شدن سنتز پروتئین‌ها و بقایای آمینو اسیدها می‌شود که در نهایت نتیجه آن تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن است (سوزا-سانتوس و همکاران، ۲۰۰۱).

تنش اکسیداتیو می‌تواند سبب تغییر در فعالیت آنزیم‌ها، بروز ژن، آزادشدن کلسیم از فضاهای سلولی، تخریب غشا، کاهش رشد و در نهایت مرگ سلول‌ها شود (رابیسون و همکاران، ۲۰۰۲). طی مطالعات مختلف تاثیر کمبود منیزیم نیز بر فعالیت و محتوی آنتی‌اکسیدان‌ها در گیاه لوبیا (چکماک، ۱۹۹۴)، ذرت (تیواری و همکاران، ۲۰۰۴)، شاه‌توت (تیوری و همکاران، ۲۰۰۶) و برنج (دینگ و همکاران، ۲۰۰۸) نشان شده است. در شرایط کمبود منیزیم فعالیت پراکسید هیدروژن زیاد می‌شود و در صورت برطرف شدن نیاز گیاه فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها در برابر رادیکال‌های آزاد اکسیژن افزایش می‌یابد. کمبود منیزیم در بارگیری مواد از منبع در گیاهان موثر می‌باشد. اگر چه این موضوع هنوز به صورت کامل ثابت نشده است. ولی به نظر می‌رسد که نقش منیزیم به تاثیر بر فعالیت کمپلکس Mg-ATP در محل بارگیری در آوند آبکش مربوط می‌گردد. به طور کلی اعتقاد بر این است که این کمپلکس برای فعالیت و عملکرد H^+-ATPase و همچنین برای تامین انرژی مورد نیاز آنزیم‌های دخیل در فرآیند بارگیری در آوند آبکش و حفاظت از منبع انتقال مواد به آوند آبکش ضروری می‌باشد. وجود منیزیم به اندازه‌ی کافی برای حداکثر انتقال کربوهیدرات‌ها به اندام‌های مخزن (ریشه‌ها و بذرها) ضروری و برای دستیابی به عملکرد بالا لازم می‌باشد. علاوه بر این وجود مواد مغذی (منیزیم) برای ادامه‌ی مراحل بعدی رشد و همچنین برای کاهش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن و آسیب فتواکسیداتیو در کلروپلاست ضروری می‌باشد. در این شرایط کاربرد منیزیم به شکل محلول‌پاشی مفیدتر خواهد بود (چکماک و یازیجی، ۲۰۱۰). یکی از واکنش‌هایی که در حضور گونه‌های فعال اکسیژن سرعت بیشتری پیدا می‌کند، پراکسیداسیون لیپیدهای غشائی است که سبب تولید آلوئیدهایی مانند مالون دی آلدئید[1] و اتیلن می‌شوند (لیو و هونگ، ۲۰۰۰). افزایش پراکسیداسیون چربی و به دنبال آن کاهش شاخص پایداری غشاء سلول در گیاه لوبیا مشاهده شده است (تورکان و همکاران، ۲۰۰۵). از جمله عوامل مهم و موثر در آسیب به غشا سن برگ و موقعیت برگ در ساقه می‌باشد (باندروسکا و اسکوزک، ۱۹۹۵). مشاهده شده است که بین درصد آسیب به

1-Malondialdehyde (MDA)

غشاء سلولی با عملکرد دانه در گندم رابطه‌ای منفی وجود دارد (سینگ و همکاران، ۱۹۹۲). منیزیم با کلسیم و پتاسیم برای مکان‌های جذب واقع در غشاء ریشه رقابت می‌کند (خوش‌گفتارمنش و سیادت، ۱۳۸۱).

۲-۷-۲- غلظت آهن و منیزیم در اندام‌های هوایی

طی آزمایشی برای مقایسه اثر اکسیدهای آهن معمولی و نانو ضایعاتی بر جذب و تجمع آهن در گیاه گندم مشاهده گردید که مقدار جذب و غلظت آهن در گندم با کاربرد نانواکسید آهن در مقایسه با اکسید آهن معمولی به طور معنی‌داری بیشتر بود. همچنین متناسب با افزایش هر دو نوع اکسیدهای آهن مصرفی مقدار جذب و غلظت آهن گیاه افزایش یافت (مظاهری‌نیا و همکاران، ۱۳۸۸). طبق نتایج حاصل از کاربرد دو عنصر روی و آهن در گیاه کلزا مشاهده شد که، بیشترین میزان آهن برگ مربوط به تیمار محلول‌پاشی آهن بود، هرچند با تیمار کاربرد توام خاکی + محلول‌پاشی آهن و روی اختلاف معنی‌داری نداشت (بایبوردی و مامدو، ۲۰۱۰). مظاهری‌نیا و همکاران (۱۳۸۸) گزارش کردند افزایش مصرف کود آهن سبب کاهش جذب منگنز و افزایش روی و مس در گندم گردید. همچنین بر اساس نتایج آن‌ها، کمپوست گرانوله گوگردی میزان جذب هر سه عنصر را افزایش داد و مقدار جذب گیاهی هر سه عنصر با مصرف اکسید آهن در اندازه نانو در مقایسه با اکسید آهن معمولی کمتر بود. افزایش غلظت آهن کاربردی از ۰/۰۰۱ تا ۲ میلی‌مول سبب افزایش آهن در تمام قسمت‌های هوایی گیاه سیب‌زمینی شد. اگر چه با افزایش غلظت آهن، میزان آهن برگ افزایش یافت ولی بیشترین میزان غلظت آهن به ترتیب در ریشه، برگ، ساقه و غده مشاهده گردید (چاترچی و همکاران، ۲۰۰۶). نتایج حاصل از کاربرد خاکی کودهای ریزمغذی در گندم بیانگر افزایش معنی‌دار در درصد کلروفیل و غلظت آهن برگ در سطح احتمال ۱ درصد بود. بیشترین غلظت آهن برگ (۳/۷۳ پی‌پی‌ام) در زمان استفاده از ۲۰ کیلوگرم در هکتار آهن سکوسترین حاصل شد (ایزدی‌خرامه و همکاران، ۱۳۹۰). صالح (۱۳۸۷) طی آزمایشی روی درخت میوه لیمو به این نتیجه رسید که بین

میانگین غلظت آهن در برگ گیاه در سال اول و دوم تفاوت آماری وجود داشت، به طوری که از حدود ۱۵۳ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک گیاه در سال اول به حدود ۱۶۲ میلی‌گرم در کیلوگرم در سال دوم افزایش پیدا کرد. بالاترین غلظت در هر دو سال در تیمار (تغذیه متعادل عناصر اصلی و کم مصرف + مصرف ۵۰۰ گرم سولفات آهن به صورت چال‌کود) + محلول‌پاشی سولفات آهن (با غلظت ۵ در هزار) و کمترین در تیمار شاهد مشاهده گردید. در اثر کاربرد عناصر کم مصرف در انگور نیز اختلاف کاملا معنی‌داری بین تیمارها از نظر غلظت آهن، روی و مس در برگ وجود داشت. بیشترین غلظت این عناصر در برگ، در تیمارهای چهارم (محلول‌پاشی با کود کامل میکرو) و ششم (محلول پاشی فروت ست [1]زمستانه با نیتروژن، روی و بور + محلول پاشی با کود کامل میکرو + مصرف خاکی کودهای حاوی عناصر کم مصرف و پرمصرف) مشاهده گردید (عزیزی و ملکوتی، ۱۳۸۰). کاربرد کلات آهن در شرایط کمبود آهن سبب افزایش غلظت آهن فعال در برگ‌های سویا تا ۴۲ درصد در مقایسه با شاهد گردید (هاجسون و همکاران، ۱۹۹۲). کاربرد پتاسیم و آهن در گیاه برنج تاثیر معنی‌داری بر میزان آهن و پتاسیم بخش هوایی داشت، ولی اثر آن بر آهن ریشه معنی‌دار نبود. بیشترین میزان آهن در بخش هوایی با کاربرد ۵۰ میلی‌گرم در لیتر به میزان ۰/۴۳۷ میلی‌گرم به ازای گرم ماده‌ی خشک مشاهده گردید. همچنین بیشترین غلظت آهن ساقه در ترکیب تیماری کاربرد توام ۰/۵ میلی‌مول پتاسیم و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر آهن مشاهده شد (شمالی و همکاران، ۱۳۸۶).

براساس نتایج حاصل از آزمایشی در مورد اثر منیزیم و پتاسیم بر رشد و عملکرد آفتابگردان در خاک شور مشاهده شد که، مصرف پتاسیم تاثیری معنی‌داری بر غلظت کلسیم و منیزیم در برگ نداشت. ولی مصرف اکسید منیزیم تا سطح ۷۵ کیلوگرم در هکتار سبب افزایش غلظت کلسیم شد و افزایش بیش از این سطح نتیجه‌ی عکس داد. همچنین مصرف منیزیم، تاثیری بر غلظت منیزیم برگ نداشت (میرزاپور و همکاران، ۱۳۸۲). نتایج واکاری برگی در پرتقال نشان داد که در اثر محلول‌پاشی سه عنصر منیزیم، روی و منگنز، غلظت عناصر روی و منگنز در برگ افزایش یافت ولی غلظت منیزیم

1- Fruitset

برگ تغییری نکرد (تدین و رستگار، ۱۳۸۳). در آزمایشی دیگر در مورد جذب پتاسیم و منیزیم در گیاه ذرت در حضور میکوریزا، بیشترین میزان منیزیم در ریشه و اندام هوایی در تیمار کاربرد توام پتاسیم و منیزیم (۳۶۰ میلی‌گرم در لیتر پتاسیم و ۷/۲ میلی‌اکی‌والان در لیتر منیزیم) و کم‌ترین آن در تیمار کاربرد توام پتاسیم و منیزیم (۴۸۰ میلی‌گرم در لیتر پتاسیم و ۹/۶ میلی‌اکی‌والان در لیتر منیزیم) مشاهده گردید (خانپوراردستانی و همکاران، ۱۳۸۷). در مطالعه احسانی و همکاران (۱۳۹۰) روی گیاه سویا، بیشترین میزان منیزیم (۰/۵۷ درصد) در اندام هوایی این گیاه با مصرف ۷۵۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد (۰/۵۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) حاصل گردید. به عقیده آن‌ها افزایش غلظت منیزیم در اثر افزایش سطوح گوگرد می‌تواند به دلیل کاهش pH خاک و کاهش دفع آن از خاک باشد. میزان منیزیم در ساقه گیاه نخود نیز با افزایش سطوح گوگرد مصرفی افزایش یافت. استفاده یا عدم استفاده از کود منیزیم تاثیری بر جذب منیزیم توسط گیاه نداشت (توگای و همکاران، ۲۰۰۸). واتلی (۱۹۷۱) بیان کرد که در شرایط کمبود منیزیم غلظت نشاسته در برگ‌های گیاه لوبیا چشم بلبلی افزایش می‌یابد. او برای این نتیجه دلیلی ذکر نکرد. کاربرد کودهای منیزیم‌دار، به‌خصوص اکسید منیزیم در گیاه ذرت سبب افزایش غلظت این عنصر در بافت‌های گیاهی شد به‌طوری که غلظت منیزیم در برگ بیش از ۱۰۰ درصد شد (بوسکوئیک-راکوئیک، ۲۰۰۴). کاربرد سولفات منیزیم و تنظیم کننده‌های رشد سبب افزایش منیزیم دانه و برگ گیاه تریتیکاله گردید (کازایلا و همکاران، ۲۰۰۷).

۲-۷-۳- کلروفیل

از بین عناصر غذایی ضروری برای گیاهان، آهن نقش مهمی در ساختمان برخی آنزیم‌ها شامل کاتالازها، پراکسیدازها، فرودکسین و تعدای از سیتوکروم‌ها ایفا می‌کند که در فتوسنتز و احیاء ترکیباتی مانند نیتریت، سولفات و نیتروژن نقش حیاتی دارند و آهن نقش ضروری در متابولیسم کلروفیل ایفا می‌کند. کمبود آهن در گیاهان سبب کاهش کلروفیل و زردی برگ‌ها می‌گردد که این

حالت به دلیل اختلال در بیوسنتز کلروفیل می‌باشد (سلطانا و همکاران، ۲۰۰۱). کاربرد آهن سبب افزایش فتوسنتز، آسیمیلات خالص و رشد گیاه برنج در شرایط تنش (آبیاری با آب دریا) می‌گردد (سلطانا و همکاران، ۲۰۰۱). کمبود آهن و منگنز در آفتابگردان، ذرت و جو مورد بررسی قرار گرفتند و مشاهده شد کمبود این عناصر سبب کاهش غلظت کلروفیل برگ و در نهایت کاهش عملکرد گردید (ماسونی و همکاران، ۱۹۹۶). در شرایط کمبود آهن، تعداد رنگدانه‌های فتوسنتز کننده و مقدار کلروفیل برگ‌های گیاه نیشکر کاهش یافت (مورالیز و همکاران، ۱۹۹۰). بیشترین غلظت کلروفیل در برگ‌های گیاه گندم در اثر کاربرد آهن از منبع سیترات با غلظت ۵ میلی‌گرم در لیتر به میزان ۳۶/۱۶ (واحد اسپد) مشاهده گردید، هرچند با ترکیب تیماری آهن ۵ و روی ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر اختلاف معنی‌داری نداشت (آی-وینگ و همکاران، ۲۰۱۱). در آزمایش کیانی و همکاران (۱۳۹۰) نشان داده شده است که افزایش غلظت آهن در محلول غذایی از ۱/۵ به ۲۴ میکرومولار در گل رز سبب افزایش معنی‌دار غلظت آهن برگ گردید. همچنین میزان آهن در محلول غذایی سبب افزایش معنی‌دار شاخص میزان کلروفیل برگ شد که این امر به دلیل افزایش غلظت آهن برگ بود به طوری که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین میزان آهن برگ و شاخص کلروفیل برگ دیده شد.

منیزیم در فرآیندهای گیاهی نقش کلیدی دارد. از جمله‌ی فرآیندهای متابولیکی می‌توان به فتوفسفوریلاسیون (ساخت ATP در کلروپلاست)، فتوسنتز، سنتز پروتئین، تشکیل کلروفیل، بارگیری فلوئم (آوند آبکش)، تقسیم و بهره‌وری از فتوآسیمیلات‌ها، جلوگیری از تشکیل رادیکال‌های آزاد اکسیژن و فتواکسیداسیون در بافت‌های برگ اشاره کرد. کمبود منیزیم از طریق کاهش سنتز کلروفیل و فتوسنتز سبب کاهش عملکرد می‌گردد. علاوه بر موارد یاد شده می‌توان به اهمیت منیزیم در فعالیت آنزیم ریبولوز بی فسفات کربوکسیلاز که یکی از آنزیم‌های مهم و کلیدی در فتوسنتز است اشاره کرد. طبق بررسی‌های صورت گرفته بالای ۳۵ درصد کل منیزیم گیاه در کلروپلاست قرار دارد و کمبود منیزیم سبب کلروزه شدن بین رگبرگ‌ها در برگ‌های مسن می‌گردد (چکماک و یازیچی، ۲۰۱۰). چنانچه یون منیزیم مرکزی در مولکول کلروفیل با کادمیوم جایگزین شود سبب تخریب

کلروفیل می‌گردد (درازیک و همکاران، ۲۰۰۶). غلظت‌های بالای کادمیوم در بافت برگ به طور غیر مستقیم از طریق ایجاد اختلال متابولیکی، سبب تسهیل در ریزش برگ‌ها (واسیلیو و همکاران، ۱۹۹۷) و یا ناکافی بودن برخی عناصر ضروری نظیر آهن یا منیزیم می‌شود و از این طریق بر میزان کلروفیل برگ تاثیرگذار می‌باشند (سیدلکا و کروپا، ۱۹۹۹). در آزمایش دیلمقانی‌حسنلوئی و همتی عسگرآبادتپه (۱۳۹۰) بیان شد که اثر سطوح مختلف پتاسیم و منیزیم بر میزان کلروفیل برگ انگور کشمشی بی‌دانه تاثیر معنی‌داری دارد. ترکیب تیماری ۲۰۰ گرم منیزیم و ۶۰۰ گرم پتاسیم سبب افزایش کلروفیل به میزان ۴۸/۲ درصد نسبت به شاهد (عدم مصرف هر دو عنصر) شد. کاهش در ظرفیت فتوسنتز به علت کاهش منیزیم برگ‌ها موجب کاهش هدایت روزنه‌ای، افزایش مقاومت مزوفیلی برای ورود دی‌اکسیدکربن و کاهش فعالیت آنزیم‌های دخیل در تثبیت دی‌اکسیدکربن می‌شود (هاریادی و شابالا، ۲۰۰۴). اسفندیاری و همکاران (۲۰۱۰) نیز گزارش نموده‌اند که کمبود منیزیم سبب کاهش میزان کلروفیل برگ‌ها می‌گردد. بروسکی و میچالک (۲۰۱۰) بیان کردند که محلول‌پاشی منیزیم غیرآلی در اسفناج سبب افزایش این عنصر در طی دوره رشد گیاه می‌گردد. محلول‌پاشی با نمک‌های منیزیم سبب افزایش میزان پروتئین برگ، کلروفیل، کارتنوئیدها، نیترات و پرولین شد اما مقدار ویتامین ث کاهش یافت. همچنین محلول‌پاشی سولفات منیزیم نسبت به کلرید منیزیم و نیترات منیزیم نقش موثرتری در فتوسنتز و افزایش عملکرد گیاه دارد.

۲-۷-۴- پروتئین دانه

طی آزمایشی در مورد کاربرد عناصر ریزمغذی (آهن، روی و منگنز) در گیاه سویا مشاهده شد که کاربرد آهن تاثیر بسیار معنی‌داری بر درصد پروتئین سویا داشت در حالی‌که اثرات روی و منگنز بر آن غیر معنی‌دار بود. بیشترین درصد پروتئین در تیمار شاهد (عدم کاربرد آهن) به میزان ۳۴/۲۴ درصد و کمترین با کاربرد ۲۵ کیلوگرم در هکتار آهن به میزان ۳۲/۰۲ درصد مشاهده گردید (قاسمیان و همکاران، ۱۳۹۸). طی دو آزمایش دیگر کاربرد عناصر میکرو (آهن، منگنز، روی و مس) در گیاه گندم

در شرایط شور مورد بررسی قرار گرفت. در آزمایش اول مشاهده گردید که سطوح مختلف آهن بر دانه در بوته، غلظت آهن، روی و منگنز در دانه در سطح احتمال یک درصد و غلظت پروتئین دانه در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. همچنین نتایج آزمایش دوم نیز نشان داد که اثر تیمارها بر عملکرد دانه و کاه، تعداد سنبله در مترمربع در سطح پنج درصد و بر وزن هزاردانه، تعداد دانه در بوته، پروتئین و غلظت روی در دانه در سطح یک درصد معنی‌دار بود (بای‌بوردی و ملکوتی، ۱۳۸۲). محلول‌پاشی کود آهن در گیاه سویا سبب افزایش معنی‌دار در عملکرد دانه، عملکرد زیست توده، وزن هزاردانه، تعداد غلاف در بوته، ارتفاع، درصد پروتئین و روغن شد. همچنین بین تیمارهای محلول‌پاشی کود آهن اختلاف بسیار معنی‌داری از لحاظ درصد پروتئین مشاهده شد. حداکثر درصد پروتئین به میزان ۴۰/۸ درصد از تیمار محلول‌پاشی ۴ در هزار حاصل گردید (موسیوند و همکاران، ۱۳۸۸). در آزمایشی به منظور بررسی تاثیر مصرف خاکی و محلول‌پاشی آهن در گیاه بادام‌زمینی نشان داده شد که، در اثر مصرف آهن به هر دو روش مقدار روغن کل دانه کاهش یافت ولی موجب افزایش معنی‌دار در مقدار پروتئین کل دانه و مقدار عناصر ضروری، از قبیل آهن دو ظرفیتی، آهن کل، نیتروژن، فسفر، پتاسیم و منیزیم دانه گیاه بادام‌زمینی گردید. همچنین بیان شد که بیشترین میزان پروتئین دانه از تیمارهای ۳ و ۴ گرم آهن در لیتر به روش محلول‌پاشی و ۲۰ کیلوگرم آهن در هکتار از طریق مصرف خاکی به دست آمد که با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری داشت (پنج‌تن‌دوست و همکاران، ۱۳۸۹). در آزمایشی دیگر کاربرد آهن سبب افزایش معنی‌داری در عملکرد دانه، کاه و کلش، وزن هزاردانه در سنبله گندم گردید. همچنین کاربرد آهن سبب افزایش معنی‌دار غلظت و جذب آهن در دانه، برگ پرچم و پروتئین دانه شد (عباس و همکاران، ۲۰۰۹). به گزارش ملکوتی و همکاران (۱۳۸۳) مصرف روی سبب افزایش پروتئین دانه گندم به میزان ۳/۴۳ درصد و مصرف آهن سبب کاهش پروتئین دانه این گیاه به میزان ۳/۴۷ درصد شد، البته این تغییرات معنی‌دار نبود. مصرف آهن و روی مقدار کل کربوهیدرات‌ها، نشاسته و پروتئین دانه‌ی گیاهان را افزایش می‌دهد و در نهایت افزایش عملکرد را به دنبال خواهد داشت (براون و همکاران، ۱۹۹۳).

منیزیم به عنوان یک کوفاکتور برای انجام بسیاری از فرآیندهای آنزیمی (فسفریلاسیون، دفسفریلاسیون و هیدرولیز ترکیبات مختلف) ضروری است و در سنتز پروتئین به عنوان عنصری پیوند دهنده برای تجمع زیر واحدهای ریبوزوم (محل سنتز پروتئین در سلول، در سیتوپلاسم، هسته، پلاستیدها و میتوکندری) نیاز است (مارشنر، ۱۹۹۵). منیزیم در سنتز پروتئین نقش مهمی ایفا می‌کند. آزمایش‌های زیادی در مورد سنتز پروتئین نشان داده است که منیزیم موجب تقویت اتصال اسیدهای آمینه به tRNA و جدا شدن زنجیره پلی‌پپتید از ریزوبیوم می‌شود. اغلب مقدار پروتئین در شرایط کمبود منیزیم کاهش می‌یابد. در صورتی که ترکیبات نیتروژن غیرپروتئینی در این حالت افزایش می‌یابد. از این نتایج می‌توان دریافت که منیزیم در سنتز پروتئین تاثیر مثبت دارد و فقدان آن سبب تضعیف سنتز آنزیمی می‌شود (ملکوتی و همایی، ۱۳۸۳). در اثر کاربرد سولفات منیزیم در گیاه عدس مشاهده شد که، بین ارقام مورد مطالعه از نظر درصد پروتئین دانه اختلاف معنی‌داری وجود نداشت ولی بین روش‌های مختلف کاربرد کود اختلاف معنی‌داری مشاهده شد (یعقوبی، ۱۳۸۸). محلول‌پاشی توام منیزیم و کلسیم تاثیری در افزایش پروتئین دانه گیاه عدس نداشت (حسین و همکاران، ۲۰۰۲) و تلقیح بذور گندم با سولفات منیزیم سبب افزایش میزان پروتئین دانه گردید (ملکوتی، ۱۳۸۰ ب).

فصل سوم

مواد و روش

۳-۱- زمان و مشخصات محل اجرای آزمایش

آزمایش در سال ۱۳۸۹ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود، واقع در شهر بسطام (کیلومتر ۸ جاده شاهرود- آزادشهر) اجرا شد. شهرستان شاهرود در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۹ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۵ درجه و ۵۷ دقیقه شرقی از نصف النهار گرینویچ واقع شده است و میانگین ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۶۶ متر است. منطقه بسطام دارای اقلیم سرد و خشک است. میانگین بارندگی سالانه در این منطقه بین ۱۵۰ تا۱۶۰ میلی متر است و بارندگی ها عمدتاً در فصل پاییز و زمستان رخ می دهد. حداقل و حداکثر دمای منطقه به ترتیب ۱۳- و ۳۹ درجه سانتی گراد است. بر اساس اطلاعات ثبت شده در ایستگاه هواشناسی شاهرود، در سال زراعی ۸۹-۸۸ مجموع بارندگی در این منطقه ۱۷۸/۱۵ میلی متر و میانگین حداقل و حداکثر دمای روزانه به ترتیب ۵/۸ و ۲۰/۱ درجه سانتی گراد بوده است.

۳-۲- خصوصیات خاک محل اجرای آزمایش

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

۳-۳- مشخصات طرح آزمایشی

آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل محلول پاشی پنج غلظت آهن صفر (a_1)، ۰/۲۵ نانو (a_2)، ۰/۵ نانو (a_3)، ۰/۲۵ معمولی (a_4) و ۰/۵ معمولی (a_5) بر حسب گرم در لیتر به عنوان فاکتور اول و سه غلظت منیزیم شامل عدم مصرف (b_1)، غلظت ۱ درصد از نانومنیزیم (b_2) و غلظت ۱ درصد از منیزیم معمولی (b_3) به عنوان فاکتور دوم بودند. شکل قابل استفاده عناصر در هر دو حالت معمولی و نانو، اکسید آهن و اکسید منیزیم بود. قطر نانوذرات اکسید آهن و منیزیم ۴۰ نانومتر بود. در مجموع در هر تکرار ۱۵

ترکیب تیماری وجود داشت و تعداد کل کرت‌های آزمایشی ۴۵ کرت بود. نقشه کشت در شکل ۳-۱ مشاهده می‌گردد.

جدول ۳-۱- نتایج فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

پارامتر های اندازه گیری شده	مقدار	واحد
درصد اشباع	۳۰/۶	درصد
هدایت الکتریکی	۸/۰۹	دسی‌زیمنس بر متر
اسیدیته گل اشباع	۷/۸۹	-
درصد مواد خنثی شونده	۲۷	درصد
کربن آلی	۰/۷۹	درصد
نیتروژن کل	۰/۰۵۷	درصد
فسفر قابل جذب	۱۴	پی‌پی‌ام
پتاسیم قابل جذب	۱۴۳	پی‌پی‌ام
رس	۲۲	درصد
لای	۴۴	درصد
شن	۳۲	درصد
درصد رطوبت	۱/۵	درصد
نسبت جذب سدیم[1]	۴/۱	-
مجموعه کاتیون‌ها	۸۱/۲	میلی‌اکی‌والان در لیتر
Na^+	۲۲/۲	میلی‌اکی‌والان در لیتر
Mg^{2+}	۲۶	میلی‌اکی‌والان در لیتر
Ca^{2+}	۳۳	میلی‌اکی‌والان در لیتر
مجموع آنیون‌ها	۸۰/۶	میلی‌اکی‌والان در لیتر
SO_4^{2-}	۲۸/۶	میلی‌اکی‌والان در لیتر
Cl^-	۴۷/۵	میلی‌اکی‌والان در لیتر
HCO_3^-	۴/۵	میلی‌اکی‌والان در لیتر
CO_3^-	۰	میلی‌اکی‌والان در لیتر

1-Sodium Absorption Ratio

تکرار ۱	a_1	a_3	a_4	a_4	a_3	a_5	a_2	a_2	a_3	a_1	a_5	a_5	a_4	a_1	a_2
	b_1	b_1	b_3	b_1	b_2	b_3	b_3	b_2	b_3	b_3	b_2	b_1	b_2	b_2	b_1
تکرار ۲	a_2	a_3	a_4	a_5	a_4	a_1	a_5	a_4	a_1	a_2	a_5	a_3	a_1	a_2	a_3
	b_2	b_3	b_2	b_2	b_1	b_2	b_3	b_3	b_3	b_1	b_1	b_2	b_1	b_3	b_1
تکرار ۳	a_1	a_5	a_1	a_3	a_4	a_4	a_2	a_3	a_4	a_1	a_5	a_2	a_3	a_2	a_5
	b_3	b_2	b_2	b_2	b_2	b_3	b_2	b_1	b_1	b_1	b_3	b_3	b_3	b_1	b_1

شکل ۳-۱- نقشه کاشت طرح آزمایشی

۳-۴- عملیات اجرایی

۳-۴-۱- کاشت

زمین در سال قبل به صورت آیش بود. عملیات کاشت در تاریخ ۴ خرداد ۱۳۸۹ با دست و در عمق ۷-۵ سانتی متری در محل داغآب انجام شد. آبیاری بلافاصله در همان روز بعد از کاشت صورت گرفت. در هر کرت آزمایشی ۴خط کاشت به طول ۳ متر قرار داشت. فاصله بین خطوط ۵۰ سانتی متر و فاصله بین بوته ها روی ردیف۱۰سانتی متر بود. دو خط کناری به عنوان حاشیه و ۲ خط وسط جهت تعیین پارامترهای آزمایش در نظر گرفته شد.

۳-۴-۲- داشت

آبیاری به صورت جوی و پشته ای هر ۷ روز یکبار انجام شد. مقادیر آب مصرفی برای تمام تیمارها یکسان بود. پس از استقرار بوتهها اقدام به تنک کردن بوتههای اضافی گردید. طی دوران داشت، ۳ بار وجین کامل علفهای هرز به صورت دستی انجام شد.

۳-۴-۳- اعمال تیمارها

تیمارهای آزمایش شامل محلول‌پاشی اکسید آهن و اکسید منیزیم با غلظت‌های مورد نظر طی دو مرحله انجام شد. مرحله اول و دوم محلول‌پاشی به ترتیب ۵۷ و ۷۴ روز پس از کاشت در هنگام صبح و در شرایط بدون وزش باد صورت پذیرفت.

۳-۴-۴- برداشت

برداشت جهت تعیین عملکرد و اجزای عملکرد دو هفته پس از آخرین نمونه‌برداری، در تاریخ ۸۹/۸/۱ یعنی پس از سپری شدن ۱۵۱ روز از زمان کاشت صورت گرفت. بوته‌ها کاملا زرد و همچنین بذرها در داخل غلاف‌ها کاملا قابل تشخیص و جدا شدن بودند.

۳-۵- نمونه‌برداری

یک هفته پس از محلول‌پاشی دوم (۸۱ روز پس از کاشت) نمونه‌برداری‌ها آغاز گردید و هر ۱۴ روز یکبار تا پایان فصل رشد ادامه پیدا کرد. در مجموع تعداد ۶ نمونه‌گیری انجام شد. برای این منظور دو ردیف کناری و ۰/۵ متر ابتدا و انتهای هر کرت به عنوان حاشیه حذف شدند. سپس ۵ بوته درگیر در رقابت به نحوی انتخاب شدند که بتوانند تا حد زیادی خصوصیات کرت مربوط را نشان دهند. در هر نمونه‌برداری قطع بوته‌ها از سطح خاک و از ناحیه طوقه انجام گرفت.

۳-۶- صفات زراعی و مورفولوژیک

در مجموع طی نمونه‌برداری‌های انجام شده اقدام به اندازه‌گیری صفاتی از قبیل وزن خشک برگ و ساقه، طول ساقه، قطر ساقه، تعداد برگ، تعداد انشعابات جانبی، فاصله اولین غلاف از سطح خاک، سطح برگ، وزن خشک بذر، وزن خشک غلاف، طول غلاف، عملکرد و اجزای عملکرد گردید.

۳-۶-۱- سطح برگ، وزن خشک برگ و ساقه

بوته‌های نمونه‌گیری شده در هر نمونه‌برداری به بخش‌های برگ و ساقه تفکیک 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 ۲۰ تا 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. با استفاده از اندازه‌گیری سطح برگ شاخص سطح برگ محاسبه گردید. بر اساس تعریف واژه شاخص سطح برگ شامل نسبت سطح برگ محصول به سطح زمینی است که محصول روی آن سایه می‌اندازد. از آنجا که تشعشع خورشیدی به طور 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.

۳-۶-۲- ارتفاع بوته

میانگین ارتفاع ۵ بوته نمونه‌گیری شده از هر کرت به عنوان ارتفاع بوته‌های آن ترکیب تیماری در نظر گرفته شد.

۳-۶-۳- تعداد انشعابات جانبی

تعداد انشعابات جانبی (ساقه‌های فرعی) نیز در ۵ بوته انتخابی مورد شمارش قرار گرفته و میانگین گیری شدند. برای تشخیص انشعابات جانبی هر انشعابی که دارای برگ، گل و یا غلاف بود، در نظر گرفته شد.

۳-۶-۴- عملکرد و اجزای عملکرد

از هر کرت آزمایشی تعداد ۱۰ بوته با در نظر گرفتن حاشیه و بـه منظـور تعیـین عملکـرد نهـایی برداشت گردید. مساحت اشغال شده توسط این ۱۰ بوته محاسبه و عملکرد نهـایی برحسـب مترمربـع برآورد گردید. اجزای عملکرد در یک گیاه زراعی مؤلفه‌های میزان تولید نهایی گیاه می‌باشند و در هـر گیاه زراعی دارای اجزای خاص خود است. اجزای عملکرد در گیاه لوبیا چشم بلبلی شامل تعداد غلاف در گیاه، تعداد دانه در هر غلاف و وزن هزاردانه می‌باشند که در ۱۰ بوته برداشـت شـده انـدازه‌گیـری شدند.

۳-۷- صفات فیزیولوژیک

۳-۷-۱- پایداری و خسارت غشای پلاسمایی

برای اندازه گیری درصد خسارت غشای پلاسمایی و میزان پایداری غشای پلاسمایی به اندازه‌ی ۰/۱ گرم نمونه از بافت برگ به صورت قطعات ریز و یکسان جدا گردید، سپس در شیشه‌های حاوی ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد (C_2) و نیم ساعت در دمای ۴۰ درجه سانتی گراد (C_1) قرار گرفتند. EC آن‌ها پس از خنک شدن در دمای ۲۵ سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد. میزان پایداری غشاء پلاسمایی از طریق رابطه زیر محاسبه گردید (سایرام و سریواساوا، ۲۰۰۱).

شاخص پایداری غشای پلاسمایی $= (1 - C_1/C_2) \times 100$

علاوه بر این شیشه‌هایی حاوی همین مقدار بافت گیاهی در شرایط آزمایشگاه و تاریکی قرار داده شدند و هر ۱۰ ساعت یک بار EC آن‌ها اندازه‌گیری شد. تا این‌که اعداد قرائت شده در دو مرحله متوالی تقریبا ثابت باشد. آخرین عدد به دست آمده (C_3) و نیز هدایت الکتریکی آب مقطر (۰/۰۱

دسی‌زیمنس بر متر) (C_w) در رابطه زیر جایگزین شد و درصد خسارت غشای پلاسمایی محاسبه گردید (ریزا و همکاران، ۱۹۹۹).

خسارت غشای پلاسمایی $=(C_3-C_w)/(C_2-C_w) \times 100$

۳-۷-۲- غلظت عناصر آهن و منیزیم

مقدار عنصر آهن در برگ و عنصر منیزیم در برگ و ساقه در ۷ روز پس از محلول‌پاشی دوم (۸۱ روز پس از کاشت) با دستگاه ICP[1] (مدل GBC Integra XL sequential ساخت کشور استرالیا) تعیین گردید. برای هضم ۰/۵گرم از نمونه خوب پودر شده در کروزه پلاتینی یا از جنس نیکل ریخته و در کوره شیب‌دار قرار گرفت. دمای کوره به تدریج (۵ درجه در دقیقه) افزایش یافت تا به ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد رسید. پس از آن نمونه خارج شده و به آن ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۲۰ درصد اضافه گردید. نمونه درون حمام بخار قرار گرفت تا مایع تبخیر گردد سپس با کاغذ صافی واتمن ۴۲صاف گردید. در مرحله بعد با آب مقطر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد، سپس با دستگاه ICP قرائت گردید.

۳-۷-۳- کلروفیل

اندازه گیری کلروفیل برگ از ۸۵ روز پس از کاشت آغاز و ۴ اندازه‌گیری صورت گرفت. در هر کرت تعداد ۳ بوته متوالی در هر خط به عنوان معیار کرت علامت گذاری و اندازه‌گیری‌ها تا پایان روی این بوته‌ها انجام شد. در هر اندازه‌گیری تعداد پنج برگ (بالا، وسط و پائین کانوپی) از هر بوته انتخاب شده و کلروفیل آن توسط دستگاه SPAD502 تعیین و میانگین آن‌ها محاسبه گردید. در نهایت میانگین کلروفیل ۳ بوته در هر کرت بر حسب واحد SPAD (هیسکوکس و ایسرالیستام، ۱۹۷۸) برای محاسبات استفاده شد.

1-Inductively Coupled Plasma

۳-۷-۴- پروتئین دانه

اندازه‌گیری پروتئین دانه به روش کجلدال انجام شد. ۱ گرم از بافت خوب پودر شده به بالن‌های مخصوص کجلدال منتقل گردید. برای عمل هضم ۲۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ و سپس ۷ گرم سولفات سدیم و ۱ گرم سولفات مس (به عنوان کاتالیزور) اضافه گردید. مخلوط حاصل تا بی‌رنگ شدن حرارت داده شد. عمل تقطیر توسط دستگاه نیمه اتوماتیک کجلدال مدل WPI20S شش کاناله ساخت شرکت Gerhard کشور آلمان انجام شد. تیتراسیون با استفاده از اسید کلریدریک ۰/۱ نرمال به صورت دستی انجام شد. بورات آمونیوم حاصل از مرحله تقطیر توسط این اسید تیتر گردید. حجم اسید مصرف شده برای رسیدن به رنگ ارغوانی در رابطه زیر قرار گرفت تا درصد نیتروژن حاصل گردد. سپس از طریق ضریب تبدیل پروتئین در گیاه لوبیا چشم بلبلی که ۶/۲۵ می‌باشد، درصد پروتئین به‌دست آمد.

وزن نمونه (گرم)/(۰/۱۴ × A)= درصد نیتروژن

فاکتور پروتئینی × درصد نیتروژن= درصد پروتئین

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

۳-۸- تجزیه و تحلیل داده ها

تجزیه و تحلیل داده ها با استفاده از نرم افزارهای SAS و MSTATC و رسم شکل‌ها توسط نرم‌افزار EXCEL انجام شد. مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد صورت پذیرفت.

فصل چهارم

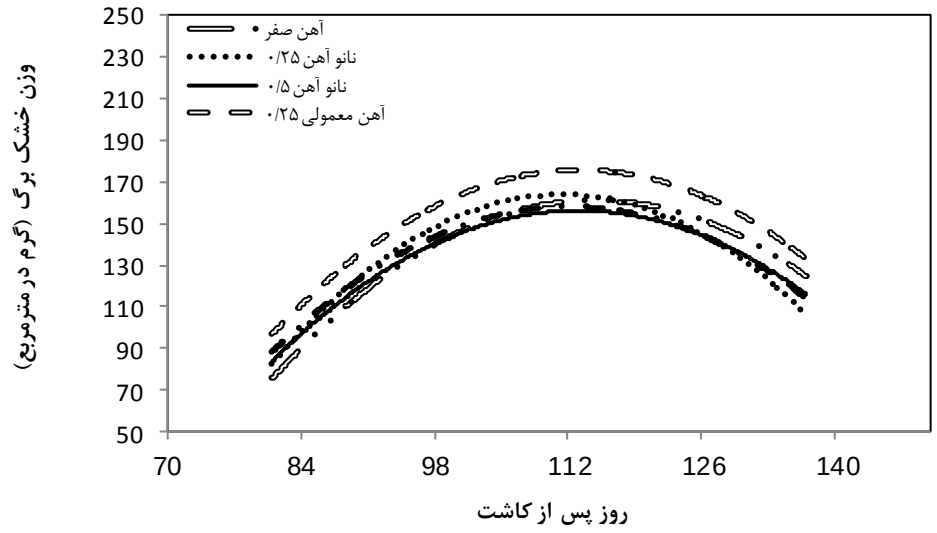
نتایج و بحث

۴-۱- ماده خشک برگ و ساقه

۴-۱-۱- وزن خشک برگ

نتایج تجزیه واریانس وزن خشک برگ در زمان‌های مختلف پس از کاشت در جدول پیوست ۱ نشان داده شده است. وزن خشک برگ در اکثر تاریخ‌های نمونه‌برداری، بین تیمارهای مختلف محلول‌پاشی آهن و منیزیم و اثرات متقابل آن‌ها تفاوت معنی‌داری داشت. تنها اثر اصلی آهن در ۹۵ و ۱۳۷ روز پس از کاشت بر وزن خشک برگ معنی‌دار نبود.

شکل ۴-۱ روند تغییرات وزن خشک برگ را تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن در طول دوره رشد نشان می‌دهد.



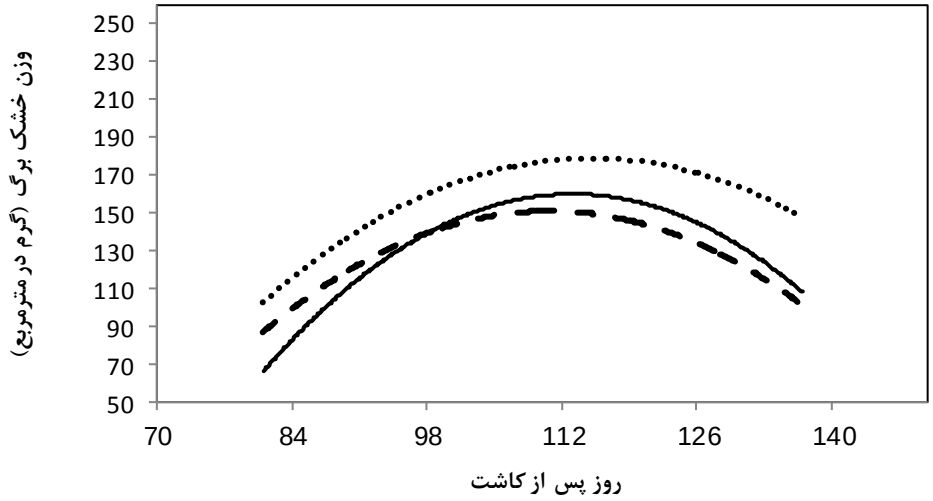
شکل ۴-۱- روند تغییرات وزن خشک برگ تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن

همان طور که مشاهده می‌شود در کلیه تیمارهای آهن روند تجمع ماده خشک در برگ تا حدود ۱۱۵ روز پس از کاشت افزایشی بود و سپس تا انتهای فصل از روندی نزولی برخوردار گردید. کاهش در وزن خشک برگ در مراحل انتهایی رشد را می‌توان به پیری و ریزش برگ‌های مسن و نیز انتقال مجدد مواد از برگ به سایر قسمت‌های گیاه نسبت داد. در کل بازه نمونه‌برداری گیاهانی که تیمار

آهن معمولی با غلظت ۰/۲۵ گرم در لیتر را دریافت کرده بودند وزن خشک برگ بیشتری داشتند. بین سایر تیمارها اختلاف قابل توجهی از نظر این صفت وجود نداشت. اگر چه در مراحل ابتدایی (تا حدود ۹۵ روز پس از کاشت) وزن خشک برگ در گیاهان دریافت کننده آهن بیشتر بود ولی در انتهای دوره (از حدود ۱۲۵ روز پس از کاشت به بعد) به جز تیمار آهن معمولی ۰/۲۵ گرم در لیتر، سایر تیمارها وزن خشک برگ کمتری نسبت به شاهد داشتند که ممکن است به دلیل تخلیه بهتر برگ در این تیمارها یا ریزش بیشتر برگ‌ها باشد.

الگوی تجمع ماده خشک در برگ اغلب حبوبات از نوع سیگموئیدی است. در این الگو، مرحله اول که رشد رویشی است به صورت آهسته است، پس از آن یک مرحله سریع وجود دارد که بعد از مرحله گل‌دهی است و به دنبال آن کاهش رشد است که در مرحله تشکیل غلاف می‌باشد (پارسا و باقری، ۱۳۸۷).

مقایسه روند تغییرات وزن خشک برگ تحت تاثیر محلول‌پاشی منیزیم در شکل ۴-۲ نشان داده شده است. وزن خشک برگ در تیمار نانومنیزیم به طور برجسته‌ای در کل فصل رشد بیشتر از دو تیمار دیگر بود. روند نزولی وزن خشک برگ در این تیمار با تاخیر (از حدود ۱۲۴ روز پس از کاشت) آغاز شد و به کندی ادامه یافت به طوری‌که در انتهای فصل گیاهان دریافت کننده این تیمار ماده خشک بیشتری در برگ خود داشتند. این نتایج را می‌توان به افزایش فتوسنتز در برگ در حضور نانو منیزیم نیز نسبت داد که در ارتباط با خصوصیات ویژه نانوذرات است. از طرفی کمبود منیزیم منجر به افزایش تجمع کربوهیدرات‌ها در برگ می‌شود. با توجه به نقش مهمی که منیزیم در انتقال مواد ایفا می‌کند کمبود آن موجب کاهش انتقال کربوهیدرات‌ها و تغییر در متابولیسم کربن فتوسنتزی می‌شود. پر بودن ظرفیت منبع مانع از تثبیت دی‌اکسید کربن می‌گردد و در نهایت کاهش فتوسنتز را به دنبال دارد (هرمنز، ۲۰۰۴).

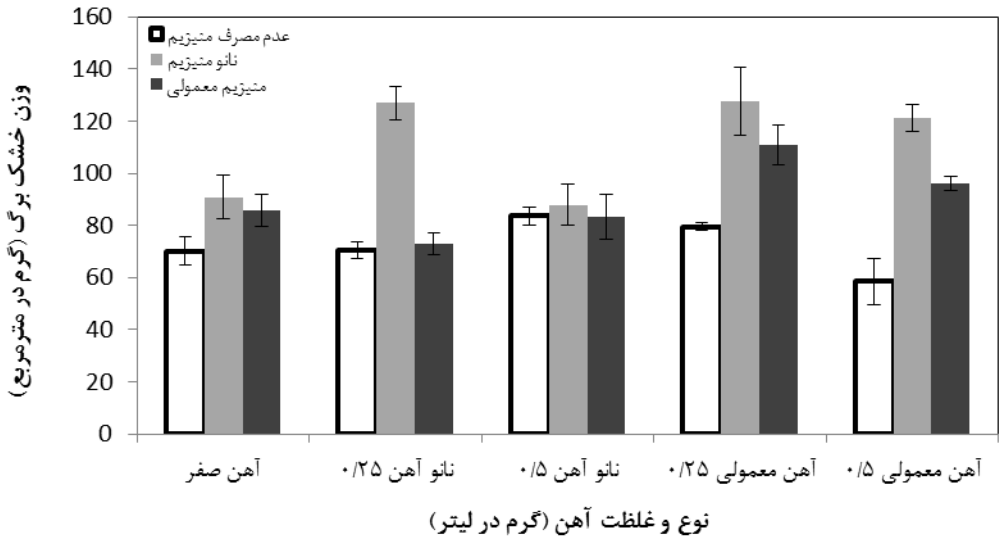


شکل ۴-۲- روند تغییرات وزن خشک برگ تحت تاثیر محلول‌پاشی منیزیم

به منظور توضیح بیشتر و دقیق‌تر در مورد تاثیر تیمارهای مورد مطالعه بر وزن خشک برگ، از بین ۵ نمونه‌برداری انجام شده دو نمونه‌برداری به شرح زیر انتخاب و تفسیر می‌گردد.

۴-۱-۱-۱- نمونه‌برداری اول وزن خشک برگ

اثر تمام منابع تغییر شامل اثرات اصلی و متقابل در ۸۱ روز پس از کاشت (نمونه‌برداری اول) بر وزن خشک برگ معنی‌دار بود (جدول پیوست ۱). مقایسه میانگین اثر متقابل آهن و منیزیم بر وزن خشک برگ در شکل ۴-۳ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌گردد حضور نانومنیزیم در تمام سطوح تیمار آهن از هر دو نوع معمولی و نانو، سبب بهبود تجمع ماده خشک در برگ گردید. البته در این بین تاثیر آهن معمولی بیشتر از نانو بود. در مجموع بالاترین وزن خشک برگ با میانگینی معادل ۱۲۷/۷۰ گرم در مترمربع مربوط به ترکیب تیماری آهن معمولی ۰/۲۵ گرم در لیتر × نانومنیزیم بود که تفاوت معنی‌داری با وزن خشک برگ در ترکیب تیماری نانوآهن ۰/۲۵ گرم در لیتر × نانومنیزیم (حدود ۱ گرم در مترمربع کمتر از این مقدار) نداشت (شکل ۴-۳ و جدول پیوست ۳).



شکل ۴-۳- مقایسه میانگین وزن خشک برگ در ۸۱ روز پس از کاشت تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم
بارهای روی میله‌ها SE ± می‌باشد.

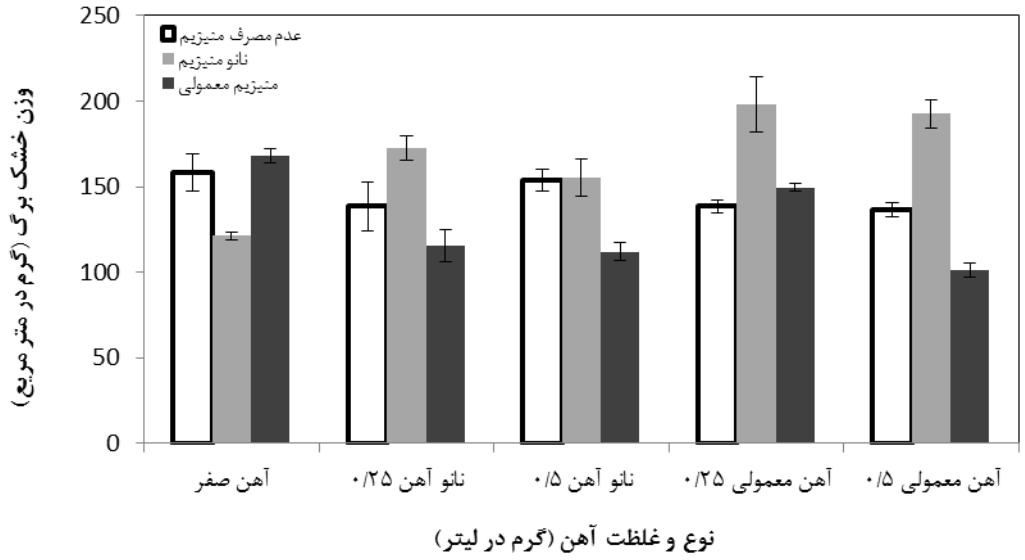
کاربرد منیزیم معمولی نیز هم در شرایط عدم مصرف آهن و هم همراه با هر دو غلظت آهن معمولی منجر به افزایش ماده خشک برگ گردید. در حالی که کاربرد توام منیزیم معمولی با نانوآهن تاثیری بر وزن خشک برگ نداشت. کاهش قابل توجه وزن خشک برگ (۵۸/۴۹ گرم در مترمربع) در شرایطی که آهن معمولی ۰/۵ گرم در لیتر به تنهایی استفاده گردید حاکی از اهمیت بالای وجود منیزیم به‌ویژه نانومنیزیم برای تاثیرگذاری بیشتر آهن در گیاه است.

گیاهان اغلب در معرض انواع مختلف تنش‌ها از جمله تنش کمبود مواد مغذی طی دوره رشد خود می‌باشند. با توجه به نقش‌های متفاوت مواد مغذی در سلول‌های گیاهی، کمبود هریک از آن‌ها موجب اختلال در فرآیندهای متابولیکی می‌شود. منیزیم به دلیل نقش کوفاکتوری در فعالیت آنزیم‌هایی مانند، ATPase، ریبولوز بی فسفات کربوکسیلاز، RNA پلیمراز و پروتئین کیناز نقش مهمی در فعالیت فتوسنتزی برگ ایفا می‌کند (چکماک و کایروبای، ۲۰۰۸). توماس و همکاران (۲۰۰۰) گزارش دادند که کلات آهن منجر به توسعه بهتر و تشکیل برگ‌ها، کاهش طول میان‌گره و افزایش تعداد گره‌ها می‌شود و در نهایت سبب بهبود گسترش برگ‌ها می‌شود. نتایج متناقضی نیز در این مورد ذکر

شده است. به طوری‌که به گزارش شریعتمداری و همکاران (۱۳۸۹)، استفاده از محلول‌پاشی آهن در غلظت‌های مختلف تاثیر معنی‌داری بر وزن خشک برگ گیاه آفتابگردان در شرایط تنش شوری خاک نداشته است.

۴-۱-۱-۲- نمونه‌برداری چهارم وزن خشک برگ

در نمونه‌برداری چهارم یعنی ۱۲۳ روز پس از کاشت نیز اثرات اصلی و متقابل بر وزن خشک برگ معنی‌دار شد (جدول پیوست ۱).



شکل ۴-۴- مقایسه میانگین وزن خشک برگ در ۱۲۳ روز پس از کاشت تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم
بارهای روی میله‌ها SE ± می‌باشد.

در سطوح تیماری آهن به هر دو شکل معمولی و نانو، تیمار نانومنیزیم بیشتر از دو سطح دیگر تیماری خود بر وزن خشک برگ اثر داشت. تنها در تیمار آهن صفر، سطح تیماری منیزیم معمولی بیش از دو سطح دیگر منیزیم بود. در حالی که در سطوح دیگر آهن به جز آهن معمولی ۰/۲۵ گرم در لیتر، محلول‌پاشی منیزیم معمولی اثر منفی بر این صفت داشت و وزن خشک برگ به‌طور قابل توجه و

معنی‌داری حتی از تیمار عدم مصرف منیزیم کمتر بود. در مجموع ترکیب تیماری حاصل از نانومنیزیم با هر دو غلظت آهن معمولی بالاترین مقادیر تجمع ماده خشک در برگ را نشان دادند (شکل ۴-۴).

در تمام نمونه‌برداری‌ها (به جز ۹۵ روز پس از کاشت) ترکیب تیماری آهن معمولی ۰/۲۵ گرم در لیتر و نانومنیزیم بیشترین میزان وزن خشک برگ را به خود اختصاص داد (جدول پیوست ۳). شاید علت این امر نزدیک شدن مرحله‌ی رشدی گیاه به غلاف‌دهی و احساس نیاز بیشتر گیاه به آهن بوده است. در کل از نتایج به دست آمده چنین بر می‌آید که وجود آهن زیاد در گیاه که ممکن است به علت غلظت بالای محلول‌پاشی (۰/۵ گرم در لیتر) و استفاده فرم‌های نانو (به دلیل ریز بودن و جذب بیشتر نسبت به فرم‌های معمولی) اتفاق افتد، مانع از تاثیرگذاری منیزیم به‌ویژه منیزیم معمولی در گیاه شود. شاید به همین دلیل باشد که در تیمار آهن صفر، تیمار منیزیم معمولی سبب افزایش وزن خشک برگ گردید.

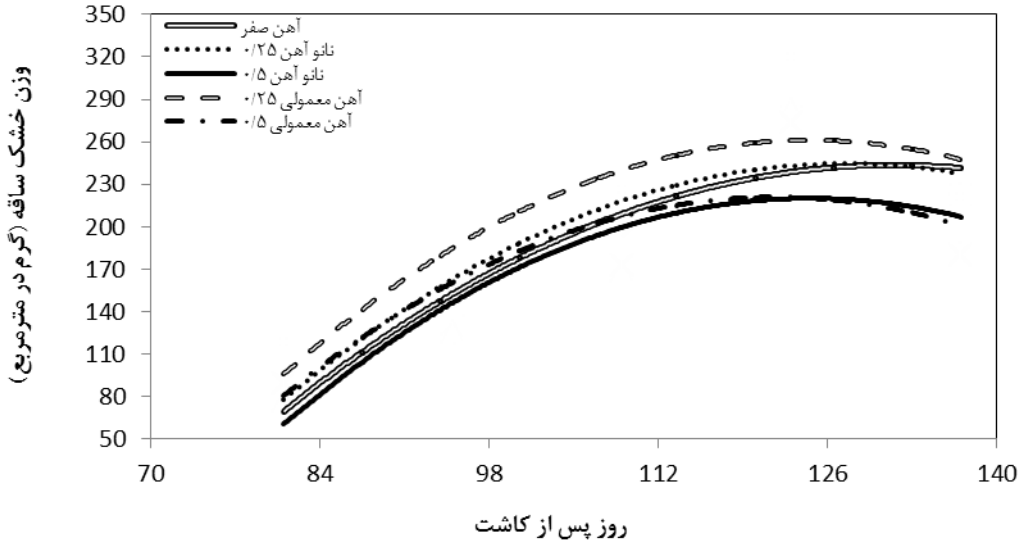
به نظر می‌رسد که آهن از طریق نقش غیر مستقیم و منیزیم از طریق مستقیم که فلز مرکزی اتم کلروفیل می‌باشد، در فتوسنتز برگ و در نهایت میزان تجمع ماده خشک برگ دخالت دارند.

گزارش شده است که در اثر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی (آهن، روی و منگنز) در گیاه سورگوم بیشترین عملکرد برگ و ساقه خشک، ارتفاع، شاخص سطح برگ و نسبت برگ به ساقه مربوط به ترکیب تیماری روی + آهن + منگنز بود. در نهایت نتایج این بررسی نشان داد که محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی سبب افزایش قابل توجهی در عملکرد سورگوم علوفه‌ای در خاک‌های آهکی منطقه خوی گردید (خلیلی‌محله و همکاران، ۱۳۸۵).

۴-۱-۲- وزن خشک ساقه

نتایج تجزیه واریانس وزن خشک ساقه در زمان‌های مختلف پس از کاشت در جدول پیوست ۴ نشان داده شده است. اثر کلیه منابع تغییر شامل تیمارهای آهن، منیزیم و اثر متقابل آن‌ها در هر ۵

نمونه‌برداری بر وزن خشک ساقه معنی‌دار شد. شکل ۴-۵ روند تغییرات وزن خشک ساقه را تحت تاثیر سطوح مختلف محلول‌پاشی آهن در طول دوره رشد را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۵- روند تغییرات وزن خشک ساقه تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن

مشاهده می‌شود که در تمام سطوح تیماری آهن، وزن خشک ساقه تا قبل از مرحله‌ی پایانی رشد از روند افزایشی، سپس روند ثابت رو به کاهش برخوردار بود. البته روند کاهش وزن خشک ساقه در بالاترین غلظت آهن از هر دو شکل نانو و معمولی زودتر از سایر تیمارها اتفاق افتاد. تجمع ماده خشک در ساقه گیاهان تیمار آهن ۰/۲۵ گرم در لیتر به‌ویژه از نوع معمولی بیش از سایر سطوح آهن بود، این برتری در کل محدوده نمونه‌برداری مشاهده گردید.

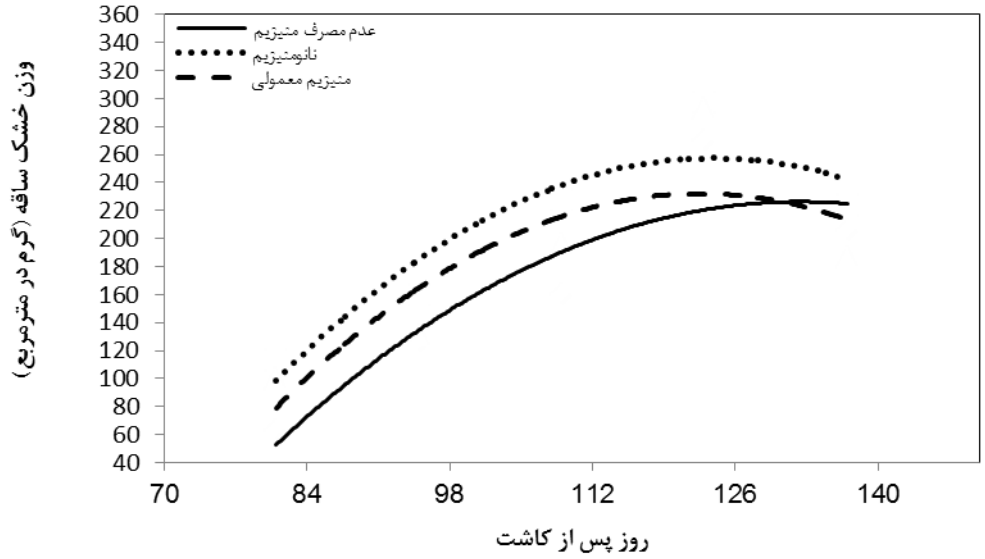
قابل توجه است که کاهش در وزن ساقه در انتهای فصل معمولا در پی انتقال مجدد مواد فتوسنتزی از سمت اندام‌های رویشی (مخزن‌های ثانویه) و در راس آن‌ها ساقه به سمت اندام‌های زایشی (غلاف‌ها و بذرها) رخ می‌دهد. پر شدن دانه توسط دو منبع فتوسنتز جاری و انتقال مجدد حمایت می‌شود. بدیهی است اگر فتوسنتز جاری به اندازه نیاز وجود نداشته باشد سهم انتقال مجدد بیشتر خواهد شد. قبلا در توضیحات مربوط به شکل ۴-۴ به تاثیر منفی مقادیر بالای آهن در ایفای نقش منیزیم به‌ویژه منیزیم معمولی در تجمع ماده خشک برگ اشاره شد. مفهوم این نتیجه‌گیری

کاهش فتوسنتز در برگ است. زیرا منیزیم نقش اساسی در مولکول کلروفیل و بارگیری کربوهیدرات‌ها از برگ به فلوئم دارد. احتمال دارد که دلیل کاهش زود هنگام و سریع‌تر در غلظت ۰/۵ گرم در لیتر از آهن نانو و معمولی نیز همین باشد. یعنی انتقال مجدد بیشتر از ساقه در راستای جبران کاهش احتمالی فتوسنتز جاری اتفاق افتاده است.

در آزمایش شیخ‌بگلو و همکاران (۲۰۱۰)، استفاده از سطوح مختلف تیماری نانو اکسید آهن (۰، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ گرم در لیتر) تاثیر معنی‌داری بر وزن خشک ساقه‌ی سویا نداشت. در حالی‌که در آزمایشی روی گیاه دارویی آنیسون، استفاده از آهن تاثیر معنی‌داری بر وزن خشک ساقه داشت به طوری که بیشترین وزن خشک ساقه (۵۹۳۷ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار آهن ۶ در هزار و روی ۴ در هزار بود (ناطقی و همکاران، ۱۳۸۹).

مقایسه روند تغییرات وزن خشک ساقه تحت تاثیر محلول‌پاشی منیزیم نیز حاکی از روند افزایشی در تمام مراحل رشد تا قبل از مرحله‌ی پایانی رشد (۱۳۷ روز پس از کاشت) و پس از آن روند رو به کاهش در شرایط مصرف منیزیم بود (شکل ۴-۶). همان‌طور که ملاحظه می‌گردد بالاترین وزن خشک ساقه در تیمار محلول‌پاشی نانومنیزیم و پایین‌ترین در عدم مصرف منیزیم بود و تنها در مرحله‌ی انتهای رشد عدم مصرف منیزیم نسبت به منیزیم معمولی پیشی گرفت. ساقه در ابتدای فصل رشد به دلیل در گیر بودن برای تشکیل اجزاء ساختمانی که فیتومر[1] (گره و میان‌گره، برگ و جوانه جانبی) نام دارد، سرعت رشد آهسته‌تر داشت. ولی با ورود به فاز دوم رشد از سرعت بیشتری برخوردار شد و در مراحل پایانی رشد نیز به دلیل انتقال مواد به سمت اندام‌های زایشی وزن آن کاهش یافت، این موضوع دلالت بر این دارد که در طی دوره زایشی، ساقه‌ها مخزن فعالی برای مواد فتوسنتزی و دیگر عناصر غذایی هستند.

1-Phytomer



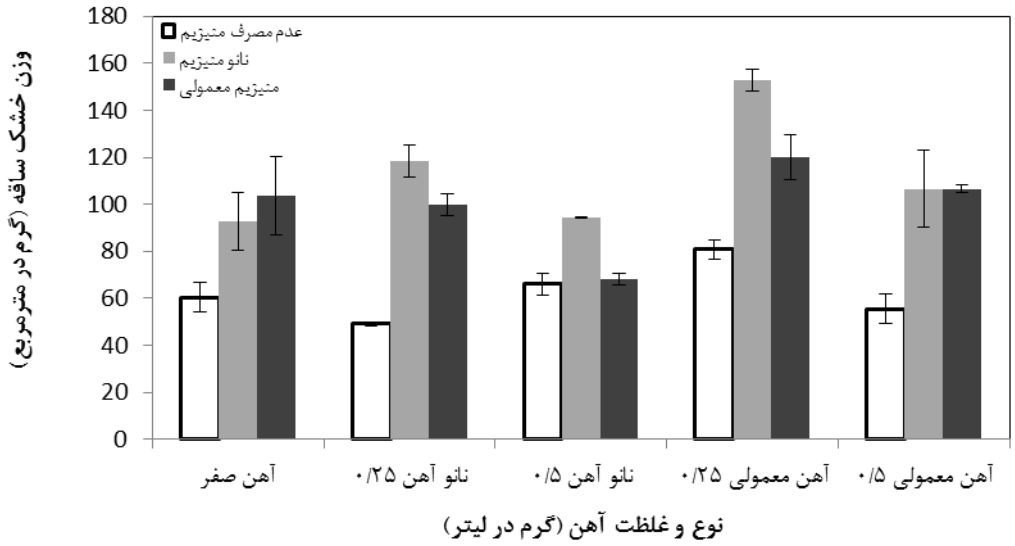
شکل ۴-۶- روند تغییرات وزن خشک ساقه تحت تاثیر محلول‌پاشی منیزیم

در آزمایشی که توسط چکماک و کایروبای (۲۰۰۸) اجرا شد، وزن خشک ساقه و ریشه را در شرایط شاهد و کمبود منیزیم مقایسه کردند و به این نتیجه رسیدند که در هر دو وزن خشک در شاهد بیشتر از شرایط کمبود بود.

۴-۱-۲-۱- نمونه‌برداری اول وزن خشک ساقه

در شکل ۴-۷ اثر ترکیبات تیماری حاصل از آهن و منیزیم بر وزن خشک ساقه در ۸۱ روز پس از کاشت نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد از بین تیمارهای منیزیم، محلول‌پاشی نانومنیزیم در تمام سطوح تیماری آهن از هر دو نوع معمولی و نانو سبب بیشترین تاثیرگذاری بر وزن خشک ساقه در گیاه لوبیا چشم بلبلی شد. ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی منیزیم معمولی در هر یک از چهار سطح محلول‌پاشی آهن از نظر تاثیر بر وزن خشک ساقه در مرتبه بعدی قرار گرفتند. که البته اختلاف آن با نانومنیزیم تنها در سطح آهن معمولی با غلظت ۰/۵ گرم در لیتر معنی‌دار نبود. در هر دو غلظت ۰/۲۵ و ۰/۵ گرم در لیتر تاثیر تلفیق منیزیم (در هر دو شکل) با آهن معمولی بیشتر

از نانو بود. این در حالی است که در تیمار عدم مصرف آهن اثر بخشی منیزیم معمولی از نانومنیزیم و عدم مصرف منیزیم بیشتر بود.

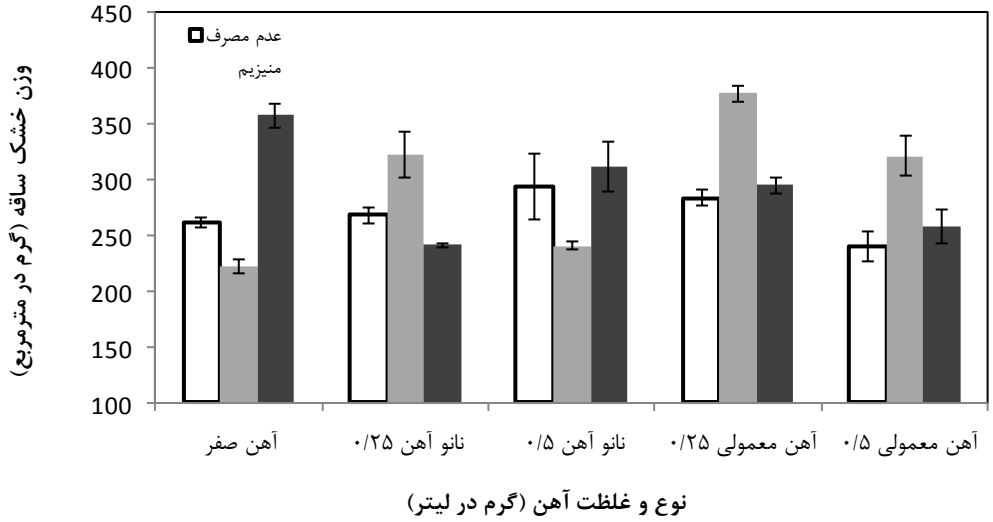


شکل ۴-۷- مقایسه میانگین وزن خشک ساقه در ۸۱ روز پس از کاشت تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم
بارهای روی میله‌ها SE ± می‌باشد.

به‌طور کلی نتایج نشان داد که بیشترین تجمع ماده خشک در ساقه مربوط به ترکیب تیماری آهن معمولی ۰/۲۵ گرم در لیتر × نانومنیزیم به میزان ۱۵۲/۷۸ گرم در مترمربع و کمترین به میزان ۴۹/۱۴ گرم در مترمربع مربوط به ترکیب تیماری نانوآهن ۰/۲۵ × عدم مصرف منیزیم بود (شکل ۴-۷ و جدول پیوست ۶). در شرایط کمبود منیزیم، در آرابیدوپسیس (هرمنز و وربروگن، ۲۰۰۵) و چغندر قند (هرمنز و همکاران، ۲۰۰۵) میزان نسبت ساقه به ریشه کاهش نشان داد. البته به طور متفاوتی توسط ریگا و آنزا (۲۰۰۳) در گیاه فلفل و فیشر و همکاران (۱۹۹۸) در اسفناج بیان شده است که در شرایط کمبود منیزیم نسبت وزن خشک ساقه به ریشه افزایش می‌یابد.

۴-۱-۲-۲- نمونه‌برداری چهارم وزن خشک ساقه

تاثیر همه اثرات اصلی و متقابل در نمونه‌برداری چهارم یعنی۱۲۳ روز پس از کاشت در سطح ۱ درصد بر وزن خشک ساقه معنی‌دار بود (جدول پیوست ۴). مقایسه میانگین اثر متقابل آهن و منیزیم بر وزن خشک ساقه در شکل ۴-۸ آورده شده است.



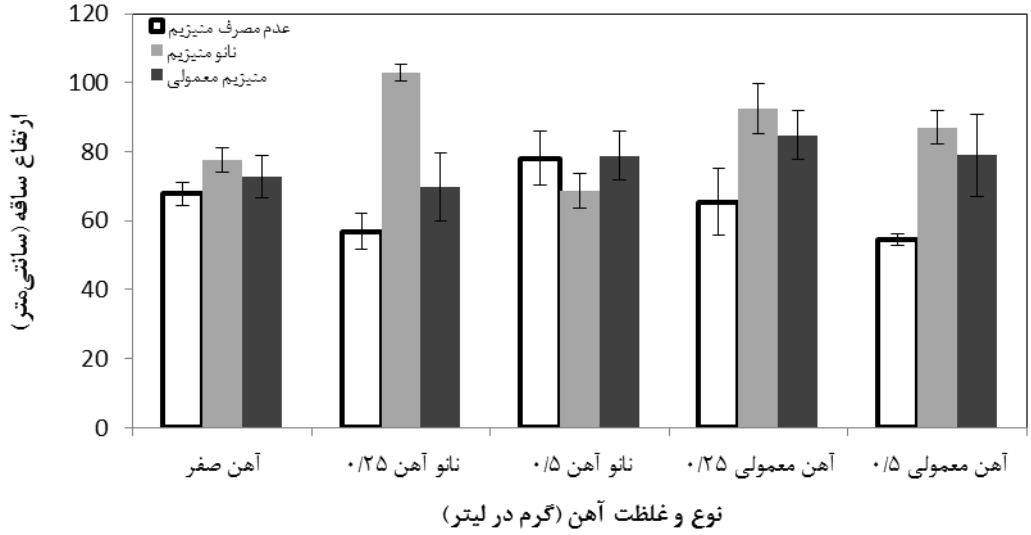
شکل ۴-۸- مقایسه میانگین وزن خشک ساقه در ۱۲۳ روز پس از کاشت تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم
بارهای روی میله‌ها SE ± می‌باشد.

مشاهده می‌گردد که ترکیب تیماری آهن معمولی ۰/۲۵ گرم در لیتر و نانومنیزیم بیشترین تاثیر را بر وزن خشک ساقه داشت. اختلاف آن با سایر ترکیبات تیماری از لحاظ آماری معنی‌دار نیز بود. بدون در نظر گرفتن تیمار عدم مصرف آهن، ترکیبات حاصل از نانومنیزیم با نانوآهن ۰/۲۵ و آهن معمولی ۰/۵ گرم در لیتر در مرتبه بعدی قرار گرفتند. در تیمارهای عدم آهن و نانوآهن ۰/۵ گرم در لیتر، منیزیم معمولی از اهمیت بیشتری نسبت به عدم مصرف منیزیم و نانومنیزیم برخوردار بود. در حالی که توام شدن نانومنیزیم با این دو تیمار آهن مقادیر پایینی از وزن خشک ساقه را بر جای گذاشت (شکل ۴-۸).

استفاده از ۱۰ میلی‌گرم در لیتر آهن (Fe-EDTA) سبب بیشترین وزن خشک اندام هوایی به میزان ۴/۵۲ گرم در گیاه برنج شد، هر چند با تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر تفاوت معنی‌داری نداشت (شمالی و همکاران، ۱۳۸۶).

۴-۲- ارتفاع ساقه

نتایج تجزیه واریانس ارتفاع ساقه در زمان‌های مختلف پس از کاشت در جدول پیوست ۷ نشان داده شده است. اثر اصلی منیزیم و اثر متقابل آن با آهن در تمام نمونه‌برداری‌ها بر ارتفاع ساقه معنی‌داری شد. در حالی که اثر آهن فقط در نمونه‌برداری چهارم (۱۲۳ روز پس از کاشت) معنی‌دار شد ($p < ۰/۰۱$).



شکل ۴-۹- مقایسه میانگین ارتفاع ساقه در ۱۳۷ روز پس از کاشت تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم
بارهای روی میله‌ها SE ± می‌باشد.

بیشترین ارتفاع ساقه با میانگینی معادل ۱۰۲/۹۰ سانتی‌متر از ترکیب تیماری نانوآهن ۰/۲۵ گرم در لیتر × نانومنیزیم به دست آمد. در سایر سطوح تیماری آهن (به جز تیمار نانو آهن ۰/۵ گرم در لیتر) نیز تیمار نانومنیزیم بیشتر از دو سطح دیگر تیماری خود بر ارتفاع ساقه تاثیرگذار بود.

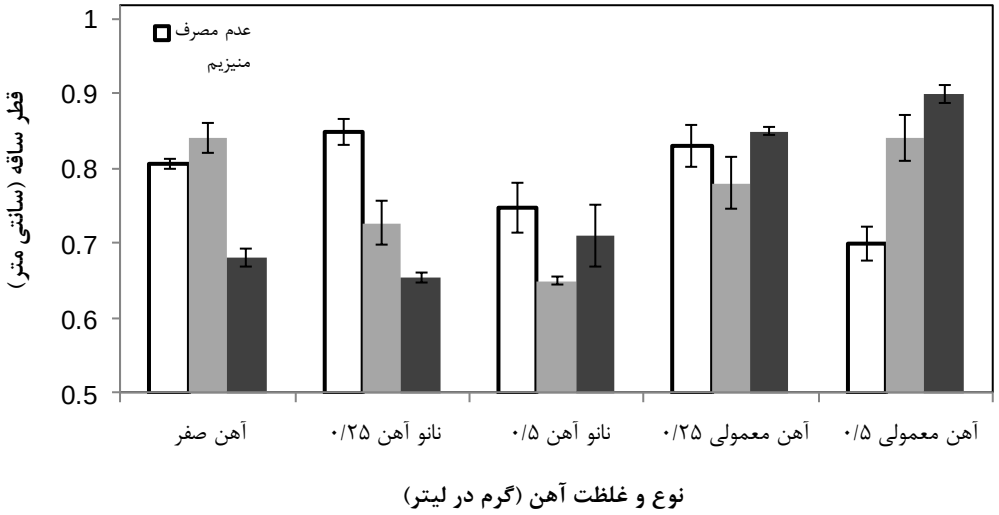
محلول‌پاشی توام منیزیم معمولی با هر دو غلظت آهن معمولی نیز سبب افزایش معنی‌دار طول ساقه گردید. به‌طوری‌که طول ساقه گیاهانی که ترکیب تیماری آهن معمولی ۰/۲۵ گرم در لیتر × نانومنیزیم را دریافت کردند با میانگینی معادل ۹۲/۴ سانتی‌متر در مرتبه دوم قرار گرفتند. کمترین طول ساقه از ترکیب تیماری آهن معمولی ۰/۵ گرم در لیتر × عدم مصرف منیزیم به میزان ۵۴/۵۰ سانتی‌متر به دست آمد (شکل ۴-۹ و جدول پیوست ۹). در مجموع نتایج به دست آمده حاکی از اهمیت بالای وجود نانومنیزیم برای تاثیرگذاری بیشتر در این صفت است. که ممکن است به دلیل فعالیت بیشتر این عنصر و احتمالا جذب بیشتر و سریع‌تر آن توسط گیاه باشد.

گزارش شده است که سولفات منیزیم، جذب نیتروژن توسط ریشه را افزایش می‌دهد و نیتروژن موجب افزایش ارتفاع گیاه و رشد اندام‌های هوایی می‌شود (چودهوری و خانیف، ۲۰۰۱). در آزمایش دالیویرا و همکاران (۲۰۰۰) کاربرد سولفات منیزیم یک ماه قبل از کاشت لوبیای معمولی، ارتفاع بوته، سطح برگ و وزن خشک این گیاه را به میزان قابل توجهی افزایش داد.

عنصر آهن یکی از عناصر ضروری برای گیاه است و نقش اساسی در تعداد گرانای کلروپلاست دارد. در اثر کمبود آهن اندازه کلروپلاست کاهش می‌یابد و در نهایت در اثر کاهش فرآورده‌های فتوسنتزی منجر به کاهش ارتفاع گیاه می‌شود (سومر، ۱۹۹۵). در آزمایش نیکوپورمحمدجانلو و همکاران (۱۳۹۰) نشان داده شده است که اثرات اصلی کود آهن، نیتروژن و پتاسیم بر صفات ارتفاع گیاه سیب‌زمینی بوته معنی‌دار بود.

۴-۳- قطر ساقه

اثر سطوح مختلف آهن بر قطر ساقه در نمونه‌برداری‌های مختلف معنی‌دار شد، همچنین تیمار منیزیم در زمان‌های مختلف پس از کاشت (به جز ۱۳۷ روز پس از کاشت) اثر معنی‌داری بر قطر ساقه داشت (جدول پیوست ۱۰). با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل آهن در منیزیم (جدول پیوست ۱۰) مقایسه‌ای بین این ترکیبات انجام گردید که در شکل ۴-۱۰ نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۰- مقایسه میانگین قطر ساقه در ۱۳۷ روز پس از کاشت تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم
بارهای روی میله‌ها SE ± می‌باشد.

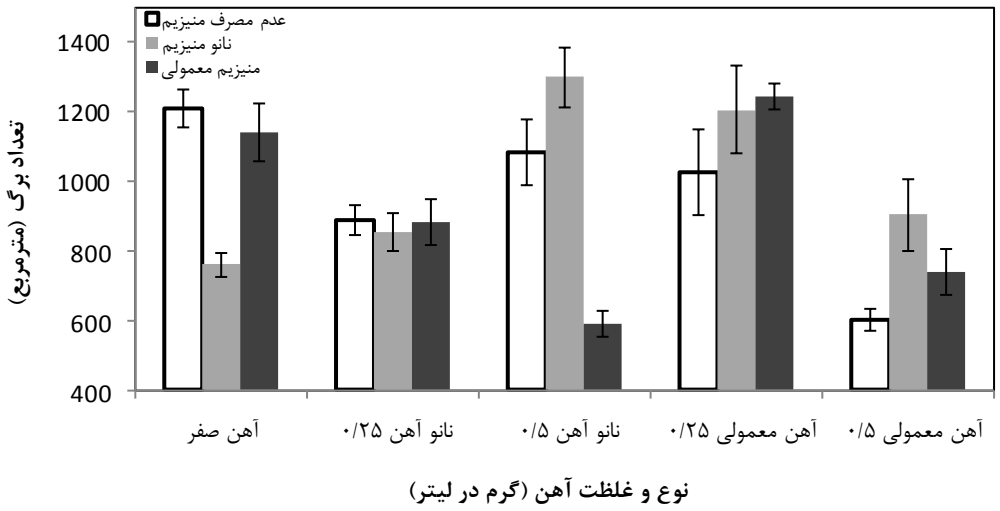
به‌طور کلی به جز ترکیبات تیماری حاصل از سطوح منیزیم با عدم محلول‌پاشی آهن که نتیجه متفاوتی نشان دادند، سایر ترکیبات تیماری که منجر به افزایش طول ساقه شده بودند (شکل ۴-۹)، قطر ساقه کمتری داشتند (شکل ۴-۱۰). در سطح تیماری آهن صفر، تاثیر نانومنیزیم بر قطر ساقه بیشتر از دیگر سطوح تیماری خود بود. به نظر می‌رسد که هر دو غلظت آهن معمولی نسبت به فرم نانو تاثیرگذاری بیشتری بر قطر ساقه داشته است. نتایج نشان داد چنانچه تیمار منیزیم با مقادیر بالای آهن معمولی همراه باشد قطر ساقه افزایش بیشتری می‌یابد. پایین بودن قطر ساقه در اکثر نمونه‌برداری‌ها در شرایطی که نانومنیزیم همراه با نانوآهن به‌ویژه غلظت ۰/۲۵ گرم در لیتر بود حاکی از اهمیت بالای وجود آهن معمولی برای تاثیرگذاری بیشتر منیزیم در گیاه است. از طرفی ممکن است که غلظت نانوآهن ۰/۵ و نانومنیزیم به علت ریزتر بودن ذرات و جذب بیشتر و سریع‌تر در مرحله‌ی پایانی رشد گیاه لوبیا چشم بلبلی بیش از حد مورد نیاز گیاه بوده است که سبب نتیجه‌ی عکس یعنی کاهش قطر ساقه گردیده است. بدین ترتیب بیشترین قطر ساقه به میزان ۰/۹۰ سانتی‌متر در ترکیب تیماری آهن معمولی ۰/۵ گرم در لیتر × منیزیم معمولی و کمترین در ترکیب تیماری نانوآهن ۰/۵ گرم در لیتر × نانومنیزیم به میزان ۰/۶۵ سانتی‌متر مشاهده شد (شکل ۴-۱۰ و جدول پیوست ۱۲).

در آفتابگردان نیز بیشترین قطر ساقه معادل ۲/۳ سانتی‌متر در ترکیب تیماری آهن صفر و ۴۰ کیلوگرم روی و کمترین مقدار آن با ۱/۴ سانتی‌متر در ترکیب تیماری آهن صفر و روی صفر بدست آمد و کاربرد توام این دو ریز مغذی سبب کاهش قطر ساقه شد (پیروی، ۱۳۸۰).

۴-۴- تعداد برگ

نتایج تجزیه واریانس تعداد برگ در مترمربع در زمان‌های مختلف پس از کاشت در جدول پیوست ۱۳ نشان داده شده است. اثر آهن تنها در ۱۰۹ و ۱۲۳ روز پس از کاشت، اثر منیزیم در ۸۱ و ۹۵ روز پس از کاشت و اثر متقابل این دو از ۹۵ روز پس از کاشت به بعد معنی‌دار شد ($p < ۰/۰۱$). در شکل ۴-۱۱ مشاهده می‌گردد که ترکیب تیماری نانومنیزیم و نانوآهن ۰/۵ گرم در لیتر با میانگینی معادل ۱۲۹۹/۵ برگ در مترمربع، از بین کلیه سطوح تیماری سبب بیشترین تعداد برگ در گیاه لوبیا چشم بلبلی شد. توام شدن منیزیم معمولی با همین سطح از نانوآهن چنان اثر منفی بر تعداد برگ گیاه داشت که با میانگین ۵۹۳ برگ در مترمربع کمترین تعداد برگ را در بین ترکیبات تیماری به خود اختصاص داد. با توجه به نتیجه چنین استنباط می‌شود که حضور نانوآهن در بالاترین غلظت به همراه نانومنیزیم با توجه به خصوصیات ویژه‌ای که دارند می‌توانند از طریق افزایش تعداد برگ (شکل ۴-۱۱) و افزایش ماندگاری آن‌ها به واسطه افزایش میزان کلروفیل (شکل‌های ۴-۳۰ و ۴-۳۱) سبب ایجاد سطح فتوسنتز کننده وسیع و پایدار هم در زمان رشد رویشی و هم هنگام پر شدن دانه گردند که نتیجه آن افزایش عملکرد گیاه خواهد بود. محلول‌پاشی منیزیم به هر دو شکل نانو و معمولی همراه با آهن معمولی ۰/۲۵ گرم در لیتر تقریبا به یک اندازه تعداد برگ گیاه را افزایش داد. اگر چه تعداد در این تیمارها کمتر از ترکیب تیماری نانوآهن ۰/۵ گرم در لیتر × نانومنیزیم بود. ولی اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها وجود نداشت. هر چند محلول‌پاشی منیزیم به‌ویژه نانومنیزیم همراه با آهن معمولی ۰/۵ گرم در لیتر تعداد برگ را افزایش داد ولی در کل در این گیاهان تعداد برگ تولیدی در واحد سطح خیلی

کم بود. تاثیر محلول‌پاشی نانومنیزیم در تعداد برگ گیاهانی که آهن دریافت نکرده بودند، منفی بود (شکل ۴-۱۱).

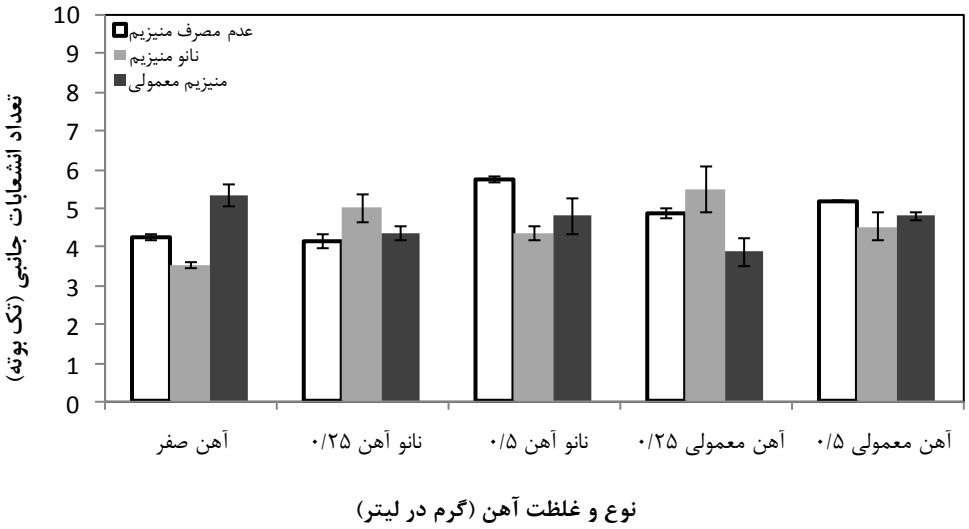


شکل ۴-۱۱- مقایسه میانگین تعداد برگ در ۱۲۳ روز پس از کاشت تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم
بارهای روی میله‌ها SE ± می‌باشد.

طی پژوهشی روی آفتابگردان محلول‌پاشی آهن در غلظت‌های مختلف (۰، ۱، ۲ و ۴ در هزار) در شرایط تنش شوری، تاثیر معنی‌داری بر صفات تعداد کل برگ، قطر طبق، وزن صد دانه، تعداد دانه در طبق و عملکرد نداشت (شریعتمداری و همکاران، ۱۳۸۹). ثابت شده است که کمبود منیزیم ابتدا اجزاء ساختمانی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. کمبود منیزیم در لوبیا بوته‌ای روی اجزاء تشکیل دهنده‌ی کلروپلاست اثر می‌گذارد و باعث کاهش در تعداد و اندازه‌ی گرانا می‌شود (توماس و وایر، ۱۹۶۲). محلول‌پاشی عناصر کم مصرف بور و آهن بر تعداد برگ چغندرقند نیز معنی‌دار بوده است. به طوری‌که بیشترین تعداد برگ در تیمار محلول‌پاشی ریزمغذی‌ها (۳۲/۳۰ برگ در بوته) نسبت به شاهد (۲۸/۱۱ برگ در بوته) مشاهده شد (چگنی و همکاران، ۱۳۸۹).

۴-۵- تعداد انشعابات جانبی

در نخستین نمونه‌برداری (۹۵ روز پس از کاشت) اثر آهن ($p < ۰/۰۱$) و اثر متقابل آن با منیزیم ($p < ۰/۰۵$)، در ۱۰۹ روز پس از کاشت تنها اثرات اصلی آهن و منیزیم ($p < ۰/۰۱$) و پس از آن فقط اثر متقابل آهن × منیزیم ($p < ۰/۰۱$) بر تعداد انشعابات جانبی ساقه معنی‌دار شد (جدول پیوست ۱۶). شکل ۴-۱۲ اثر ترکیبات تیماری حاصل از آهن و منیزیم را در ۱۳۷ روز پس از کاشت بر تعداد انشعابات جانبی نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۲- مقایسه میانگین تعداد انشعابات جانبی در ۱۳۷ روز پس از کاشت تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم
بارهای روی میله‌ها SE ± می‌باشد.

بیشترین تعداد انشعابات جانبی (حدود ۵/۵ انشعاب) در گیاهانی مشاهده شد که فقط تیمار نانوآهن ۰/۵ گرم در لیتر را دریافت کرده بودند. البته بین این تیمار و ترکیب تیماری آهن معمولی ۰/۲۵ گرم در لیتر × نانومنیزیم اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. در مقابل گیاهانی که فقط تیمار نانومنیزیم را دریافت کرده بودند با میانگینی معادل ۳/۵۳ انشعاب فرعی در بوته کمترین میزان انشعاب فرعی را دارا بودند. این در حالی است که وقتی منیزیم معمولی به تنهایی محلول‌پاشی گردید، تعداد انشعابات به بیشتر از ۵ انشعاب در بوته رسید (شکل ۴-۱۲ و جدول پیوست ۱۸). پایین بودن

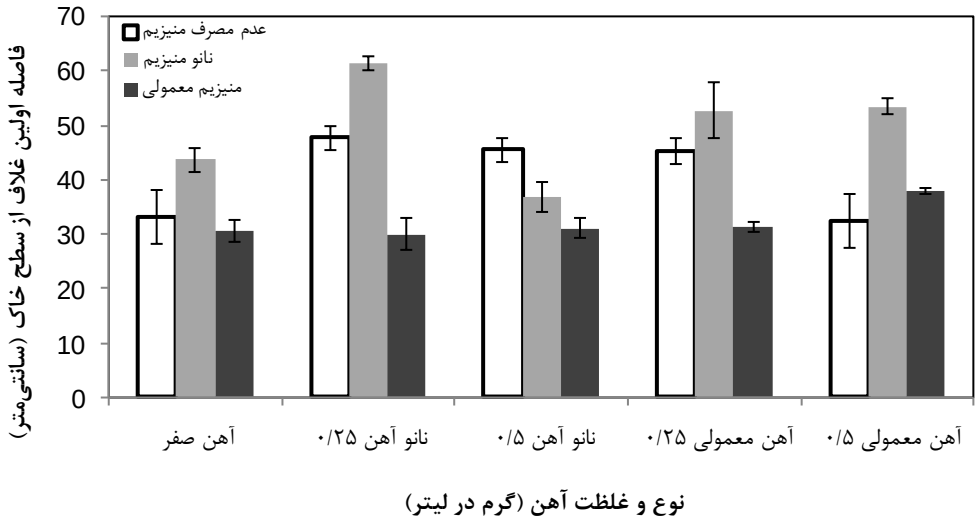
تعداد انشعابات فرعی در شرایطی که نانومنیزیم به تنهایی استفاده گردید حاکی از اهمیت بالای حضور آهن برای تاثیرگذاری نانومنیزیم بر انشعابات فرعی در این گیاه است. به طور کلی در بالاترین غلظت آهن به هر دو شکل نانو و معمولی، محلول‌پاشی با هر دو فرم منیزیم تعداد انشعاب را نسبت به شرایط عدم مصرف منیزیم به‌طور معنی‌داری کاهش داد. در حالی که وقتی غلظت آهن محلول‌پاشی شده به هر دو شکل معمولی و نانو کم بود (۰/۲۵ گرم در لیتر)، محلول‌پاشی نانومنیزیم تعداد انشعابات را حدود ۱ انشعاب در بوته بهبود بخشید (شکل ۴-۱۲).

تعداد شاخه در گیاه در گونه‌های مختلف حبوبات متفاوت است و به عنوان یک معیار مهم برای عملکرد دانه محسوب می‌شود. علاوه بر این، در داخل گونه‌ها نیز ظرفیت شاخه‌دهی در ژنوتیپ‌های مختلف، متفاوت است. معمولا ژنوتیپ‌های با عادت رشدی محدود از توانایی شاخه‌دهی بالاتری برخوردارند که احتمالا دلیل آن رقابت بین شاخه‌ها در کانوپی گیاه است. تراکم‌های کم گیاه را می‌توان از طریق تولید شاخه‌های بیشتر جبران کرد. شاخه‌دهی در گیاه به شدت تحت تاثیر شرایط محیطی به‌ویژه خصوصیات فیزیکی خاک و یا وضعیت آب خاک قرار می‌گیرد، بنابراین شرایط محیطی می‌تواند سهم شاخه‌ها را از عملکرد نهایی گیاه تغییر دهد (پارسا و باقری، ۱۳۸۷).

در اثر محلول‌پاشی توام آهن + روی در گیاه دارویی گل بابونه آلمانی، قطر ساقه اصلی، تعداد ساقه فرعی، ارتفاع بوته و تعداد برگ نسبت به شاهد افزایش یافت (نصیری و همکاران، ۱۳۸۹). بین روش‌های مختلف مصرف (محلول‌پاشی و خاک مصرف) سولفات منیزیم در عدس، از لحاظ تعداد شاخه فرعی در بوته، اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (یعقوبی، ۱۳۸۸). در آزمایشی که توسط شیخ بگلو و همکاران (۲۰۱۰) اجرا شد، استفاده از نانو اکسید آهن در غلظت‌های مختلف تاثیر معنی‌داری بر تعداد انشعابات جانبی در سویا نداشت. طی آزمایشی در مورد کاربرد عناصر غذایی کم‌مصرف (آهن، روی و بر) در گیاه گلرنگ بیشترین عملکرد دانه، کاه و کلش، ارتفاع گیاه، وزن هزاردانه و تعداد شاخه‌های فرعی مربوط به تیمار آهن بود (کمرکی و گلوی، ۱۳۸۵).

۴-۶- فاصله اولین غلاف از سطح خاک

فاصله اولین غلاف از سطح خاک به طور بسیار معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد از اثر اصلی آهن و منیزیم و اثر متقابل آن‌ها تاثیر پذیرفت (جدول پیوست ۱۹). توام شدن نانومنیزیم با تمام سطوح تیماری آهن، به جز تیمار نانوآهن ۰/۵ گرم در لیتر که رفتار متفاوتی نشان داد، موجب افزایش قابل توجه و معنی‌دار در فاصله اولین غلاف از سطح خاک گردید (شکل ۴-۱۳).



شکل ۴-۱۳- مقایسه میانگین فاصله اولین غلاف از سطح خاک در ۱۳۷ روز پس از کاشت تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم
بارهای روی میله‌ها SE ± می‌باشد.

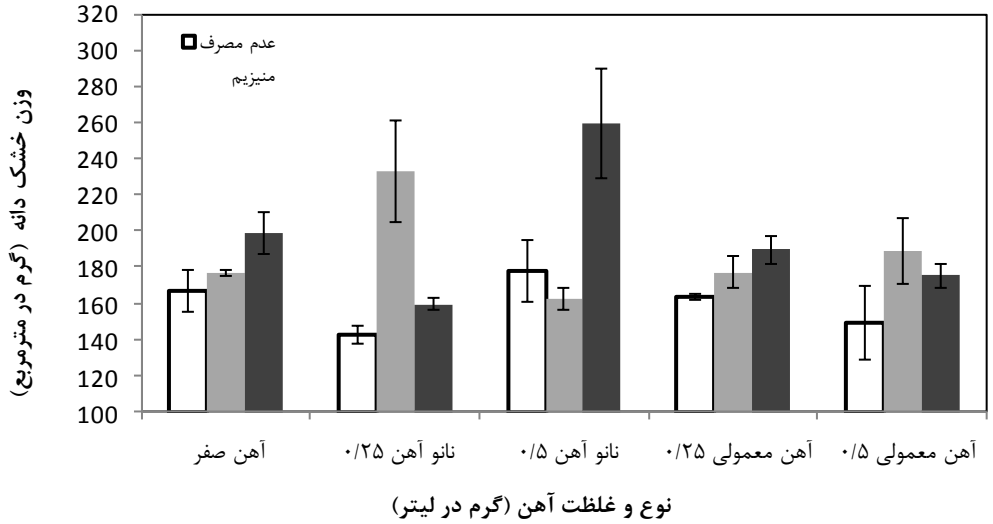
با توجه به این‌که غلاف یکی از اجزای عملکرد محسوب می‌گردد، قرارگیری این جزء در شرایطی مناسب روی بوته می‌تواند در عملکرد نهایی تاثیرگذار باشد و لوبیا چشم بلبلی از جمله حبوباتی است که دارای احتمال ریزش غلاف است بنابراین هرچه ارتفاع فاصله‌ی اولین غلاف و در کل غلاف‌ها از سطح خاک بیشتر باشد، خطر ریزش و همچنین برخورد با آلودگی‌های موجود در سطح خاک کمتر است، از طرفی ثابت شده است که برگ‌های مختلف کانوپی مخازن نزدیک به خود را به مراتب بیشتر از مخازن دورتر حمایت می‌کنند. بدیهی است که دریافت نور و به دنبال آن فتوسنتز در برگ‌های

بالایی کانوپی بیشتر است. لذا هرچه غلاف در ارتفاع بالاتری روی کانوپی تشکیل گردد، احتمال دریافت اسیمیلات‌ها و در نتیجه پر شدن آن بیشتر خواهد بود. به طوری‌که بیشترین فاصله اولین غلاف از سطح خاک با میانگینی معادل ۶۱/۳۰ سانتی‌متر مربوط به این ترکیب تیماری بود. توام شدن نانومنیزیم با هر دو غلظت آهن معمولی به یک اندازه بر این صفت تاثیر داشت و در مرتبه دوم قرار گرفتند. محلول‌پاشی با منیزیم معمولی به تنهایی و نیز توام با سطوح مختلف آهن (به جز آهن معمولی ۰/۵ گرم در لیتر) به یک اندازه روی این صفت تاثیرگذار بود و با میانگینی معادل ۳۰ سانتی‌متر کمترین فاصله غلاف از سطح خاک را نشان دادند (شکل ۴-۱۳).

۴-۷- وزن خشک دانه

در بازه نمونه‌برداری از ۹۵ تا ۱۳۷ روز پس از کاشت، اثر کلیه منابع تغییر (به جز اثر آهن در ۱۳۷ روز پس از کاشت) بر وزن خشک دانه در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول پیوست ۲۲). نتایج به دست آمده از آخرین نمونه‌برداری در ۱۳۷ روز پس از کاشت نشان داد که محلول‌پاشی با منیزیم به هر دو فرم معمولی و نانو چه به تنهایی انجام شود و چه توام با سطوح فرم‌های مختلف آهن (به جز ترکیب تیماری نانو آهن ۰/۵ گرم در لیتر و نانو منیزیم) باشد، تجمع ماده خشک در دانه را افزایش خواهد داد. بالاترین وزن خشک دانه با میانگینی معادل ۲۵۹/۶۱ گرم درمترمربع از ترکیب تیماری نانوآهن ۰/۵ گرم در لیتر در منیزیم معمولی به دست آمد که اگر چه حدود ۳۰ گرم در مترمربع بیشتر از ترکیب تیماری نانوآهن ۰/۲۵ گرم در لیتر × نانومنیزیم بود ولی اختلاف آن‌ها معنی‌دار نبود (شکل ۴-۱۴ و جدول پیوست ۲۴). محلول‌پاشی منیزیم معمولی و نانومنیزیم به تنهایی به ترتیب موجب افزایش ۱۹/۳ و ۵/۹ درصدی در ماده خشک دانه نسبت به شاهد گردید. در حالی که افزایش مشاهده شده در بیشترین وزن خشک دانه به دست آمده (ترکیب تیماری نانوآهن ۰/۵ گرم در لیتر × منیزیم معمولی) نسبت به شاهد ۵۶ درصد بود. این در حالی است که محلول‌پاشی آهن به

تنهایی به هر دو شکل و هر دو غلظت تاثیر مثبتی بر وزن خشک دانه لوبیا چشم بلبلی نداشت (شکل ۴-۱۴ و جدول پیوست ۲۴).



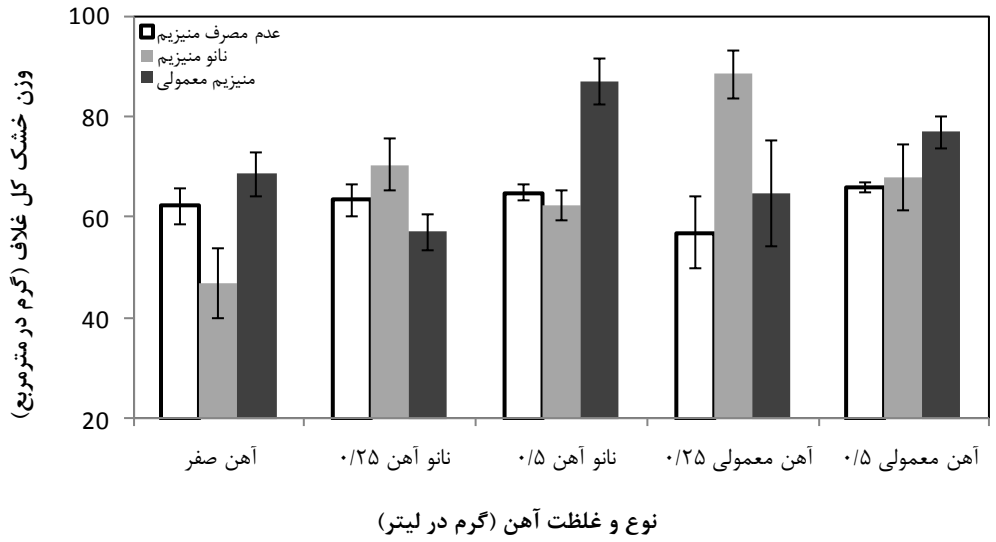
شکل ۴-۱۴- مقایسه میانگین وزن خشک دانه در ۱۳۷ روز پس از کاشت تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم
بارهای روی میله‌ها SE ± می‌باشد.

برخلاف نتایج به دست آمده، قاسمی فسایی و همکاران (۱۳۸۵) بیان کردند که کاربرد آهن موجب افزایش وزن خشک دانه در سویا می‌گردد. در آزمایش آن‌ها کاربرد ۲/۵ و ۵ میلی گرم آهن در کیلوگرم خاک سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک دانه به ترتیب به میزان ۴۵/۳ و ۹۸/۷ درصد نسبت به شاهد گردید.

۴-۸- وزن خشک کل غلاف

وزن خشک کل غلاف به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر آهن و اثر متقابل آن با منیزیم قرار گرفت. اثر منیزیم تنها در نخستین نمونه‌برداری معنی‌دار شد و پس از آن تاثیری بر این صفت نداشت (جدول پیوست ۲۵). شکل ۴-۱۵ اثر متقابل تیمار آهن و منیزیم را در ۱۳۷ روز پس از کاشت بر وزن خشک غلاف نشان می‌دهد. در این شکل مشاهده می‌گردد که در غلظت پایین آهن به هر دو شکل معمولی و

نانو توام شدن با نانومنیزیم و در غلظت بالای آهن به هر دو شکل توام شدن با منیزیم معمولی از نظر تاثیرگذاری بر وزن خشک غلاف سودمندی بیشتری داشت.



شکل ۴-۱۵- مقایسه میانگین وزن خشک کل غلاف در ۱۳۷ روز پس از کاشت تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم
بارهای روی میله‌ها SE ± می‌باشد.

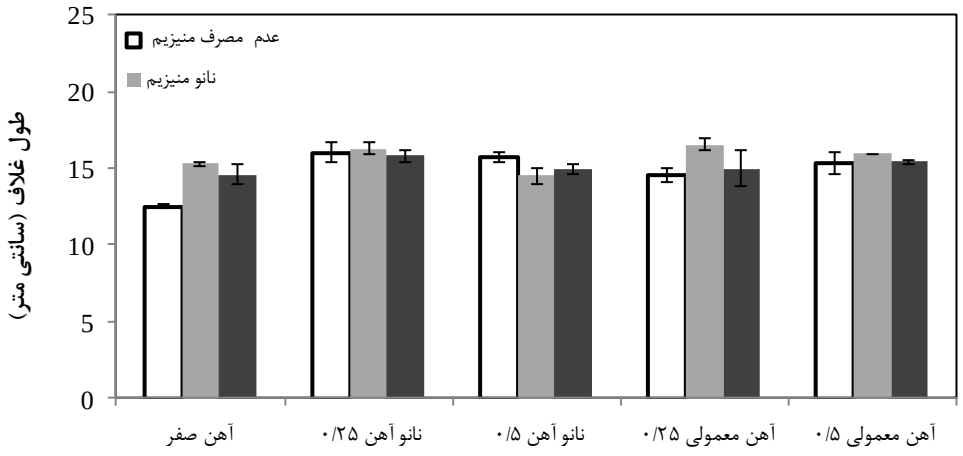
بالاترین وزن خشک غلاف از ترکیب تیماری آهن معمولی ۰/۲۵ گرم در لیتر × نانومنیزیم با میانگینی معادل ۸۸/۴۲ گرم در مترمربع حاصل شد که با اختلاف بسیار اندکی در حدود ۱ گرم در مترمربع با ترکیب تیماری نانوآهن ۰/۵ گرم در لیتر × منیزیم معمولی داشت. وزن خشک غلاف در اثر کاربرد نانومنیزیم به تنهایی به طور قابل توجهی کاهش یافت به‌طوری‌که تنها میانگینی معادل ۴۶/۸ گرم در مترمربع را برای این صفت به نمایش گذاشت (شکل ۴-۱۵ و جدول پیوست ۲۷).

بسیاری از حبوبات، تعداد زیادی گل تولید می‌کنند، اما تنها درصد کمی از آن‌ها به غلاف و بذر تبدیل می‌شوند. تحقیقات در مورد درصد تشکیل غلاف در رقم‌های مختلف نخود نشان داده است که این مقدار به طور متوسط ۳۲ درصد است. البته در این ارتباط عوامل محیطی از جمله نور، دما و میزان رطوبت خاک به مقدار زیادی می‌توانند تاثیر گذار باشند. همچنین تحقیقات نشان داده است که

در اکثر حبوبات، رشد غلاف‌ها منجر به پیری سریع گیاه و یا حداقل پیری برگ‌هایی که در محدوده غلاف‌ها هستند می‌شود. از آن‌جایی که این برگ‌ها توانایی خود را خیلی سریع از دست می‌دهند، این عمل تعداد گل‌هایی را که بعدا تبدیل به غلاف می‌شوند، محدود می‌کند. مطالعات در مورد نخود نشان داده است که سطح برگ در هر گره همبستگی قوی با تعداد غلاف و وزن بذر دارد (پارسا و باقری، ۱۳۸۷). استفاده از نانو اکسید آهن در سویا، سبب افزایش وزن خشک غلاف + برگ شده است. به طوری‌که بیشترین تاثیر را غلظت نانو اکسید آهن ۰/۷۵ گرم در لیتر به میزان ۴۵/۸۴ گرم در مترمربع دارا بوده است (شیخ بگلو و همکاران، ۲۰۱۰).

۴-۹- طول غلاف

طول غلاف به طور معنی‌داری تحت تاثیر اثر آهن ($p < ۰/۰۱$)، منیزیم ($p<۰/۰۱$) و اثر متقابل آن‌ها ($p < ۰/۰۵$) قرار گرفت (جدول پیوست ۱۹). در شکل ۴-۱۶ مشاهده می‌گردد که طول غلاف‌های تولید شده در گیاهانی که به هر ترتیب توسط یکی از عناصر آهن و منیزیم و یا ترکیب این دو در هر دو فرم و هر غلظتی محلول‌پاشی شدند، به‌طور معنی‌داری بیشتر از گیاهانی بود که هیچ تیماری دریافت نکردند. نانومنیزیم و منیزیم معمولی به تنهایی موجب افزایش طول غلاف به ترتیب معادل ۲/۸۳ و ۲/۱۱ سانتی‌متر شدند. نانوآهن ۰/۲۵ گرم در لیتر به تنهایی، طول غلاف را حدود ۳/۵ سانتی‌متر در مقایسه با شاهد بهبود بخشید، که البته اختلاف معنی‌داری با ترکیب این تیمار با نانومنیزیم و منیزیم معمولی نداشت. اگر چه نانوآهن ۰/۵ گرم در لیتر، این صفت را حدود ۳/۲ سانتی‌متر افزایش داد. ولی تلفیق آن با نانومنیزیم و منیزیم معمولی اثر منفی داشت و افزایش مشاهده شده در این ترکیبات تیماری در مقایسه با شاهد به طور متوسط ۲/۳ سانتی‌متر بود. افزایش مشاهده شده در تیمار آهن معمولی ۰/۲۵ گرم در لیتر، ۲/۱ سانتی‌متر بود.



شکل ۴-۱۶- مقایسه میانگین طول غلاف در ۱۵۱ روز پس از کاشت تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن منیزیم
بارهای روی میله‌ها SE ± می‌باشد.

محلول‌پاشی توام منیزیم معمولی با این سطح از آهن تفاوت زیادی با کاربرد آن به تنهایی نداشت ولی توام شدن نانومنیزیم با این سطح از آهن بیشترین طول غلاف معادل ۱۶/۵۶ سانتی‌متر را نشان داد که ۴/۱ سانتی‌متر بیشتر از شاهد بود و اختلاف آن با اکثر ترکیبات تیماری معنی‌دار بود. آهن معمولی ۰/۵ گرم در لیتر به تنهایی و توام شدن آن با منیزیم معمولی نیز طول غلاف را حدود ۲/۹ سانتی‌متر نسبت به شاهد افزایش دادند. تاثیر ترکیب تیماری آهن معمولی ۰/۵ گرم در لیتر با نانومنیزیم اندکی بیشتر بود. با توجه به این‌که تعداد غلاف یکی از اجزای عملکرد محسوب می‌گردد، افزایش طول غلاف امکان حضور تعداد بذر بیشتری که خود نیز یکی دیگر از اجزای عملکرد می‌باشد را فراهم می‌نماید البته اندازه بذر نیز تعداد بذر موجود در غلاف را تغییر می‌دهد. به نظر می‌رسد حضور هر دو عنصر آهن و منیزیم بر این صفت از اهمیت بالایی برخوردار است. احتمالاً نقش تاثیر این دو عنصر از طریق تاثیر بر سطح فتوسنتز کننده و دوام آن خواهد بود.

مواد فتوسنتزی کمی از برگ‌های اطراف یک غلاف در محور مربوطه به دیگر گره‌ها منتقل می‌شود. یعنی وجود یک منبع قوی در نزدیکی غلاف پر شدن آن را حمایت خواهد کرد. در حبوبات دوره رشد غلاف و سرعت پیری برگ‌ها با شروع تنش آب و افزایش دما، افزایش می‌یابد. در صورت

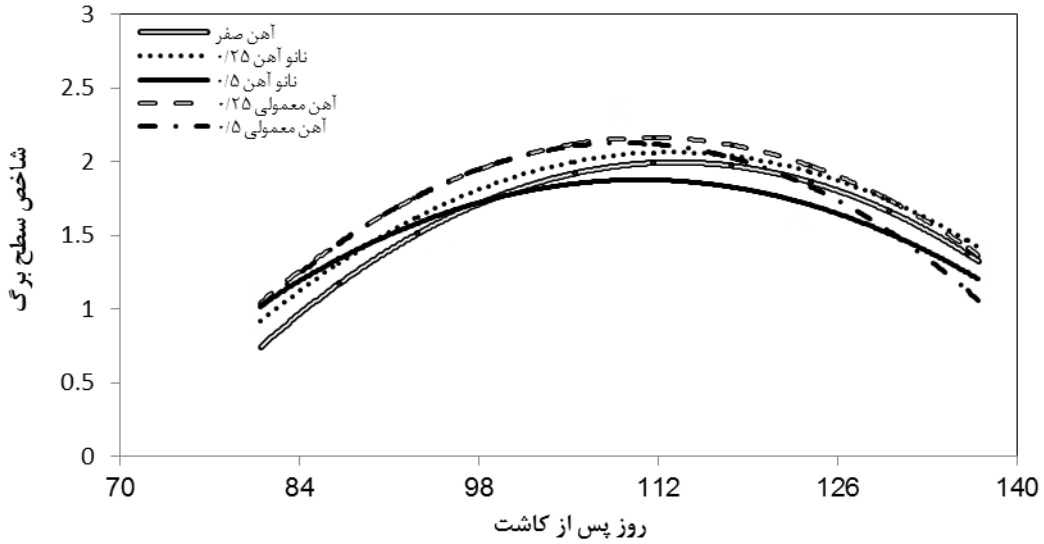
فراهمی رطوبت رشد غلاف‌ها و بلوغ آن‌ها در یک دوره طولانی‌تر انجام می‌شود و برگ‌ها با سرعتی آهسته‌تر پیر می‌شوند (پارسا و باقری، ۱۳۸۷). نتایجی مشابه برای سایر گیاهان گزارش شده است به عنوان مثال در آزمایشی که در دو سال متوالی ۲۰۰۷-۲۰۰۵ اجرا شد، استفاده از عناصر ریز مغذی (مس+منگنز+آهن+روی) سبب بیشترین طول سنبلک در گندم (به ترتیب ۱۲/۴۸ و ۱۲/۱۷ سانتی‌متر) شد (سید و همکاران، ۲۰۰۹).

۴-۱۰- شاخص سطح برگ

مطالعات نشان داده است که توسعه سطح برگ و تجمع ماده خشک در اغلب حبوبات به‌ویژه حبوبات سردسیری برای یک دوره طولانی پس از کاشت خیلی آهسته است. رشد برگ و افزایش آن نتیجه افزایش تعداد و اندازه سلول‌ها است. بررسی‌ها در نخود فرنگی نشان داده است که افزایش سطح برگ در دو مرحله مستقل از هم انجام می‌شود. مرحله اول شامل تقسیم سلولی است که دو سوم رشد برگ نتیجه افزایش تعداد سلول‌ها است و در مرحله دوم که شامل یک سوم باقیمانده می‌باشد، رشد برگ در نتیجه افزایش حجم سلول‌ها انجام می‌شود (پارسا و باقری، ۱۳۸۷).

شکل ۴-۱۷ روند تغییرات شاخص سطح برگ را تحت تاثیر محلول‌پاشی با اکسید آهن در غلظت‌های مختلف به دو فرم معمولی و نانو در طول دوره رشد نشان می‌دهد. مشاهده می‌گردد شاخص سطح برگ تحت تاثیر محلول‌پاشی تیمارهای آهن قرار گرفته است. همان‌طور که بیان شد در ابتدای فصل رشد توسعه سطح برگ آهسته بوده و با رشد گیاه افزایش می‌یابد سپس با ورود به مرحله‌ی گلدهی و زایشی شروع به کاهش یافتن می‌کند، همچنین گسترش سطح برگ با سن برگ بستگی دارد و کاهش سطح برگ در مراحل پایانی رشد به سبب پیری و ریزش برگ‌ها بوده است. تا حدود ۹۷ روز پس از کاشت شاخص سطح برگ در تیمارهای محلول‌پاشی با آهن به هر دو شکل معمولی و نانو نسبت به آهن صفر بیشتر بود. پس از آن ابتدا در تیمار نانوآهن ۰/۵ گرم در لیتر و در ادامه از حدود ۱۲۰ روز پس از کاشت در تیمار آهن معمولی ۰/۵ گرم در لیتر کاهش شاخص سطح

برگ نسبت به شاهد مشاهده گردید. این در حالی است که میزان شاخص سطح برگ در هر دو غلظت آهن معمولی تا حدود ۱۱۰ روز پس از کاشت یکسان بود. پس از آن بود که روند کاهشی شدیدی در شاخص سطح برگ تیمار آهن معمولی ۰/۵ گرم در لیتر مشاهده گردید و در مقابل مقدار این صفت در تیمار نانوآهن ۰/۲۵ گرم در لیتر افزایش یافت. برتری این صفت تا پایان فصل در پایین‌ترین غلظت آهن به هر دو شکل معمولی و نانو حفظ شد.



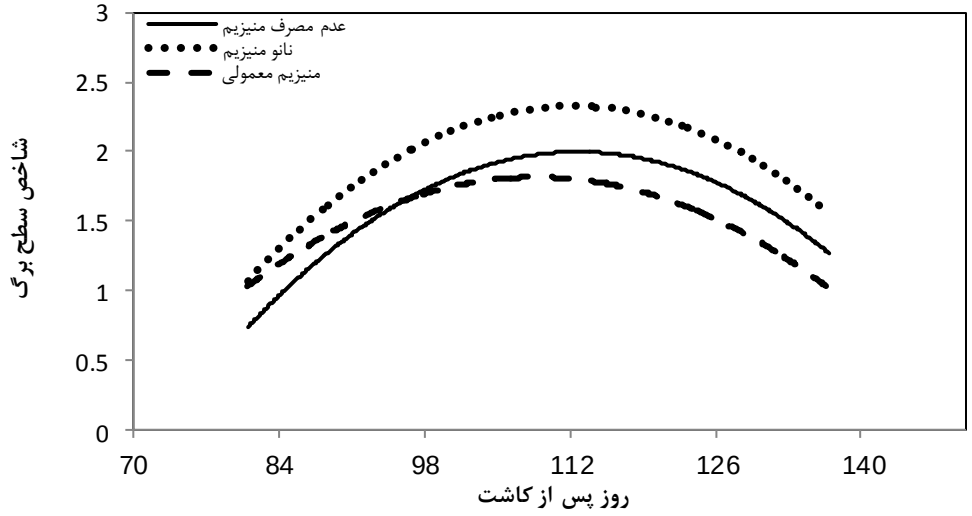
شکل ۴-۱۷- روند تغییرات شاخص سطح برگ تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن

در مجموع هنگامی که شاخص سطح برگ به اوج خود رسید (حدود ۱۱۲ روز پس از کاشت) و می‌توانست بالاترین استفاده از تشعشع موجود در محیط صورت پذیرد، شاخص سطح برگ در نانوآهن ۰/۵ گرم در لیتر از بقیه تیمارها کمتر بود که یک نکته منفی قلمداد می‌شود.

با توجه به اهمیت شاخص سطح برگ و سرعت رشد گیاه در افزایش عملکرد ذرت علوفه‌ای می‌توان بیان کرد که سهم عمده‌ای از افزایش عملکرد علوفه در اثر مصرف کود نیتروژن و عناصر کم مصرف (سولفات روی و سولفات آهن) به سبب بهبود شاخص‌های فیزیولوژیک می‌باشد (ساجدی و اردکانی، ۱۳۸۷). نیتروژن و آهن هر دو در فعالیت‌های حیاتی گیاه مثل فتوسنتز، سنتز DNA، تشکیل پروتئین، تنفس و تثبیت نیتروژن دخالت دارند. نیتروژن یکی از اجزاء مهم و اصلی کلروفیل و

آهن برای سنتز کلروفیل مهم می‌باشد. سطح برگ، بیوماس و سرعت فتوسنتز با افزایش ترکیب کودهای آهن و نیتروژن در شرایط خاک‌های مدیترانه‌ای افزایش می‌یابد (کالیسکن و همکاران، ۲۰۰۸). همچنین مقایسه میانگین نشان داد که افزایش درصد جذب نور و همچنین شاخص سطح برگ به‌دنبال افزایش سطوح محلول‌پاشی آهن با سولفات آهن حاصل گردید (ملکوتی و همکاران، ۲۰۰۶).

شاخص سطح برگ طی فصل رشد تحت تاثیر محلول‌پاشی منیزیم قرار گرفت که در شکل ۴-۱۸ نشان داده شده است. در ابتدای فصل محلول‌پاشی با منیزیم به هر دو شکل نانو و معمولی، شاخص سطح برگ بیشتری را به نمایش گذاشت. برتری منیزیم معمولی زیاد طول نکشید. شاخص سطح برگ در گیاهانی که این تیمار را دریافت کرده بودند در حدود ۱۰۰ روز پس از کاشت به اوج خود رسید و با کاهش شدیدی که در ادامه نشان داد نسبت به شاهد کمتر شد.



شکل ۴-۱۸- روند تغییرات شاخص سطح برگ تحت تاثیر محلول‌پاشی منیزیم

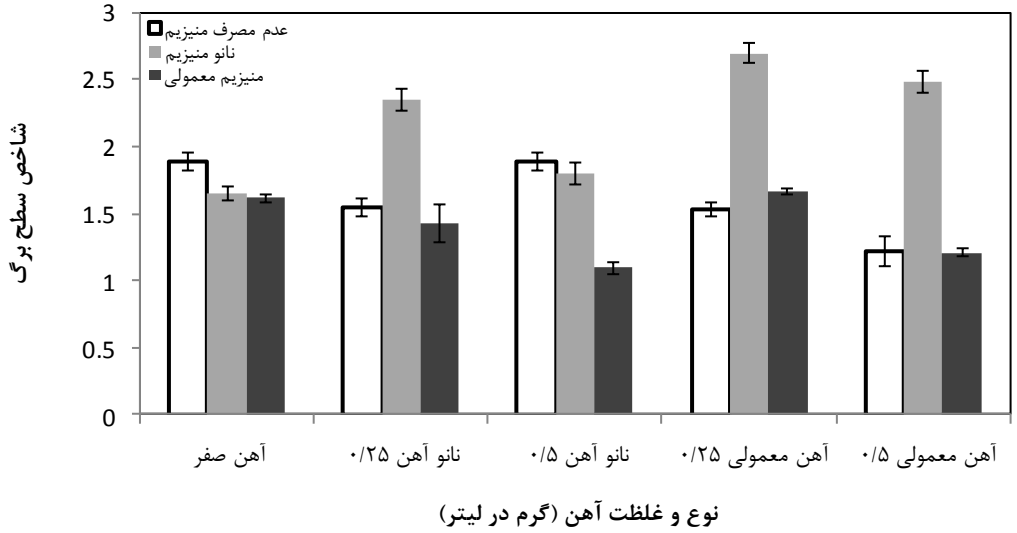
تیمار نانومنیزیم با حدود ۱ واحد اختلاف در شاخص سطح برگ نسبت به شاهد برتری خود را در کل محدوده نمونه‌برداری حفظ کرد. علاوه بر این به نظر می‌رسد گیاهانی که توسط نانومنیزیم

تیمار شدند حداقل ۵ روز زودتر از شاهد به اوج شاخص سطح برگ رسیدند که در بهره‌برداری بیشتر از نور محیط موثر و سازنده است.

بسیاری از حبوبات شاخص سطح برگ کمی دارند. دریافت نور در آن‌ها در مراحل گیاهچه‌ای و اوایل مرحله رویشی کم است که دلیل آن سطح برگ پایین این گیاهان در مراحل فوق می‌باشد. شاخص سطح برگ با سن گیاه تغییر می‌کند. سطح برگ در حبوبات نه تنها در مراحل اولیه رشد پایین است بلکه در مراحل زایشی نیز سطح برگ به تدریج کاهش می‌یابد که نتیجه آن کاهش فتوسنتز و سرانجام عملکرد این گیاهان است (پارسا و باقری، ۱۳۸۷). در آزمایشی که توسط فعلی و همکاران (۱۳۹۰) انجام شد، بیشترین طول ساقه، سطح برگ، وزن خشک و تر اندام هوایی میخک در تیمار شاهد (از ابتدا حاوی ۱/۵ میلی‌مول بر لیتر سولفات منیزیم بود) مشاهده شد.

نتایج تجزیه واریانس شاخص سطح برگ در زمان‌های مختلف پس از کاشت در جدول پیوست ۳۱ نشان داده شده است. شاخص سطح برگ در تمام تاریخ‌های نمونه‌برداری، به طور بسیار معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد تحت تاثیر تیمارهای مختلف محلول‌پاشی آهن و منیزیم و اثرات متقابل آن‌ها قرار گرفت. تنها اثر متقابل آهن × منیزیم در ۹۵ روز پس از کاشت معنی‌دار نبود. شکل ۴-۱۹ اثر ترکیبات تیماری حاصل از آهن و منیزیم را در ۱۲۳ روز پس از کاشت بر شاخص سطح برگ نشان می‌دهد. برتری مشاهده شده در شاخص سطح برگ گیاهانی که نانومنیزیم دریافت کرده بودند (شکل ۴-۱۸) تا حدودی در ترکیبات تیماری حاصل از آن با آهن نیز مشاهده گردید. بیشترین شاخص سطح برگ در ۱۲۳ روز پس از کاشت با میانگین ۲/۶۹، ۲/۴۸ و ۲/۳۴ به ترتیب از ترکیب نانومنیزیم با آهن معمولی ۰/۲۵، آهن معمولی ۰/۵ و نانوآهن ۰/۲۵ گرم در لیتر به دست آمد. علاوه بر اختلاف قابل توجه و معنی‌داری که این سه ترکیب با سایر ترکیبات تیماری داشتند، خود این سه ترکیب نیز با هم دارای اختلاف معنی‌دار بودند. توام شدن نانومنیزیم با نانوآهن ۰/۵ گرم در لیتر از لحاظ تاثیر بر این صفت مفید نبود. ترکیب منیزیم معمولی با سطوح مختلف آهن نیز نه تنها نتوانست شاخص سطح برگ را نسبت به شاهد بهبود بخشد بلکه در برخی شرایط مقادیر بسیار پایینی را نشان داد.

به‌طوری‌که کمترین شاخص سطح برگ با میانگین ۱/۰۹ از ترکیب منیزیم معمولی با نانوآهن ۰/۵ گرم در لیتر به دست آمد. شاخص سطح برگ در اثر محلول‌پاشی منیزیم به هر دو شکل معمولی و نانو به تنهایی نیز کمتر از شاهد بود ولی اثر آن در اکثر موارد بیشتر از محلول‌پاشی آهن به تنهایی (به‌ویژه به شکل معمولی) بود (شکل ۴-۱۹ و جدول پیوست ۳۳).



شکل ۴-۱۹- مقایسه میانگین شاخص سطح برگ در ۱۲۳ روز پس از کاشت تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم

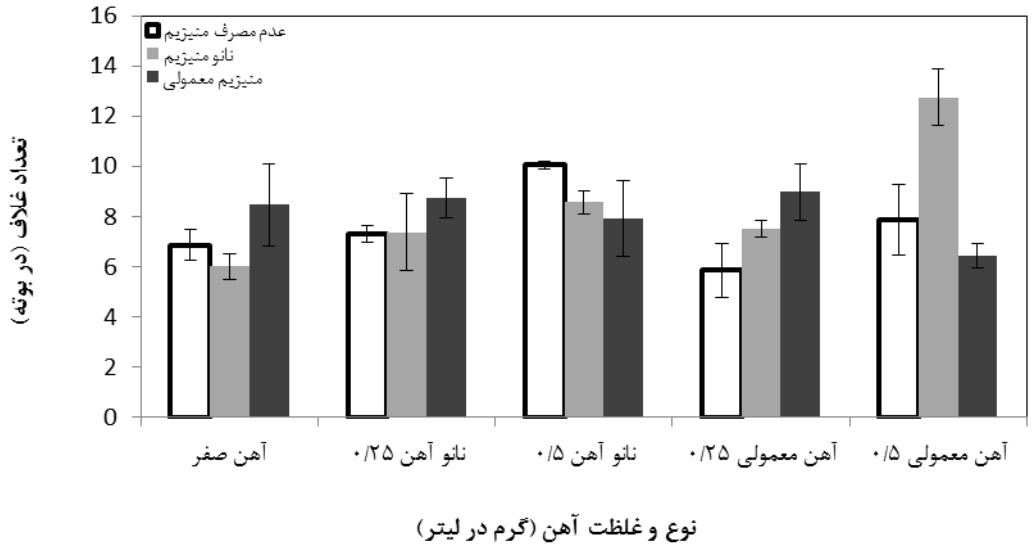
بارهای روی میله‌ها SE ± می‌باشد.

بیشترین شاخص سطح برگ در سویا بین مرحله‌ی شروع گلدهی و پایان نیام‌دهی می‌باشد که اهمیت بسیار زیادی در بهبود فتوسنتز دانه و عملکرد نهایی دارد. در شرایطی که جذب آهن و نیتروژن در سویا نامناسب (ناکافی) باشد در پارامترهای رشد مانند شاخص سطح برگ، بیوماس و فتوسنتز برگ کاهش معنی‌داری اتفاق می‌افتد (کومودینی و همکاران، ۲۰۰۱). گزارش شده است که استفاده از سولفات منیزیم در گیاه لوبیا سبب افزایش شاخص سطح برگ می‌شود (داولیویرا و همکاران، ۲۰۰۰).

۴-۱۱- عملکرد و اجزای عملکرد

۴-۱۱-۱- تعداد غلاف در بوته

تعداد غلاف در هر بوته در سطح احتمال ۱ درصد تحت تاثیر اثر متقابل آهن و منیزیم قرار گرفت. اثر سایر منابع تغییر بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول پیوست ۲۸). بیشترین تعداد غلاف (۱۲/۷۵ غلاف در بوته) مربوط به ترکیب تیماری آهن معمولی ۰/۵ گرم در لیتر و نانومنیزیم بود. در حالی که در تیمار شاهد (عدم مصرف آهن و منیزیم) تنها ۷ غلاف در هر بوته تشکیل گردید. اختلاف این ترکیب تیماری نسبت به سایر ترکیب‌ها بیشتر از ۲ غلاف در بوته و از لحاظ آماری معنی‌دار بود. کمترین تعداد غلاف (۵/۸۵ غلاف در بوته) در شرایطی به دست آمد که آهن معمولی ۰/۲۵ گرم در لیتر به تنهایی استفاده گردید، کاهش مشاهده شده در این غلظت از آهن، در محلول‌پاشی با فرم نانو با همین غلظت مشاهده نشد (شکل ۴-۲۰ و جدول پیوست ۳۰).



شکل ۴-۲۰- مقایسه میانگین تعداد غلاف تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم
بارهای روی میله‌ها SE ± می‌باشد.

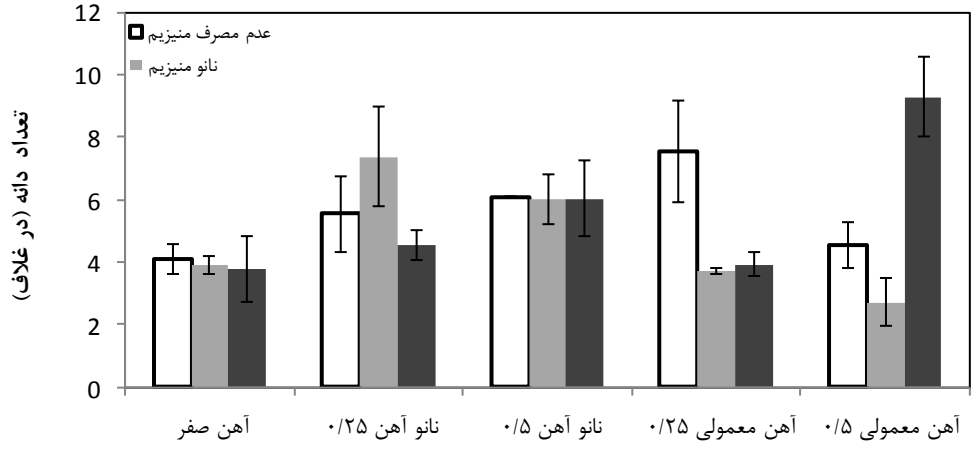
نتایج بیان کننده اهمیت بالای منیزیم برای این صفت در غلظت‌های پایین آهن بود، به طوری‌که وقتی آهن نانو یا آهن معمولی با غلظت ۰/۲۵ گرم در لیتر به همراه منیزیم معمولی قرار گرفت تا حدودی سبب افزایش غلاف نسبت به شرایط عدم مصرف منیزیم شد. البته محلول‌پاشی با منیزیم معمولی در شرایط عدم مصرف آهن نیز تاثیر مثبتی بر این صفت بر جای گذاشت. از طرفی هنگامی که فقط آهن محلول‌پاشی شد، بالاترین غلظت آهن نانو (به علت ویژگی‌های خاص نانوذرات) با تولید حدود ۱۰ غلاف در بوته تا حدی سبب افزایش تعداد غلاف نسبت به شرایط حضور منیزیم شد. لذا چنین به نظر می‌رسد که حضور بالاترین غلظت آهن به هر دو شکل معمولی و نانو می‌تواند نقش مهمی در افزایش این صفت داشته باشد (شکل ۴-۲۰ و جدول پیوست ۳۰). تعداد غلاف در بوته یکی از اجزای عملکرد می‌باشد که می‌توان با کاربرد هر دو عنصر آهن و منیزیم از طریق افزایش این صفت سبب افزایش عملکرد این گیاه شد. کاهش میزان مواد غذایی از قبیل (آهن و منیزیم) به طور عمده به علت تاثیری که در سنتزکلروفیل دارد، سبب کاهش سیستم فتوسنتزی می‌شود. بنابراین با توجه به اهمیت این دو عنصر، مصرف توام آهن و منیزیم می‌تواند در عملکرد و اجزای عملکرد نقش مهمی ایفا کنند.

تعداد کل غلاف در بوته مهم‌ترین خصوصیت تعیین کننده عملکرد لوبیا بیان شده است (چانگ و گلدن، ۱۹۷۱)، در حالی که سایر محققان علاوه بر آن، نقش تعداد دانه در بوته و وزن صد دانه را نیز در تعیین عملکرد مهم دانسته‌اند (سینگ، ۱۹۹۹). محلول‌پاشی ریزمغذی‌ها (آهن، روی، منگنز و بر)

اثر مثبتی روی عملکرد دانه، تعداد سنبله در مترمربع و وزن هزاردانه گندم دیم داشت و از نظر آماری در سطح یک درصد معنی‌دار بودند (محمدزاده و همکاران، ۱۳۹۰). در گیاه عدس نیز تعداد غلاف در بوته از مهم‌ترین اجزای عملکرد ذکر شده است که نقش مهمی در عملکرد دانه دارد. با افزایش بافت سبزینه‌ای، مواد فتوسنتزی بیشتری برای افزایش تعداد دانه و تعداد غلاف در بوته صرف می‌شود (صالحی و همکاران، ۱۳۸۶). بیشترین تعداد غلاف در بوته در گیاه عدس رقم Filip-92-12L در تیمار خاک کاربرد+محلول‌پاشی سولفات منیزیم با تعداد ۴۵/۵۹ عدد و کمترین تعداد غلاف در بوته به میزان ۲۶/۷۸ عدد در تیمار تلقیح بذر در همین رقم حاصل گردید (یعقوبی، ۱۳۸۸).

۴-۱۱-۲- تعداد دانه در غلاف

نتایج تجزیه واریانس تعداد دانه در غلاف در جدول پیوست ۲۸ نشان داده شده است. اثر متقابل آهن و منیزیم بر تعداد دانه در غلاف معنی‌داری بود ($p < ۰/۰۱$). به طور کلی در مقایسه‌ای بین صفات تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف (شکل‌های ۴-۲۰ و ۴-۲۱) مشاهده می‌گردد که ترکیبات تیماری که موجب افزایش تعداد غلاف در بوته گردیدند، تعداد دانه در غلاف کمتری تولید نمودند. به عنوان مثال ترکیب تیماری آهن معمولی ۰/۵ گرم در لیتر با منیزیم معمولی با حدود ۹ دانه در غلاف، بیشترین تعداد دانه در غلاف را نشان داد (شکل ۴-۲۱) در حالی که تعداد غلاف در بوته آن جزء کمترین مقادیر مشاهده شده بود (شکل ۴-۲۰). در ترکیب همین سطح از آهن با نانومنیزیم نتیجه عکس وجود داشت یعنی به طور معنی‌داری کمترین تعداد دانه در غلاف را نشان داد در حالی که به‌طور قابل توجهی تعداد غلاف در بوته آن برتری نشان داد.



شکل ۴-۲۱- مقایسه میانگین تعداد دانه در غلاف تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم
بارهای روی میله‌ها SE ± می‌باشد.

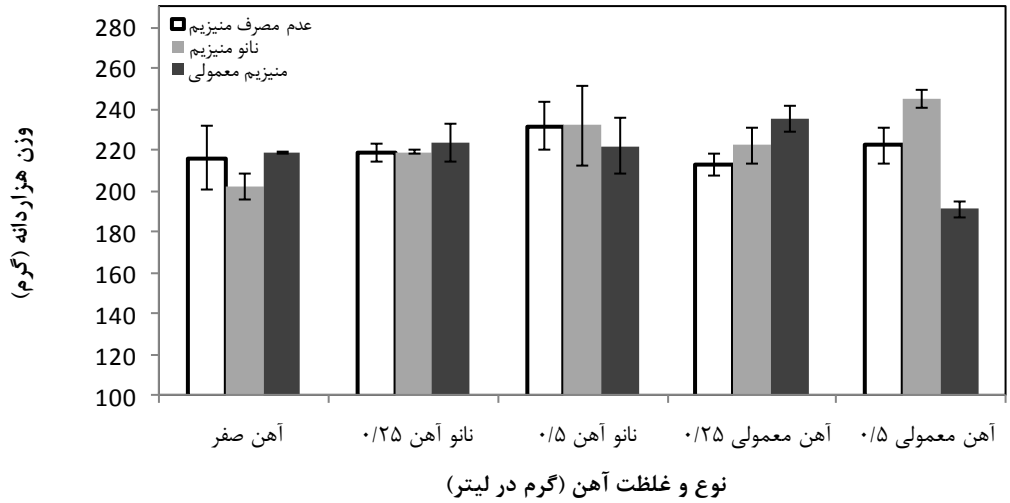
محلول‌پاشی منیزیم معمولی و نانومنیزیم به تنهایی نتوانست بر تعداد دانه در غلاف تاثیر مثبت داشته باشد. نانوآهن ۰/۵ گرم در لیتر به تنهایی و به صورت توام با نانومنیزیم و منیزیم معمولی به یک اندازه موجب افزایش این جزء از عملکرد گردیدند. به‌طوری‌که تعداد دانه در غلاف را نسبت به شاهد حدود ۲ دانه بهبود بخشیدند و در بین ترکیبات تیماری مرتبه سوم را به خود اختصاص دادند. توام شدن نانوآهن ۰/۲۵ گرم در لیتر با نانومنیزیم نیز تاثیر قابل توجهی بر این صفت داشت که البته با محلول‌پاشی آهن تنها با همین غلظت البته به شکل معمولی اختلافی نداشت. همراه شدن هر دو شکل منیزیم با آهن معمولی ۰/۲۵ گرم در لیتر اثر منفی بر این صفت بر جای گذاشت (شکل ۴-۲۱ و جدول پیوست ۳۰).

تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف از مهم‌ترین اجزا عملکرد در لوبیا می‌باشند. تولید بیش از حد گل و تبدیل شدن آن‌ها به غلاف موجب محدویت انتقال مواد فتوسنتزی به سمت بذرها می‌گردد. در نتیجه گیاه ناگزیر است از طریق کاهش تعداد دانه این محدودیت را جبران کنند (خوشوقتی، ۲۰۰۶). مصرف پتاسیم و منیزیم در گیاه سویا، تعداد دانه در غلاف را افزایش داد و از طریق ایجاد مخزنی بزرگ‌تر برای جذب مواد فتوسنتزی عملکرد را افزایش داد (هوچینگ و ماسون، ۱۹۹۳). در پژوهشی دیگر، مصرف یکصد کیلوگرم منیزیم در هکتار عملکرد دانه، تعداد دانه در غلاف

ساقه اصلی، تعداد دانه در غلاف شاخه فرعی را افزایش داد. به‌طوری‌که عملکرد دانه ۴۵۶/۵ کیلوگرم افزایش یافت (بیک‌نژاد و همکاران، ۱۳۸۹).

۴-۱۱-۳- وزن هزاردانه

هیچ یک از اثرات اصلی در صفت وزن هزاردانه معنی‌دار نشد. تنها اثر متقابل آهن و منیزیم در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌داری شد (جدول پیوست ۲۸). شکل ۴-۲۲ تاثیر ترکیبات تیماری ناشی از آهن و منیزیم بر صفت وزن هزاردانه را نشان می‌دهد. تلفیق نانومنیزیم با آهن معمولی ۰/۵ گرم در لیتر با میانگینی معادل ۲۴۵ گرم بیشترین وزن هزاردانه را نشان داد که نسبت به خیلی از ترکیبات تیماری معنی‌دار نیز بود. این در حالی است که کمترین وزن هزاردانه در ترکیب همین سطح از آهن با منیزیم معمولی (۱۹۱/۱ گرم) رقم خورد (جدول پیوست ۳۰). تاثیرگذاری ترکیب منیزیم معمولی با آهن معمولی ۰/۲۵ گرم در لیتر بر وزن هزاردانه از ترکیب آن با دو سطح دیگر آهن و همچنین محلول‌پاشی آن به تنهایی بیشتر بود.



شکل ۴-۲۲- مقایسه میانگین وزن هزاردانه تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم
بارهای روی میله‌ها SE ± می‌باشد.

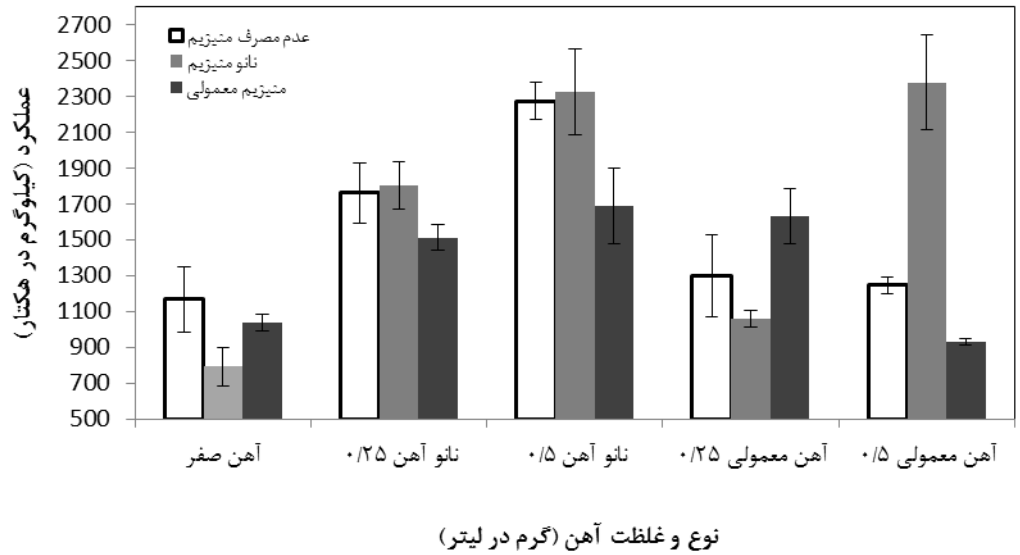
نتایج نشان داد که از لحاظ تاثیر بر این صفت اگر قرار باشد آهن به تنهایی مورد استفاده قرار گیرد بهتر است از نانوآهن با غلظت ۰/۵ گرم در لیتر استفاده شود چرا که وزن هزاردانه را به میزان ۱۵ گرم نسبت به شاهد ارتقا بخشید. از توام شدن نانومنیزیم با همین سطح از نانوآهن، نتیجه مشابهی به دست آمد. همچنین مشاهده گردید که کاربرد نانومنیزیم به تنهایی نمی‌تواند در افزایش وزن هزاردانه مفید باشد (شکل ۴-۲۲). نتایجی که برای وزن هزاردانه رقم خورد تا حد زیادی شبیه نتایج به دست آمده برای صفت تعداد غلاف در بوته بود.

در آزمایشی که توسط رحیمی و همکاران (۱۳۸۲) اجرا شد، میانگین وزن هزاردانه آفتابگردان با اضافه شدن آهن به تیمار کودی (نیتروژن+ فسفر+ پتاسیم+ منیزیم) افزایش یافت. حداکثر وزن هزاردانه گندم نیز در تیمار نانو اکسید آهن یک درصد به میزان ۵۹/۳ گرم مشاهده گردید (مظاهری نیا، ۱۳۸۹).

۴-۱۱-۴- عملکرد

نتایج تجزیه واریانس عملکرد در جدول پیوست ۲۸ نشان داده شده است. عملکرد به طور معنی‌داری تحت تاثیر آهن، منیزیم و اثر متقابل این دو عنصر قرار گرفت ($p < ۰/۰۱$). با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل آهن و منیزیم مقایسه‌ای بین این ترکیبات انجام گردید که در شکل ۴-۲۳ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که چنانچه نانومنیزیم با مقادیر بالای آهن از هر دو نوع معمولی و نانو همراه باشد عملکرد بیشتری به دست خواهد آمد. البته در این بین تاثیر آهن معمولی بیشتر از نانوآهن بود به‌طوری که بالاترین عملکرد با میانگینی معادل ۲۳۷۷/۷۳ کیلوگرم در هکتار از ترکیب تیماری آهن معمولی ۰/۵ گرم در لیتر × نانومنیزیم به‌دست آمد. بالا بودن تعداد غلاف در بوته و همچنین وزن هزاردانه در این ترکیب تیماری دلیل رقم خوردن چنین نتیجه‌ای بود. این در حالی است که میزان عملکرد در ترکیب تیماری نانوآهن ۰/۵ گرم در لیتر × نانومنیزیم حدود۵۴ کیلوگرم در هکتار کمتر از این مقدار بود. پایین بودن قابل توجه عملکرد (۷۹۲/۵۵ کیلوگرم در هکتار) در شرایطی که نانومنیزیم به تنهایی استفاده گردید حاکی از اهمیت بالای وجود آهن برای تاثیر گذاری بیشتر

نانومنیزیم در گیاه است (شکل ۴-۲۳ و جدول پیوست ۳۲). در این شرایط (ترکیب تیماری عدم آهن × نانومنیزیم) پایین بودن هر سه جزء اجزای عملکرد یعنی تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن هزاردانه سبب کاهش قابل توجه عملکرد گردید. به نظر می‌رسد که عنصر منیزیم در حضور آهن سبب افزایش کلروفیل و به دنبال آن فتوسنتز می‌شود و در اثر افزایش فعالیت‌های متابولیکی گیاه، اجزاء عملکرد و عملکرد افزایش می‌یابد. در شرایط عدم استفاده از منیزیم، محلول‌پاشی با نانوآهن ۰/۵ گرم در لیتر عملکرد را به طور قابل توجهی نسبت به سایر تیمارهای آهن افزایش داد و عملکردی معادل ۲۲۷۳/۹۸ کیلوگرم در هکتار رقم خورد. که به عملکرد به دست آمده از ترکیبات تیماری نانومنیزیم با همین سطح از آهن و نانومنیزیم با آهن معمولی ۰/۵ گرم در لیتر بسیار نزدیک بود و در مجموع عملکرد حاصل از این سه ترکیب تیماری به طور قابل توجه و معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارها بود. در این ترکیب تیماری نیز دو جزء وزن هزاردانه و به‌ویژه تعداد غلاف در بوته مقادیر نسبتا بالایی را دارا بودند (شکل ۴-۲۳ و جدول پیوست ۳۰).



شکل ۴-۲۳- مقایسه میانگین عملکرد تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم
بارهای روی میله‌ها SE ± می‌باشد.

از بین اجزای عملکرد صفت تعداد دانه در غلاف تاثیر چندانی در افزایش عملکردهای مشاهده شده نداشت و معمولا مقادیر آن عکس دو جزء دیگر بود. به عنوان مثال بالاترین تعداد دانه در غلاف با میانگین ۹/۲۹ در ترکیب تیماری آهن معمولی ۰/۵ × منیزیم معمولی مشاهده شد که با مقادیر پایینی از دو جزء دیگر همراه بود. علی‌رغم بالا بودن این صفت عملکرد پایینی به دست آمد. این در حالی است که در ترکیب تیماری آهن معمولی ۰/۵ × نانومنیزیم اگر چه کمترین مقدار تعداد دانه در غلاف مشاهده شد ولی به دلیل بالا بودن دو جزء دیگر، بیشترین عملکرد حاصل شد (شکل ۴-۲۳ و جدول پیوست ۳۰).

در گیاهانی مانند لوبیا اجزای عملکرد دانه را تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن متوسط دانه تشکیل می‌دهند (سانتوس و همکاران، ۲۰۰۶). اهمیت هر یک از اجزا در تعیین عملکرد از آزمایشی به آزمایش دیگر متفاوت گزارش شده است (شنکوت و بریک، ۲۰۰۳). کاهش اجزای عملکرد مانند تعداد غلاف، وزن غلاف در هر گره، تعداد و وزن دانه در غلاف‌هایی که با تاخیر تشکیل شده‌اند، دلالت بر این دارد که برای پر شدن غلاف‌ها، محدودیت مواد فتوسنتزی وجود دارد. هنگامی که تعداد دانه در گیاه کاهش می‌یابد، وزن هر دانه افزایش می‌یابد. در قسمت‌های فوقانی گیاه، وزن غلاف و دانه هر دو کاهش می‌یابند و بعضی از غلاف‌ها نیز پوک هستند. در گیاهان رشد نامحدود، گل‌ها به‌طور مداوم تشکیل می‌شوند اما گل‌هایی که در انتهای فصل به‌وجود می‌آیند تبدیل به غلاف نمی‌شوند. همچنین اگر هم به غلاف تبدیل شوند هرگز دانه تولید نمی‌کنند، که دلیل آن را محدودیت برگ در گره‌های فوقانی تولید کننده گل ذکر می‌کنند. به‌علاوه، غلاف‌ها و دانه‌هایی که در ابتدا تشکیل شده‌اند ممکن است از طریق تاثیر بر سطح برگ یا بیولوژی گل اثر تنظیم کنندگی بر تشکیل غلاف و رشد دانه‌های بعدی داشته باشند. اگر چه حبوبات از ظرفیت بالایی برای تولید گل، میوه و بذر برخوردار هستند. ولی تنها بخش کوچکی از گل‌های بسیار زیاد تولید شده تبدیل به دانه می‌شوند. به طور مثال، ریزش دانه در دال عدس ۱۱/۶-۴ درصد، نخود ۴۵-۱۴ درصد، ماش سبز ۳۱/۵-۱۱ درصد، باقلا ۱۷-۹ درصد و لوبیا چشم بلبلی ۱۸-۱۶ درصد می‌باشد. از دلایل تعداد کمتر دانه و میوه در

حبوبات می‌توان به گرده‌افشانی ناموفق، عدم تعادل هورمونی یا تغذیه‌ای، شرایط آب و هوایی نامناسب و عدم فراهمی مواد فتوسنتزی اشاره کرد (پارسا و باقری، ۱۳۸۷).

با توجه به نقش آهن در رشد و فرآیندهای فیزیولوژی از جمله فتوسنتز و تشکیل کلروفیل گیاه می‌توان انتظار داشت که کمبود این عنصر سبب عدم تعادل و توازن عناصر غذایی در این گیاه می‌گردد و در نهایت سبب کاهش کمیت، کیفیت و عملکرد محصول شود. با کاربرد نانو کود کلاته آهن در لوبیا چیتی مشاهده شد که تاثیر کود بر تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، کارآیی مصرف کود و سطح برگ معنی‌دار بود. بیشترین تعداد غلاف در بوته و عملکرد دانه در تیمار ۹ کیلوگرم در هکتار کود به صورت خاک مصرف در دو مرحله (قبل از گلدهی+ شروع غلاف‌دهی) به دست آمد (مجیدی‌دیزج و همکاران، ۱۳۹۰). کاربرد نانو اکسید آهن اثر معنی‌دار بر عملکرد گیاه سویا داشت. در حالی که اثر آن بر وزن صد دانه معنی دار نبود. بیشترین میزان عملکرد با میانگینی معادل ۹۰/۲۲ گرم در مترمربع در تیمار نانو اکسید آهن ۰/۵ گرم در لیتر حاصل گردید هرچند با تیمار نانو اکسید آهن ۰/۷۵ گرم در لیتر اختلاف معنی‌داری نداشت (شیخ‌بگلو و همکاران، ۲۰۱۰). استفاده از ۱۰ کیلوگرم در هکتار نانو کود کلاته آهن خضرا در زعفران توانست میزان عملکرد (وزن خشک کلاله) را تا ۰/۴۵ گرم (معادل ۱/۸ برابر) افزایش دهد (رزازی و همکاران، ۱۳۸۹). طی آزمایشی دو ساله متوالی (۱۳۸۰ و ۱۳۸۱) روی گیاه زراعی لوبیا، نتایج سال اول حاکی از نبودن اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای آزمایشی (آهن، روی و منگنز) در عملکرد دانه بود. بیشترین میزان عملکرد مربوط به مصرف توام خاکی آهن، روی و منگنز با محلول‌پاشی عناصر فوق بود. در سال دوم اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای آزمایشی وجود داشت، بیشترین میزان عملکرد در تیمار مصرف خاکی هر سه عنصر ذکر شده و کمترین میزان عملکرد در محلول‌پاشی با عناصر کم مصرف حاصل شد (همتی، ۱۳۸۴). استفاده‌ی توام آهن و روی سبب افزایش عملکرد دانه گندم شده است، به طوری‌که میانگین عملکرد تیمار آهن ۵۹۶۱ کیلوگرم در هکتار، میانگین عملکرد تیمار روی ۵۷۲۰ کیلوگرم در هکتار و میانگین عملکرد تیمار آهن و روی ۶۳۱۳ کیلوگرم در هکتار بوده است که با

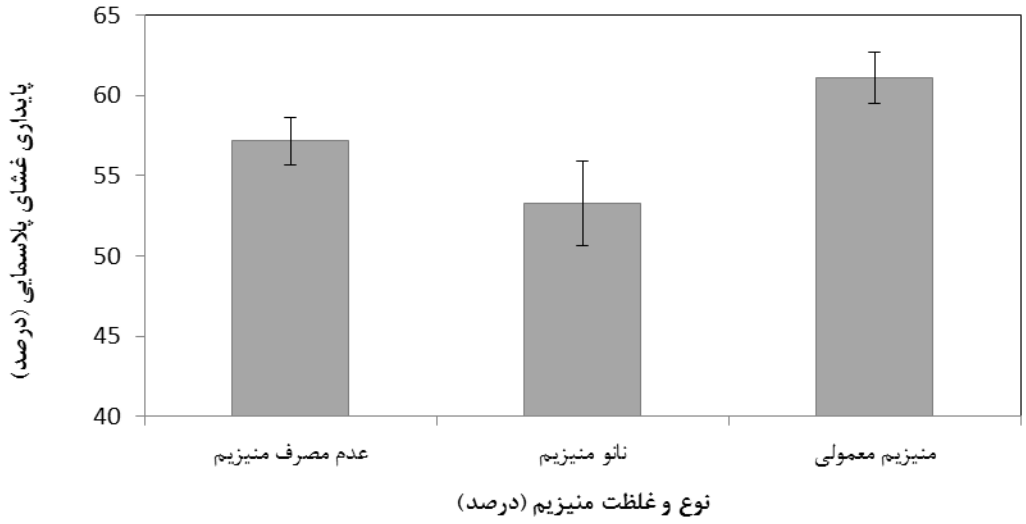
میانگین عملکرد تیمار شاهد یعنی ۵۳۸۸ کیلوگرم در هکتار تفاوت آماری معنی‌دار در سطح یک درصد نشان داده است (سیلسپور، ۱۳۸۶). طی اجرای آزمایشی در مورد تاثیر نیتروژن و آهن در گیاه گندم مشاهده گردید که، ارتفاع بوته، تعداد سنبله در بوته، انشعابات فرعی، وزن هزاردانه، عملکرد بیولوژیکی و شاخص برداشت تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن در ژنوتیپ‌های مختلف گلرنگ معنی‌دار نشد. ولی اثر آن بر تعداد دانه در سنبله و عملکرد دانه معنی‌دار شد. بیشترین ارتفاع بوته، تعداد سنبله در بوته، دانه در سنبله، انشعابات فرعی، وزن هزاردانه و عملکرد دانه در اثر محلول‌پاشی سولفات آهن با غلظت ۲ در هزار حاصل گردید (زارعی و همکاران، ۲۰۱۱).

استفاده از منیزیم نیز بر صفت عملکرد دانه، وزن هزاردانه و پروتئین دانه گیاه گندم تاثیر معنی‌داری داشته است. بیشترین تاثیر بر میزان عملکرد دانه با تیمارهای کودی ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات منیزیم و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم به میزان ۵۳۱۳ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد (شهابی‌فر، ۱۳۸۵). به منظور بررسی اثر گوگرد، منیزیم و کودهای زیستی تیوباسیلوس بر عملکرد و اجزای عملکرد و خصوصیات کیفی گیاه سویا مشاهده گردید که، بین تمامی تیمارهای آزمایشی تنها مصرف گوگرد بر عملکرد دانه تاثیر معنی‌داری داشت. همچنین درصد روغن و پروتئین دانه افزایش نیافت ولی عملکرد روغن و پروتئین به‌صورت بسیار معنی‌داری تحت تاثیر مصرف گوگرد قرار گرفت (احسانی و همکاران، ۱۳۹۰). در آزمایشی دیگر حضور منیزیم همانند عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در افزایش عملکرد دانه سویا و درصد روغن نقش موثری داشته است (کلیف، ۲۰۰۰). کاساب و همکاران (۲۰۰۴) به این نتیجه رسیدند که محلول‌پاشی با غلظت ۲ درصد از هر کدام از عناصر آهن، منگنز، روی و منیزیم سبب افزایش معنی‌داری در اجزای عملکرد، عملکرد دانه و کاه و کلش گندم و همچنین افزایش عملکرد کربوهیدرات می‌گردد.

۴-۱۲- صفات فیزیولوژیک

۴-۱۲-۱- پایداری و خسارت غشای پلاسمایی

نتایج تجزیه واریانس پایداری و خسارت غشای پلاسمایی اندازه‌گیری شده در آخرین مرحله از نمونه‌برداری (۱۳۷ روز پس از کاشت) در جدول پیوست ۳۴ نشان داده شده است. منیزیم به‌طور معنی‌داری ($p < ۰/۰۵$) پایداری غشای پلاسمایی را تحت تاثیر قرار داد. در حالی‌که صفت خسارت غشای پلاسمایی علاوه بر تاثیرپذیری از منیزیم، به طور معنی‌داری ($p < ۰/۰۱$) تحت تاثیر اثر متقابل آهن و منیزیم قرار گرفت. همان طور که در شکل ۴-۲۴ مشاهده می‌شود نانومنیزیم به طور قابل توجهی پایداری غشای پلاسمایی را کاهش داد. به‌طوری که پایداری غشا در تیمار محلول‌پاشی نانومنیزیم نسبت به عدم استفاده از این عنصر حدود ۴ درصد کمتر بود. این در حالی است که محلول‌پاشی با منیزیم معمولی به همین میزان پایداری غشا را بهبود بخشید که از لحاظ آماری معنی‌دار نیز بود. از این رو شاخص پایداری غشا در شرایط محلول‌پاشی با منیزیم معمولی ۸ درصد بهتر از نانومنیزیم بود (جدول پیوست ۴۱).



شکل ۴-۲۴- مقایسه میانگین پایداری غشای پلاسمایی تحت تاثیر محلول‌پاشی منیزیم
بارهای روی میله‌ها SE ± می‌باشد.

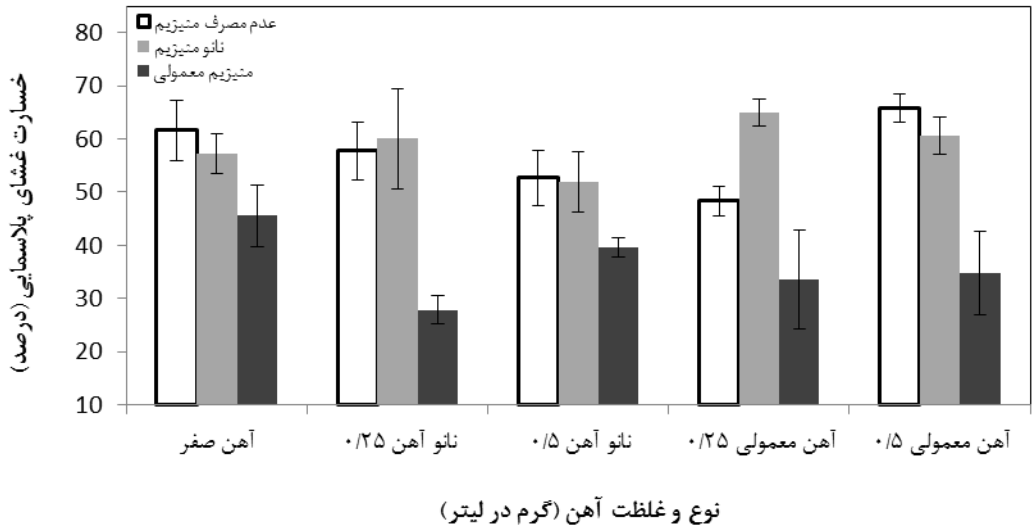
H^+-ATPase یک پمپ پروتونی موجود در غشای سیتوپلاسمی می‌باشد که بر اساس اختلاف پتانسیل الکتروشیمیایی در سراسر غشا سبب حرکت یا انتقال پروتون‌ها از سیتوپلاسم به آپوپلاست

می‌گردد (مورسم و بوتری، ۲۰۰۰). علاوه بر این، آنزیم در طویل شدن سلول، باز شدن روزنه‌ها و در واکنش گیاهان نسبت به فاکتورهای محیطی از جمله تنش‌های سرما، خشکی و نمک دخیل می‌باشد (کرکب و همکاران، ۲۰۰۱). کنترل منیزیم بر فعالیت انتقال مواد از غشا در سلول‌های گیاهی نسبتا پیچیده است. منیزیم نقش مهمی در حفظ هموستازی سیتوزول و تنظیم غشای پروتوپلاسم گیاهی دارد. همچنین برای هموستازی pH سلولی و تنظیم غشای پروتوپلاسم و برای کارآیی فتوسنتز در سلول‌های مزوفیلی و سلول‌های محافظ روزنه مهم می‌باشد (شائول، ۲۰۰۲).

در پی افزودن منیزیم به محیط کشت متوجه شدند، منیزیم بر انتقال تمام یون‌هایی که از غشای پلاسمایی سلول‌های مزوفیلی باقلا عبور می‌کنند، تاثیر مثبت می‌گذارد. همچنین منیزیم بیشترین تاثیر را به ترتیب بر عبور کاتیون‌های کلسیم (Ca^{2+})، پتاسیم (K^{+}) و (H^{+}) دارد (شابالا و هایادی، ۲۰۰۵). ATPase غشای پلاسمایی گیاهان عالی توسط منیزیم فعال می‌شود، علاوه براین توسط کاتیون‌های یک ظرفیتی هم تحریک می‌شود. دلیل نیاز منیزیم آن‌است که سوبسترای واقعی برای این آنزیم ترکیب Mg-ATP است (بالک و هودجس، ۱۹۷۵). یون منیزیم پیوند دهنده ATP با کمپلکس آنزیمی فسفوکینازها و فسفوترانسفرازها می‌باشد (سپهری، ۱۹۹۸). وفایی و همکاران (۱۳۸۹) گزارش کردند که با افزایش مقدار منیزیم مصرفی بر پایداری غشای پلاسمایی در گیاه گلرنگ افزوده شد. هرچند بین مصرف ۷۵ و ۱۵۰ کیلوگرم منیزیم در هکتار از نظر آماری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد.

با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل آهن و منیزیم در صفت خسارت غشای پلاسمایی مقایسه‌ی میانگین بین این ترکیبات صورت گرفت که در شکل ۴-۲۵ نشان داده شده است. محلول‌پاشی منیزیم معمولی به تنهایی و ترکیب آن با هر چهار سطح اکسید آهن به طور قابل توجه و معنی‌داری هم نسبت به شاهد و هم نسبت به سایر ترکیبات تیماری خسارت غشای پلاسمایی را کاهش داد به طوری‌که کمترین خسارت غشا با میانگین ۲۷/۸۸ درصد از ترکیب تیماری منیزیم معمولی با نانوآهن ۰/۲۵ گرم در لیتر به دست آمد. یعنی خسارت غشا بیش از ۳۴ درصد کمتر از شاهد بود. محلول‌پاشی

نانومنیزیم به تنهایی فقط در حدود ۴/۴ درصد و به طور غیر معنی‌دار خسارت غشا را کاهش داد. در بین ترکیبات حاصل از نانومنیزیم از نظر تاثیرگذاری بر خسارت غشای پلاسمایی، ترکیب تیماری نانومنیزیم × نانوآهن ۰/۵ گرم در لیتر از بقیه بهتر بود. خسارت وارده به غشا در ترکیبات تیماری حاصل از نانومنیزیم با هر دو غلظت آهن معمولی و همچنین محلول‌پاشی آهن معمولی ۰/۵ گرم در لیتر به تنهایی بالاتر از شاهد بود (شکل ۴-۲۵ و جدول پیوست ۳۶).

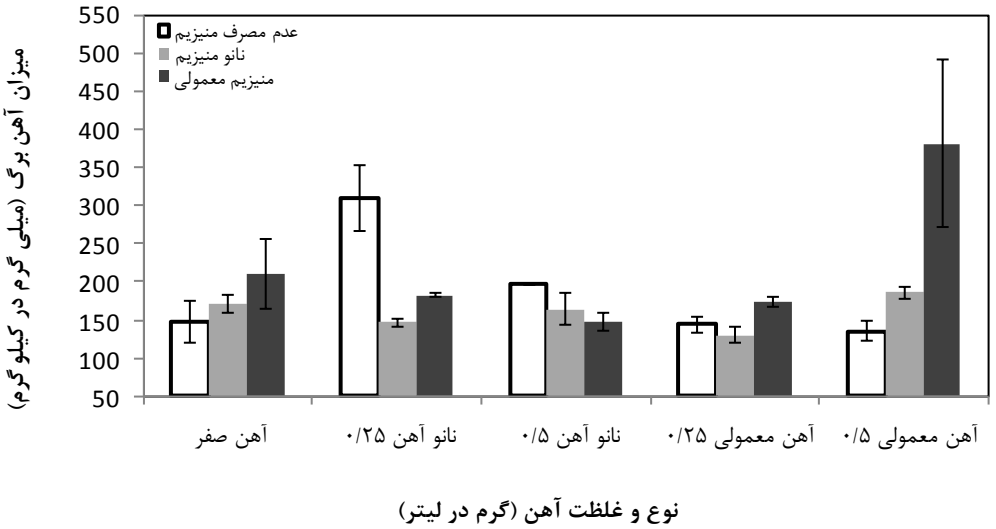


شکل ۴-۲۵- مقایسه میانگین خسارت غشای پلاسمایی تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم
بارهای روی میله‌ها SE ± می‌باشد.

آهن یکی از عناصر ضروری و کم مصرف می‌باشد، نقش این عنصر در تثبیت نیتروژن و فعالیت برخی آنزیم‌ها نظیر کاتالاز و پراکسیداز به خوبی ثابت شده است (بلک ریشمن، ۲۰۰۰). با این وجود، افزایش مقدار این عنصر می‌تواند با ایجاد اکسیژن فعال موجب تنش اکسیداتیو شود و در نهایت منجر به کاهش میزان پروتئین، کلروفیل، صدمات برگشت ناپذیر به غشاهای زیستی و اسید نوکلئیک گردد (بها تاچارجی، ۲۰۰۵ و گاوسکا و اسکلودوسکا، ۲۰۰۶). منیزیم یک ریز مغذی است که نقش کلیدی در فتوسنتز دارد و اتم مرکزی کلروفیل را تشکیل می‌دهد. صدمه به ساختمان کلروپلاست و آسیب دیدگی در هنگام بارگیری و تخلیه کربوهیدرات از منبع به مخزن و تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن نیز می‌تواند به دلیل کمبود منیزیم باشد که در نهایت مانع از انجام فتوسنتز می‌شود (شابالا و هایادی، ۲۰۰۵).

۴-۱۲-۲- میزان آهن موجود در برگ

تجزیه داده های حاصل از اندازه گیری میزان آهن موجود در برگ نشان داد اثر محلول‌پاشی آهن و منیزیم ($p < ۰/۰۵$) و اثر متقابل آن‌ها ($p < ۰/۰۱$) بر میزان آهن برگ معنی‌دار شد (جدول پیوست ۳۷). در شکل ۴-۲۶ مشاهده می‌گردد که در شرایطی که عنصر آهن محلول‌پاشی نشد، کاربرد منیزیم به‌ویژه منیزیم معمولی مقدار آهن برگ را افزایش داد این در حالی بود که بین تیمارهای منیزیم و عدم مصرف منیزیم اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. اگر چه افزایش مشاهده شده نسبت به شاهد معنی‌دار نبود ولی محلول‌پاشی منیزیم معمولی و نانومنیزیم با غلظت ۱ درصد توانستند میزان آهن برگ را نسبت به شاهد به ترتیب ۶۴/۵ و ۲۴/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم افزایش دهند. محلول‌پاشی با نانوآهن در هر دو غلظت به‌ویژه ۰/۲۵ گرم در لیتر آهن برگ را افزایش داد. به طوری‌که آهن موجود در برگ‌های گیاهانی که فقط با نانو اکسید آهن ۰/۲۵ گرم در لیتر محلول‌پاشی شدند، ۲ برابر شاهد بود. این برتری نسبت به بسیاری از ترکیبات تیماری وجود داشت و از لحاظ آماری معنی‌دار بود.



شکل ۴-۲۶- مقایسه میانگین میزان آهن برگ تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم
بارهای روی میله‌ها SE ± می‌باشد.

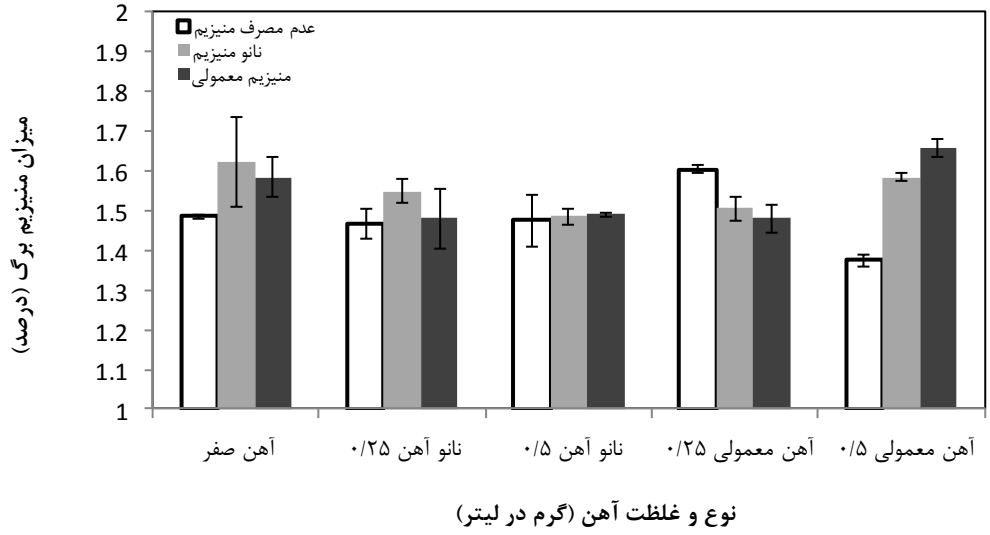
توام شدن منیزیم به هر دو شکل نانو و معمولی با نانوآهن کاهش محسوسی در مقدار آهن برگ را به دنبال داشت. به عنوان مثال در ترکیب تیماری نانوآهن ۰/۲۵ و نانومنیزیم مقدار آهن برگ ۱۴۶/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که ۵۲/۵ درصد کمتر از ترکیب تیماری نانوآهن ۰/۲۵ و عدم مصرف منیزیم بود. همچنین مقدار آهن موجود در برگ در ترکیب تیماری نانوآهن ۰/۵ و منیزیم معمولی ۲۴/۷ درصد کمتر از نانوآهن ۰/۵ و عدم مصرف منیزیم بود. این وضعیت در مورد ترکیبات تیماری حاصل از آهن معمولی با منیزیم به‌ویژه منیزیم معمولی دیده نشد. ترکیب تیماری حاصل از آهن معمولی در هر دو غلظت ۰/۲۵ و ۰/۵ با منیزیم معمولی سبب افزایش تجمع آهن برگ گردید. به‌طوری که بالاترین مقدار آهن موجود در برگ با مقدار ۳۸۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم متعلق به ترکیب تیماری آهن معمولی ۰/۵ گرم در لیتر × منیزیم معمولی بود. که نه تنها نسبت به شاهد ۲/۶ برابر بیشتر بود بلکه نسبت به سایر ترکیبات تیماری نیز به‌طور قابل توجه و معنی‌دار بالاتر بود. در بین ترکیبات تیماری کمترین مقدار آهن برگ در تلفیق تیمار آهن معمولی ۰/۲۵ گرم در لیتر با نانومنیزیم به میزان ۱۳۰/۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده شد (شکل ۴-۲۶ و جدول پیوست ۳۹).

به گزارش مظاهری‌نیا (۱۳۸۹)، کاربرد خاک مصرف و قبل از کاشت پودر اکسید آهن نانو نسبت به اکسید آهن معمولی سبب افزایش غلظت آهن گیاه شد، که این افزایش احتمالا به دلیل خاصیت نانوذرات و حلالیت بیشتر آن‌ها و شانس برخورداری بیشتر ریشه‌ها از ذرات نانو نسبت به ذرات اکسید آهن معمولی بود. در آزمایشی دیگر استفاده از ریزمغذی‌های آهن و روی در آفتابگردان سبب افزایش میزان آهن برگ شد. بیشترین آهن برگ مربوط به محلول‌پاشی آهن و سپس کاربرد توام محلول‌پاشی و خاک مصرف آهن + روی بود (ابراهیمیان، ۱۳۸۹). نانو اکسید آهن در مقایسه با مواد ارگانیک و سیترات آهن انجام فتوسنتز و انتقال آهن به برگ در بادام‌زمینی را آسان‌تر نمود (لیو و همکاران، ۲۰۰۵). در کلروزی که به صورت تیپیک در خاک‌های آهکی اتفاق می‌افتد، ارتباط مشخصی بین میزان آهن موجود در برگ‌ها و میزان علائم کلروز وجود نداشته است، در حقیقت در بعضی مواقع میزان آهن در برگ‌های کلروزی بیشتر از برگ‌های سبز بوده است (نیکالیک و رامهلد، ۱۹۹۹). افزایش کاربرد آهن در گیاه گندم سبب افزایش میزان غلظت آهن برگ گردید به طوری که در اثر استفاده از ۵ میلی‌گرم در لیتر سیترات آهن نسبت به عدم مصرف آن افزایش معنی‌دار حاصل شد. همچنین اثر متقابل آهن (۵ میلی‌گرم در لیتر) و روی (۰/۱ میلی‌گرم در لیتر) سبب بیشترین میزان غلظت آهن برگ به میزان ۳۷۲ میکروگرم در گرم در گندم شد (آی-وینگ و همکاران، ۲۰۱۱). نتایج بدست آمده از آزمایشات خلج و همکاران (۱۳۸۸) نشان داده است که افزایش میزان نانو کلات آهن خضرا به صورت چال کود بر عملکرد و تعداد میوه سیب گلاب اثر افزایشی داشت ولی مقدار آهن برگ از روندی کاهشی برخوردار بود.

۴-۱۲-۳- میزان منیزیم برگ

نتایج تجزیه واریانس میزان منیزیم برگ در جدول پیوست ۳۷ نشان داده شده است. آهن و منیزیم به تنهایی اثر معنی‌داری بر میزان منیزیم برگ نداشتند. ولی اثر متقابل آن‌ها به‌طور معنی‌داری میزان منیزیم برگ را تحت تاثیر قرار داد ($p < ۰/۰۵$). همان‌طور که در شکل ۴-۲۷ مشاهده می‌گردد

در بین ترکیبات تیماری در مجموع همزمان شدن محلول‌پاشی آهن با منیزیم سبب تجمع مقادیر بالاتری از عنصر منیزیم برگ گردید.



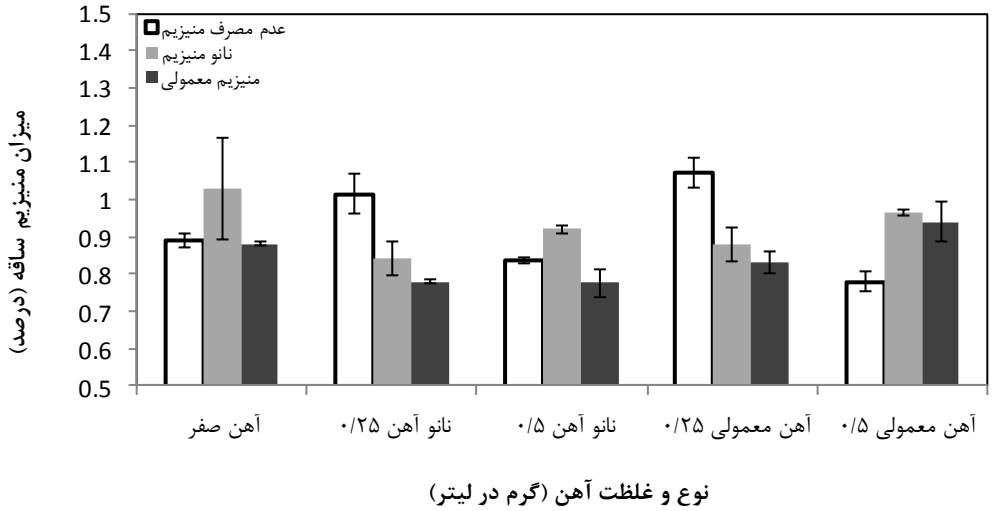
شکل ۴-۲۷- مقایسه میانگین میزان منیزیم برگ تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم
بارهای روی میله‌ها SE ± می‌باشد.

فاصله بین بیشترین و کمترین مقدار منیزیم اندازه‌گیری شده در برگ ۰/۲۹ درصد بود. هر دو مقدار در سطح آهن معمولی ۰/۵ گرم در لیتر مشاهده شد. به طوری‌که بیشترین مقدار منیزیم برگ با میانگین ۱/۶۶ درصد در ترکیب تیماری آهن معمولی ۰/۵ و منیزیم معمولی و کمترین مقدار معادل ۱/۳۷ درصد در محلول‌پاشی آهن معمولی ۰/۵ گرم در لیتر به تنهایی مشاهده شد. این در حالی است که منیزیم ثبت شده در برگ گیاهانی که هیچ‌کدام از تیمارها را دریافت نکردند (شاهد) معادل ۱/۴۸ درصد بود. محلول‌پاشی با نانومنیزیم و منیزیم معمولی بدون حضور آهن توانستند مقدار منیزیم برگ را به ترتیب ۰/۱۴ و ۰/۱ درصد بهبود بخشند. تاثیر توام شدن نانومنیزیم با نانوآهن ۰/۲۵ گرم در لیتر نیز از لحاظ تاثیرگذاری بر مقدار منیزیم برگ مفید بود (شکل ۴-۲۷ و جدول پیوست ۳۹).

در یک طرح آزمایشی استفاده از محلول‌پاشی کلسیم و منیزیم در گیاه دارویی پونه طی دو سال زراعی سبب افزایش غلظت کلسیم و منیزیم در برگ‌ها شد (چریستوس، ۲۰۰۹). با افزایش سن برگ، غلظت منیزیم و کلسیم در برگ کاهش یافت ولی میزان عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در برگ افزایش پیدا کرد (اونتونگ و همکاران، ۲۰۰۴). همچنین در آزمایشی افزایش استفاده از محلول‌های غذایی آهن و بر در توت فرنگی سبب کاهش کلسیم، منیزیم و آهن برگ شد. مقادیر بالاتر از ۵ میلی‌گرم آهن و ۰/۷۵ میلی‌گرم بور در لیتر نه تنها سبب افزایش عملکرد نشد، بلکه احتمالا سبب بروز مسمومیت از طریق افزایش بور شده و مقدار نیترات، فسفر، کلسیم، منیزیم و آهن برگ‌ها را نیز کاهش داد (تقوی و همکاران، ۱۳۸۴).

۴-۱۲-۴- میزان منیزیم ساقه

اثر اصلی آهن بر میزان منیزیم ساقه معنی‌دار نشد، ولی تاثیر غلظت‌های مختلف منیزیم بر این صفت در سطح ۵ درصد و اثر متقابل آهن و منیزیم در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول پیوست ۳۷). همانند نتیجه‌ای که در برگ مشاهده شد، محلول‌پاشی نانومنیزیم به تنهایی توانست مقدار منیزیم ساقه را نیز ۰/۱۴ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. در حالی‌که منیزیم معمولی تاثیری نداشت. مقادیر بالایی از منیزیم در ساقه گیاهانی مشاهده شد که فقط توسط اکسید آهن با غلظت پایین (۰/۲۵ گرم در لیتر) به هر دو فرم معمولی و نانو محلول‌پاشی شده بودند. وقتی محلول‌پاشی منیزیم به‌ویژه منیزیم معمولی با این سطح از آهن توام شد، تاثیر منفی بر مقدار منیزیم ساقه برجای گذاشت (شکل ۴-۲۸). همچنین نتایج نشان داد که چنانچه غلظت بالای آهن (۰/۵ گرم در لیتر) به تنهایی مورد استفاده قرار گیرد مقدار منیزیم ساقه کاهش می‌یابد.



شکل ۴-۲۸- مقایسه میانگین میزان منیزیم ساقه تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم
بارهای روی میله‌ها SE ± می‌باشد.

توام شدن نانومنیزیم با این سطح از آهن مفید بود. همراه شدن منیزیم معمولی فقط با آهن معمولی ۰/۵ گرم در لیتر تاثیر مثبتی بر منیزیم ساقه داشت. در شکل ۴-۲۸ مشخص شده است که بین کدام ترکیبات تیماری اختلاف معنی‌دار وجود دارد. در مجموع ترکیب تیماری آهن معمولی ۰/۲۵ و عدم مصرف منیزیم با میانگینی معادل ۱/۰۷ درصد بیشترین و ترکیب تیماری نانوآهن ۰/۵ گرم در لیتر و منیزیم معمولی با میانگینی معادل ۰/۷۷ درصد کمترین میزان منیزیم ساقه را دارا بودند (شکل ۴-۲۸ و جدول پیوست ۳۹).

آلودگی میکوریزایی درصد جذب عنصر منیزیم را در گیاه ذرت افزایش و جذب پتاسیم را کاهش داد. در این آزمایش در تیمار ۷/۲ میلی‌مول در لیتر منیزیم توام با ۳۶۰ میلی‌گرم در لیتر پتاسیم، بیشترین میزان منیزیم و کم‌ترین میزان پتاسیم در ریشه و اندام هوایی مشاهده شد (خانپور اردستانی و همکاران، ۱۳۸۷). کلرک و همکاران (۱۹۹۷) در تحقیقی روی ذرت با کاربرد گاز انیدریک سولفوریک و منیزیم در زمین‌های اسیدی به این نتایج رسیدند که منیزیم در افزایش ماده خشک موثر بوده و کمبود آن تابع نسبت Ca/Mg می‌باشد. همچنین با افزایش غلظت منیزیم در اندام‌های هوایی میزان کلسیم و منگنز کاهش و غلظت پتاسیم، گوگرد، آهن، روی و مس نسبتا ثابت باقی

می‌مانند.کمبود منیزیم در وزن خشک و تر ساقه و ریشه موثر نبود. اگرچه کمبود آن سبب کاهش غلظت منیزیم در ساقه و ریشه‌ها گردید (چو و همکاران، ۲۰۱۰).

۴-۱۲-۵- کلروفیل

مقدار کلروفیل برگ از ۸۵ تا ۱۰۶ روز پس از کاشت طی چهار مرحله مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. به منظور توضیح بیشتر و دقیق‌تر در مورد تاثیر تیمارهای مورد مطالعه بر کلروفیل، از بین ۴ اندازه‌گیری صورت گرفته یک اندازه‌گیری به شرح زیر انتخاب و تفسیر می‌گردد.

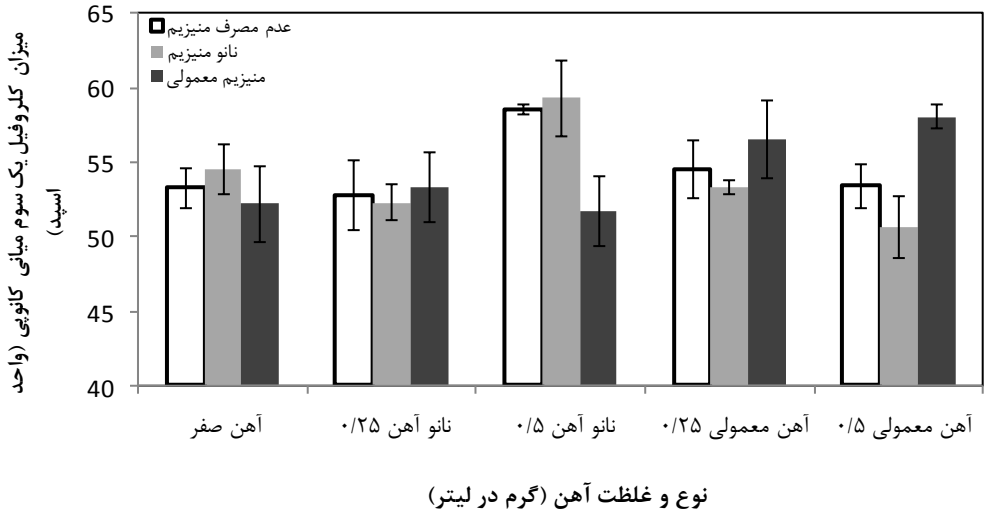
۴-۱۲-۵-۱- کلروفیل یک سوم بالای کانوپی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس کلروفیل یک سوم بالای کانوپی در ۴ اندازه‌گیری انجام شده در جدول پیوست ۴۰ آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد اثر هیچ‌یک از منابع تغییر بر کلروفیل برگ در یک سوم بالای کانوپی معنی‌دار نشد.

۴-۱۲-۵-۲- کلروفیل یک سوم میانی کانوپی

اثر اصلی آهن تنها در آخرین اندازه‌گیری ($p < ۰/۰۱$)، اثر اصلی منیزیم در اولین ($p < ۰/۰۵$) و آخرین ($p < ۰/۰۱$) اندازه‌گیری و اثر متقابل آهن و منیزیم در اولین ($p < ۰/۰۱$) و دومین ($p < ۰/۰۵$) اندازه‌گیری بر کلروفیل برگ‌های یک سوم میانی کانوپی معنی‌دار بود (جدول پیوست ۴۲). شکل ۴-۲۹ اثر متقابل تیمار آهن و منیزیم را در ۹۲ روز پس از کاشت (۹۰۱/۵ درجه روز رشد) بر میزان کلروفیل یک سوم میانی کانوپی را نشان می‌دهد. ترکیب تیماری نانوآهن ۰/۵ گرم در لیتر و نانومنیزیم بیشترین میزان کلروفیل با میانگینی معادل ۵۹/۲۶ واحد اسپد را به خود اختصاص داد البته اختلاف بسیار جزئی با محلول‌پاشی نانوآهن ۰/۵ گرم در لیتر به تنهایی داشت. این در حالی است که میزان کلروفیل در ترکیب تیماری آهن معمولی ۰/۵ گرم در لیتر و نانومنیزیم حدود ۸ واحد

اسپد کمتر از این مقدار بود و کمترین میزان کلروفیل را در بین ترکیبات تیماری دارا بود (شکل ۴-۲۹ و جدول پیوست ۴۴). محلول‌پاشی با منیزیم معمولی فقط همراه با آهن معمولی در هر دو غلظت ۰/۲۵ و ۰/۵ گرم در لیتر در افزایش کلروفیل بخش میانی کانوپی مفید بود.



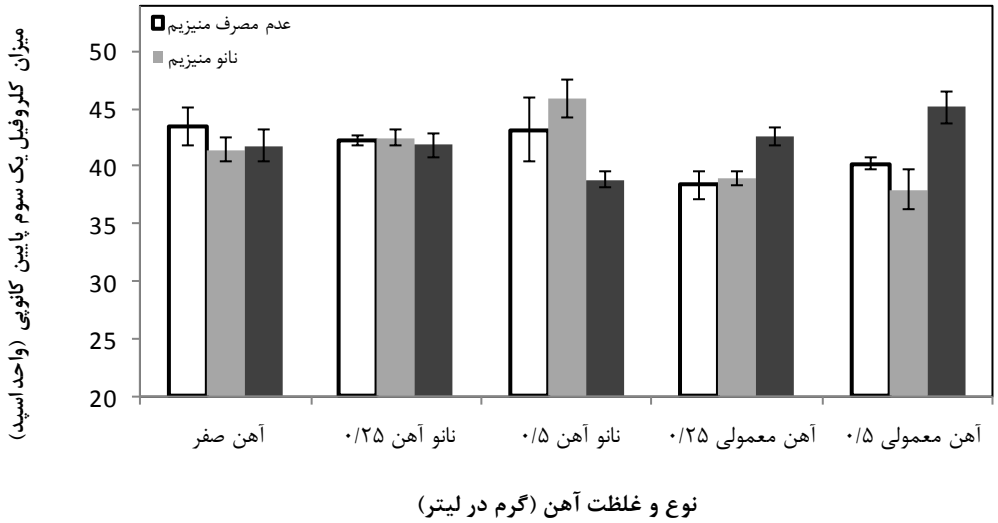
شکل ۴-۲۹- مقایسه میانگین میزان کلروفیل یک سوم میانی کانوپی در ۹۲ روز پس از کاشت (۹۰۱/۵ درجه روز رشد) تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم
بارهای روی میله‌ها SE ± می‌باشد.

آهن در فعال ساختن حامل‌های الکترون هر دو فتوسیستم (I و II) موثر است. در اثر کمبود آهن فتوسنتز شدیدا کاهش می‌یابد در حالی که کمبود آن اثری بر تنفس ندارد. به‌طور کلی در برگ‌های تمام گونه‌های گیاهی علامت اصلی کمبود آهن جلوگیری از رشد کلروپلاست است (ضیائیان، ۱۳۸۲). منیزیم در مرکز مولکول کلروفیل به صورت یک کلات منیزیم در کلروپلاست است. این عنصر همچنین با ADP، ATP و اسیدهای آلی پیوند تشکیل می‌دهد و لذا برای صدها واکنش آنزیمی ضروری است. منیزیم بین ATP و مولکول آنزیم پل تشکیل می‌دهد و برای فسفریلاسیون واکنش‌های ساخت و تجزیه فتوسنتزی و در فسفریلاسیون اکسیدی در تنفس مورد نیاز است (کوچکی و سرمدنیا، ۱۳۸۴).

در آزمایش محمدزاده و همکاران (۱۳۹۰) بیشترین مقدار کلروفیل a، کلروفیل کل (a+b)، کاروتنوئید و زانتوفیل در تیمار ۹ کیلو گرم در هکتار محلول‌پاشی نانو کود کلات آهن در دو مرحله قبل از گلدهی+ شروع غلاف‌دهی در لوبیا چیتی مشاهده گردید. در پژوهشی دیگر کاربرد پتاسیم تاثیر معنی‌داری بر کلروفیل گیاه گلرنگ نداشت، در حالی که اثر مصرف منیزیم بر این صفت معنی‌داری بود. استفاده از ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار منیزیم سبب بیشترین میزان کلروفیل به میزان ۸۶/۹ (واحد اسپد) گردید (وفایی و همکاران، ۱۳۸۹).

۴-۱۲-۵-۳- کلروفیل یک سوم پایین کانوپی

نتایج تجزیه واریانس کلروفیل یک سوم پایین کانوپی در ۴ اندازه‌گیری انجام شده در جدول پیوست ۴۵ نشان داده شده است. اثر اصلی آهن تنها در اولین اندازه‌گیری ($p < ۰/۰۱$) و اثر متقابل آهن و منیزیم در اولین، دومین و سومین اندازه‌گیری معنی‌دار بود. شکل ۴-۳۰ اثر متقابل تیمار آهن و منیزیم را در ۹۲ روز پس از کاشت (۹۰۱/۵ درجه روز رشد) بر میزان کلروفیل یک سوم پایین کانوپی نشان می‌دهد. در بخش پایینی کانوپی نتایجی تقریبا مشابه بخش میانی به دست آمد. همان‌طور که در بخش میانی کانوپی ترکیب تیماری آهن معمولی ۰/۵ و نانومنیزیم کمترین میزان کلروفیل را داشت. در پایین کانوپی نیز همین ترکیب تیماری سبب کمترین میزان کلروفیل با میانگینی معادل ۳۶/۹۶ واحد اسپد شد که علت آن مشخص نیست. البته ترکیبات تیماری نانومنیزیم × آهن معمولی ۰/۲۵ گرم در لیتر، منیزیم معمولی × نانوآهن ۰/۵ گرم در لیتر و آهن معمولی ۰/۲۵ گرم در لیتر × عدم مصرف منیزیم نیز مقادیری مشابه داشتند و کمترین مقدار کلروفیل را نشان دادند. از بین ترکیبات تیماری، دو ترکیب نانوآهن ۰/۵ گرم در لیتر × نانومنیزیم و آهن معمولی ۰/۵ گرم در لیتر × منیزیم معمولی به ترتیب با میانگین ۴۵/۹۱ و ۴۵/۱ (واحد اسپد) مقدار کلروفیل بیشتری نسبت به شاهد داشتند که نسبت به اکثر ترکیبات تیماری معنی‌دار نیز بود (شکل ۴-۳۰ و جدول پیوست ۴۷).



شکل ۴-۳۰– مقایسه میانگین میزان کلروفیل یک سوم پایین کانوپی در ۹۲ روز پس از کاشت (۹۰۱/۵ درجه روز رشد) تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم
بارهای روی میله‌ها SE ± می‌باشد.

آهن یک جزء تشکیل دهنده‌ی آنزیم‌های انتقال دهنده الکترون است. برای مثال می‌توان به سایتوکروم‌ها و فرودوکسین که در فتوسنتز و تنفس فعال هستند، اشاره کرد. آهن جزء تشکیل دهنده آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز است که واکنش‌های تبدیل آب اکسیژنه به آب و اکسیژن را به عهده دارند و از سمیت آب اکسیژنه جلوگیری می‌کنند. آهن به همراه مولیبدن از عناصر تشکیل دهنده ساختمانی آنزیم‌های نیتریت و نیترات‌ردکتاز و آنزیم نیتروژناز است که تثبیت کننده نیتروژن می‌باشند. برای تشکیل ساختمان ظریف کلروفیل بایستی آهن موجود باشد. کمبود آهن تعداد و اندازه کلروپلاست‌ها را کاهش می‌دهد (کوچکی و سرمدنیا، ۱۳۸۴).

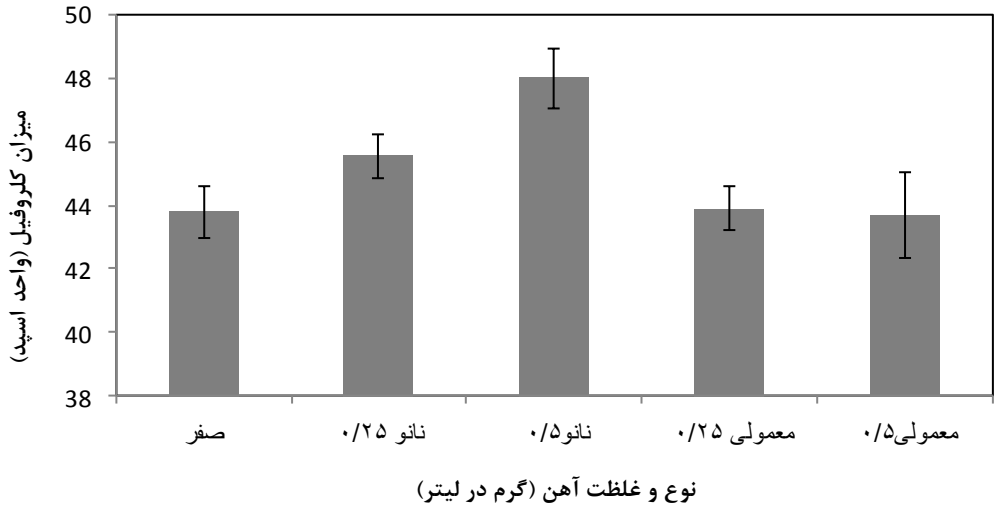
منیزیم کوفاکتوری برای بسیاری از آنزیم‌هایی است که مسئول فسفریلاسیون در گلیکولیز و چرخه تری‌کربوکسیلیک اسید می‌باشند. منیزیم برای فعال ساختن آنزیم ریبولوز بی‌فسفات کربوکسیلاز مورد نیاز است. بنابراین کمبود آن محدودکننده سرعت فرآیندهای فتوسنتزی است (پورتیس، ۱۹۹۲). طی اجرای آزمایشی به منظور بررسی تاثیر پتاسیم و آهن در گیاه برنج مشاهده

گردید که میزان کلروفیل a بین تیمارهای ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر آهن تفاوت معنی‌داری نداشت. هر چند میزان کلروفیل b و کل با افزایش غلظت تیمارهای آهن زیاد شد، این افزایش در سطح ۱۰۰ میلی‌گرم آهن در لیتر معنی‌دار بود (شمالی و همکاران، ۱۳۸۶). استفاده از منیزیم در گیاه یونجه به‌ویژه در شرایط خاک‌های شور سبب افزایش کلروفیل برگ می‌گردد (زرندی میاندوآب، ۱۹۹۹).

۴-۱۲-۵-۴- میزان کلروفیل کل کانوپی گیاه

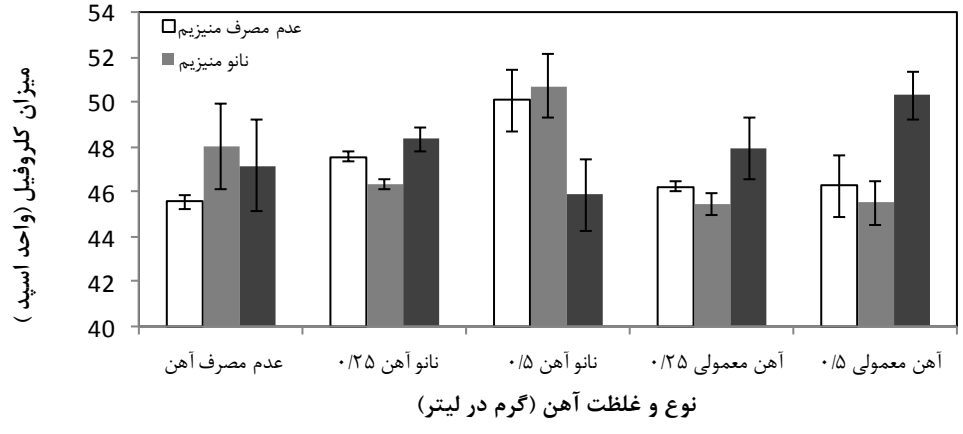
در نخستین اندازه‌گیری (۸۵ روز پس از کاشت) تنها محلول‌پاشی آهن اثر معنی‌داری ($p < ۰/۰۱$) بر کلروفیل برگ داشت. در حالی‌که در سه اندازه‌گیری بعد اثر متقابل آهن × منیزیم معنی‌دار بود ($p< ۰/۰۵$). در شکل ۴-۳۱ مشاهده می‌شود که بیشترین کلروفیل برگ در ۸۵ روز پس از کاشت با میانگین ۴۸ (واحد اسپد) مربوط به محلول‌پاشی با نانوآهن در غلظت ۰/۵ گرم در لیتر بود. غلظت دیگر نانوآهن (۰/۲۵ گرم در لیتر) در رتبه بعدی قرار گرفت. این در حالی است که اختلافی بین میزان کلروفیل برگ در دو غلظت آهن معمولی و عدم محلول‌پاشی آهن مشاهده نشد.

گزارش شده است که غلظت هر دو کلروفیل (a+b) و واکنش نوری با کمبود و زیادی آهن موجود در برگ‌های سیب زمینی کاهش معنی‌داری را نشان می‌دهد. غلظت کلروفیل موجود در برگ بستگی به تهیه آهن در گیاهان دارد (بیشت و همکاران، ۲۰۰۲).

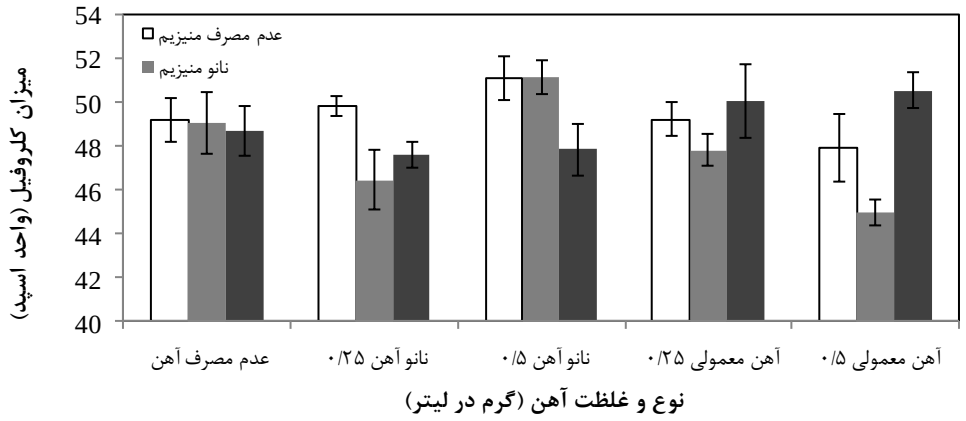


شکل ۴-۳۱- تاثیر محلول‌پاشی آهن بر میزان کلروفیل برگ در ۸۵ روز پس از کاشت (۷۹۸/۵ درجه روز رشد)
بارهای روی میله‌ها SE ± می‌باشد.

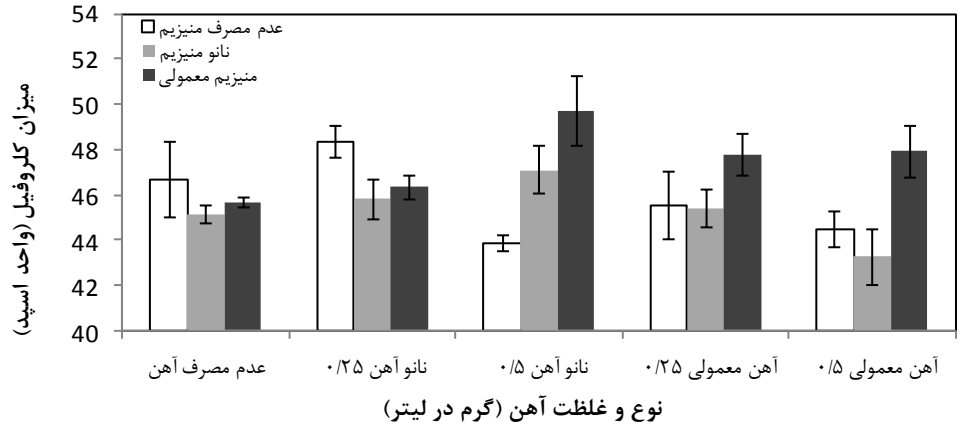
در شکل ۴-۳۲ میزان کلروفیل برگ در ادامه فصل رشد تحت تاثیر ترکیبات تیماری حاصل از آهن و منیزیم مقایسه شده است. ملاحظه می‌گردد که تا ۹۹ روز پس از کاشت بالاترین مقادیر کلروفیل برگ از ترکیبات تیماری نانوآهن ۰/۵ گرم در لیتر × نانومنیزیم و نانوآهن ۰/۵ گرم در لیتر × عدم مصرف منیزیم به دست آمد. تا این زمان ترکیب نانوآهن ۰/۵ با منیزیم معمولی سبب کاهش کلروفیل برگ گردید. در حالی که در مورد آهن معمولی نتیجه متفاوتی حاصل شد به‌طوری که همراه شدن هر دو غلظت ۰/۲۵ و ۰/۵ گرم در لیتر از آهن معمولی با منیزیم معمولی میزان کلروفیل برگ را بهبود بخشید و ترکیبات تیماری غلظت‌های آهن معمولی با نانومنیزیم مقادیر پایین‌تری از کلروفیل را نشان دادند (شکل۴-۳۲، a و b). با نزدیک شدن به انتهای فصل رشد و در ۱۰۶ روز پس از کاشت نتایج متفاوتی برای کلروفیل برگ به دست آمد (شکل ۴-۳۲، c). ترکیب تیماری نانوآهن ۰/۵ × منیزیم معمولی با میانگین کلروفیل ۴۹/۷ (واحد اسپد) بیشترین کلروفیل را دارا بود. همراه شدن منیزیم معمولی با هر دو غلظت آهن معمولی نیز با میانگین حدود ۴۸ مقادیر بالایی از کلروفیل را نشان دادند (جدول پیوست ۵۵).



a- ۹۲روز پس از کاشت (۹۰۱/۵ درجه روز رشد)



b- پس از کاشت ۹۹ روز (۹۹۰ درجه روز رشد)



c- ۱۰۶ روز پس از کاشت (۱۰۷۶/۷۵ درجه روز رشد)

شکل ۴- ۳۲- مقایسه میانگین میزان کلروفیل برگ تحت تاثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی آهن و منیزیم در نمونه‌برداری‌های مختلف (درجه روز رشد)
بارهای روی میله‌ها SE ± می‌باشد.

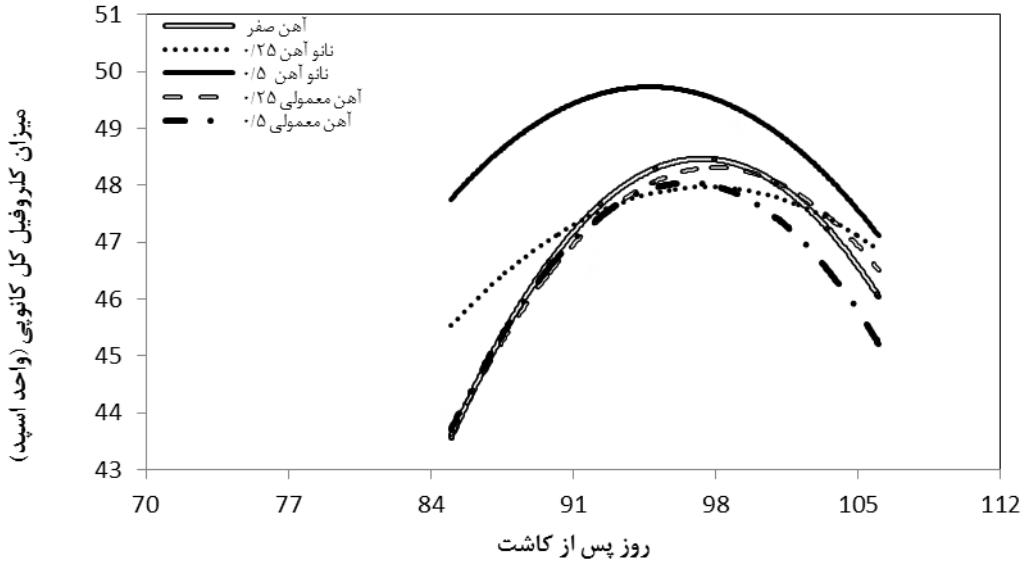
با توجه به نتایج ذکر شده چنین استنباط می‌شود که در اواسط رشد گیاه لوبیا چشم بلبلی نانوذرات منیزیم و آهن (در مقادیر بالاتر) با توجه به خصوصیات ویژه‌ای که دارند می‌توانند از طریق افزایش میزان کلروفیل و به دنبال آن فتوسنتز نقش مهمی در افزایش عملکرد گیاه ایفا کنند. در جدول پیوست ۳۰ نیز مشاهده گردید که عملکرد دانه در ترکیبات تیماری نانوآهن ۰/۵ با نانومنیزیم و عدم مصرف منیزیم به‌طور قابل توجهی بالاتر بود. این در حالی است که با نزدیک شدن به انتهای فصل رشد حضور منیزیم معمولی در کنار غلظت‌های مختلف آهن معمولی و به‌ویژه نانوآهن ۰/۵ پیری برگ را از طریق حفظ کلروفیل بیشتر به تاخیر انداخته و پر شدن دانه را حمایت می‌کند. در اواخر مردادماه (۱۰۶ روز پس از کاشت) وجود نور و گرمای شدید می‌تواند از طریق تخریب کلروفیل موجب پدیده‌ی خورشیدی شدن شود که به صورت کاهش کلروفیل نسبت به مراحل قبل مشاهده می‌گردد. به نظر می رسد در آزمایش حاضر منیزیم معمولی توانسته است این پدیده را کاهش دهد. همان طور که قبلا نیز مشاهده شد منیزیم معمولی سبب افزایش پایداری و کاهش خسارت غشای پلاسمایی گردید که شاید بی ارتباط با این نتیجه نباشد.

در سویا نیز زیادی و کمبود آهن تاثیر قابل توجهی بر مقدار کلروفیل داشته است که در نهایت سبب جلوگیری از فتوسنتز و رشد گیاه گردید (گوس و همکاران، ۲۰۰۴). اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی عناصر کم مصرف (آهن، روی و منگنز) در میزان کلروفیل گیاه آفتابگردان نشان داد که، تنش خشکی، محلول‌پاشی عناصر کم مصرف و اثر متقابل آن‌ها تاثیر معنی‌داری بر عدد کلروفیل‌متر و فلورسانس کلروفیل برگ داشت. بیشترین میزان کلروفیل برگ در تیمار کاربرد توام آهن و منگنز به میزان ۱۶/۴ (واحد اسپد) بود هرچند با تیمارهای (روی + منگنز و منگنز) اختلاف معنی‌داری نداشت (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۹).

چکماک و همکاران (۱۹۹۴)، در مطالعاتی که روی لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که کمبود پتاسیم و به‌ویژه منیزیم سبب کاهش ساکارز در آوند آبکش می‌شود، ولی کمبود فسفر روی ساکارز تاثیری نداشت. همچنین کمبود منیزیم، میزان اسید های آمینه موجود در آوند آبکش را به شدت کاهش داد. به طور کلی نتایج آن‌ها نشان داد که منیزیم در بارگیری آوند آبکش ناشی از فتوسنتز برگ نقش اساسی و کلیدی دارد. در گیاهانی که با کمبود منیزیم مواجه

هستند، رشد و گسترش ریشه نیز محدود می‌گردد و سبب ظهور علائم کمبود منیزیم از جمله کلروزه شدن برگ‌ها می‌شود که خود در اثر اختلال در بارگیری آوند آبکش می‌باشد.کمبود منیزیم در درجه اول سبب کاهش در غلظت کلروفیل b و به دنبال آن کاهش در کلروفیل a می‌گردد (هرمنز و همکاران، ۲۰۰۴)

شکل ۴-۳۳ روند تغییرات میزان کلروفیل کل را تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن در طول اندازه‌گیری‌های انجام شده نشان می‌دهد. در تمام تیمارهای محلول‌پاشی آهن میزان کل کلروفیل کانوپی ابتدا روند افزایشی و سپس کاهشی داشت. از همان ابتدا بیشترین میزان کلروفیل کل کانوپی مربوط به تیمار نانوآهن ۰/۵ گرم در لیتر بود. کلروفیل برگ در این تیمار چند روز زودتر از بقیه تیمارها در حدود ۹۲ روز پس از کاشت به اوج خود رسید و پس از آن اگر چه با شدت زیادی کاهش یافت ولی در نهایت در انتهای فصل همراه با دیگر سطح نانوآهن (۰/۲۵ گرم در لیتر) کلروفیل بیشتری را به نمایش گذاشتند که نشان‌دهنده پایداری بیشتر برگ می‌باشد.



شکل ۴-۳۳- روند تغییرات میانگین کلروفیل کانوپی تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن

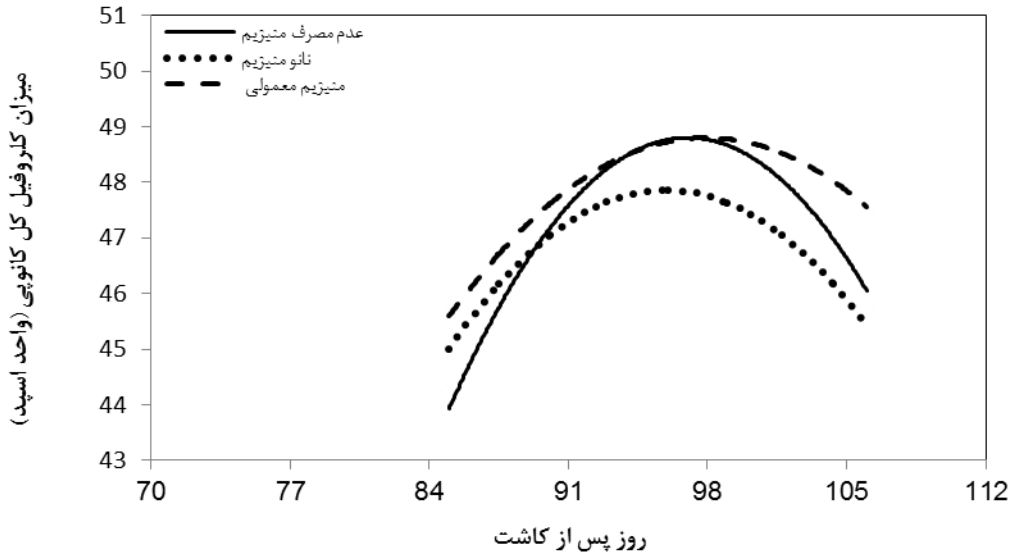
آهن در فرآیندهای اکسیداسیون و احیاء نقش دارد و با تغییر ظرفیت سبب انتقال الکترون می‌شود که این نقش در متابولیسم گیاهی بسیار مهم است. وجود آهن در سنتز پروتئین لازم می‌باشد و از آن‌جای‌که نقش آهن در سنتز پروتئین‌ها همراه با کلروفیل است بنابراین کمبود آهن سبب از کار افتادن کلروفیل می‌شود که به همین دلیل رنگ زرد برگ‌ها ناشی از کمبود این عنصر مشاهده می‌گردد (ونخادی، ۲۰۰۲). آهن به صورت مستقیم در بیوسنتز کلروفیل نقش ندارد اما به شکل غیر مستقیم برای بیوسنتز کنترل کننده‌های تشکیل پیش ماده‌ی اسید دلتا-آمینولوولینیک[1] ضروری می‌باشد (مارشنر، ۱۹۹۵). در آزمایشی روی گیاه سویا گزارش شد که میزان کلروفیل برگ در مراحل اول و قبل از محلول‌پاشی نانو اکسید آهن تا حدودی یکسان بود، ولی بعد از اعمال تیمارها میزان کلروفیل برگ‌ها افزایش یافت. بیشترین میزان کلروفیل مربوط به تیمار ۰/۵ و ۰/۷۵ گرم در لیتر نانو اکسید آهن نسبت به شاهد بود (شیخ‌بگلو، ۱۳۸۹).

بررسی روند تغییرات میزان کلروفیل کل کانوپی تحت تاثیر محلول‌پاشی منیزیم در شکل ۴-۳۴ نشان داده شده است. در این شکل برتری کلروفیل برگ در شرایط محلول‌پاشی منیزیم معمولی در ابتدا و انتهای فصل به وضوح مشاهده می‌گردد. همچنین ملاحظه می‌گردد که برگ‌های گیاهانی که نانومنیزیم دریافت کرده بودند خیلی سریع‌تر کلروفیل خود را از دست دادند و پایداری کمتری نسبت به تیمار منیزیم معمولی و حتی شاهد در پایان فصل داشتند. به عبارت دیگر زودتر پیر شدند.

سن برگ روی فتوسنتز اثر دارد. پیری برگ سبب کاهش فرآیند فتوسنتز می‌شود. عامل اصلی که بر شدت پیری اثر می‌گذارد وضعیت عناصر معدنی برگ است. عناصر معدنی کافی اجازه می‌دهد هم برگ‌های پیر و هم برگ‌های جوان غذای مورد نیاز خود را تهیه کنند. به‌هر حال عناصر کم ترجیحا بین برگ‌های جوان توزیع می‌گردد لذا شدت فتوسنتز در برگ‌های پیر کاهش می‌یابد (کوچکی و سرمدنیا، ۱۳۸۴). به‌طور کلی منیزیم در گیاه دارای نقش فیزیولوژی و مولکولی مهم مانند شرکت در

1-δ-aminolevulinic acid

ساختار کلروفیل است (خوش‌گفتارمنش، ۱۳۸۶). تحقیقات نشان داده که بین ۱۵ تا ۳۰ درصد کل منیزیم گیاه در ساختار کلروفیل وجود دارد (هوپکینس، ۱۹۹۵).



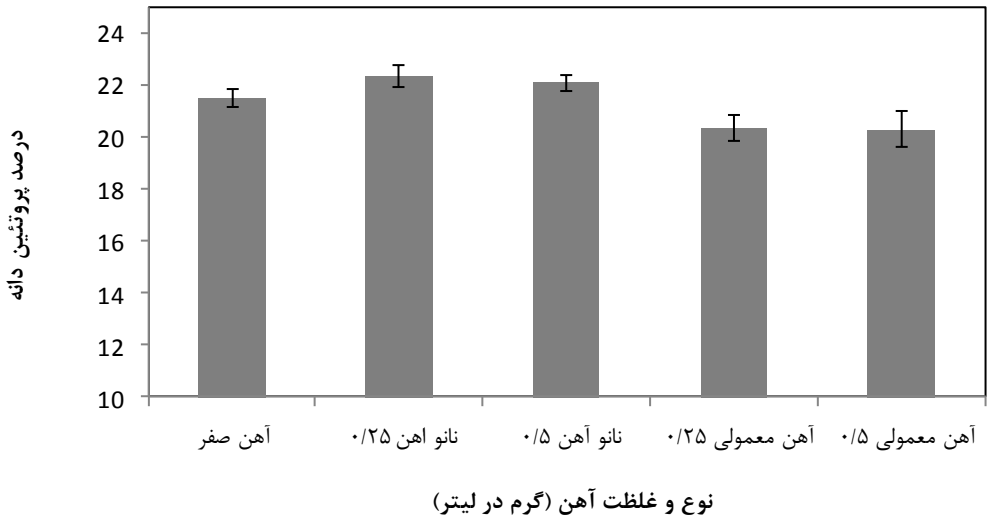
شکل ۴-۳۴- روند تغییرات میانگین کلروفیل کل کانوپی تحت تاثیر محلول‌پاشی منیزیم

در میزان کلروفیل برگ تعداد برگ، سطح برگ، زاویه قرار گرفتن برگ‌ها بر روی ساقه و مواد غذایی موثر هستند. منیزیم نقش اساسی در فتوسنتز گیاهان هم در شرایط تاریکی و هم در شرایط نوری دارد. گزارش‌های متعددی در مورد کاهش فتوسنتز در اثر شرایط کمبود منیزیم بیان شده است (ریدولفی و گاریک، ۲۰۰۰).

۴-۱۲-۶- درصد پروتئین دانه

از بین تیمارهای آزمایش تنها اثر آهن ($p < ۰/۰۱$) بر پروتئین دانه معنی‌داری شد (جدول پیوست ۵۱). در شکل ۴-۳۵ مشاهده می‌گردد که تیمار نانوآهن در هر دو غلظت ۰/۲۵ و ۰/۵ گرم در لیتر سبب بهبود درصد پروتئین دانه گردید. به‌طوری که دانه‌های حاصل از تیمار نانوآهن ۰/۲۵ حاوی ۲۲/۳۵ درصد پروتئین بودند. در مقابل محلول‌پاشی با آهن معمولی در هر دو غلظت پروتئین دانه را به طور معنی‌داری

نسبت به هر دو غلظت نانوآهن کاهش داد. مقدار پروتئین دانه در غلظت‌های آهن معمولی حدود ۲ درصد کمتر از پروتئین دانه در تیمار نانوآهن ۰/۲۵ بود.



شکل ۴-۳۵- مقایسه میانگین درصد پروتئین دانه تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن
بارهای روی میله‌ها SE ± می‌باشد.

به‌طور کلی دو دسته از پروتئین‌های دارای آهن وجود دارد که شامل پروتئین‌های هم (سیتوکروم‌ها، کاتالازها و پراکسیدازها) و پروتئین‌های غیرهمی یا پروتئین‌های دارای آهن-گوگرد (فرودوکسین‌ها) می‌باشد. بنابراین حضور آهن برای سنتز و تشکیل پروتئین لازم و ضروری می‌باشد. آهن و روی دو عنصر ضروری برای ساختمان آنزیم‌ها می‌باشند که بیوسنتز اسیدهای آمینه دخالت دارند. اسیدهای آمینه در سنتز پروتئین نقش دارند و میزان پروتئین با استفاده از ریزمغذی‌ها افزایش می‌یابد (ذکریا و همکاران، ۲۰۰۱). آهن جزیی از نیتروژناز، لگ‌هموگلوبین و سیستم‌های آنزیمی در گره می‌باشد. موقعی که مقدار آهن و روی در خاک کم باشد، ریزوبیوم‌ها در انجام عمل تثبیت نیتروژن در لوبیا موفق نیستند. مصرف آهن به میزان ۵ تا ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک به تنهایی یا همراه با روی در لوبیا، تثبیت نیتروژن را بهبود می‌بخشد (پارسا و باقری، ۱۳۸۷).

پروتئین‌ها ترکیباتی پیچیده با وزن مولکولی بالا هستند که جزء ضروری تمام موجودات زنده می‌باشند. پروتئین‌ها عمدتا از کربن، هیدروژن، اکسیژن و نیتروژن تشکیل شده‌اند. بعضی از آن‌ها شامل گوگرد و بعضی شامل آهن و فسفر نیز هستند. بخش اعظم پروتوپلاسم را تشکیل می‌دهند. به گزارش نوابی و ملکوتی (۱۳۸۱)، کاربرد عناصر کم مصرف آهن، روی و منگنز سبب افزایش پروتئین در ذرت شد. همچنین کاربرد توام نیتروژن (۳۰۰ کیلوگرم در هکتار)، سولفات روی (۴۵ کیلوگرم در هکتار) و آهن (۴ کیلوگرم در هکتار) سبب بیشترین میزان پروتئین به میزان ۱۲/۵۳ درصد در ذرت علوفه‌ای شد (ساجدی و همکاران، ۱۳۸۵). آهن برای تشکیل کلروفیل و ساخته شدن پروتئین‌های موجود در کلروپلاست لازم می‌باشد (خواجه‌پور، ۱۳۷۱). عنصر آهن، یکی از مهم‌ترین عناصری است که در متابولیسم نیتروژن و در نتیجه افزایش سطح برگ گیاه نقش دارد بنابراین می‌توان انتظار داشت که با اعمال تیمار آهن در گیاهانی که علائم کمبود این عنصر را نشان می‌دهند، پروتئین سازی افزایش یابد (تیواری و همکاران، ۲۰۰۵). میکروالمنت‌هایی مانند آهن، مس، منگنز و روی برای رشد و گسترش گیاهان ضروری می‌باشند. آن‌ها در عکس‌العمل‌های پتانسیل ردکس در فرآیندهای سلولی، پروتئین و در ساختمان و فعالیت آنزیم کاتالاز اهمیت دارند (هال و ویلیامز، ۲۰۰۳).

نتیجه‌گیری:

۱- تلفیق نانو آهن و نانو منیزیم سبب افزایش برخی صفات مورفولوژیک از جمله ارتفاع ساقه و فاصله اولین غلاف از سطح خاک شد.

۲- محلول‌پاشی اکسید آهن و منیزیم سبب افزایش ماده‌ی خشک برگ، ساقه، دانه و غلاف، ارتفاع ساقه، قطر ساقه، طول غلاف و فاصله اولین غلاف از سطح خاک نسبت به شاهد گردیدند. در مجموع هر دو غلظت آهن معمولی همراه با نانومنیزیم در بیشتر صفات مورفولوژیکی نقش موثرتری داشتند.

۳- عملکرد و اجزای عملکرد نیز تحت تاثیر محلول‌پاشی اکسید آهن و منیزیم قرار گرفتند، به‌طوری‌که بیشترین میزان عملکرد، تعداد غلاف در بوته و وزن هزاردانه در ترکیب تیماری آهن معمولی ۰/۵ گرم در لیتر و نانومنیزیم مشاهده شد. تنها در مورد تعداد دانه در غلاف، همین سطح از آهن به همراه منیزیم معمولی بیشترین تاثیر را داشت.

۴- نانو آهن به تنهایی میزان کلروفیل کل (در ۸۵ روز پس از کاشت)، تعداد انشعابات جانبی و پروتئین دانه را بهبود بخشید.

۵- پایداری غشای پلاسمایی در اثر محلول‌پاشی اکسید منیزیم معمولی در حدود ۴ درصد بیشتر از شاهد شد و کاربرد توام نانو اکسید آهن ۰/۲۵ گرم در لیتر و منیزیم معمولی میزان خسارت غشای پلاسمایی را حدود ۳۴ درصد نسبت به شاهد کاهش داد.

۶- محلول‌پاشی اکسید آهن معمولی ۰/۵ گرم در لیتر و اکسید منیزیم معمولی مقدار آهن و منیزیم برگ را افزایش داد، در حالی که اکسید آهن معمولی ۰/۲۵ گرم در لیتر به تنهایی موجب افزایش مقدار منیزیم ساقه گردید.

۷- در نهایت بر اساس برآیند تاثیر تیمارهای آزمایشی بر صفات مورد اندازه‌گیری ترکیب تیماری اکسید آهن معمولی ۰/۲۵ گرم در لیتر و نانو منیزیم بهتر از سایر ترکیبات تیماری بود.

پیشنهادها

۱- تاثیرگذاری محلول‌پاشی با عناصر کم‌مصرف در زمان‌های مختلف از رشد رویشی و زایشی ممکن است متفاوت باشد لذا توصیه می‌شود که تاثیر دو نانوذره مورد مطالعه در این این پژوهش (نانواکسید آهن و منیزیم) در مراحل مختلف رشد لوبیا چشم بلبلی مورد بررسی قرار گیرد.

۲- در این آزمایش ۵ سطح آهن و ۳ سطح منیزیم مورد مطالعه قرار گرفت، پیشنهاد می‌شود طیف وسیع‌تری از غلظت های این دو عنصر مورد بررسی قرار گیرند. به ویژه عنصر منیزیم که فقط در غلظت ۱ درصد مطالعه شد و تحقیق در مورد غلظت‌های کمتر و بیشتر از آن ضروری است.

۳- اثر سایر عناصر ریزمغذی به فرم نانوذره بر صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک حبوبات به ویژه لوبیا چشم بلبلی مورد مطالعه قرار گیرد.

۴- در این پژوهش اثر نانوذرات آهن و منیزیم روی لوبیا چشم بلبلی تا حدی مشخص گردید ولی نتایج ناشی از آزمایش یک‌ساله نمی‌تواند قابل تعمیم باشد لذا باید تکرار گردد تا نتیجه قابل اطمینانی حاصل شود.

۵- این احتمال وجود دارد که پاسخ سایر گیاهان به نانوذرات آهن و منیزیم متفاوت باشد. توصیه می‌گردد این آزمایش روی سایر گیاهان نیز انجام شود.

منابع

ابراهیمیان، ا.؛ پاسبان‌اسلام، ب.، بای‌بوردی، ا.؛ رشدی، م. و خلیلی‌محله، ج. ۱۳۸۹. ارزیابی کارآیی روش‌های کاربرد ریزمغذی‌های آهن و روی بر تجمع عناصر در اندام‌های آفتابگردان روغنی. مجموعه خلاصه مقالات یازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران. پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی تهران، دوم تا چهارم مرداد. صفحه ۶۳۱ تا ۶۳۴.

احسانی، ا.؛ جلالی‌هنرمند، س.؛ خرمی‌وفا، م.؛ صیادیان، ک. و اصغرزاده، ا. ۱۳۹۰. بررسی اثر گوگرد، منیزیم و تیوباسیلوس بر حاصلخیزی خاک و تغذیه سویا. دوازدهمین گنگره علوم خاک ایران (حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه). تبریز، ۱۲ الی ۱۴ شهریور. صفحه ۱ تا ۶.

احسانی، ا.؛ جلالی‌هنرمند، س.؛ خرمی‌وفا، م. و صیادیان، ک. ۱۳۹۰. بررسی اثر گوگرد، منیزیم و کود زیستی تیوباسیلوس بر عملکرد، اجزای عملکرد و خصوصیات کیفی سویا. اولین کنگره ملی علوم و فناوری‌های نوین کشاورزی. دانشگاه زنجان، ۱۹ الی ۲۱ شهریور. صفحه ۳۶۰ تا ۳۶۴.

اسدی، م. ۱۳۸۹. بررسی اثرات محلول‌پاشی چهار کود ریزمغذی بر روی عملکرد و اجزای عملکرد سیب زمینی قبل و بعد از گلدهی در منطقه قروه کردستان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بروجرد. ۱۲۹ صفحه.

افضلی‌چالی، م. و بابایی، پ. ۱۳۹۰. تاثیر استفاده از گوگرد پودری تلقیح شده با تیوباسیلوس همراه با منیزیم در عملکرد کلزا. دوازدهمین گنگره علوم خاک ایران (حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه). تبریز، ۱۲ الی ۱۴ شهریور. صفحه ۱ تا ۵.

ایزدی‌خرامه، ه.؛ بلوچی، ح.م. و یدوی، ع.ر. ۱۳۹۰. اثر مصرف خاکی کودهای ریزمغذی بر برخی خصوصیات کیفی گندم در شرایط اکولوژی مختلف. دوازدهمین گنگره علوم خاک ایران (حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه). تبریز، ۱۲ الی ۱۴ شهریور. صفحه ۱ تا ۵.

بابائیان، م.؛ حیدری، م. و قنبری، ا. ۱۳۸۷. اثر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بر تنظیم کننده‌های اسمزی، عملکرد و اجزای عملکرد دانه آفتابگردان رقم آلستر در سه مرحله تنش خشکی. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. سال دوازدهم، شماره چهل و ششم. صفحه ۱۱۹تا ۱۲۹.

بابائیان، م.؛ حیدری، م. و قنبری، ا. ۱۳۸۹. اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی عناصر کم مصرف بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و جذب عناصر غذایی در آفتابگردان (*Helianthus annus* L.). مجله علوم زراعی ایران. ۱۲(۴):۳۷۷ تا ۳۹۱.

بای‌بوردی، ا. و ملکوتی، م.ج. ۱۳۸۲. تاثیر آهن، منگنز، روی و مس بر کمیت و کیفیت گندم در شرایط شور. مجله علوم خاک و آب. ۱۷(۲):۱۴۰ تا ۱۵۰.

برجی، م. ۱۳۸۹. تعیین میزان کربوهیدرات‌های ذخیره‌ای و ساختمانی در سه رقم لوبیا (چیتی، قرمز و سفید). فصل‌نامه علمی اکوفیزیولوژی و گیاهان زراعی. دوره ۲، شماره ۲. تابستان ۱۳۸۹. صفحه ۱ تا ۵.

بغدادی، ح. ۱۳۸۴. بررسی خصوصیات زراعی و عملکرد دانه لاین‌های امید بخش عدس در شرایط دیم. چکیده مقالات اولین همایش ملی حبوبات. پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد، ۲۹ و ۳۰ آبان. صفحه ۱۷۶ تا ۱۷۸.

بقایی، ه. و حبیبی، م.ب. ۱۳۸۷. حبوبات. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۵۲۲ صفحه.

بی‌نام.۱۳۹۰. نقش منیزیم در بدن. دانش‌نامه رشد، بهداشت و سلامت، علوم پزشکی. وزارت آموزش و پرورش، سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی، معاونت فن‌آوری ارتباطات و اطلاعات آموزشی، دفتر توسعه‌ی فن‌آوری اطلاعات آموزشی. شبکه رشد و نرم‌افزارهای آموزشی. یک صفحه.

بیک‌نژاد، ص.؛ عزیزی، م.؛ رامئه، وا. و افضلی، م. ۱۳۸۹. اثر مصرف مقادیر مختلف پتاسیم و منیزیم بر عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های سویا. ۱۳۸۹. مجموعه خلاصه مقالات یازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران. پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی تهران، دوم تا چهارم مرداد. صفحه۷۸۹ تا ۷۹۱.

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

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

پنج‌تن‌دوست، م.؛ سروش‌زاده، ع. و قناتی، ف. ۱۳۸۹. تاثیر مصرف خاکی و محلول‌پاشی آهن بر روی برخی از خصوصیات کیفی دانه گیاه بادام‌زمینی (*Arachis hypogeae* L.) در خاک قلیایی. مجله زیست‌شناسی گیاهی. ۲(۵):۳۷ تا ۵۰.

تدین، م.س. و رستگار، ح. ۱۳۸۳. تاثیر محلول پاشی سولفات روی، منگنز و منیزیم بر عملکرد کمی و کیفی میوه پرتقال 'محلی جهرم (*Citrus sinensis Swing*). مجله علوم و فنون باغبانی. ۵(۴):۲۱۰ تا ۲۱۴.

تقوی، ت.؛ بابالار، م.؛ عبادی، ع.؛ ابراهیم‌زاده، ح. و عسگری، م.ع. ۱۳۸۴. اثر سطوح مختلف آهن و بر بر روی مقدار عناصر و عملکرد توت‌فرنگی رقم سلوا. ۳۶(۵):۱۰۶۵ تا ۱۰۷۳.

جلیلی، ف. و کسرایی، ر. ۱۳۷۹. نقش تغذیه متعادل در بهبود کیفیت کلزا در کشت‌های پاییزه. تغذیه بهینه دانه‌های روغنی، چاپ اول. تهران. ۱۵۰صفحه.

جلیل‌شش‌بهره، م.؛ موحدی‌دهنوی،م.؛ هاشمی‌جزی، م. و قراخانی‌بنی، ه. ۱۳۹۰. تاثیر محلول‌پاشی عناصر روی و آهن بر عملکرد و اجزای عملکرد سویا در شرایط تنش خشکی. دوازدهمین گنگره علوم خاک ایران (حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه). تبریز، ۱۲ الی ۱۴ شهریور. صفحه ۱ تا ۴.

جم، ا.؛ ساجد، ک.؛ عبادی، ع.؛ فرجامی‌نژاد، ر. و قاسم‌پور، ف. ۱۳۸۹. تاثیر ریزمغذی آهن و روی بر برخی خصوصیات سیب‌زمینی رقم اگریا در منطقه اردبیل. مجموعه خلاصه مقالات یازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران. پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی تهران، دوم تا چهارم مرداد. صفحه ۹۰۶ تا ۹۰۹

چگنی، م.؛ جعفرزاده کنارسری، م. و استکی، خ. ۱۳۸۹. اثر محلول‌پاشی عناصر کم مصرف بور و آهن بر کمیت و کیفیت چغندرقند. قصل‌نامه دانشگاه آزاد اسلامی واحد بروجرد، شماره ۷۱، سال نهم. صفحه ۴۰ تا ۴۶.

حدادی، م.؛ کاشی، ع.ک. و نجاتیان، م.ع. ۱۳۹۰. بررسی اثر محلول‌پاشی عناصر منیزیم و بور بر عملکرد و کیفیت میوه در خیار گلخانه‌ای. دوازدهمین گنگره علوم خاک ایران (حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه). تبریز، ۱۲ الی ۱۴ شهریور. صفحه ۱ تا ۵.

خانپوراردستانی، ن.؛ زارع‌مایوان، ح. و قناتی، ف. ۱۳۸۷. جذب پتاسیم و منیزیم در گیاه ذرت میکوریزایی تحت مقادیر مختلف پتاسیم و منیزیم. مجله علمی پژوهشی گیاه و زیست بوم. ۱۴: ۸۷ تا ۱۰۰.

خلج، ح.؛ نظران، م.ح.؛ لبافی حسین آبادی، م.ر.؛ شمس آبادی، م. و رزازی، ع. ۱۳۸۸ الف. بررسی اثر زمان محلول پاشی نانو کود آلی کلاته آهن بر خصوصیات کمی و کیفی گندم دیم. دومین همایش ملی کاربرد نانو تکنولوژی در کشاورزی. سالن همایش های موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، کرج. ۱۶-۱۵ مهرماه.

خلج، ح.؛ نظران، م.ح.؛ لبافی حسین آبادی، م.ر.؛ بهشتی، ب. و رزازی، ع. ۱۳۸۸ب. مقایسه کارآیی یک نانو کود کلاته آهن تولید داخل با یک نمونه کود خارجی بر ماندگاری و وخصوصیات کیفی خیار گلخانه ای. دومین همایش ملی کاربرد نانو تکنولوژی در کشاورزی. سالن همایش های موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، کرج. ۱۶-۱۵ مهرماه.

خلج، ح.؛ نظران، م.ح.؛ لبافی حسین آبادی، م.ر.؛ شیبانی،ک. و رزازی، ع. ۱۳۸۸ج. بررسی کاربرد محلول پاشی و چال کود نانو کود آلی کلاته آهن بر عملکرد سیب گلاب. دومین همایش ملی کاربرد نانو تکنولوژی در کشاورزی. سالن همایش های موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، کرج. ۱۶-۱۵ مهرماه.

خلیلی محله، ج.؛ تاج‌بخش، م.؛ رضا دوست، س.؛ رشدی، م.؛ ولیلو، ر. و زهدی اقدم، م. ۱۳۸۵. اثرات مصرف برگی عناصر ریط مغذی آهن، روی و منگنز بر خصوصیات کمی و کیفی سورگوم اسپید فید در کشت دوم در خوی. نهمین گنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران، دانشگاه تهران- پردیس ابوریحان. ۷-۵ شهریور. صفحه ۸۱.

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

خوش‌گفتارمنش، ا.ح. و سیادت، ح. ۱۳۸۱. تغذیه معدنی سبزیجات و محصولات باغی در شرایط شور. مرکز نشر و آموزش کشاورزی. کرج، ایران. ۸۷ صفحه.

خورشیدی بنام، م.ب.؛ رحیم‌زاده‌خویی، ف.؛ میرهادی، م.ج. و نورمحمدی، ق. ۱۳۸۱. بررسی اثرات تنش خشکی در مراحل رشد ارقام مختلف سیب زمینی. مجله علوم زراعی ایران. ۴(۱):۴۸ تا ۵۸.

خواجه پور. م. ۱۳۷۱. اصول و مبانی زراعت. انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی اصفهان. ۴۱۲ صفحه.

خیام نکویی، م.؛ بی‌آزار، ا. و صالحی‌جوزانی، غ. ر. ۱۳۸۹. فناوری نانو در علوم کشاورزی. انتشارات پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی. ۲۴۱ صفحه.

دستفال، م.؛ حقیقت‌نیا، ح. و براتی، و. ۱۳۸۵. بررسی اثرات عناصر ریزمغذی بر عملکرد و اجزای آن در ژنوتیپ‌های مختلف گندم نان (*Triticum aestivum* L.). نهمین گنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران، دانشگاه تهران- پردیس ابوریحان. ۷-۵ شهریور. صفحه ۸۷.

دیلمقانی‌حسنلوئی، م.ر. و همتی‌عسگرآبادتپه. س. ۱۳۹۰. بررسی اثر نسبت‌های مختلف پتاسیم به منیزیم (K/Mg) در انگور کشمشی بیدانه جهت کنترل عارضه خشکیدگی خوشه و بهبود خصوصیات کیفی آن. دوازدهمین گنگره علوم خاک ایران (حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه). تبریز، ۱۲ الی ۱۴ شهریور. صفحه ۱ تا ۴.

رحیمی، م.م؛ مظاهری، د. و خدابنده، ن. ۱۳۸۲. اثر ریزمغذی‌ها بر خصوصیات کمی و کیفی دو رقم آفتابگردان در منطقه ارسنجان. پژوهش و سازندگی. ۶۱: ۹۶ تا ۱۰۰.

رزازی، ع.؛ لبافی، م.ر.؛ مهرابی، ز.؛ نظران، م.ح. و خلج، ح. ۱۳۸۹. تاثیر نانو کود کلاته آهن بر عملکرد زعفران (*Crocus sativus* L.). مجموعه خلاصه مقالات یازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران. پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی تهران، دوم تا چهارم مرداد. صفحه ۲۶۱ تا ۲۵۹.

ساجدی، ن.ع. و اردکانی، م.ر. ۱۳۸۷. اثر مقادیر مختلف کود نیتروژن، روی و آهن بر شاخص فیزیولوژیک ذرت علوفه‌ای در استان مرکزی. مجله پژوهش‌های زراعی ایران. ۶(۱):۹۹ تا ۱۱۰.

ساجدی، ن.ع.؛ اردکانی، م.ر. و جعفرزاده، م. ۱۳۸۵. بررسی تاثیر سطوح مختلف نیتروژن، آهن و روی بر رشد و جذب عناصر غذایی و درصد پروتئین توسط ذرت علوفه‌ای رقم سینکل کراس ۷۰۴ در استان مرکزی. نهمین گنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران، دانشگاه تهران- پردیس ابوریحان. ۷-۵ شهریور. صفحه ۱۰۵.

سپهر، ا. و ملکوتی، م.ج. ۱۳۸۳. تاثیر سطوح مختلف پتاسیم و منیزیم بر کمیت و کیفیت آفتابگردان. مجله علوم خاک و آب. ۱۸(۱):۲۹ تا ۳۶.

سیلسپور، 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 تا ۱۳۳.

شمالی، ر.؛ عبدل‌زاده، ا.؛ حدادچی، غ.ر. و صادقی‌پور، ح.ر. ۱۳۸۶. تاثیر مقادیر پتاسیم و آهن بر رشد، میزان تجمع یون‌ها و برخی صفات بیوشیمیایی گیاه برنج (رقم طارم). مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۴(۵):۶۴ تا ۷۷.

شریعتمداری، م.ح.؛ زمانی، م.ح. و سیاری، م.ح. ۱۳۸۹. بررسی اثر آهن بر عملکرد، اجزاء عملکرد و صفات مورفولوژیک هیبرید اروفلور آفتابگردان تحت تاثیر شرایط تنش شوری. مجموعه خلاصه مقالات یازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران. پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی تهران، دوم تا چهارم مرداد. صفحه ۸۴۳ تا ۸۴۹.

شهابی‌فر، ج. ۱۳۸۵. بررسی اثرات سطوح پتاسیم و منیزیم بر برخی خواص کمی و کیفی گندم. نهمین گنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران، دانشگاه تهران- پردیس ابوریحان. ۷-۵ شهریور. صفحه ۱۲۴.

شیخ‌بگلو، ر. ۱۳۸۹. بررسی نانو اکسید آهن بر روی صفات کیفی بذر سویا. پایان نامه کارشناسی ارشد گروه زراعت و اصلاح‌نباتات. دانشگاه محقق اردبیلی. ۱۱۸ صفحه.

صالح، ج.ش. ۱۳۸۷. اثر روش‌های مختلف کاربرد آهن بر عملکرد و ترکیبات شیمیایی برگ و میوه لیمو رقم لیسبون. مجله علوم و فنون باغبانی ایران. ۹(۱):۲۳ تا ۳۴.

ضیائیان، ع.ال. ۱۳۸۲. استفاده از عناصرکم مصرف در کشاورزی. نشر آموزش کشاورزی، ۲۰۷ صفحه.

صالحی، م.؛ حق نظری، ع.؛ شکاری، ف. و بالسینی، ح. ۱۳۸۶. بررسی روابط بین صفات مختلف عدس. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. سال یازدهم. ۴۱: ۲۰۵ تا ۲۱۵.

عزیزی، م. و ملکوتی، م.ج. ۱۳۸۰. مقایسه روش های کاربرد عناصر کم مصرف در ارتباط با عملکرد و کیفیت میوه انگور. مجله علوم خاک و آب. ۱۵(۲):۱۸۰ تا ۱۹۰.

عنایت‌قلی‌زاده، م.ر. و فتحی، ق.ا. ۱۳۸۹. اثر ریزمغذی بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام جو. مجموعه خلاصه مقالات یازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران. پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی تهران، دوم تا چهارم مرداد. صفحه ۴۵۸ تا ۴۶۲.

فتحی، ق.ا. و عنایت‌قلی‌زاده، م.ر. ۱۳۸۸. تاثیر کودهای کم مصرف آهن، روی و مس بر رشد و عملکرد ارقام جو در شرایط آب‌وهوایی خوزستان. فصل‌نامه علمی تخصصی فیزیولوژی گیاهان زراعی- دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. سال اول. ۱: ۱ تا ۱۴.

فعلی، ع.؛ عبادی، م.؛ لاری‌یزدی، ح. و موسوی، م. ۱۳۹۰. اثرات غلظت‌های مختلف سولفات منیزیم بر پارامترهای رشد جدا کشت‌های میخک (*Dianthus caryophyllusv* L.) در شرایط کشت بافت. دومین کنفرانس ملی فیزیولوژی گیاهی ایران. ۹-۸ اردیبهشت ماه، دانشگاه یزد. صفحه ۳۸۰ تا ۳۸۱.

قادری، ج.؛ خادمی، ز.؛ خاوازی،ک.؛ حامدی، ف. و حیدری، خ. ۱۳۹۰. تعیین نسبت پتاسیم به منیزیم بر عملکرد کمی و کیفی گندم آبی. دوازدهمین گنگره علوم خاک ایران (حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه). تبریز، ۱۲ الی ۱۴ شهریور. صفحه ۱ تا ۶.

قاسمیان، و.؛ فلاوند، ا.؛ سروش‌زاده، ع. و پیرزاد، ع. ۱۳۸۹. بررسی اثر عناصر ریزمغذی آهن، روی و منگنز بر عملکرد کمی سویا. مجموعه خلاصه مقالات یازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران. پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی تهران، دوم تا چهارم مرداد. صفحه ۱۰۴۵ تا ۱۰۴۸.

قاسمی فسایی، ر.؛ رونقی، ع.م.؛ مفتون، م. و کریمیان، ن. ۱۳۸۵. تاثیر آهن بر عملکرد و ترکیب شیمیایی دانه ژنوتیپ‌های سویا. مجله علمی کشاورزی. ۲۹(۲):۱ تا ۱۲.

قربانی، س.؛ ناصریان‌خیابانی، ب.؛ اردکانی، ک.ر. و رسائی‌موخر، س. ۱۳۸۹. بررسی تاثیر 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. صفحه ۳۲۲ تا ۳۲۵.

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

کوچکی، ع.ر. و خواجه‌حسینی، م. ۱۳۸۷. زراعت نوین. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۷۰۴ صفحه.

کوچکی، ع. و سرمدنیا، غ.م. ۱۳۸۴. فیزیولوژی گیاهان زراعی. (ترجمه). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۴۰۰ صفحه.

کیانی، ش.، میرزاشاهی، ک. و خلج، م.ع. ۱۳۹۰. تعیین روابط همبستگی بین غلظت آهن برگ با شاخص کلروفیل و کارآیی فتوشیمیایی سیستم فتوسنتزی II برگ در گل رز. دوازدهمین گنگره علوم خاک ایران (حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه). تبریز، ۱۲ الی ۱۴ شهریور. صفحه ۱ تا ۵.

مجیدی‌دیزج، ح.؛ محمدزاده، آ.؛ مقدم، ح.؛ مجنون‌حسینی، ن. و بقائی، ن. ۱۳۹۰. بررسی تاثیر نانو کود کلاته آهن بر عملکرد و اجزاء عملکرد لوبیا چیتی. دوازدهمین گنگره علوم خاک ایران (حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه). تبریز، ۱۲ الی ۱۴ شهریور. صفحه ۱ تا ۵.

محمدزاده، آ.؛ مجیدی، ح.؛ مقدم، ح.؛ مجنون‌حسینی، ن. و بقائی، ن. ۱۳۹۰. تاثیر نانو کود کلاته آهن، رنگیزه‌های فتوسنتزی و شاخص سطح برگ لوبیا چیتی. دومین کنفرانس ملی فیزیولوژی گیاهی ایران. ۹-۸ اردیبهشت ماه. دانشگاه یزد. صفحه ۴۵۰.

محمودی، ش. و حکیمیان، م. ۱۳۸۲. مبانی خاکشناسی. انتشارات دانشگاه تهران. ۷۰۰ صفحه.

محمدزاده، م.؛ کونانی، غ. و سیادت، ع.ا. ۱۳۹۰. بررسی اثرات محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بر روی عملکرد دو رقم گندم دیم. دومین کنفرانس ملی فیزیولوژی گیاهی ایران. ۹-۸ اردیبهشت ماه، دانشگاه یزد. صفحه ۴۶۷.

مجنون حسینی، ن. ۱۳۸۷. زراعت و تولید حبوبات. انتشارات جهاد دانشگاهی شعبه واحد تهران. چاپ چهارم. ۲۸۳ صفحه.

مجنون حسینی، ن. ۱۳۷۲. حبوبات در ایران. انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه تهران. ۲۴۰ صفحه.

ملکوتی، م.ج. ۱۳۸۰ الف. بررسی تاثیر منیزیم، روی، منگنز و آهن بر روی صفات کمی و کیفی آفتابگردان رقم گلشید. گزارش سالانه پروژه تحقیقاتی ویژه توسعه کشور. شورای پژوهش‌های علمی کشور. تهران. ایران.

ملکوتی، م.ج. ۱۳۸۰ ب. نقش منیزیم در افزایش عملکرد کمی و کیفی گندم. نشریه فنی شماره ۶۳. نشر آموزش کشاورزی معاونت تات. کرج، ایران. ۱۴ صفحه.

ملکوتی، م.ج.؛ خوگر، ز. و خادمی، ز. ۱۳۸۳. روش‌های تغذیه گندم ((مجموعه مقالات۲)). انتشارات سنا، پاییز ۱۳۸۳. به سفارش وزارت جهاد کشاورزی دفتر طرح خودکفایی گندم. ۸۶۸ صفحه.

ملکوتی، م. و طهرانی، م.م. ۱۳۷۸. نقش ریز مغذی ها در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی(عناصر خرد با تاثیر کلان). انتشارات دانشگاه تربیت مدرس. ۲۹۹ صفحه.

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

ملکوتی، م.ج. و نفیسی، م. ۱۳۷۶. ضرورت مصرف کلرور پتاسیم برای تامین پتاسیم مورد نیاز در مزارع غیر شور کشور. نشریه فنی شماره ۲۱، نشر آموزش کشاورزی، سازمان تات، کرج، ایران.

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

مظاهری‌نیا، س. ۱۳۸۹. مقایسه اثر اکسید آهن نانو و معمولی همراه با کمپوست زباله شهری گرانوله گوگردی بر آهن و برخی عناصر غذایی دیگر در خاک و گیاه گندم. پایان نامه کارشناسی ارشد گروه خاک‌شناسی. دانشگاه فردوسی مشهد. ۱۱۸ صفحه.

مظاهری‌نیا، س.؛ آستارایی، ع.ر.؛ فتوت، ا. و منشی، ا. ۱۳۸۸. مقایسه اثر اکسیدهای آهن معمولی و نانو بر جذب و تجمع آهن در گیاه گندم در یک خاک آهکی. اولین همایش ملی کشاورزی و توسعه پایدار، فرصت‌ها و چالش‌های پیش‌رو، ۱۹ و ۲۰ اسفند، دانشگاه آزاد اسلامی شیراز. صفحه ۲۲۹.

مظاهری‌نیا، س.؛ آستارایی، ع.ر. و فتحی، م. ۱۳۸۸. اثر کود آهن و کمپوست بر جذب و فراهمی مس، منگنز و روی گندم. همایش ملی علوم آب، خاک، گیاه و مکانیزاسیون کشاورزی، ۱۱ و ۱۲ اسفند، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول. صفحه ۱۸۸ .

موسیوند، م.؛ خورگامی، ع. و رفیعی، م. ۱۳۸۸. بررسی تاثیر غلظت آهن، بر رشد و اجزا عملکرد در ژنوتیپ‌های مختلف سویا. فصل‌نامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهی زراعی- دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. سال اول. ۴: ۳۵ تا ۴۵.

میرزاپور، م.ه.؛ خوشگفتارمنش، ا.ح.؛ میرنیا، خ.؛ بهرامی، ح.ع. و نایینی، م.ر. ۱۳۸۲. اثرهای متقابل منیزیم و پتاسیم بر رشد و عملکرد آفتابگردان در یک خاک شور. مجله علوم خاک و آب. ۱۷(۲):۱۳۲ تا ۱۳۹.

ناطقی، ش.؛ پیرزاد، ع.؛ زردشتی، م.ر. و درویش زاده، ر. ۱۳۸۹. تاثیر کاربرد آهن و روی بر عملکرد و شاخص برداشت آنیسون. مجموعه خلاصه مقالات یازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران. پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی تهران، دوم تا چهارم مرداد. صفحه ۱۷۸۷ تا ۱۷۹۰.

نصیری، م.؛ سیدشریفی، ر.؛ امینی، ا. و فرزانه، س. ۱۳۸۵. تاثیر ریزمغذی‌های آهن، منگنز و بور بر عملکرد بذر چغندرقند. نهمین گنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران، دانشگاه تهران- پردیس ابوریحان. ۷-۵ شهریور تهران. صفحه۲۴۱.

نصیری، ی.؛ زهتاب سلماسی، س.؛ نصراله‌زاده، ص.؛ قاسمی گلعذانی، ک.؛ نجفی، ن.ا. و ولی محمدی، ف. ۱۳۸۹. تاثیر محلول‌پاشی آهن و روی بر روی صفات مورفولوژیک و عملکرد گل بابونه آلمانی. مجموعه خلاصه مقالات یازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران. پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی تهران، دوم تا چهارم مرداد. صفحه ۸۱۰ تا ۸۱۴.

نظران، م.ح. ۱۳۸۹. ارتقای کارآیی فتوسنتز گیاهان با استفاده از نانو کود آهن. مآهنامه خبری، تحلیلی و پژوهشی. سال پنجم. ۴۵: ۱۲۲ تا ۱۲۵.

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

نیکوپورمحمدجانلو، ل.ا.؛ قلی‌پور، ع.ق.؛ توبه، ا.؛ حسن‌پناه، د. و جماعتی‌ثمرین، ش. ۱۳۹۰. تاثیر سطوح مختلف کودهای آهن، نیتروژن و پتاسیم بر روی عملکرد و برخی خصوصیات کمی سیب‌زمینی رقم اگریا. اولین گنگره ملی علوم و فناوری‌های نوین کشاورزی. دانشگاه زنجان، ۱۹ الی ۲۱ شهریور. صفحه ۴۴۷ تا ۴۵۰.

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

وفایی، ا.؛ عبادی، ع. و راستگو، ب. ۱۳۸۹. تاثیر پتاسیم و منیزیم بر روی برخی از ویژگیهای فیزیولوژیک گلرنگ. مجموعه خلاصه مقالات یازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران. پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی تهران، دوم تا چهارم مرداد. صفحه ۶۷۰ تا ۶۷۴.

یعقوبی، م.؛ عزیزی، خ.؛ حیدری، س.؛ رهام، ر. و نوروزیان، ع. ۱۳۸۸. بررسی تاثیر روش‌های مختلف کاربرد سولفات منیزیم بر عملکرد و اجزای عملکرد عدس (*Lens culinaris* Med) در شرایط اقلیمی خرم‌آباد. مجله دانشور علوم زراعی. سال دوم. ۳: ۱۳ تا ۲۴.

یعقوبی، م. ۱۳۸۸. بررسی تاثیر سولفات منیزیم و رقم بر عملکرد کمی و کیفی عدس در شرایط اقلیمی خرم‌آباد. پایان نامه کارشناسی ارشد گروه زراعت. دانشگاه شهید بهشتی خرم‌آباد. ۱۱۴ صفحه.

یونسی، ف.؛ جمشیدی، ا. و سبحانی، م.ج. ۱۳۹۰. دستاوردهای فناوری نانو در ترویج و توسعه کشاورزی. اولین کنگره ملی علوم و فناوری‌های نوین کشاورزی، دانشگاه زنجان، ۱۹ الی ۲۱ شهریور. صفحه ۲۶۹ تا ۲۷۳.

Abbas, G., Khan, M.Q., Khan, M.J., Hussain, F. and Hussain, I. 2009. Effect of iron on the growth and yield contributing parameters of wheat (*Triticum aestivum* L.). The J. of Animial & Plant Sci. 19(3): 135-139.

Ai-Qing, Z., Qiong-Li, B., Xiao-Hong, T., Xin-Chun, L. and Jeff-Gale, W. 2011. Combined effect of iron and zinc on micronutrient levels in wheat (*Triticum aestivum* L.). J. of Environ Biol. 32: 235-239.

Aitken, R.L., Dickson, T., Hailes, K.J. and Moody, P.W. 1999. Response of field-grown maize to applied magnesium in acidic soils in northeastern Australia. Aust. J. of Agric. Res. 50: 191-198.

Alvareza, A., Sierra, M.A. and Lucena, J.J. 2002. Reactivity of synthetic Fe chelates with soils and soil components. Plant and Soil. 241: 129- 137.

Amnuayslipa, S., Surasak, S. and Terapongtanakorn, S. 1991. Effects of K and Mg upon growth and nutrient uptake of sunflower grown on an acid soil (abstract). J. of Agric. (Thailand)., 7(1): 19-30.

Arif, M., Khan, M.A., Akbar, H. and Ali, S. 2006. Prospects of wheat as a dual purpose crop and its impact on weeds. Pak. J. Weed Sci. Res., 12: 13-17.

Arnon, D.I. and Scout, P.R. 1939. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. Plant Physiol., 14: 371.

Ashraf, M. and Qaiser, S.M.H. 2004. Effect of magnesium on growth and development of maize. Paki. J. of Arid Agric. 7(2): 33-38.

Aulakh, M.S. and Malhi, S.S. 2005. Interactions of nitrogen with other nutrients and water effect on crop yield and quality nutrient use efficiency carbon sequestration and environmental pollution. Adv. Agron., 86: 342-409.

Balke, N.E. and Hodges, T.K. 1975. Plasma membrane adenosine triphospatase of oat roots. Activation and inhibition by Mg^{2+} and ATP. Plant Physiol., 55: 83-86.

Blakrishman, K. 2000. Peroxidase activity as an indicator of the iron deficiency banana. Ind. J. Plant Physiol., 5: 389-391.

Bandurska, H. and Skocczek, G.H. 1995. Cell membrane stability in two barley genotypes under water stress condition. Acta Societ. Botani Poloniae. 64(1): 29-32.

Bhattacharjee, S. 2005. Reactive oxygen species and oxidative stress, senescence and signal transduction in plants. Current Sci. 89: 1113-1121.

Bisht, S.S., Nautiyal, B.D. and Sharma, C.P. 2002. Biochemical changes under iron deficiency and recovery in tomato. Ind. J. Plant Physiol., 7: 183-186.

Borowski, E. and Michalek, S. 2010. The effect of foliar nutrition of spinach (*Spinacia oleracea* L.) with magnesium salts and urea on gas exchange, leaf yield and quality. Acta Agrobotanica., 63: 77-85.

Boskovic-Rakocevic, L. 2004. Acid soil neutralization and calcium and magnesium mobility. Acta Aiologica Iugoslavica. 53(3): 175-184.

Brown, P.H., Cakmak, I. and Zang, Q. 1993. Form and function of zinc in plant, in A.D. Robson (ed.), Zinc in Soils and Plants, Kluwer Academic publishers. Dordrecht. Netherlands. Pp. 93-106.

Bybordi, A. and Mamedov, G. 2010. Evaluation of application methods efficiency of zinc and iron for canola (*Brassica napus* L.). Notulae Scientia Biologicae. 2(1): 94-103.

Caliskan, S., Ozkaya, I., Caliskan, M.E. and Arslan, M. 2008. The effects of nitrogen and iron fertilization on growth, yield and fertilizer use efficiency of soybean in a Mediterranean-type soil. Field Crops Res. 108: 126-132.

Cakmak, I. 1994. Activity of ascorbate-dependent H_2O_2-scavenging enzymes and leaf chlorosis are enhanced in magnesium- and potassium-deficient leaves, but not in phosphorus–deficient leaves. J. Exp. Bot., 45: 1259-1266.

Cakmak, I. and Kirkby, E.A. 2008. Role of magnesium in carbon partitioning and alleviating photooxidative damage. Physiologia Plantarum. 133: 692-704.

Cakmak, I. and Yazici, A.M. 2010. Magnesium a forgotten element in crop production. Better Crops. 94(2):23-25.

Carmen, I.U., Chithra, P., Huang, Q., Takhistov, P., Liu, S. and Kokini, J.L. 2003. Nanotechnology: A new frontier in food science. Food Technol., 57: 24- 29.

Cha, D. and Chinnan, M. 2004. Biopolymer- based antimicrobial packaging: A review. Critic Rev Food. Sci. Nutrit. 44: 223-237.

Chatterjee, C., Gopal, R. and Dube, B.K. 2006. Impact of iron stress on biomass, yield, metabolism and quality of potato (*Solanum tuberosum* L.). Scientia Hortic. 108: 1-6.

Chen, M. and Mikecz, V. 2005. Formation of nucleoplasmic protein aggregatesimpairs nuclear function in response to SiO_2 nanoparticles. Exp. Cell Res., 305: 51-62.

Choudhury, T.M.A and Khanif, Y.M. 2001. Evaluation of effects of nitrogen and magnesium fertilization on rice yield. J. of Plant Nutrition. 24(6): 855-871.

Christos, D. 2009. Foliar application of calcium and magnesium improves growth, yield, and essential oil yield of oregano (*Origanum vulgare* spp. Hirtum). Volume 29. Issues 2-3., pp. 599-608.

Chung, J.H. and Goulden, D.S. 1971. Yield components haricot bean (*Phaseolus volgaris* L.) growth at different plant densities. N.Z.Y. Agric. Res., 14: 227-234.

Clark, R.B., Zeto, S.K., Ritchey, K.D. and Baligar, V.C. 1997. Maize growth and mineral composition on acid soil amended with flue gas desulfurization by-products and magnesium. Com. Soil Sci. Plant Anal., 28(15/16): 1441-1459.

Cliff, S. 2000. Raise soybean yield and profit potential with phospours and potassium fertilization. Internet notes.

Crowley, D.E., Wu, C.L. and Parker, D.R. 2002. Quantitative traits associated with adaptation of three barely (*Hordeum vulgare* L) cultivars to suboptimal iron supply. Plant and Soil. 241: 57- 65.

Czapla, J., Stasiulewicz, L. and Nogalska, A. 2007. Effect of growth regulators, applied along or in combination with magnesium economy in spring triticale plants. Polish J. of Natural Sci. 22(3): 357-366.

Davies, K.J.A. 1987. Protein damage and degradation by oxygen radicals. I. General aspects. J. Biol. Chem., 162: 9895-9901.

De Olivira, I.P., Colin, J.A., David, G.E. and Dossantos, S.R.M. 2000. Magnesium sulphate and the development of the common bean cultivated in an ultisol of northeast Australia. Scientia Agricola. 57(1): 103-107.

Dewal, G.S. and Pareek, R.G. 2004. Effect of phosphorus, sulphur and zinc on growth, yield and nutrient uptake of wheat (*Triticum aestivum* L.). Ind. J. Agron., 49: 160-162.

Ding, Y-C., Chang, C-R., Luo, W., Wu, Y-S., Ren, X-L. and Wang, P. 2008. High potassium aggravates the oxidative stress induced by magnesium deficiency in rice leaves. Pedosphere., 18: 316-327.

Drazic, G., Mihailovic, N. and Lojic, M. 2006. Cadmium accumulation in *Medicago sativa* seedlings treated with salicylic acid. Biol. Plant., 50:239-244.

El-Hadi, A. 1986. Effect of foliar fertilization in different crops under egyptian condition. Plant and Soil Science. 22: 126-141.

Epstein, E. and Bloom, A.J. 2004. Mineral nutrition of plant: Principles and perspectives, 2nd Edn. Sinauer Associates, Sunderland, MA. Pp. 380.

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

Esfandiari, E., Skokrpour, M. and Alavi-Kia, S. 2010. Effect of Mg deficiency on antioxidant enzymes activities and lipid peroxidation. J. of Agric. Sci. 2(3): 131-136.

FAO. 2001. Handbook for defining and setting up a food security information and early warming system (FSIEWS) , Rome DP.

Fischer, E.S., Lohaus,G., Heineke, D. and Heldt, H.W. 1998. Magnesium deficiency result in accumulation of carbohydrates and amino acids in source and sink leaves of spinach. Physiol. Plant, 102: 16-20.

Gaewska, E. and Sklodowska, M. 2006. Relation between tocopherol, chlorophyll and lipid peroxides contents in shoots of Ni-treated wheat. J. Plant Physiol. 45:124-126.

Ghasemi-Fasaei, R., Ronaghi, A., Maftoun, M., Karimian, N. and Soltanpour, P.N. 2003. Influence of Fe-EDDHA on iron- manganese interaction in soybean genotypes in a calcareous soil. J. of Plant Nutr. 26: 1815-1823.

Ghasemi, R., Ronaghi, A., Maftoun, M. and Karimian, N.A. 2006. Effect of iron chelate on seed yield and chemical composition of soybean genotypes. J. of Agric.. 29(2): 1-22.

Ghorbani, S., Khiabani, B.N., Amini, I., Ardakani, M.R., Pirdashtim, H. and. Moakhar, S.R. 2009. Effect of iron and zinc on yield and yield components of mutant lines wheat. Asian J. of Boi. Sci. 2(3): 74-80.

Goos, R.J.and Johnson, B.E. 2000. A comparison of three methods for reducing iron deficiency chlorosis in soybean. Agron. J., 92: 1135-1139.

Goos, R., Johnson, B., Jackson, G. and Hargrove, G. 2004. Greenhouse evaluation of controlled release iron fertilizers for soybean. J. Plant Nutr., 27: 43-55.

Green, J.M. and Beestman, G.B. 2007. Recently patented and commercialized formulation and adjuvant technology. Crop Prot., 26: 320-327.

Hall, J.L. and Williams, L.E. 2003. Transition metal transporters in plants. J. Expt. Bot., 54: 2601-2613.

Hao, H.L., Wei, X.Z., Yang, X.E., Feng, Y. and Wu, C.Y. 2007. Effects of different nitrogen fertilizer levels on Fe, Mn, Cu and Zn concentration in shoot and grain quality in rice (*Oryza sativa* L.). Rice Sci., 14: 289-294.

Hariadi, Y. and Shabala, S. 2004. Screening broad beans (*Vicia faba*) for magnesium deficiency. II. Photosynthetic performance and leaf bioelectrical responses. Func. Plant Boil., 31: 539-549.

Heitholt, J.J., Sloan, J.J. and Mackown, C.T. 2002. Copper, manganese and zinc fertilization effect on growth of soybean on a calcareous soil. J. of Plant Nutr. 25: 1727-1740.

Hendry, G.A.F. and Brocklebnak, K.J. 1985. Iron-inducrd oxygene radical metabolism in waterlogged plant. New Physiol., 101: 199-206.

Hemati, A. 2004. Study effect of application of micronutrients on potato yield. Water and soil resesrch institute, investigate design.

Hermans, C., Bourgis, F., Faucher, M., Delrot, S., Strasser, R.J. and Verbuggen, N. 2005. Magnesium deficiency in sugar beet alters sugar partitioning and phloem loading in young mature leaves. Planta., 220: 541-549.

Hermans, C., Hammond, J.P., White, P.J. and Verbruggen, N. 2006. How do plants respond to nutrient shortage by biomass allocation? Trends Plant Sci., 11: 610-617.

Hermans, C., Johnson, G.N., Strasser, R.J. and Verbruggen, N. 2004. Physiological characterization of magnesium deficiency in *sugar beet*: acclimation to low magnesium differentially affects photosystems I and II. Planta., 220: 344-355.

Hermans, C. and Verbruggen, N. 2005. Physiological characterization of Mg deficieny in *Arabidopsis thaliana*. J. Exp Bot., 56: 2153-2161.

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.

Hocking, P.J., Mason, I. 1993. Accumulation distribution and redistribution, of dry matter and mineral nutrients hn fruits of conola (oilseed rape). Austr. J. of Agric. Sci., 44: 1377-1388.

Hodgson, A.S., Holland, J.F. and Rogers, E.F. 1992. Iron deficiency depresses growth of furrow-irrigated soybean and pigeon pea on vertisols in northern new south wales australin. J. of Agric. Res. 43: 635-644.

Hopkins, W.G. 1995. Introduction to plant physiology. 2nd Edition. John wiley & Sons, Inc. Pp. 512.

Hussain, M., Shah, S.H. and Nazir, M.S. 2002. Chemico-quality traits of three Lenti cultivars as influenced by foliar application of calcium-cum-magnesium. Pak. J. of Agric. Sci. 39(30: 197-199.

Kassab, O.M., Zeing, H.A.E. and Ibrahim, M.M. 2004. Effect of water deficit and micronutrients foliar application on the productivity of wheat plant. Minufiya J. Agric. Res., 29: 925-032.

Kaya, M., Atak, M., Khawar, K., Ciftci, C.Y. and Ozcan, S. 2005. Effect of pre-sowing seed treatment with zinc and foliar spray of humic acids on yield of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Int. J. Agri. Biol., 6(7): 875-878.

Kerkeb, K., Donaire, J.P. and Rodriguez-Rosales, M.P. 2001. Plasma membrane H^+-ATPase activity is involved in adapttion of tomato calli to NaCl. Physiol. Plant. 111: 483-490.

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

Kumudini, S., Hume, D.J. and Chu, G. 2001. Genetic improvement in short season soybean. 1. Dry matter accumulation , partitioning, and leaf area duration. Crop Sci., 41: 391-398.

Lacoste, A., Schaich, K., Zumbrunnen, D. and Yam, K. 2005. Advanced controlled release packaging through smart blending. Packag Technol Sci. 18: 77-87.

Lavon. R. and Goldschmidt, E.E. 1999. Effect of potassium, magnesium and calcium deficiencies on nitrogen constituents and chloroplast components in Citrus leaves. J. Am. Soc. Hortic. Sci., 124: 158- 162.

Lin, D. and Xing, B. 2007. Phytotoxicity of nanoparticles: Inhibition of seed germination and root growgh, environ. Pollut., 150: 243-250.

Liu, X. and Hange, B. 2000. Heat stress injury in relation to membrane lipid peroxidation in creeping bentgrass. Crop Sci., 40: 503-510.

Liu, X.M., Zhang, F.D., Zhang, S.Q., He, X.S., Fang, R., Feng, Z. and Wang, Y. 2005. Responses of peanut to nano-calcium carbonate. Plant nutr. and fertil. Sci., 11: 3-9.

Liu, X.M., Zhang, F.D., Zhang, S.Q., He, X.S., Fang, R., Feng, Z. and Wang, Y. 2005. Effects of nano-ferric oxide on the growth and nutrients absorption of peanut. Plant Nutr. and Fert. Sci., 11: 14-18.

Long, T.N., Saleh, R., Tilton, R., Lowry, G. and Veronesi, B. 2006. Titanium dioxide (P25) produces reactive oxygen species in immortalized brain microglia (BV_2): Implications for nanoparticle neurotoxicity. Environ. Sci. Technol., 40(14): 4346-4352.

Lucas, R.E. and Knezek, B. 1972. Climatic and soil conditions promoting micronutrient deficiencies in plant. Soil science society of America. Madison, WI, USA. 262288.

Malakoti, M.J., Esmaili, M., Sepehr, E. and Golchin, A. 2006. Evaluation the effect of fertilizer include Mg & Fe & Mn & Zn on sunflower indices. Optimum nutrition of oil kernels., pp: 237-246.

Malakouti, M. and Tehrani. 2005. Micronutrient role in increasing yield and improving the quality of agricultural products. l^{st} ed.Tarbiat Modarres Press. Tehran.

Mallick, S., Sinam, G., Mishra, R.K. and Sinha, S. 2010. Interactive effects of Cr and Fe treatments on plants growth, nutrition and oxidative status in *Zea mays* L. Ecotoxicology and Environmental Safety., 73 :987–995.

Mariotti, M., Ercoli, L. and Masoni, A. 1996. Spectral properties of iron deficient corn and sunflower leves. Remote Sensing of Environment. 58(3): 282-288.

Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic press, New york, Usa. pP. 889.

Marschner, H. and Cakmak, I. 1989. High ligh intensity enhances chloroosis and necrosis in leaves of zinc potassium, and magnesium deficient bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Plant. J. Plant Physiol. 134: 308-315.

Masoni, A., Evacoli, A. and Mavoti, M. 1996. Spectral of leaves deficient in iron, sulphur, magnesium and manganese. Agron. J., 88(6): 937-943.

Moore, M.N. 2006. Do nanoparticles present ecotoxicological risks for the health of the aquatic environment. Environ. Int., 32: 967-976.

Morales, F., Abadia, A. and Abadia, J. 1990. Characterization of the xanthophylls cycle and other photosynthetic pigment changes induced by iron deficiency in *sugar beet* (*Beta vulgaris* L.). Plant Physiol. 94: 607-613.

Morsomme, P. and Boutry, M. 2000. The plant plasma membrane H^+-ATPase structure, function and regulation. Biochim Biophys. Acta., 1456: 1-16.

Nijjar, G.S. 1990. Nutition of fruit trees. Kalyani pub. New delhi., 259-270.

Nikolic, M. and Kastori, R. 2000. Effect of bicarbonate and Fe supply on Fe nutrition of grapevine. J. Plant Nutr., 23, 1619-1627.

Nikolic, M. and Ramheld, V. 1999. Mechanism of Fe uptake by the leaf symplast: Is Fe inactivation in leaf a cause of Fe deficiency cholorosis? Plant and Soil., 215: 229-237.

Onthong, J., Pechkeo, S., Nualsri, C., Sae-lim, M. and Glimsanguan, S. 2004. Standard sampling method of longkong leaf for evaluation of plant nutrient status. Songklanakarin J. of Sci. and Technol. 26(3): 357-368.

Park, H.J., Kim, S.K., Kim, H.J. and Choi, S.H. 2006. A new composition of nanosized silica-silver for control of various plant diseases. Plant Pathol. J., 22: 295-302.

Perez-de-Luque, A. and Diego, R. 2009. Nanotechnology for parasitic plant control , Pest Manag. Sci., 65: 540-545.

Perez-Sanz, A. Casero, T. and Lucena, J.J. 2002. Fe enriched bios lidsas fertilizers for orange and peach trees grown in field conditions. Plant and Soil. 41:145-153.

Pervaiz, Z., Hussain, K., Kazmi, S.S.H., Gill, K.H. and Sheikh, A.A. 2003. Iron requirement of barani wheat. Inter. J. of Agric. & Biol. 4: 608-610.

Pinto, A., Mota, M. and Varennes, A. 2005. Influence of organic matter on the uptake of zinc, copper and iron by sorghum plant. Sci. Total Environ., 326: 239-247.

Portis, A.R. 1992. Regulation of ribulose 1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase activity. Annul. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol., 43: 415-437.

Rabison, J.G., Pendleton, A.R., Monson, K.O., Murray, B.K. and O'Neill, K.L. 2002. Decreased DNA repair rates and protection from heat induced apoptosis mediate by electromagnetic field exposure. Bioelectromagnetics., 23: 106-112.

Rashid, A. and Ryan, J. 2004. Micronutrient constrains to crop production in soils with Mediterranean-type characteristics: A review. J. Plant Nutr., 27: 959-975.

Reinboot, T.M. and Blevins, D.G. 1995. Response of soybean to foliar-applied boron and magnesium and soil-applied boron. J. of Plant NutrL. 18(1): 179-200.

Ridolfi, M. and Garrec, J.P. 2000. Consequuences of an excess Al and a deficiency in Ca and Mg for stomatal functioning and net carbon assimilation of beech leaves. Ann. for Sci., 57: 209-218.

Riga, P. and Anaz, M. 2003. Effect of magnesium deficiency on pepper growth parameters. Implications for the determination of Mg- critical value. J. Plant Nutr., 26: 1581-1593.

Rizza, F., Cristina, C., Antonia, M.S. and Lugi, C. 1994. Studies for assessing the influence of hardening on cold tolerance of barley genotypes. Euphytica., 75: 131-138.

Roomizadeh, S. and Karimian N. 1996. Manganese-iron relationship in soybean grown in calcareous soils. J. of Plant Nutr., 19: 397-406.

Roshdi, M. and Rezadost, S. 2005. Effects of potassium and low fuel elements zinc, boron and iron on the quantitive and qualitative characteristics of sunflower cultivation in the second. Review articles eighth congress of agronomy and plant breeding. University of Guilan, Rasht. P 69.

Sairam, R.K. and Srivastava, G.C. 2001. Water stress tolerance of wheat *Triticum astivum* L.: Variation in hydrogen peroxide accumulation and antioxidant activity in tolerant and susceptible genotype. J. Agron. and Crop Sci., 186: 63-70.

Santos, M.G., Ribeiro, R.V., Oliverira, R.F., Machado, E.C. and Pimetel, C. 2006. The role of inorganic phosphate on photosynthesis recovery of common bean after a mild water deficit. Plant Sci., 170: 659-664.

Sarkar, R.K. and Sasmal, T.K. 1998. Effect of micronutrientds on physiological parameter in sunflower . Ind. J. Agric. Sci., 98: 233-240.

Scott, B.J. and Robson, A.D. 1990. Changes in the content and form of magnesium in the first trifoliate leaf of subterranean clover under altered or constant root supply. Aust. J. Agric. Res., 41: 511-519.

Scrinis, G. and Lyons, K. 2007. The emerging nano- corporate parading : nanotechnology and the transformation of nature, food and agri-food systems. Int. J. Sociol. Food Agric., 15: 22-44.

Seadh, S.E., EL-Abady, M.I., EI-Ghamry, A.M. and Farouk, S. 2009. Influence of micronutrients foliar application and nitrogen fertilization on wheat yield and quality of grain and seed. J.of Biol Sci. 9(8): 851-858.

Seilsepour, M. 2007. The study of Fe and Zn effects on quantitative and qualitative parameters of winter wheat and determination of critical levels of these element in varamin plain soils. Pajouhesh & Sazandegi. 76: 123-133.

Sepehr, A. 1998. Study effect of potassium, magnesium and micronutrients on yield increasing and improving quality of sunflower. Msc thesis of soil science, Faculty of Agronomy, University of Tarbiat Modares. 108 pp.

Shabala, S. and Hariadi, Y. 2005. Effect of magnesium availability on the activity of plasma membrane ion transporters and light-induced responses from broad bean leaf mesophyll. Planta., 221: 56-65.

Sharon, D. A. 2003. Dry bean production guide. North Dakto State University.

Shaul, O. 2002. Magnesium transport and function in plants: the tip of the iceberg. Biometals., 15:309-323.

Shenkut, A.A. and Brick, M.A. 2003. Traits associated with dry edible bean (*Phaseolus vulgaris* L.) productivity under diverse soil moisture environments. Euphtica., 133(3): 339-347.

Sheykhbaglou, R., Sedghi, M., Tajbakhsh shishevan, M. and Sharifi, R. 2010. Effects of nano–iron oxide particles on agronomic traits of soybean. Not. Sci. Biol., 2 (2): 112-113.

Siedlecka, A. and krupa, Z. 1999. Cd/Fe interactions in higher plants- it′s consequence for the photosynthetic apparatus. Photosynthetica., 36:321-331.

Singh, M., Srivastava, J.P. and Kumar, A. 1992. Cell membrane stability in relation to drought tolerance in wheat genotype. J. Agron and Crop Sci. 168: 186-190.

Singh, S. 2000. Effect of Fe, Zn, N growth of sunflower and environmental. J. of Plant Nutr. 34(1-2): 57-63.

Singh, S. 2001. Effect of Zn, Fe growth on sunflowers. Environmental., 32(1-2): 57-63.

Singh, B., Ambawatia, B., Mahraj, G.A. and Singh, M. 1994. Stress studies in lentil (*Lens esculanta* Moench). Iv. Effect of removal of water stress on recovery of germination oercentage in lentil. Legume Research. 17(1): 8-12.

Singh, S.P. 1999. Common bean improvement in the twenty-firest century. Kluwer Academic Publishers. Pp. 359.

Singh, V. and Ram, N. 2005. Effect of 25 years of continuous fertilizer use on response to applied nutrients and uptake of micronutrients by rice-wheat-cowpea system. Cereal Res. Comm., 33: 589-594.

Sommer, A.L.L. 1995. Further evidence of the essential nature of zinc for the growth higher green plant. Plant Physoil., 3: 217-221.

Souza-Santos, P. Ramos, R.S., Ferreira, S.T and Carvalhoalves, P.C. 2001. Iron-induced oxidative damage of core root plasma membrane H^+-ATPase. Biochim. Biophys. Acta., 1512: 357-366.

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

Stoltzuf, R.J. 2001. Comparative quantification of health risks, iron deficiency anemia. WHO Press, 163-209.

Sultana, N., Ikeda, T. and Kashem, A. 2001. Effect of foliar spray of nutrient solution on photosynthesis, dry matter accumulation and yield in seawater-stressed rice. Environ. Exp. Bot., 46: 129-140.

Sussman, M.R. 1994. Molecular analysis of proteins in the plant plasma membrane. Annu. Rev. Plant physio. Plant Mol. Biol., 45: 211-234.

Tagliavini, M., Scudellani, D., Marangani, B. and Toselli, M. 1995. Acid-spray regreening of kiwifruit leaves affected by lime-induced iron chiorosis. In: J. Abadia (ed.,) iron nutrition in soil plant. Kluwer Acad. Pub., 191-195.

Takacs-Hajus, M. and Kiss, A.S. 2004. The effect of mg-sulphate foliar fertilization on economic qualities of different garden pea varieties. Acta Agronomica. 363: 44-50.

Tewari, R.K., Kumar, P. and Sharma, P.N. 2005. Sing of oxidative stress in the chlorotic leaves of iron starved plants. Plant Sci. 169: 1037- 1045.

Tewari, R.K., Kumar, P., Tewari, N., Srivastava, S. and Sharma, P.N. 2004. Macronutrient deficiencies and differential antioxidant responses- influence on the activity and expression of superoxide dismutase in maize. Plant Sci., 166: 687-694.

Tewari, R.K., Kumar, P. and Sharma, P.N. 2006. Magnesium deficiency induced oxidative stress and antioxidant responses in mulberry plant. Sci. Hort., 108: 7-14.

Thomas, P., Mythili, J.B. and Shivashankara, K.S. 2000. Effect of photo oxidative loss of $FeNa_2EDTA$ and of higher iron supply on chlorophyll content, growth and propagation rate in triploid water melon cultures. In Vitro Cell. Dev. Biol. Plant., 36: 537- 542.

Thomson, W. and Weier, T.E. 1962. Plant Physiological. 37: Xi.

Togay, N., Togay, Y., Mesuil-Cimrin, K. and Turan, M. 2008. Effects of rhizobium inoculation, sulfur and phosphorus application on yield, yield components and nutrient uptake in chichpea *(Cicer arietinum* L.). Afri. J.of Biotech. 776-782.

Torun, A., Gultekin, I., Kalayci, M., Yilmaz, A., Eker, S. and Cakmak, I. 2001. Effects of zinc fertilization on grain yield and shoot concentration of zinc, boron and phosphorus of 25 wheat cultivars grown on a zinc-dificient and boron-toxic soil. J. Plant Nut., 24: 1817-1829.

Turkan, I., Bor, M., Ozdemir, F. and Koca, H. 2005. Differenial responses of lipid peroxidation and antioxidants in the leaves of drought-tolerant p. acutifolius gray and drought-sensitive *p. vulgaris* L. subjected to polyethylene glycol mediated water stress. Plant Sci., 168: 223-231.

Unicef and Micronutrient Initiative . 2004. Mineral and vitamin deficiency: Aglobal progress report. New York and Ottawa.

Uzu, G., Sobanska, S., Sarret, G., Munoz, M. and Dumat, C. 2010. Foliar lead uptake by lettuce exposed to atmospheric pollution , environ. Sci. Technol., 44: 1036- 1042.

Vankhadeh, S. 2002. Response of sunflower to applied Zn, Fe, P, N. Nes s.zz., 1: 143-144.

Vassilev, A., Yordanov, I. and Tsonev, T. 1997. Effects of Cd^{2+} on the physiological state and photosynthetic activity of young barley plants. Photosynthetica. 34:293-302.

Wang, B., Feng, W.W., Wang, M., Wang, T., Gu, Y., Zhu, M., Ouyang, H., Shi, J., Zhang, F., Zhao, Y., Chai, Z., Wang, H. and Wang, J. 2007. Acute toxicological impact of nano- and submicro-scaled Zinc oxide powder on healthy adult mice. J. Nanopart Res., 10(2): 263-276.

Waraich, E.A., Amad, R., Ashraf, M.Y., Saifullah, and Ahmad, M. 2011. Improving agricultural water use efficiency by nutrient management. Acta. Agri. Scandi-Soil & Plant Sci., 61(4): 291-304.

Waraich, E.A., Amad, R., Saifullah, Ashraf, M.Y. and Ehsanullah. 2011. Roll of mineral nutrition in alleviation of drought stress in plant. Aust. J. of Crop Sci. 5(6): 764-777.

Whatley, J.M. 1971. Ultrastructural changes in chloroplasts of *phaseolus vulgaris* during development under conditions of nutrient deficiency. New Phytol., 70: 724-725.

Whitty, E.N. and Chambliss, C.G. 2005. Fertilization of field and forage crop. Nevada state University Publication. 21pP.

Wiersam, J.V. 2005. High rates of Fe-EDDHA and seed iron concentration suggest partial solutions to iron deficiency in soybean. Agron. J., 97: 924-934.

Wissuwa, M., Ismail, A.M. and Graham, R.D. 2008. Rice grain zinc concentrations as affected by genotype native soil-zinc availability, and zinc fertilization. Plant Soil., 306: 37-48.

Yang, Y.L., Zhang, F., He, W.L., Wang, X.M. and Zhang , L.X. 2003. Iron – mediated inhibition of H^+-ATPase in plasma membrane vesicles isolated from wheat roots. Cmls. Cell. Mol. Life Sci., 60: 1249-1257.

Zakaria, M., Sawan, A., Saeb, H. and Basyony, A.H. 2001. Effect of nitrogen and zinc fertilization and olant growth retardants on cottonseed, protein, oil yield and oil prooerries. Jaocs., 78(11): 18-28.

Zang, S.X., Wang, X.B. and Jin, K. 2001. Effect of different N and P levels on availability of zinc, copper, manganese and iron under arid conditions. Plant nutr. Fert. Sci., 7: 391-396.

Zarandi Miandoab, L. 1999. Intetaction effects between saline and some of nutrients on growth and amount of mineral nutrient uptake of Alfalfa plant. Msc thesis, Trbiat Moallem University. 216 p.

Zareie, S., Golkar, P. and Mahmmodi-Nejad, GH. 2011. Effect of nitrogen and iron fertilizers on seed yield and yield components of safflower genotypes. Afri. J. of agric. Res., 6(16): 3924-3929.

Ziaeian, A.H. and Malakouti, M.J. 2006. Effect of Fe, Mn, Zn and Cu fertilization on the yield and grain quality of wheat in the calcareous soils of iran. Plant nutrition. Food security and sustainability agro-ecosystems. 92: 840-841.

Zimmermann, M.B. and Hurrell, R.F. 2007. Nutritional iron deficiency. Lancet., 370: 511-20.

Ziolek, E., Ziolek, W., Deson, B.B. and Kulig, B. 1992. Effect of microelement fertilization on the yields of bean as related to magnesium fertilization and soil liming. Acta agrica et silvestria., 30: 70-81.

Zhang, F., Wang, R., Xiao, Q., Wang, Y. and Zhang, J. 2006. Effects of slow/controlled-release fertilizer cemented and coated by nano- marerials on biology. II. Effect of

slow/controlled- release fertilizer cemented and coated by nano- marerials on plant. Nanoscience., 11: 18-26

Zhang, W. 2005. Nanoparticle iron particle for environmental remediation. J. of nanoparticle. 5: 323-332.

Zheng, L., Hong, F., Lu, S. and Liu, C. 2005. Effect of nano- TiO_2 on strength of naturally aged seed and growth of spinach, Biol. Trace Elem. Res., 104: 83-92.

Zhu, H., Han, J., Xiao, J.Q. and Jin, Y. 2008. Uptake, translocation and accumulation of manufactacured iron oxide nanoparticles by pumpkin plant. J. of Environ. Monitoring. 10: 713- 717.

پیوست

جدول پیوست ۱- میانگین مربعات وزن خشک برگ تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم در نمونه‌برداری‌های مختلف

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات وزن خشک برگ				
		۸۱	۹۵	۱۰۹	۱۲۳	۱۳۷ روز پس از کاشت
تکرار	۲	۳۱۵/۱۴	۱۳۲/۳۱	۵۱۳/۳۳	۲۵۹/۹۱	۱۱۲/۵۹
آهن	۴	۷۶۳/۹۰**	۴۰۵/۴۵	۱۶۲۵/۸۳*	۶۹۴/۴۵*	۸۱۲/۱۶
منیزیم	۲	۵۵۸۱/۴۲**	۱۱۳۹/۱۹**	۴۱۴۲/۸۰**	۵۶۸۰/۱۲**	۸۵۳۶/۷۷**
آهن × منیزیم	۸	۶۶۱/۷۳**	۴۱۲/۶۷*	۳۳۸۵/۷۲**	۲۴۴۲/۹۱**	۱۹۱۰/۰۱**
خطا	۲۸	۱۲۷/۷۲	۱۷۰/۷۲	۴۲۶/۰۴	۲۰۸/۰۵	۳۰۹/۷۱
ضریب تغییرات (درصد)		۱۲/۴۱	۱۰/۷۹	۱۱/۴۲	۹/۷۸	۱۴/۷۳

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول پیوست ۲- مقایسه میانگین وزن خشک برگ (گرم در مترمربع) تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم در نمونه‌برداری‌های مختلف

	تیمارها	وزن خشک برگ (گرم در مترمربع)				
		۸۱	۹۵	۱۰۹	۱۲۳	۱۳۷روز پس ازکاشت
آهن	صفر	۸۲/۲۵ b	۱۱۱/۲۳	۱۷۹/۱۵ bc	۱۴۹/۱۹ ab	۱۲۴/۶۸
	نانو ۰/۲۵ گرم در لیتر	۹۰/۱۰ b	۱۱۷/۲۹	۱۸۸/۱۴ ab	۱۴۲/۲۵ b	۱۰۷/۱۱
	نانو ۰/۵ گرم در لیتر	۸۴/۹۵ b	۱۲۷/۵۱	۱۶۶/۰۵ c	۱۴۰/۳۴ b	۱۱۸/۴۶
	معمولی ۰/۲۵ گرم در لیتر	۱۰۵/۹۹ a	۱۲۳/۸۳	۱۹۹/۳۱ a	۱۶۲/۰۳ a	۱۳۲/۰۸
	معمولی ۰/۵ گرم در لیتر	۹۱/۹۳ b	۱۲۵/۵۴	۱۷۰/۵۱ bc	۱۴۳/۵۴ b	۱۱۴/۸۹
	LSD 5%	۱۰/۹۱	۱۲/۶۱	۱۹/۹۳	۱۳/۹۲	۱۶/۹۹
منیزیم	صفر	۷۲/۴۰ c	۱۱۱/۷۵ b	۱۷۶/۳۹ b	۱۴۵/۱۴ b	۱۰۷/۹۱ b
	نانو ۱ درصد	۱۱۰/۹۲ a	۱۲۹/۰۱ a	۱۹۸/۹۶ a	۱۶۷/۹۹ a	۱۴۶/۸۸ a
	معمولی ۱ درصد	۸۹/۸۱ b	۱۲۲/۴۷ a	۱۶۶/۵۵ b	۱۲۹/۲۸ c	۱۰۳/۵۵ b
	LSD 5%	۸/۴۵	۹/۷۷	۱۵/۴۳	۱۰/۷۸	۱۳/۱۶

حروف غیر مشترک در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد

جدول پیوست ۳- مقایسه میانگین وزن خشک برگ (گرم در مترمربع) تحت تاثیر ترکیب‌های تیماری حاصل از محلول‌پاشی آهن و منیزیم

ترکیب تیماری		وزن خشک برگ (گرم در مترمربع)				
آهن (گرم در لیتر)	منیزیم (۱ درصد)	۸۱	۹۵	۱۰۹	۱۲۳	۱۳۷ روز پس از کاشت
عدم آهن	عدم منیزیم	۷۰/۱۵	۱۱۵/۱۸	۱۸۵/۰۲	۱۵۸/۳۶	۱۳۵/۱۱
	نانو منیزیم	۹۰/۷۹	۱۰۱/۰۳	۱۴۷/۲۹	۱۲۱/۲۹	۱۱۴/۴۵
	منیزیم معمولی	۸۵/۸۱	۱۱۷/۴۹	۲۰۵/۱۶	۱۶۷/۹۲	۱۲۴/۵۰
نانوآهن ۰/۲۵	عدم منیزیم	۷۰/۴۰	۱۰۴/۸۷	۱۹۶/۲۲	۱۳۸/۴۶	۷۴/۶۳
	نانومنیزیم	۱۲۶/۹۶	۱۲۹/۶۱	۱۹۴/۳۲	۱۷۲/۷۳	۱۳۳/۶۰
	منیزیم معمولی	۷۲/۹۳	۱۱۷/۳۸	۱۷۳/۸۹	۱۱۵/۵۶	۱۱۳/۱۲
نانوآهن ۰/۵	عدم منیزیم	۸۳/۵۷	۱۲۷/۱۴	۱۷۹/۲۹	۱۵۳/۵۵	۱۲۷/۴۸
	نانو منیزیم	۸۷/۸۸	۱۲۸/۷۱	۱۷۶/۳۰	۱۵۵/۳۷	۱۴۴/۱۱
	منیزیم معمولی	۸۳/۴۱	۱۲۶/۷۰	۱۴۲/۵۶	۱۱۲/۱۱	۸۳/۷۸
آهن معمولی ۰/۲۵	عدم منیزیم	۷۹/۳۸	۱۰۳/۱۸	۱۶۶/۵۰	۱۳۸/۶۰	۱۱۲/۰۶
	نانومنیزیم	۱۲۷/۷۰	۱۴۱/۴۷	۲۶۱/۵۳	۱۹۷/۹۸	۱۷۷/۳۶
	منیزیم معمولی	۱۱۰/۹۰	۱۲۶/۸۳	۱۶۹/۹۲	۱۴۹/۵۳	۱۰۶/۸۴
آهن معمولی ۰/۵	عدم منیزیم	۵۸/۴۹	۱۰۸/۴۰	۱۵۴/۹۴	۱۳۶/۷۷	۹۰/۲۶
	نانومنیزیم	۱۲۱/۲۷	۱۴۴/۲۵	۲۱۵/۳۹	۱۹۲/۵۸	۱۶۴/۸۸
	منیزیم معمولی	۹۶/۰۳	۱۲۳/۹۷	۱۴۱/۲۱	۱۰۱/۲۸	۸۹/۵۵
	LSD 5%	۱۸/۹۰	۲۱/۸۵	۳۴/۵۲	۲۴/۱۲	۲۹/۴۳

جدول پیوست ۴- میانگین مربعات وزن خشک ساقه تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم در نمونه‌برداری‌های مختلف

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات وزن خشک ساقه				
		۸۱	۹۵	۱۰۹	۱۲۳	۱۳۷ روز پس از کاشت
تکرار	۲	۳۱۹/۰۲	۵۸۲/۳۸	۵۱۸/۱۷	۵۴۵/۹۸	۲۰۱/۳۲
آهن	۴	۲۱۹۱/۹۸**	۱۶۳۹/۰۸*	۵۲۴۶/۰۳**	۳۰۶۳/۰۰**	۴۵۶۷/۰۶**
منیزیم	۲	۱۰۳۰۲/۶۶**	۵۰۹۵/۸۱**	۱۷۱۹۹/۶۳**	۳۲۳۳/۲۴**	۵۴۳۹/۳۵**
آهن × منیزیم	۸	۵۷۸/۹۷*	۱۷۰۰/۶۷**	۲۶۵۱/۲۰**	۸۴۶۴/۳۰**	۵۴۳۹/۳۵**
خطا	۲۸	۱۹۲/۸۰	۴۸۶/۸۶	۴۸۷/۸۱	۵۸۳/۷۱	۶۲۲/۹۶
ضریب تغییرات (درصد)		۱۵/۱۴	۱۵/۹۰	۱۱/۳۵	۸/۴۲	۱۲/۵۴

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول پیوست ۵- مقایسه میانگین وزن خشک ساقه (گرم در مترمربع) تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم در نمونه‌برداری‌های مختلف

	تیمارها	وزن خشک ساقه (گرم در مترمربع)				
		۸۱	۹۵	۱۰۹	۱۲۳	۱۳۷روز پس ازکاشت
آهن	صفر	۸۵/۵۶ b	۱۲۳/۸۲ c	۱۹۹/۰۹ b	۲۸۰/۸۵ b	۲۲۲/۱۰ a
	نانو ۰/۲۵ گرم در لیتر	۸۹/۱۱ b	۱۴۴/۳۲ abc	۲۰۶/۵۹ ab	۲۷۷/۵۸ b	۲۲۲/۴۱ a
	نانو ۰/۵ گرم در لیتر	۷۶/۱۹ b	۱۲۵/۴۲ bc	۱۶۸/۵۲ c	۲۸۲/۵۷ b	۱۸۰/۹۳ b
	معمولی ۰/۲۵ گرم در لیتر	۱۱۷/۸۷ a	۱۴۵/۵۸ ab	۲۲۶/۰۶ a	۳۱۹/۱۳ a	۲۲۰/۷۹ a
	معمولی ۰/۵ گرم در لیتر	۸۹/۶۰ b	۱۵۴/۵۷ a	۱۷۲/۲۹ c	۲۷۳/۴۶ b	۱۸۰/۳۸ b
	LSD 5%	۱۳/۴۰	۲۱/۳۰	۲۱/۳۲	۲۳/۳۳	۲۴/۸۶
منیزیم	صفر	۶۲/۴۰ c	۱۲۶/۰۲ c	۱۵۹/۹۰ c	۲۶۹/۹۲ b	۲۰۵/۳۴ ab
	نانو ۱ درصد	۱۱۲/۹۶ a	۱۵۹/۸۸ a	۲۲۷/۵۷ a	۲۹۷/۱۳ a	۲۲۴/۳۵ a
	معمولی ۱ درصد	۹۹/۶۳ b	۱۳۰/۳۲ b	۱۹۶/۰۴ b	۲۹۳/۰۸ a	۱۸۶/۲۶ b
	LSD 5%	۱۰/۳۸	۱۶/۵۰	۱۶/۵۲	۱۸/۰۷	۱۹/۲۵

حروف غیر مشترک در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد

جدول پیوست ۶- مقایسه میانگین وزن خشک ساقه (گرم در مترمربع) تحت تاثیر ترکیب‌های تیماری حاصل از محلول‌پاشی آهن و منیزیم

ترکیب تیماری		وزن خشک ساقه (گرم در مترمربع)				
آهن (گرم در لیتر)	منیزیم (۱ درصد)	۸۱	۹۵	۱۰۹	۱۲۳	۱۳۷ روز پس از کاشت
عدم آهن	عدم منیزیم	۶۰/۴۵	۱۲۷/۹۴	۱۸۵/۶۷	۲۶۲/۶۳	۲۲۸/۹۲
	نانو منیزیم	۹۲/۵۹	۱۲۱/۱۱	۱۹۷/۰۲	۲۲۲/۱۰	۱۷۵/۰۷
	منیزیم معمولی	۱۰۳/۶۳	۱۲۲/۴۱	۲۱۴/۵۶	۳۵۷/۸۰	۲۶۲/۲۹
نانوآهن ۰/۲۵	عدم منیزیم	۴۹/۱۴	۱۱۲/۲۵	۱۵۳/۲۹	۲۶۸/۲۵	۲۲۸/۱۸
	نانومنیزیم	۱۱۸/۴۱	۱۶۷/۶۶	۲۵۶/۳۳	۳۲۲/۴۰	۲۴۵/۱۷
	منیزیم معمولی	۹۹/۷۸	۱۵۳/۰۴	۲۱۰/۱۵	۲۴۲/۰۷	۱۹۳/۸۸
نانوآهن ۰/۵	عدم منیزیم	۶۶/۰۴	۱۳۸/۵۳	۱۵۲/۶۲	۲۹۴/۴۹	۱۸۸/۵۷
	نانو منیزیم	۹۴/۴۳	۱۲۹/۴۶	۱۹۴/۲۷	۲۴۱/۲۷	۱۹۴/۳۹
	منیزیم معمولی	۶۸/۱۲	۱۰۸/۲۸	۱۵۸/۶۷	۳۱۱/۹۵	۱۵۹/۸۲
آهن معمولی ۰/۲۵	عدم منیزیم	۸۰/۸۲	۱۱۹/۳۶	۱۵۷/۴۸	۲۸۳/۹۶	۲۰۹/۷۰
	نانومنیزیم	۱۵۲/۷۸	۱۷۳/۱۰	۲۶۲/۳۶	۳۷۸/۱۹	۲۷۹/۷۵
	منیزیم معمولی	۱۲۰/۰۱	۱۴۴/۲۸	۲۵۸/۳۳	۲۹۵/۲۱	۱۷۲/۹۰
آهن معمولی ۰/۵	عدم منیزیم	۵۵/۵۴	۱۳۲/۰۵	۱۵۰/۴۶	۲۴۰/۲۸	۱۷۱/۳۲
	نانومنیزیم	۱۰۶/۶۳	۲۰۸/۰۶	۲۲۷/۸۹	۳۲۱/۷۰	۲۲۷/۳۸
	منیزیم معمولی	۱۰۶/۶۲	۱۲۳/۵۹	۱۳۸/۵۰	۲۵۸/۳۸	۱۴۲/۴۴
	LSD 5%	۲۳/۲۲	۳۶/۹۰	۳۶/۹۴	۴۰/۴۱	۴۱/۷۴

جدول پیوست ۷- میانگین مربعات ارتفاع ساقه تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم در نمونه‌برداری‌های مختلف

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات ارتفاع ساقه				
		۸۱	۹۵	۱۰۹	۱۲۳	۱۳۷ روز پس از کاشت
تکرار	۲	۹۸/۲۴	۳۹/۲۶	۲۷/۶۱	۲۲۳/۱۱	۷۸/۹۶
آهن	۴	۷۱/۹۴	۷۳/۵۵	۱۱۱/۹۹	۳۴۹/۹۶**	۱۰۳/۹۰
منیزیم	۲	۱۷۱/۰۳**	۲۷۶/۴۹**	۲۲۶/۶۸*	۳۷۰/۰۶**	۱۶۸۶/۶۴**
آهن × منیزیم	۸	۸۷/۲۸*	۱۵۹/۸۷**	۲۰۴/۷۳**	۳۰۲/۵۴**	۳۹۵/۶۶*
خطا	۲۸	۲۷/۱۰	۳۴/۶۷	۴۶/۲۳	۵۰/۷۰	۱۴۴/۴۱
ضریب تغییرات (درصد)		۱۱/۶۲	۱۰/۶۱	۱۰/۷۳	۹/۳۲	۱۵/۹۳

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول پیوست ۸- مقایسه میانگین ارتفاع ساقه (سانتی متر) تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم در نمونه‌برداری‌های مختلف

	تیمارها	ارتفاع ساقه (سانتی‌متر)				
		۸۱	۹۵	۱۰۹	۱۲۳	۱۳۷روز پس ازکاشت
آهن	صفر	۴۶/۰۱	۵۸/۱۷	۶۶/۲۰	۷۷/۹۵ b	۷۲/۷۱
	نانو ۰/۲۵ گرم در لیتر	۴۰/۲۶	۵۵/۸۲	۶۲/۳۶	۷۲/۳۲ bc	۷۶/۵۲
	نانو ۰/۲۵ گرم در لیتر	۴۳/۷۷	۵۱/۴۸	۵۸/۸۷	۶۹/۷۶ c	۷۳/۴۴
	معمولی ۰/۲۵ گرم در لیتر	۴۶/۶۷	۵۳/۸۴	۶۱/۶۴	۸۶/۰۰ a	۸۰/۸۸
	معمولی ۰/۲۵ گرم در لیتر	۴۷/۱۲	۵۸/۰۶	۶۷/۵۶	۷۵/۸۲ bc	۷۳/۴۶
	LSD 5%	۵/۰۲	۵/۶۸	۶/۵۶	۶/۸۷	۱۱/۶۰
منیزیم	صفر	۴۱/۴۰ b	۵۰/۵۲ b	۵۸/۹۴ b	۷۲/۳۰ b	۶۴/۵۴ c
	نانو ۱ درصد	۴۴/۷۴ ab	۵۷/۷۸ a	۶۶/۳۳ a	۸۱/۹۰ a	۸۵/۷۲ a
	معمولی ۱ درصد	۴۸/۱۶ a	۵۸/۱۳ a	۶۴/۷۲ a	۷۴/۹۱ b	۷۵/۹۵ b
	LSD 5%	۳/۸۹	۴/۴۰	۵/۰۸	-۵/۳۲	۸/۹۸

حروف غیر مشترک در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد

جدول پیوست ۹- مقایسه میانگین ارتفاع ساقه (سانتی متر) تحت تاثیر ترکیب‌های تیماری حاصل از محلول‌پاشی آهن و منیزیم

ترکیب تیماری		ارتفاع ساقه (سانتی‌متر)				
آهن (گرم در لیتر)	منیزیم (۱ درصد)	۸۱	۹۵	۱۰۹	۱۲۳	۱۳۷ روز پس از کاشت
عدم آهن	عدم منیزیم	۴۴/۰۶	۵۳/۱۶	۶۵/۱۳	۷۷/۳۶	۶۷/۷۳
	نانو منیزیم	۴۴/۲۶	۶۱/۳۰	۷۳/۷۳	۸۰/۸۰	۷۷/۶۶
	منیزیم معمولی	۴۹/۷۰	۶۰/۰۶	۵۹/۷۳	۷۵/۷۰	۷۲/۷۳
نانوآهن ۰/۲۵	عدم منیزیم	۳۶/۰۰	۴۸/۴۰	۵۷/۱۳	۷۲/۱۰	۵۶/۸۶
	نانومنیزیم	۴۷/۹۳	۶۷/۸۶	۶۹/۴۳	۷۶/۴۶	۱۰۲/۹۰
	منیزیم معمولی	۳۶/۸۶	۵۱/۲۰	۶۰/۵۳	۶۸/۴۰	۶۹/۸۰
نانوآهن ۰/۵	عدم منیزیم	۴۴/۵۰	۴۶/۸۰	۶۰/۱۶	۶۲/۴۰	۷۸/۱۳
	نانو منیزیم	۳۶/۶۶	۵۳/۲۰	۵۵/۶۰	۷۸/۴۳	۶۸/۶۶
	منیزیم معمولی	۵۰/۱۶	۵۴/۴۶	۶۰/۸۶	۶۸/۴۶	۷۸/۸۰
آهن معمولی ۰/۲۵	عدم منیزیم	۴۴/۰۶	۵۰/۷۳	۵۹/۸۰	۶۹/۸۰	۶۵/۴۶
	نانومنیزیم	۴۵/۳۶	۴۷/۷۳	۵۴/۴۶	۱۰۵/۳۰	۹۲/۴۰
	منیزیم معمولی	۵۰/۶۰	۶۳/۰۶	۷۰/۶۶	۸۲/۹۰	۸۴/۸۰
آهن معمولی ۰/۵	عدم منیزیم	۳۸/۴۰	۴۷/۱۳	۵۲/۴۶	۶۳/۸۰	۵۴/۵۰
	نانومنیزیم	۴۹/۵۰	۶۵/۲۰	۷۸/۴۳	۸۴/۵۶	۸۷/۰۰
	منیزیم معمولی	۵۳/۴۶	۶۱/۸۶	۷۱/۸۰	۷۹/۱۰	۷۸/۹۰
	LSD 5%	۸/۷۰۷	۹/۸۴۸	۱۱/۳۷	۱۱/۹۱	۲۰/۱۰

جدول پیوست ۱۰- میانگین مربعات قطر ساقه تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم در نمونه‌برداری‌های مختلف

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات قطر ساقه				
		۸۱	۹۵	۱۰۹	۱۲۳	۱۳۷ روز پس از کاشت
تکرار	۲	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۹
آهن	۴	۰/۰۰۳*	۰/۰۰۶**	۰/۰۰۹**	۰/۰۱۰**	۰/۰۲۱**
منیزیم	۲	۰/۰۰۳*	۰/۰۰۸**	۰/۰۰۶**	۰/۰۰۶*	۰/۰۰۳
آهن × منیزیم	۸	۰/۰۰۴**	۰/۰۰۵**	۰/۰۰۲*	۰/۰۰۳*	۰/۰۲۲**
خطا	۲۸	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
ضریب تغییرات (درصد)		۴/۴۷	۴/۸۱	۳/۹۴	۴/۶۸	۵/۳۳

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول پیوست۱۱- مقایسه میانگین قطر ساقه (سانتی متر) تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم در نمونه‌برداری‌های مختلف

	تیمارها	قطر ساقه (سانتی‌متر)				
		۸۱	۹۵	۱۰۹	۱۲۳	۱۳۷روز پس ازکاشت
آهن	صفر	۰/۶۴ b	۰/۶۷ b	۰/۷۲ b	۰/۷۵ b	۰/۷۷ b
	نانو ۰/۲۵ گرم در لیتر	۰/۶۵ ab	۰/۶۹ b	۰/۷۱ b	۰/۷۷ b	۰/۷۴ c
	نانو ۰/۵ گرم در لیتر	۰/۶۳ b	۰/۶۸ b	۰/۷۰ b	۰/۷۴ b	۰/۷۰ d
	معمولی ۰/۲۵ گرم در لیتر	۰/۶۶ ab	۰/۷۳ a	۰/۷۸ a	۰/۸۱ a	۰/۸۲ a
	معمولی ۰/۲۵ گرم در لیتر	۰/۶۸ a	۰/۷۳ a	۰/۷۵ a	۰/۸۵ a	۰/۸۱ ab
	LSD 5%	۰/۰۲۸	۰/۰۳۲	۰/۰۲۸	۰/۰۳۵	۰/۰۳۹
منیزیم	صفر	۰/۶۶۶ a	۰/۷۰۶ a	۰/۷۴۷ a	۰/۷۹۹ a	۰/۷۸
	نانو ۱ درصد	۰/۶۶۰ a	۰/۷۲۵ a	۰/۷۵۲ a	۰/۷۹۶ a	۰/۷۶
	معمولی ۱ درصد	۰/۶۳۸ b	۰/۶۷۸ b	۰/۷۱۳ b	۰/۷۶۲ b	۰/۷۵
	LSD 5%	۰/۰۲۱	۰/۰۲۵	۰/۰۲۱	۰/۰۲۷	۰/۰۳۰

حروف غیر مشترک در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد

جدول پیوست ۱۲- مقایسه میانگین قطر ساقه (سانتی متر) تحت تاثیر ترکیب‌های تیماری حاصل از محلول‌پاشی آهن و منیزیم

ترکیب تیماری		قطر ساقه (سانتی‌متر)				
آهن (گرم در لیتر)	منیزیم (۱ درصد)	۸۱	۹۵	۱۰۹	۱۲۳	۱۳۷
عدم آهن	عدم منیزیم	۰/۶۲	۰/۶۶	۰/۷۴	۰/۸۱	۰/۸۰
	نانو منیزیم	۰/۶۶	۰/۶۷	۰/۷۲	۰/۷۴	۰/۸۴
	منیزیم معمولی	۰/۶۳	۰/۶۸	۰/۷۱	۰/۷۲	۰/۶۸
نانوآهن ۰/۲۵	عدم منیزیم	۰/۷۱	۰/۷۴	۰/۷۵	۰/۸۰	۰/۸۵
	نانومنیزیم	۰/۶۴	۰/۶۹	۰/۷۲	۰/۸۱	۰/۷۲
	منیزیم معمولی	۰/۶۱	۰/۶۴	۰/۶۶	۰/۷۱	۰/۶۵
نانوآهن ۰/۵	عدم منیزیم	۰/۶۳	۰/۷۲	۰/۷۳	۰/۷۶	۰/۷۴
	نانو منیزیم	۰/۶۳	۰/۶۷	۰/۶۹	۰/۷۴	۰/۶۵
	منیزیم معمولی	۰/۶۴	۰/۶۷	۰/۶۹	۰/۷۴	۰/۷۱
آهن معمولی ۰/۲۵	عدم منیزیم	۰/۶۸	۰/۷۲	۰/۷۸	۰/۸۳	۰/۸۳
	نانومنیزیم	۰/۶۵	۰/۷۹	۰/۸۱	۰/۸۳	۰/۷۸
	منیزیم معمولی	۰/۶۵	۰/۶۸	۰/۷۵	۰/۷۸	۰/۸۵
آهن معمولی ۰/۵	عدم منیزیم	۰/۶۴	۰/۶۷	۰/۷۲	۰/۷۸	۰/۷۰
	نانومنیزیم	۰/۷۴	۰/۸۰	۰/۸۰	۰/۸۳	۰/۸۴
	منیزیم معمولی	۰/۶۵	۰/۷۱	۰/۷۴	۰/۸۵	۰/۹۰
	LSD 5%	۰/۰۴۷۳۱	۰/۰۵۲۸۹	۰/۰۴۷۳۱	۰/۰۵۲۸۹	۰/۰۵۲۸۹

جدول پیوست ۱۳- میانگین مربعات تعداد برگ تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم در نمونه‌برداری‌های مختلف

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات تعداد برگ				
		۸۱	۹۵	۱۰۹	۱۲۳	۱۳۷ روز پس از کاشت
تکرار	۲	۱۳۸۷۹/۱۰	۸۹۲۴/۹۲	۳۲۱۵۵/۶۰	۲۵۷۹/۷۰	۱۴۷۱۸/۳۹
آهن	۴	۱۸۴۸۶/۱۵	۵۰۹۰/۹۷	۸۸۷۷۱/۹۳*	۲۲۱۲۳۱/۳۳**	۵۶۰۱۳/۶۶
منیزیم	۲	۱۱۴۸۰۴/۶۸**	۱۵۷۲۶۵/۰۱**	۱۸۸۳۸/۴۴	۲۷۰۰۲/۰۹	۶۲۰۰۹/۸۰
آهن × منیزیم	۸	۳۴۶۷۳/۶۴	۹۷۶۶۴/۸۱**	۲۰۴۸۴۸/۵۸**	۱۶۲۲۸۴/۸۳**	۱۰۴۲۵۴/۱۶**
خطا	۲۸	۱۹۶۷۶/۶۲	۱۷۵۱۸/۰۷	۳۲۵۱۵/۶۴	۱۸۲۷۷/۶۸	۲۲۲۸۵/۰۲
ضریب تغییرات (درصد)		۲۱/۹۷	۱۵/۲۶	۱۵/۰۹	۱۴/۰۴	۲۰/۶۱

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول پیوست ۱۴- مقایسه میانگین تعداد برگ (در مترمربع) تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم در نمونه‌برداری‌های مختلف

	تیمارها	تعداد برگ (در مترمربع)				
		۸۱	۹۵	۱۰۹	۱۲۳	۱۳۷روز پس ازکاشت
آهن	صفر	۶۲۶/۲۳	۸۲۸/۳۷	۱۲۲۹/۶۹ ab	۱۰۳۷/۷۳ ab	۸۰۰/۴۲
	نانو ۰/۲۵ گرم در لیتر	۶۱۲/۱۶	۸۸۸/۵۳	۱۱۹۸/۹۶ ab	۸۷۵/۲۱ dc	۷۳۹/۱۵
	نانو ۰/۵ گرم در لیتر	۵۸۹/۵۸	۸۷۴/۰۹	۱۱۴۶/۵۸ b	۹۹۱/۸۳ bc	۷۰۸/۰۵
	معمو لی ۰/۲۵ گرم در لیتر	۷۰۶/۷۵	۸۶۲/۰۶	۱۳۳۲/۰۶ a	۱۱۵۹/۵۴ a	۷۷۵/۲۴
	معمولی ۰/۲۵ گرم در لیتر	۶۵۶/۴۰	۸۸۲/۲۴	۱۰۶۴/۲۰ b	۷۴۹/۵۲ d	۵۹۷/۷۳
	LSD 5%	۱۳۵/۴۵	۱۲۷/۸۱	۱۷۴/۱۲	۱۳۰/۵۵	۱۴۴/۱۵
منیزیم	صفر	۵۴۷/۲۳ b	۸۰۹/۹۰ b	۱۱۶۹/۲۰	۹۶۲/۸۴	۷۰۷/۳۸
	نانو ۱ درصد	۷۲۱/۷۱ a	۹۸۵/۲۷ a	۱۲۳۴/۸۴	۱۰۰۵/۱۵	۷۹۵/۱۳
	معمولی ۱ درصد	۶۴۵/۷۴ ab	۸۰۶/۰۱ b	۱۱۷۸/۸۶	۹۲۰/۳۰	۶۶۹/۸۴
	LSD 5%	۱۰۴/۹۲	۹۸/۹۹	۱۳۴/۸۸	۱۰۱/۱۲	۱۱۱/۶۶

حروف غیر مشترک در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد

جدول پیوست ۱۵- مقایسه میانگین تعداد برگ (در مترمربع) تحت تاثیر ترکیب‌های تیماری حاصل از محلول‌پاشی آهن و منیزیم

ترکیب تیماری		تعداد برگ (در مترمربع)			
آهن (گرم در لیتر)	منیزیم (۱ درصد)	۹۵	۱۰۹	۱۲۳	۱۳۷ روز پس از کاشت
عدم آهن	عدم منیزیم	۸۹۱/۳۱	۱۴۱۴/۴۳	۱۲۰۹/۵۱	۹۹۹/۶۰
	نانو منیزیم	۷۹۴/۶۸	۸۹۸/۵۳	۷۶۲/۴۷	۵۶۰/۳۳
	منیزیم معمولی	۷۹۹/۱۲	۱۳۷۶/۱۱	۱۱۴۱/۲۰	۸۴۱/۳۳
نانوآهن ۰/۲۵	عدم منیزیم	۸۳۶/۳۳	۱۱۷۲/۸۶	۸۸۹/۶۴	۶۲۹/۷۴
	نانومنیزیم	۹۸۹/۶۰	۱۱۶۹/۵۳	۸۵۲/۹۹	۷۷۱/۳۵
	منیزیم معمولی	۸۳۹/۶۶	۱۲۵۴/۴۹	۸۸۲/۹۸	۸۱۶/۳۳
نانوآهن ۰/۵	عدم منیزیم	۹۹۲/۹۳	۱۲۰۳/۹۶	۱۰۸۲/۹۰	۶۴۹/۷۴
	نانو منیزیم	۹۷۶/۲۷	۱۴۶۹/۴۱	۱۲۹۹/۴۸	۹۸۹/۶۰
	منیزیم معمولی	۶۵۳/۰۷	۷۶۶/۳۶	۵۹۳/۰۹	۴۸۴/۸۰
آهن معمولی ۰/۲۵	عدم منیزیم	۵۶۸/۱۰	۱۱۴۷/۳۱	۱۰۲۷/۳۶	۷۳۱/۳۷
	نانومنیزیم	۹۸۰/۷۱	۱۳۵۴/۴۵	۱۲۰۶/۱۸	۹۵۴/۶۱
	منیزیم معمولی	۱۰۳۷/۳۶	۱۴۹۴/۴۰	۱۲۴۵/۰۵	۶۳۹/۷۴
آهن معمولی ۰/۵	عدم منیزیم	۷۶۰/۸۰	۹۰۷/۴۱	۶۰۴/۷۶	۵۲۶/۴۶
	نانومنیزیم	۱۱۸۵/۰۸	۱۲۸۲/۲۶	۹۰۴/۶۴	۶۹۹/۷۲
	منیزیم معمولی	۷۰۰/۸۳	۱۰۰۲/۹۳	۷۳۹/۱۴	۵۶۶/۹۹
	LSD 5%	۲۲۱/۴	۳۰۱/۶	۲۲۶/۱	۲۴۹/۷

جدول پیوست ۱۶- میانگین مربعات تعداد انشعابات جانبی تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم در نمونه‌برداری‌های مختلف

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات تعداد انشعابات جانبی			
		۹۵	۱۰۹	۱۲۳	۱۳۷ روز پس از کاشت
تکرار	۲	۰/۸۴	۰/۰۵۹	۰/۱۹۴	۰/۰۰۸
آهن	۴	۱/۵۶**	۰/۷۹۱**	۰/۱۱۱	۰/۵۲۵
منیزیم	۲	۰/۰۷۴	۱/۲۶**	۰/۲۱۰	۰/۲۹۸
آهن × منیزیم	۸	۰/۴۸*	۰/۱۹۷	۰/۵۲۱**	۱/۶۴۹**
خطا	۲۸	۰/۱۵	۰/۱۰	۰/۱۴۰	۰/۲۵۲
ضریب تغییرات (درصد)		۱۵/۷۴	۱۰/۶۱	۹/۸۵	۱۰/۷۴

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول پیوست ۱۷- مقایسه میانگین تعداد انشعابات جانبی (در تک بوته) تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم در نمونه‌برداری‌های مختلف

	تیمارها	تعداد انشعابات جانبی (در تک بوته)			
		۹۵	۱۰۹	۱۲۳	۱۳۷روز پس ازکاشت
آهن	صفر	۲/۰۲ c	۲/۶۲ b	۳/۷۳	۴/۳۷
	نانو ۰/۲۵ گرم در لیتر	۲/۷۳ ab	۳/۰۸ a	۳/۹۷	۴/۴۸
	نانو ۰/۵ گرم در لیتر	۲/۶۰ b	۳/۲۶ a	۳/۸۲	۴/۹۵
	معمولی ۰/۲۵ گرم در لیتر	۳/۰۰ a	۳/۴۰ a	۳/۶۸	۴/۷۳
	معمولی ۰/۵ گرم در لیتر	۲/۱۱ c	۳/۱۷ a	۳/۷۷	۴/۸۴
	LSD 5%	۰/۳۷	۰/۳۱	۰/۳۶	۰/۴۸
منیزیم	صفر	۲/۴۱	۳/۳۴ a	۳/۹۳	۴/۸۴
	نانو ۱ درصد	۲/۵۲	۳/۲۰ a	۳/۷۶	۴/۵۷
	معمولی ۱ درصد	۲/۵۴	۲/۷۸ b	۳/۷۰	۴/۶۲
	LSD 5%	۰/۲۹	۰/۲۴	۰/۲۸	۰/۳۷

حروف غیر مشترک در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد

جدول پیوست ۱۸- مقایسه میانگین تعداد انشعابات جانبی (در تک بوته) تحت تاثیر ترکیب‌های تیماری حاصل از محلول‌پاشی آهن و منیزیم

ترکیب تیماری		تعداد انشعابات جانبی (در تک بوته)		
آهن (گرم در لیتر)	منیزیم (۱ درصد)	۹۵	۱۲۳	۱۳۷ روز پس از کاشت
عدم آهن	عدم منیزیم	۲/۲۰	۳/۹۳	۴/۲۶
	نانو منیزیم	۱/۶۰	۳/۲۰	۳/۵۳
	منیزیم معمولی	۲/۲۶	۴/۰۶	۵/۳۳
نانوآهن ۰/۲۵	عدم منیزیم	۳/۰۰	۳/۶۰	۴/۱۳
	نانومنیزیم	۲/۸۶	۴/۲۰	۵/۰۰
	منیزیم معمولی	۲/۳۳	۴/۱۳	۴/۳۳
نانوآهن ۰/۵	عدم منیزیم	۲/۵۳	۴/۴۰	۵/۷۳
	نانو منیزیم	۲/۵۳	۳/۵۳	۴/۳۳
	منیزیم معمولی	۲/۷۳	۳/۵۳	۴/۸۰
آهن معمولی ۰/۲۵	عدم منیزیم	۲/۹۳	۳/۷۳	۴/۸۶
	نانومنیزیم	۳/۰۰	۳/۸۶	۵/۴۶
	منیزیم معمولی	۳/۰۶	۳/۴۶	۳/۸۶
آهن معمولی ۰/۵	عدم منیزیم	۱/۴۰	۴/۰۰	۵/۲۰
	نانومنیزیم	۲/۶۰	۴/۰۰	۴/۵۳
	منیزیم معمولی	۲/۳۳	۳/۳۳	۴/۸۰
	LSD 5%	۰/۶۴۷	۰/۶۲۵	۰/۸۳۹

جدول پیوست ۱۹- میانگین مربعات فاصله‌ی اولین غلاف از سطح خاک و طول غلاف تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم به‌ترتیب در ۱۳۷ و ۱۵۱ روز پس از کاشت

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		فاصله‌ی اولین غلاف از سطح خاک	طول غلاف
تکرار	۲	۲۷/۱۹	۰/۳۱
آهن	۴	۱۵۷/۲۶**	۴/۵۲**
منیزیم	۲	۱۱۳۷/۹۶**	۳/۰۴*
آهن × منیزیم	۸	۱۵۳/۰۸**	۲/۱۱*
خطا	۲۸	۲۴/۱۴	۰/۷۸
ضریب تغییرات (درصد)		۱۲/۰۲	۵/۸۰

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول پیوست ۲۰- مقایسه میانگین فاصله‌ی اولین غلاف از سطح خاک (سانتی متر) و طول غلاف (سانتی‌متر) تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم به‌ترتیب در ۱۳۷ و ۱۵۱ روز پس از کاشت

	تیمارها	فاصله‌ی اولین غلاف از سطح خاک (سانتی‌متر)	طول غلاف (سانتی‌متر)
آهن	صفر	۳۵/۷۷ d	۱۴/۱۵ c
	نانو ۰/۲۵ گرم در لیتر	۴۶/۳۱ a	۱۶/۰۴ a
	نانو ۰/۲۵ گرم در لیتر	۳۷/۸۲ cd	۱۵/۰۵ b
	نانو ۰/۲۵ گرم در لیتر	۴۳/۰۷ ab	۱۵/۳۷ ab
	نانو ۰/۲۵ گرم در لیتر	۴۱/۳۱ bc	۱۵/۵۸ ab
	LSD 5%	۴/۷۴	۰/۸۵
منیزیم	صفر	۴۰/۸۴ b	۱۴/۸۴ b
	نانو ۱ درصد	۴۹/۵۸ a	۱۵/۷۳ a
	معمولی ۱ درصد	۳۲/۱۶ c	۱۵/۱۶ ab
	LSD 5%	۳/۶۷	۰/۶۶

حروف غیر مشترک در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد

جدول پیوست ۲۱- مقایسه میانگین فاصله‌ی اولین غلاف از سطح خاک (سانتی متر) و طول غلاف (سانتی‌متر) تحت تاثیر ترکیب‌های تیماری حاصل از محلول‌پاشی آهن و منیزیم به‌ترتیب در ۱۳۷ و ۱۵۱ روز پس از کاشت

ترکیب تیماری		فاصله‌ی اولین غلاف از سطح خاک (سانتی‌متر)	طول غلاف (سانتی‌متر)
آهن (گرم در لیتر)	منیزیم (۱ درصد)		
عدم آهن	عدم منیزیم	۳۳/۲۰	۱۲/۵۰
	نانو منیزیم	۴۳/۶۰	۱۵/۳۳
	منیزیم معمولی	۳۰/۵۳	۱۴/۶۱
نانوآهن ۰/۲۵	عدم منیزیم	۴۷/۷۰	۱۶/۰۳
	نانومنیزیم	۶۱/۳۰	۱۶/۳۰
	منیزیم معمولی	۲۹/۹۳	۱۵/۸۰
نانوآهن ۰/۵	عدم منیزیم	۴۵/۵۰	۱۵/۷۳
	نانو منیزیم	۳۶/۸۶	۱۴/۵۰
	منیزیم معمولی	۳۱/۱۰	۱۴/۹۳
آهن معمولی ۰/۲۵	عدم منیزیم	۴۵/۲۶	۱۴/۵۶
	نانومنیزیم	۵۲/۶۶	۱۶/۵۶
	منیزیم معمولی	۳۱/۳۰	۱۵/۰۰
آهن معمولی ۰/۵	عدم منیزیم	۳۲/۵۳	۱۵/۳۶
	نانومنیزیم	۵۳/۴۶	۱۵/۹۵
	منیزیم معمولی	۳۷/۹۳	۱۵/۴۵
	LSD 5%	۸/۲۱۷	۱/۴۷۷

جدول پیوست ۲۲- میانگین مربعات وزن خشک دانه تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم در نمونه‌برداری‌های مختلف

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات وزن خشک دانه			
		۹۵	۱۰۹	۱۲۳	۱۳۷ روز پس از کاشت
تکرار	۲	۹/۹۰	۲۴/۶۲	۵۹/۵۱	۲۶/۵۰
آهن	۴	۲۶۳/۸۸**	۱۱۹۰/۵۹**	۶۰۸۴/۹۷**	۱۰۸۳/۹۱
منیزیم	۲	۱۱۷/۰۳**	۱۰۵۹/۵۱**	۴۴۷۶/۰۲**	۵۴۷۱/۲۷**
آهن × منیزیم	۸	۴۷۱/۶۱**	۵۰۶**	۱۴۹۶/۴۰**	۳۰۵۹**
خطا	۲۸	۱۷/۷۴	۶۶/۹۹	۳۱۹/۸۴	۷۰۶/۴۴
ضریب تغییرات (درصد)		۲۱/۵۲	۲۱/۹۰	۱۷/۸۴	۱۴/۶۵

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول پیوست ۲۳- مقایسه میانگین وزن خشک دانه (گرم در مترمربع) تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم در نمونه‌برداری‌های مختلف

	تیمارها	وزن خشک دانه (گرم در مترمربع)			
		۹۵	۱۰۹	۱۲۳	۱۳۷ روز پس از کاشت
آهن	صفر	۱۵/۴۲ bc	۳۱/۴۰ b	۶۵/۴۳ b	۱۸۰/۴۹
	نانو ۰/۲۵ گرم در لیتر	۱۹/۳۱ b	۲۹/۱۸ b	۷۹/۶۵ b	۱۷۸/۳۷
	نانو ۰/۵ گرم در لیتر	۲۴/۴۶ a	۵۲/۷۸ a	۱۲۱/۴۲ a	۱۹۹/۹۲
	معمولی ۰/۲۵ گرم در لیتر	۲۵/۴۹ a	۴۶/۴۲ a	۱۲۱/۸۶ a	۱۷۶/۸۱
	مغمولی ۰/۵ گرم در لیتر	۱۳/۱۶ c	۲۷/۰۱ b	۱۱۲/۶۱ a	۱۷۱/۰۱
	LSD 5%	۴/۰۶	۷/۹۰	۱۷/۲۷	۲۵/۶۶
منیزیم	صفر	۱۸/۵۱ b	۳۳/۱۱ b	۹۰/۷۰ b	۱۵۹/۸۶ b
	نانو ۱ درصد	۲۲/۷۳ a	۳۱/۹۳ b	۱۲۰/۱۳ a	۱۸۷/۶۳ a
	معمولی ۱ درصد	۱۷/۴۶ b	۴۷/۰۴ a	۸۹/۷۵ b	۱۹۶/۴۶ a
	LSD 5%	۳/۱۵	۶/۱۲	۱۳/۳۷	۱۹/۸۸

حروف غیر مشترک در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد

جدول پیوست ۲۴- مقایسه میانگین وزن خشک دانه (گرم در مترمربع) تحت تاثیر ترکیب‌های تیماری حاصل از محلول‌پاشی آهن و منیزیم

ترکیب تیماری		وزن خشک دانه (گرم در مترمربع)			
آهن (گرم در لیتر)	منیزیم (درصد)	۹۵	۱۰۹	۱۲۳	۱۳۷ روز پس از کاشت
عدم آهن	عدم منیزیم	۱۰/۸۴	۳۳/۹۱	۴۹/۹۶	۱۶۶/۴۵
	نانو منیزیم	۷/۱۶	۱۹/۰۷	۸۰/۴۶	۱۷۶/۴۱
	منیزیم معمولی	۲۸/۲۵	۴۱/۲۴	۶۵/۸۹	۱۹۸/۵۹
نانوآهن ۰/۲۵	عدم منیزیم	۲۳/۴۲	۲۸/۱۵	۷۳/۴۸	۱۴۲/۳۷
	نانومنیزیم	۲۲/۸۶	۲۳/۳۲	۱۲۵/۵۳	۲۳۳/۱۷
	منیزیم معمولی	۱۱/۶۵	۳۶/۰۸	۳۹/۹۵	۱۵۹/۵۶
نانوآهن ۰/۵	عدم منیزیم	۳۹/۳۹	۴۴/۰۷	۱۰۵/۲۸	۱۷۷/۶۳
	نانو منیزیم	۱۷/۹۲	۳۰/۸۵	۱۵۰/۵۴	۱۶۲/۵۰
	منیزیم معمولی	۱۶/۰۶	۸۳/۴۱	۱۰۸/۴۵	۲۵۹/۶۱
آهن معمولی ۰/۲۵	عدم منیزیم	۱۱/۰۳	۴۱/۰۸	۹۵/۳۵	۱۶۳/۸۴
	نانومنیزیم	۴۲/۴۹	۵۴/۸۶	۱۳۹/۱۵	۱۷۷/۱۲
	منیزیم معمولی	۲۲/۹۶	۴۳/۳۲	۱۳۱/۰۹	۱۸۹/۴۶
آهن معمولی ۰/۵	عدم منیزیم	۷/۸۶	۱۸/۳۳	۱۲۹/۴۵	۱۴۹
	نانومنیزیم	۲۳/۲۵	۳۱/۵۵	۱۰۵/۰۱	۱۸۸/۹۶
	منیزیم معمولی	۸/۳۸	۳۱/۱۵	۱۰۳/۳۹	۱۷۵/۰۷
	LSD 5%	۷/۰۴۴	۱۳/۶۹	۲۹/۹۱	۴۴/۴۵

جدول پیوست ۲۵- میانگین مربعات وزن خشک کل غلاف تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم در نمونه بردارهای مختلف

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات وزن خشک غلاف			
		۹۵	۱۰۹	۱۲۳	۱۳۷ روز پس از کاشت
تکرار	۲	۳۳/۸۲	۱۱۳/۳۸	۴۸/۲۵	۹۵/۰۹
آهن	۴	۳۵۱/۵۸**	۱۳۹/۲۱**	۷۱۱/۶۶**	۲۴۹/۴۶*
منیزیم	۲	۴۹/۳۰*	۱/۶۲	۲۷۹/۲۹	۲۵۰/۶۵
آهن × منیزیم	۸	۲۸۰/۵۷**	۱۵۷/۰۵**	۳۸۱/۷۸*	۴۳۰/۰۶**
خطا	۲۸	۱۴/۲۰	۲۲/۳۲	۱۵۱/۶۹	۷۹/۷۳
ضریب تغییرات (درصد)		۲۷/۷۵	۱۷/۶۷	۲۹/۲۱	۱۳/۳۴

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول پیوست ۲۶- مقایسه میانگین وزن خشک کل غلاف (گرم در مترمربع) تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم در نمونه‌برداری‌های مختلف

	تیمارها	وزن خشک کل غلاف (گرم در مترمربع)			
		۹۵	۱۰۹	۱۲۳	۱۳۷ روز پس از کاشت
آهن	صفر	۸/۸۲ bc	۲۴/۴۴ b	۳۴/۴۴ b	۵۹/۱۹ b
	نانو ۰/۲۵ گرم در لیتر	۷/۲۹ c	۲۵/۴۲ b	۳۵/۶۷ b	۶۳/۶۵ ab
	نانو ۰/۲۵ گرم در لیتر	۲۰/۵۰ a	۲۴/۸۹ b	۳۸/۸۸ b	۷۱/۴۳ a
	نانو ۰/۲۵ گرم در لیتر	۱۹/۹۷ a	۳۳/۷۳ a	۵۵/۹۵ a	۶۹/۹۸ a
	نانو ۰/۲۵ گرم در لیتر	۱۱/۲۸ b	۲۵/۱۳ b	۴۵/۸۴ ab	۷۰/۱۹ a
	LSD 5%	۳/۶۳	۴/۵۶	۱۱/۸۹	۸/۶۲
منیزیم	صفر	۱۲/۵۰ b	۲۷/۰۹	۳۸/۹۲	۶۲/۶۶
	نانو ۱ درصد	۱۵/۶۷ a	۲۶/۶۰	۴۰/۵۰	۶۷/۱۹
	معمولی ۱درصد	۱۲/۵۶ b	۲۶/۴۷	۴۷/۰۵	۷۰/۸۲
	LSD 5%	۲/۸۱	۳/۵۳	۹/۲۱	۶/۶۷

حروف غیر مشترک در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد

جدول پیوست ۲۷- مقایسه میانگین وزن خشک غلاف (گرم در مترمربع) تحت تاثیر ترکیب تیماری حاصل از محلول‌پاشی آهن و منیزیم در نمونه بردارهای مختلف

ترکیب تیماری		وزن خشک کل غلاف (گرم در مترمربع)			
آهن (گرم درلیتر)	منیزیم (۱ درصد)	۹۵	۱۰۹	۱۲۳	۱۳۷ روز پس از کاشت
عدم آهن	عدم منیزیم	۵/۴۳	۲۹/۰۹	۳۴/۳۳	۶۲/۲۷
	نانو منیزیم	۱/۷۹	۱۶/۷۲	۲۲/۷۴	۴۶/۸۴
	منیزیم معمولی	۱۹/۲۵	۲۷/۵۱	۴۶/۲۵	۶۸/۴۷
نانوآهن ۰/۲۵	عدم منیزیم	۶/۸۲	۱۹/۱۰	۲۸/۱۳	۶۳/۴۰
	نانومنیزیم	۱۳/۹۴	۲۹/۱۷	۴۲/۵۹	۷۰/۴۴
	منیزیم معمولی	۱/۱۳	۲۷/۹۸	۳۶/۳۰	۵۷/۱۱
نانوآهن ۰/۵	عدم منیزیم	۲۴/۳۷	۳۴/۸۳	۴۰/۱۹	۶۴/۸۶
	نانو منیزیم	۱۱/۱۲	۲۲/۹۷	۲۸/۶۰	۶۲/۳۸
	منیزیم معمولی	۲۶/۰۲	۱۶/۸۸	۴۷/۸۴	۸۷/۰۵
آهن معمولی ۰/۲۵	عدم منیزیم	۲۱/۹۱	۳۴/۱۱	۴۳/۳۲	۵۶/۹۱
	نانومنیزیم	۲۷/۰۷	۳۷/۲۳	۷۲/۹۴	۸۸/۴۲
	منیزیم معمولی	۱۰/۹۵	۲۹/۸۴	۵۱/۶۰	۶۴/۶۳
آهن معمولی ۰/۵	عدم منیزیم	۳/۹۷	۱۸/۳۳	۴۸/۶۳	۶۵/۸۶
	نانومنیزیم	۲۴/۴۲	۲۶/۹۳	۳۵/۶۰	۶۷/۸۹
	منیزیم معمولی	۵/۴۶	۳۰/۱۴	۵۳/۲۹	۷۶/۸۳
	LSD 5%	۶/۳۰۳	۷/۹۰۲	۲۰/۶۰	۱۴/۹۳

جدول پیوست ۲۸- میانگین مربعات عملکرد و اجزای عملکرد تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم

		میانگین مربعات عملکرد و اجزای عملکرد			
منابع تغییر	درجه آزادی	تعداد غلاف در بوته	تعداد دانه در غلاف	وزن هزاردانه	عملکرد
تکرار	۲	۰/۳۰۲	۲/۱۵	۲۵۴/۱۹	۲۴۶۷۶۵/۵۶
آهن	۴	۶/۵۵	۶/۳۷	۳۰۸/۷۴	۱۵۰۵۷۰/۳۱**
منیزیم	۲	۲/۷۸	۳/۱۶	۱۳۰/۸۳	۳۶۶۱۶۱/۶۹**
آهن × منیزیم	۸	۱۱/۸۷**	۱۲/۸۶**	۷۰۲/۴۳*	۵۴۳۶۸۳/۴۷**
خطای کل	۲۸	۳/۱۵	۲/۷۲	۲۶۷/۹۲	۵۹۰۷۳/۲۸
ضریب تغییرات (درصد)		۲۲/۰۷	۳۱/۲۹	۷/۴۱	۱۵/۹۱

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول پیوست ۲۹- مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم

		عملکرد و اجزای عملکرد			
	تیمارها	تعداد غلاف (در بوته)	تعداد دانه (در غلاف)	وزن هزاردانه (گرم)	عملکرد (کیلوگرم در هکتار)
آهن	صفر	۷/۱۰	۳/۹۲	۲۱۲/۳۶	۹۹۹/۲ d
	نانو ۰/۲۵ گرم در لیتر	۷/۸۰	۵/۸۲	۲۲۰/۵۱	۱۶۹۱/۳ b
	نانو ۰/۵ گرم در لیتر	۸/۸۵	۶/۰۵	۲۲۸/۳۶	۲۰۹۶/۵ a
	معمولی۰/۲۵ گرم در لیتر	۷/۴۳	۵/۰۶	۲۲۳/۳۷	۱۳۲۸/۸ c
	معمولی ۰/۵ گرم در لیتر	۹/۰۲	۵/۵۱	۲۱۹/۳۷	۱۵۱۸/۲ bc
	LSD 5%	۱/۷۱	۱/۵۹	۱۵/۸۰	۲۳۴/۷
منیزیم	صفر	۷/۵۸	۵/۵۶	۲۲۰/۲۱	۱۵۴۹/۲۵ a
	نانو ۱ درصد	۸/۴۳	۴/۷۴	۲۲۴/۰۰	۱۶۷۰/۶۱ a
	معمولی ۱ درصد	۸/۱۱	۵/۵۱	۲۱۸/۱۸	۱۳۶۰/۵۶ b
	LSD 5%	۱/۳۲	۱/۲۳	۱۲/۲۴	۱۸۱/۷۹

حروف غیر مشترک در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد

جدول پیوست ۳۰- مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد تحت تاثیر ترکیب‌های تیماری حاصل از محلول‌پاشی آهن و منیزیم

ترکیب تیماری		عملکرد و اجزای عملکرد			
آهن (گرم در لیتر)	منیزیم (۱ درصد)	تعداد غلاف (در بوته)	تعداد دانه (در غلاف)	وزن هزاردانه(گرم)	عملکرد (کیلوگرم درهکتار)
عدم آهن	عدم منیزیم	۶/۸۵	۴/۱۱	۲۱۵/۹۵	۱۱۶۹/۳۱
	نانو منیزیم	۶/۰۰	۳/۹۰	۲۰۲/۱۶	۷۹۲/۵۵
	منیزیم معمولی	۸/۴۶	۳/۷۵	۲۱۸/۹۶	۱۰۳۵/۸۰
نانوآهن ۰/۲۵	عدم منیزیم	۷/۳۰	۵/۵۴	۲۱۸/۸۰	۱۷۵۹/۸۷
	نانومنیزیم	۷/۳۶	۷/۳۷	۲۱۹/۰۰	۱۸۰۱/۸۳
	منیزیم معمولی	۸/۷۳	۴/۵۵	۲۲۳/۷۳	۱۵۱۲/۱۸
نانوآهن ۰/۵	عدم منیزیم	۱۰/۰۵	۶/۱۰	۲۳۱/۵۳	۲۲۷۳/۹۸
	نانو منیزیم	۸/۵۶	۶/۰۱	۲۳۱/۷۶	۲۳۲۴/۳۵
	منیزیم معمولی	۷/۹۳	۶/۰۴	۲۲۱/۸۰	۱۶۹۱/۰۹
آهن معمولی ۰/۲۵	عدم منیزیم	۵/۸۵	۷/۵۳	۲۱۲/۷۶	۱۲۷۹/۹۳
	نانومنیزیم	۷/۵۰	۳/۷۲	۲۲۲/۰۶	۱۰۵۶/۵۸
	منیزیم معمولی	۸/۹۶	۳/۹۳	۲۳۵/۳۰	۱۶۳۱/۹۲
آهن معمولی ۰/۵	عدم منیزیم	۷/۸۶	۴/۵۴	۲۲۲/۰۳	۱۲۴۵/۱۴
	نانومنیزیم	۱۲/۷۵	۲/۷۱	۲۴۵/۰۰	۲۳۷۷/۷۳
	منیزیم معمولی	۶/۴۵	۹/۲۹	۱۹۱/۱۰	۹۳۱/۷۹
LSD 5%		۲/۹۶	۲/۷۵	۲۷/۳۸	۴۰۶/۵

جدول پیوست ۳۱- میانگین مربعات شاخص سطح برگ تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم در نمونه‌برداری‌های مختلف

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات شاخص سطح برگ				
		۸۱	۹۵	۱۰۹	۱۲۳	۱۳۷ روز پس از کاشت
تکرار	۲	۰/۰۲۷	۰/۰۲۲	۰/۰۰۵	۰/۰۱۴	۰/۰۰۸
آهن	۴	۰/۱۱۱**	۰/۳۰۵**	۰/۳۱۹**	۰/۱۹۰**	۰/۱۲۵**
منیزیم	۲	۰/۹۱۳**	۰/۳۷۸**	۰/۵۱۹**	۰/۵۱۶**	۰/۸۰۵**
آهن × منیزیم	۸	۰/۱۱۷**	۰/۰۶۸	۰/۶۷۳**	۰/۴۱۹**	۰/۲۰۲**
خطا	۲۸	۰/۰۱۰	۰/۰۵۱	۰/۰۳۰	۰/۰۱۶	۰/۰۲۸
ضریب تغییرات (درصد)		۱۰/۱۵	۱۴/۴۲	۷/۶۶	۷/۴۸	۱۲/۹۶

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح اطمینان ۵ و ۱ درصد

جدول پیوست ۳۲- مقایسه میانگین شاخص سطح برگ (مترمربع در مترمربع) تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم در نمونه‌برداری‌های مختلف

	تیمارها	شاخص سطح برگ (مترمربع در مترمربع)				
		۸۱	۹۵	۱۰۹	۱۲۳	۱۳۷روز پس ازکاشت
آهن	صفر	۰/۸۰ c	۱/۳۶ b	۲/۲۶ a	۱/۷۱ bc	۱/۳۶ ab
	نانو ۰/۲۵ گرم در لیتر	۱/۰۱ ab	۱/۳۷ b	۲/۴۲ a	۱/۷۷ b	۱/۴۴ a
	نانو ۰/۵ گرم در لیتر	۰/۹۸ b	۱/۶۸ a	۱/۹۴ b	۱/۵۹ d	۱/۲۶ bc
	معمولی ۰/۲۵ گرم در لیتر	۱/۱۱ a	۱/۶۴ a	۲/۳۲ a	۱/۹۶ a	۱/۳۵ ab
	معمولی ۰/۵ گرم در لیتر	۱/۰۱ ab	۱/۷۵ a	۲/۳۵ a	۱/۶۳ dc	۱/۱۳ c
	LSD 5%	۰/۰۹۶	۰/۲۱	۰/۱۶	۰/۱۲	۰/۱۶
منیزیم	صفر	۰/۷۰ b	۱/۶۰ a	۲/۱۶ b	۱/۶۱ b	۱/۳۶ b
	نانو ۱ درصد	۱/۱۶ a	۱/۷۰ a	۲/۴۷ a	۲/۱۹ a	۱/۵۱ a
	معمولی ۱ درصد	۱/۰۹ a	۱/۳۹ b	۲/۱۴ b	۱/۴۰ c	۱/۰۵ c
	LSD5%	۰/۰۷	۰/۱۶	۰/۱۲	۰/۰۹	۰/۱۲

حروف غیر مشترک در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد

جدول پیوست ۳۳- مقایسه میانگین شاخص سطح برگ (مترمربع در مترمربع) تحت تاثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی آهن و منیزیم در نمونه‌برداری‌های مختلف

ترکیب تیماری		شاخص سطح برگ (مترمربع در مترمربع)			
آهن (گرم در لیتر)	منیزیم (۱ درصد)	۸۱	۱۰۹	۱۲۳	۱۳۷ روز پس از کاشت
عدم آهن	عدم منیزیم	۰/۷۲	۱/۶۷	۱/۸۸	۱/۶۹
	نانو منیزیم	۰/۸۵	۱/۶۹	۱/۶۵	۱/۱۶
	منیزیم معمولی	۰/۸۵	۲/۴۳	۱/۶۱	۱/۲۲
نانوآهن ۰/۲۵	عدم منیزیم	۰/۷۲	۲/۰۲	۱/۵۴	۱/۳۶
	نانومنیزیم	۱/۳۳	۲/۶۲	۲/۳۴	۱/۹۶
	منیزیم معمولی	۱/۰۰	۲/۶۳	۱/۴۲	۰/۹۹
نانوآهن ۰/۵	عدم منیزیم	۰/۸۰	۲/۱۱	۱/۸۸	۱/۳۹
	نانو منیزیم	۰/۹۷	۲/۲۰	۱/۷۹	۱/۳۸
	منیزیم معمولی	۱/۱۹	۱/۵۲	۱/۰۹	۱/۰۰
آهن معمولی ۰/۲۵	عدم منیزیم	۰/۸۱	۱/۹۳	۱/۵۳	۱/۳۱
	نانومنیزیم	۱/۴۳	۲/۹۰	۲/۶۹	۱/۴۹
	منیزیم معمولی	۱/۰۹	۲/۱۳	۱/۶۶	۱/۲۶
آهن معمولی ۰/۵	عدم منیزیم	۰/۴۶	۲/۱۱	۱/۲۲	۱/۰۴
	نانومنیزیم	۱/۲۴	۲/۹۷	۲/۴۸	۱/۵۶
	منیزیم معمولی	۱/۳۴	۱/۹۹	۱/۲۱	۰/۸۰
LSD 5%		۰/۱۶۷۳	۰/۲۸۹۷	۰/۲۱۱۶	۰/۲۷۹۹

جدول پیوست۳۴- میانگین مربعات پایداری و خسارت غشای پلاسمایی تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		پایداری غشای پلاسمایی	خسارت غشای پلاسمایی
تکرار	۲	۴۶/۳۹	۷/۴۸
آهن	۴	۵۹/۱۷	۹۱/۷۹
منیزیم	۲	۲۲۸/۱۱*	۱۰۳۹/۴۳**
آهن × منیزیم	۸	۹۸/۴۸	۴۶۶/۹۱**
خطا	۲۸	۴۸/۹۴	۹۵/۹۵
ضریب تغییرات (درصد)		۱۲/۲۳	۱۹/۲۷

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول پیوست ۳۵- مقایسه میانگین پایداری و خسارت غشای پلاسمایی (درصد) تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم

	تیمارها	پایداری غشای پلاسمایی (درصد)	خسارت غشای پلاسمایی (درصد)
آهن	صفر	۵۶/۷۷	۵۴/۸۱
	نانو ۰/۲۵ گرم در لیتر	۵۷/۳۹	۴۸/۵۵
	نانو ۰/۵ گرم در لیتر	۶۱/۰۱	۴۸/۰۷
	معمولی ۰/۲۵ گرم در لیتر	۵۳/۸۱	۴۸/۹۴
	معمولی ۰/۵ گرم در لیتر	۵۶/۸۸	۵۳/۷۷
	LSD 5%	۶/۷۵	۹/۴۵
منیزیم	صفر	۵۷ /۱۷ ab	۵۷/۲۴ a
	نانو ۱ درصد	۵۳/۲۷ b	۵۳/۸۲ a
	معمولی ۱ درصد	۶۱/۰۷ a	۴۱/۴۲ b
	LSD 5%	۵/۲۳	۷/۳۲

حروف غیر مشترک در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد

جدول پیوست۳۶- مقایسه میانگین خسارت غشای پلاسمایی (درصد) تحت تاثیر ترکیب‌های تیماری حاصل از محلول‌پاشی آهن و منیزیم

ترکیب تیماری		
آهن (گرم در لیتر)	منیزیم (۱ درصد)	خسارت غشای پلاسمایی (درصد)
عدم آهن	عدم منیزیم	۶۱/۶۶
	نانو منیزیم	۵۷/۲۴
	منیزیم معمولی	۴۵/۵۵
نانوآهن ۰/۲۵	عدم منیزیم	۵۷/۷۳
	نانو منیزیم	۶۰/۰۵
	منیزیم معمولی	۲۷/۸۸
نانوآهن ۰/۵	عدم منیزیم	۵۲/۶۶
	نانو منیزیم	۵۱/۹۱
	منیزیم معمولی	۳۹/۶۳
آهن معمولی ۰/۲۵	عدم منیزیم	۴۸/۳۴
	نانومنیزیم	۶۵/۰۳
	منیزیم معمولی	۳۳/۴۷
آهن معمولی ۰/۵	عدم منیزیم	۶۵/۸۶
	نانومنیزیم	۳۴/۸۶
	منیزیم معمولی	۶۰/۵۸
	LSD 5%	۱۶/۳۸

جدول پیوست ۳۷- میانگین مربعات مقدار عناصر (آهن و منیزیم) در برگ و ساقه تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		آهن برگ	منیزیم برگ	منیزیم ساقه
تکرار	۲	۱۵۰۰/۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
آهن	۴	۱۰۵۱۰/۴۵*	۰/۰۰۹	۰/۰۱۱
منیزیم	۲	۱۳۵۰۷/۸۵*	۰/۰۲۰	۰/۰۳۳*
آهن × منیزیم	۸	۱۶۳۳۷/۹۱**	۰/۰۱۹*	۰/۰۳۱**
خطا	۲۸	۳۷۳۴/۵۰	۰/۰۰۶۵	۰/۰۰۷
ضریب تغییرات (درصد)		۳۲/۴۵	۵/۳۰	۹/۵۱

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول پیوست ۳۸- مقایسه میانگین مقدار آهن برگ (میلی‌گرم برکیلو گرم) و مقدار منیزیم برگ و ساقه (درصد) تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم

	تیمارها	آهن برگ (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	منیزیم برگ (درصد)	منیزیم ساقه (درصد)
آهن	صفر	۱۷۶/۱۷ abc	۱/۵۶	۰/۹۳
	نانو ۰/۲۵ گرم در لیتر	۲۱۲/۵۰ ab	۱/۴۹	۰/۸۷
	نانو ۰/۵ گرم در لیتر	۱۶۹/۳۳ bc	۱/۴۸	۰/۸۴
	معمولی ۰/۲۵ گرم در لیتر	۱۴۹/۵۰ c	۱/۵۳	۰/۹۲
	معمولی ۰/۵ گرم در لیتر	۲۳۳/۸۳ a	۱/۵۴	۰/۸۹
	LSD 5 %	۵۹/۰۱	۰/۰۷۸	۰/۰۸۲
منیزیم	صفر	۱۸۶/۱۰ ab	۱/۴۸	۰/۹۱ a
	نانو ۱ درصد	۱۵۹/۴۰ b	۱/۵۵	۰/۹۲ a
	معمولی ۱ درصد	۲۱۹/۳۰ a	۱/۵۳	۰/۸۴ b
	LSD 5%	۴۵/۷۰	۰/۰۶۰	۰/۰۶۳

حروف غیر مشترک در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد

جدول پیوست ۳۹- مقایسه میانگین مقدار آهن برگ (میلی گرم برکیلو گرم) و مقدار منیزیم برگ و ساقه (درصد) تحت تاثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی آهن و منیزیم

ترکیب تیماری		آهن برگ (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	منیزیم برگ (درصد)	منیزیم ساقه (درصد)
آهن (گرم در لیتر)	منیزیم (۱ درصد)			
عدم آهن	عدم منیزیم	۱۴۶/۵۰	۱/۴۸	۰/۸۹
	نانو منیزیم	۱۷۱/۰۰	۱/۶۲	۱/۰۳
	منیزیم معمولی	۲۱۱/۰۰	۱/۵۸	۰/۸۸
نانوآهن ۰/۲۵	عدم منیزیم	۳۰۸/۵۰	۱/۴۶	۱/۰۱
	نانومنیزیم	۱۴۶/۵۰	۱/۵۵	۰/۸۴
	منیزیم معمولی	۱۸۲/۵۰	۱/۴۸	۰/۷۸
نانوآهن ۰/۵	عدم منیزیم	۱۹۶/۵۰	۱/۴۷	۰/۸۳
	نانو منیزیم	۱۶۳/۵۰	۱/۴۸	۰/۹۲
	منیزیم معمولی	۱۴۸/۰۰	۱/۴۹	۰/۷۷
آهن معمولی ۰/۲۵	عدم منیزیم	۱۴۴/۰۰	۱/۶۰	۱/۰۷
	نانومنیزیم	۱۳۰/۵۰	۱/۵۰	۰/۸۸
	منیزیم معمولی	۱۷۴/۰۰	۱/۴۸	۰/۸۳
آهن معمولی ۰/۵	عدم منیزیم	۱۳۵/۰۰	۱/۳۷	۰/۷۸
	نانومنیزیم	۱۸۵/۵۰	۱/۵۸	۰/۹۶
	منیزیم معمولی	۳۸۱/۰۰	۱/۶۶	۰/۹۴
	LSD 5%	۱۰۲/۲	۰/۱۳۴۸	۰/۱۳۹۹

جدول پیوست ۴۰- میانگین مربعات کلروفیل یک سوم بالای کانوپی تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم در نمونه‌برداری‌های مختلف

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات کلروفیل یک سوم بالای کانوپی			
		۸۵	۹۲	۹۹	۱۰۶ روز پس از کاشت
تکرار	۲	۱۶/۹۱	۰/۷۳	۷/۶۸	۳/۳۸
آهن	۴	۴۰/۵۵	۱۴/۱۸	۱۱/۴۴	۲۰/۴۳
منیزیم	۲	۲/۹۱	۱۵/۵۸	۲۷/۶۴	۵/۷۴
آهن × منیزیم	۸	۳۸/۳۶	۲۱/۳۱	۱۳/۸۵	۱۳/۸۴
خطا	۲۸	۱۷/۷۷	۱۴/۶۰	۹/۱۷	۸/۶۸
ضریب تغییرات (درصد)		۱۰/۵۵	۸/۲۴	۵/۸۷	۵/۸۸

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول پیوست ۴۱- مقایسه میانگین کلروفیل یک سوم بالای کانوپی (واحد اسپد) تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم در نمونه‌برداری‌های مختلف

	تیمارها	کلروفیل یک سوم بالای کانوپی (واحد اسپد)			
		۸۵	۹۲	۹۹	۱۰۶ روز پس از کاشت
آهن	صفر	۳۹/۳۳	۴۵/۱۹	۵۲/۵۵	۴۸/۱۳
	نانو ۰/۲۵ گرم در لیتر	۴۱/۱۳	۴۷/۲۹	۵۲/۱۴	۵۱/۶۹
	نانو ۰/۵ گرم در لیتر	۴۲/۹۱	۴۷/۵۱	۵۲/۳۸	۵۱/۱۶
	معمولی ۰/۲۵ گرم در لیتر	۳۸/۹۷	۴۴/۸۱	۵۰/۹۵	۴۸/۹۱
	معمولی ۰/۵ گرم در لیتر	۳۷/۴۰	۴۶/۹۶	۴۹/۹۱	۵۰/۵۰
	LSD 5%	۴/۰۷	۳/۶۸	۲/۹۲	۲/۸۴
منیزیم	صفر	۳۹/۵۰	۴۵/۳۸	۵۲/۱۰	۴۹/۳۷
	نانو ۱ درصد	۳۹/۹۸	۴۶/۲۷	۵۰/۰۵	۵۰/۴۸
	معمولی ۱ درصد	۴۰/۳۸	۴۷/۴۱	۵۲/۶۱	۵۰/۳۹
	LSD 5%	۳/۱۵	۲/۸۵	۲/۲۶	۲/۲۰

حروف غیر مشترک در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد

جدول پیوست ۴۲- میانگین مربعات کلروفیل یک سوم میانی کانوپی تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم در نمونه‌برداری‌های مختلف

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات کلروفیل یک سوم میانی کانوپی			
		۸۵	۹۲	۹۹	۱۰۶ روز پس از کاشت
تکرار	۲	۱۷/۰۴	۲۰/۰۰	۵/۶۴	۶/۹۳
آهن	۴	۶/۷۱	۱۸/۸۶	۱۵/۸۳	۳۸/۵۵**
منیزیم	۲	۲۵/۸۳*	۰/۹۵	۵/۵۹	۶۶/۸۳**
آهن × منیزیم	۸	۳۴/۴۷**	۲۶/۵۷*	۱۸/۷۱	۱۸/۳۶
خطا	۲۸	۶/۲۷	۱۰/۰۶	۹/۰۴	۸/۲۵
ضریب تغییرات (درصد)		۵/۰۶	۵/۸۴	۵/۳۳	۵/۲۶

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول پیوست ۴۳- مقایسه میانگین کلروفیل یک سوم میانی کانوپی (واحد اسپد) تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم در نمونه‌برداری‌های مختلف

	تیمارها	کلروفیل یک سوم میانی کانوپی (واحد اسپد)			
		۸۵	۹۲	۹۹	۱۰۶ روز پس از کاشت
آهن	صفر	۴۸/۲۶	۵۳/۳۳	۵۵/۱۵	۵۳/۸۸ bc
	نانو ۰/۲۵ گرم در لیتر	۴۹/۴۵	۵۲/۷۸	۵۵/۱۴	۵۵/۸۷ ab
	نانو ۰/۵ گرم در لیتر	۵۰/۵۲	۵۶/۵۰	۵۷/۴۴	۵۶/۸۰ a
	معمولی ۰/۲۵ گرم در لیتر	۴۸/۹۷	۵۴/۷۹	۵۸/۰۳	۵۴/۷۲ ab
	معمولی ۰/۵ گرم در لیتر	۴۹/۹۰	۵۴/۰۱	۵۶/۰۱	۵۱/۴۱ c
	LSD 5%	۲/۴۱	۳/۰۶	۲/۹۰	۲/۷۷
منیزیم	صفر	۴۸/۰۴ b	۵۴/۵۰	۵۶/۸۵	۵۴/۳۳ b
	نانو ۱ درصد	۴۹/۵۶ ab	۵۴/۳۵	۵۵/۶۷	۵۲/۵۴ b
	معمولی ۱ درصد	۵۰/۶۶ a	۵۴/۰۰	۵۶/۵۴	۵۶/۷۵ a
	LSD 5%	۱/۸۷	۲/۳۷	۲/۲۵	۲/۱۵

حروف غیر مشترک در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد

جدول پیوست ۴۴- مقایسه میانگین کلروفیل یک سوم میانی کانوپی (واحد اسپد) تحت تاثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی آهن و منیزیم

ترکیب تیماری		کلروفیل یک سوم میانی کانوپی (واحد اسپد)	
آهن (گرم در لیتر)	منیزیم (۱ درصد)	۸۵	۹۲ روز پس از کاشت
عدم آهن	عدم منیزیم	۴۷/۲۳	۵۳/۲۶
	نانو منیزیم	۵۱/۴۶	۵۴/۵۳
	منیزیم معمولی	۴۶/۱۰	۵۲/۲۰
نانوآهن ۰/۲۵	عدم منیزیم	۵۰/۱۰	۵۲/۸۰
	نانومنیزیم	۴۹/۶۰	۵۲/۳۰
	منیزیم معمولی	۴۸/۶۶	۵۳/۲۶
نانوآهن ۰/۵	عدم منیزیم	۵۰/۱۰	۵۸/۵۳
	نانو منیزیم	۵۱/۲۶	۵۹/۲۶
	منیزیم معمولی	۵۰/۲۰	۵۱/۷۰
آهن معمولی ۰/۲۵	عدم منیزیم	۴۸/۶۵	۵۴/۵۰
	نانومنیزیم	۴۶/۱۶	۵۳/۳۳
	منیزیم معمولی	۵۲/۱۰	۵۶/۵۵
آهن معمولی ۰/۵	عدم منیزیم	۴۴/۱۵	۵۳/۴۰
	نانومنیزیم	۴۹/۳۳	۵۰/۶۰
	منیزیم معمولی	۵۶/۲۳	۵۸/۰۳
	LSD 5%	۴/۱۸۸	۵/۳۰۵

جدول پیوست ۴۵- میانگین مربعات کلروفیل یک سوم پایین کانوپی تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم در نمونه‌برداری‌های مختلف

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات کلروفیل یک سوم پایین کانوپی			
		۸۵	۹۲	۹۹	۱۰۶ روز پس از کاشت
تکرار	۲	۰/۶۳	۶/۰۵	۱/۹۹	۱۰/۹۰
آهن	۴	۷۸/۲۰**	۱۰/۵۸	۱۷/۹۴	۱۹/۴۶
منیزیم	۲	۳/۲۳	۱/۸۳	۴/۹۸	۵۶/۳۹
آهن × منیزیم	۸	۳۷/۴۳**	۲۴/۰۸**	۱۸/۹۶*	۵۲/۸۳
خطا	۲۸	۳/۵۲	۵/۱۷	۶/۹۳	۲۶/۷۵
ضریب تغییرات (درصد)		۴/۱۱	۵/۴۶	۶/۸۸	۱۵/۵۵

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول پیوست ۴۶- مقایسه میانگین کلروفیل یک سوم پایین کانوپی (واحد اسپد) تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم در نمونه‌برداری‌های مختلف

	تیمارها	کلروفیل یک سوم پایین کانوپی (واحد اسپد)			
		۸۵	۹۲	۹۹	۱۰۶ روز پس از کاشت
آهن	صفر	۴۳/۷۴ c	۴۲/۲۱	۳۸/۶۵	۳۵/۴۷
	نانو ۰/۲۵ گرم در لیتر	۴۶/۰۷ b	۴۲/۱۶	۳۶/۴۷	۳۲/۹۲
	نانو ۰/۵ گرم در لیتر	۵۰/۵۳ a	۴۲/۶۲	۴۰/۳۲	۳۲/۶۸
	معمولی ۰/۲۵ گرم در لیتر	۴۳/۷۱ c	۳۹/۹۵	۳۸/۱۵	۳۱/۵۰
	معمولی ۰/۵ گرم در لیتر	۴۳/۸۰ c	۴۱/۱۰	۳۷/۶۳	۳۳/۷۲
	LSD 5%	۱/۸۱	۲/۱۹	۲/۵۴	۴/۹۹
منیزیم	صفر	۴۵/۰۵	۴۱/۵۰	۳۸/۸۹	۳۱/۴۹
	نانو ۱ درصد	۴۵/۷۴	۴۱/۳۳	۳۸/۰۵	۳۲/۹۶
	معمولی ۱ درصد	۴۵/۹۳	۴۲/۰۰	۳۷/۷۹	۳۵/۳۳
	LSD 5%	۱/۴۰	۱/۷۰	۱/۹۷	۳/۸۶

حروف غیر مشترک در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد

جدول پیوست ۴۷- مقایسه میانگین کلروفیل یک سوم پایین کانوپی (واحد اسپد) تحت تاثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی آهن و منیزیم

ترکیب تیماری		کلروفیل یک سوم پایین کانوپی (واحد اسپد)		
آهن (گرم در لیتر)	منیزیم (۱ درصد)	۸۵	۹۲	۹۹ روز پس از کاشت
عدم آهن	عدم منیزیم	۴۴/۶۰	۴۳/۵۰	۳۹/۵۶
	نانو منیزیم	۴۱/۸۴	۴۱/۴۰	۳۹/۴۵
	منیزیم معمولی	۴۴/۸۰	۴۱/۷۵	۳۶/۹۳
نانوآهن ۰/۲۵	عدم منیزیم	۴۴/۳۵	۴۲/۲۵	۳۸/۹۶
	نانومنیزیم	۴۴/۲۶	۴۲/۴۳	۳۶/۵۶
	منیزیم معمولی	۴۹/۶۰	۴۱/۸۰	۳۳/۹۰
نانوآهن ۰/۵	عدم منیزیم	۵۲/۷۵	۴۳/۱۶	۴۱/۶۳
	نانو منیزیم	۵۴/۶۵	۴۵/۹۱	۴۲/۱۳
	منیزیم معمولی	۴۴/۲۰	۳۸/۸۰	۳۷/۲۰
آهن معمولی ۰/۲۵	عدم منیزیم	۴۱/۶۵	۳۸/۳۶	۳۶/۹۳
	نانومنیزیم	۴۴/۶۰	۳۸/۹۳	۳۶/۷۶
	منیزیم معمولی	۴۴/۹۰	۴۲/۵۶	۴۰/۷۶
آهن معمولی ۰/۵	عدم منیزیم	۴۱/۹۰	۴۰/۲۳	۳۷/۳۸
	نانومنیزیم	۴۳/۳۵	۳۷/۹۶	۳۵/۳۶
	منیزیم معمولی	۴۶/۱۶	۴۵/۱۰	۴۰/۱۶
	LSD 5%	۳/۱۳۸	۳/۸۰۳	۴/۴۰۳

جدول پیوست ۴۸- میانگین مربعات کلروفیل کل کانوپی تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم در نمونه‌برداری‌های مختلف

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات کلروفیل کل کانوپی			
		۸۵	۹۲	۹۹	۱۰۶ روز پس از کاشت
تکرار	۲	۰/۰۱	۰/۳۶	۲/۰۱	۰/۶۲
آهن	۴	۳۰/۷۰**	۷/۱۸	۷/۲۱	۴/۴۳
منیزیم	۲	۸/۱۱	۲/۸۸	۹/۶۱	۱۹/۴۶**
آهن × منیزیم	۸	۲۱/۶۷	۱۲/۷۷*	۹/۳۱*	۳۸/۴۶*
خطا	۲۸	۴/۲۸	۴/۵۰	۳/۴۵	۳/۲۰
ضریب تغییرات (درصد)		۴/۶۰	۴/۴۷	۳/۸۰	۳/۸۷

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول پیوست ۴۹- مقایسه میانگین کلروفیل کل کانوپی (واحد اسپد) تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم در نمونه‌برداری‌های مختلف

	تیمارها	کلروفیل کل کانوپی (واحد اسپد)			
		۸۵	۹۲	۹۹	۱۰۶ روز پس از کاشت
آهن	صفر	۴۳/۷۸ b	۴۶/۹۱	۴۹/۰۱	۴۵/۸۳
	نانو ۰/۲۵ گرم در لیتر	۴۵/۵۵ b	۴۷/۴۱	۴۸/۰۱	۴۶/۸۳
	نانو ۰/۵ گرم در لیتر	۴۷/۹۹ a	۴۸/۸۷	۵۰/۰۵	۴۶/۸۸
	معمولی ۰/۲۵ گرم در لیتر	۴۳/۸۹ b	۴۶/۵۲	۴۹/۰۷	۴۶/۲۴
	معمولی ۰/۵ گرم در لیتر	۴۳/۷۰ b	۴۷/۳۵	۴۷/۸۵	۴۵/۲۱
	LSD 5%	۱/۹۹	۲/۰۴	۱/۷۹	۱/۷۲
منیزیم	صفر	۴۴/۱۹	۴۷/۱۲	۴۹/۴۹	۴۵/۷۸ b
	نانو ۱ درصد	۴۵/۰۹	۴۷/۲۰	۴۷/۹۲	۴۵/۳۳ b
	معمولی ۱ درصد	۴۵/۶۵	۴۷/۹۲	۴۸/۹۸	۴۷/۴۹ a
	LSD 5%	۱/۵۴	۱/۵۸	۱/۳۸	۱/۳۳

حروف غیر مشترک در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد

جدول پیوست ۵۰- مقایسه میانگین کلروفیل میانگین کل کانوپی (واحد اسپد) تحت تاثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی آهن و منیزیم

ترکیب تیماری		کلروفیل میانگین کل کانوپی (واحد اسپد)		
آهن (گرم در لیتر)	منیزیم (درصد)	۹۲	۹۹	۱۰۶ روز پس از کاشت
عدم آهن	عدم منیزیم	۴۵/۵۵	۴۹/۲۲	۴۶/۶۹
	نانو منیزیم	۴۸/۰۳	۴۹/۱۲	۴۵/۱۱
	منیزیم معمولی	۴۷/۱۵	۴۸/۷۰	۴۵/۶۹
نانوآهن ۰/۲۵	عدم منیزیم	۴۷/۵۵	۴۹/۸۹	۴۸/۳۵
	نانومنیزیم	۴۶/۳۲	۴۶/۴۹	۴۵/۸۰
	منیزیم معمولی	۴۸/۳۶	۴۷/۶۵	۴۶/۳۴
نانوآهن ۰/۵	عدم منیزیم	۵۰/۰۷	۵۱/۱۱	۴۳/۸۶
	نانو منیزیم	۵۰/۷۱	۵۱/۱۵	۴۷/۰۷
	منیزیم معمولی	۴۵/۸۴	۴۷/۸۸	۴۹/۷۰
آهن معمولی ۰/۲۵	عدم منیزیم	۴۶/۲۰	۴۹/۲۶	۴۵/۵۴
	نانومنیزیم	۴۵/۴۳	۴۷/۸۵	۴۵/۳۹
	منیزیم معمولی	۴۷/۹۲	۵۰/۱۱	۴۷/۷۹
آهن معمولی ۰/۵	عدم منیزیم	۴۶/۲۵	۴۷/۹۸	۴۴/۴۶
	نانومنیزیم	۴۵/۵۰	۴۵/۰۱	۴۳/۲۶
	منیزیم معمولی	۵۰/۳۲	۵۰/۵۶	۴۷/۹۱
	LSD 5%	۳/۵۴۸	۳/۱۰۷	۲/۹۹۲

جدول پیوست ۵۱- میانگین مربعات پروتئین دانه تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات پروتئین دانه
تکرار	۲	۲/۹۹
آهن	۴	۸/۰۸**
منیزیم	۲	۸/۱۰
آهن × منیزیم	۸	۱/۳۴
خطا	۲۸	۱/۷۲
ضریب تغییرات (درصد)		۶/۱۵

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول پیوست ۵۲- مقایسه میانگین پروتئین دانه (درصد) تحت تاثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم

	تیمارها	پروتئین دانه (درصد)
آهن	صفر	۲۱/۵۱ ab
	نانو ۰/۲۵ گرم در لیتر	۲۲/۳۵ a
	نانو ۰/۵ گرم در لیتر	۲۲/۱۰ a
	معمولی ۰/۲۵ گرم در لیتر	۲۰/۳۸ b
	معمولی ۰/۵ گرم در لیتر	۲۰/۳۱ b
	LSD 5%	۱/۲۶
منیزیم	صفر	۲۱/۶۷
	نانو ۱ درصد	۲۰/۴۹
	معمولی ۱ درصد	۲۱/۸۴
	LSD 5%	۰/۹۸

حروف غیر مشترک در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد

Abstract

Micronutrient deficiency reduces yield and quality of plants and endanger human health and the herbivores. Amongst which, iron (Fe) and magnesium (Mg) are essential elements in photosynthesis and activity of many enzymes. They also involve in protein and RNA synthesis. Accordingly, A field trial was performed for the analysis of some morphological and physiological traits of black eyed pea (*Vigna sinensis* L.) following the foliar application of Mg and Fe. Factorial experiments on the basis of completely randomized block design with three replications were carried out for both iron (0, 0.25 and 0.5 gram per liter of nano - Fe and Fe) and magnesium (0 and 1% w/v of nano - Mg and Mg). Foliar application of the elements was carried out twice (57 and 74 days post sowing date). Results showed that morphological characteristics such as dry weight of leaves, stems, seeds and pods, stem height, stem diameter, number of leaf, number of lateral branches, pod length and the distance of first pod from ground was affected by foliar applications of iron and magnesium per plant. The highest yield resulted from the application of Fe (0.5 g/l) × nano - Mg with mean of 2377.73 kg/h, while the lowest values were for the nano - Mg (792/55 kg/h). Number of pods per plant and seed weight were the main factors influencing. The incline of yield upon the treatmeant with 0.5 g/l Fe + nano - Mg. Whereas, amongst the yield components, number of seeds per pod were the highest when Fe + Mg applied. Once Fe applied, treating the plants with magnesium reduced plasma membrane damage and increased chlorophyll level till growth mid season. Seed protein content increased about 22.35 percent through application of nano Fe. In summary, foliar application of nano - Fe + Mg had the greater effect in compartion to other treatments.

Keywords: *Vigna sinensis,* nano iron, nano magnesium, morphological and physiological traits

Shahroud University Of Technology

Faculty Of Agronomy Science

Thesis M.Sc

Effect of nano particles iron and magnesium foliar application on some morphological and physiological traits in *Vigna sinensis* L.

Maryam Delfani

Supervisors

Dr. Mehdi Baradaran Firouzabadi

Dr. Hasan Makarian

Advisors

Dr. Naser Farokhi

Eng. Hamideh Khalaj

January 2012