تأثیر محلول‌پاشی کود نانو کلات آهن و منیزیم بر رشد و عملکرد دانه لوبیا چشم بلبلی (*Vigna sinensis* L.)

حمیده خلج[1*]، مهدی برادران فیروزآبادی[2] و مریم دلفانی[1]

[1] دانشکده کشاورزی، دانشگاه پیام‌نور ایران، تهران، [2] گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، [3] گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰٦/۲۵، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۷/۱۱/۲٤)

چکیده

جهت بررسی تأثیر محلول‌پاشی کود نانو کلات آهن و منیزیم بر رشد و عملکرد دانه لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna sinensis* L.) آزمایشی در سال ۹۰-۱۳۸۹ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی شاهرود اجرا شد. آزمایش در قالب فاکتوریل با طرح پایه بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل پنج سطح آهن (صفر، ۰/۲۵، ۰/۵گرم در لیتر از نانو ذره و ۰/۲۵ و ۰/۵ گرم در لیتر آهن معمولی) به‌عنوان فاکتور اول و محلول‌پاشی منیزیم شامل سه سطح (صفر، غلظت ۱ درصد از نانو ذره و همین غلظت از منیزیم معمولی) به‌عنوان فاکتور دوم بودند. صفات ارتفاع ساقه، تعداد انشعابات جانبی، فاصله اولین غلاف از سطح خاک، طول غلاف، شاخص سطح برگ، عملکرد و اجزای عملکرد، شاخص سبزینگی، عناصر آهن و منیزیم برگ و پروتئین دانه مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد اثر متقابل سطوح مختلف آهن و منیزیم در تمام صفات ذکرشده بجز پروتئین دانه معنی‌دار بود. بیشترین ارتفاع ساقه، فاصله اولین غلاف از سطح خاک و شاخص سطح برگ در ترکیب تیماری نانو آهن ۰/۲۵ گرم در لیتر و نانو منیزیم ۱ درصد مشاهده گردید. ترکیب تیماری آهن معمولی ۰/۲۵ گرم در لیتر و نانو منیزیم با تعداد ۵/٤٦ انشعاب در بوته بیشترین تعداد انشعاب جانبی و طول غلاف (۱٦/۵٦ سانتی‌متر) را داشتند. صفات شاخص سبزینگی و مقدار عناصر آهن و منیزیم برگ، در تیمار آهن ۰/۵ گرم در لیتر به هر دو فرم نانو و معمولی همراه با تیمار منیزیم معمولی بالاترین کارایی را دارا بودند. بیشترین میزان پروتئین دانه (۲۲/۳۵ درصد) با کاربرد نانو آهن ۰/۲۵ گرم در لیتر به‌تنهایی ایجاد گردید. هم‌چنین 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 به‌تنهایی با میانگینی معادل ۷۹۲/۵۵ کیلوگرم در لیتر مشاهده گردید. یکی از دلایل افزایش مشاهده‌شده در عملکرد در ترکیب تیماری آهن معمولی ۰/۵ گرم در لیتر و نانو منیزیم افزایش تعداد غلاف در بوته و وزن هزار دانه بود. از بین اجزای عملکرد، تعداد دانه در غلاف در همین سطح از آهن و منیزیم معمولی بیشترین مقدار را دارا بود. به‌نظر می‌رسد که در تمام صفات موفولوژیک و فیزیولوژیک شاخص سطح برگ ذکرشده در این آزمایش تیمار آهن ۰/۲۵ گرم در لیتر (به هر دو فرم نانو و معمولی) همراه با تیمار نانو منیزیم برتری خود را ثابت کرد. درحالیکه در صفات عملکرد و سایر صفات فیزیولوژیک تیمارهای آهن ۰/۵ گرم در لیتر (به هر دو فرم نانو و معمولی) همراه با منیزیم معمولی برتری داشتند.

کلمات کلیدی: لوبیا چشم‌بلبلی، نانو کلات، عملکرد و اجزای عملکرد، شاخص سبزینگی و پروتئین دانه

[*]نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: hamideh_6285@yahoo.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.8.9]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.8.9] [Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

مقدمه

لوبیا چشم‌بلبلی یک لگوم تابستانه، سه کربنه (C_3) از جمله حبوباتی است که در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری به‌عنوان منبع تغذیه‌ای مهمی به‌شمار می‌آید (جوکار و همکاران، ۱۳۹٤). همزیستی ریشه آنها با باکتری‌های تثبت‌کننده نیتروژن است که در حاصلخیزی خاک مؤثر است. لوبیا به‌دلیل درصد پروتئین زیاد و سایر ویژگی‌های مطلوب زراعی، بیشترین سطح زیر کشت را به خود اختصاص داده است (Moosavi and Ronaghi, 2011).

کاربرد نانو کودها برای تغذیه گیاهان یکی از مهم‌ترین کابردهای فناوری نانو در زمینه‌ها و گرایش‌های مختلف کشاورزی در بخش آب و خاک است (سابکی و همکاران، ۱۳۹٦). نانو کودها مؤثرترین و در عین حال مستقل‌ترین شیوه به‌منظور کاهش تلفات عناصر غذایی و افزایش کارایی مصرف کودها هستند (Chinnamuthu and Boopathi, 2009). کودهایی که به‌صورت محلول‌پاشی بر اندام هوایی به‌کار می‌روند، عموماً به‌منظور فراهم‌نمودن سریع عناصر غذایی برای گیاه مورد استفاده قرار می‌گیرند. به‌کارگیری نانو کودها در این شرایط به‌دلیل برخورداری از راندمان بالاتر جذب عناصر نسبت به کودهای مرسوم، مؤثرتر هستند (Wurth, 2007).

محلول‌پاشی آهن و منیزیم روی شاخ و برگ گیاهان از طریق تأثیر بر کلروفیل و فتوسنتز گیاه منجر به افزایش عملکرد می‌شود (Mallick *et al*., 2010). زمانیکه نانو ذرات در سطح برگ استفاده می‌شوند، از طریق منافذ روزنه یا از طریق کرک‌های موجود در سطح برگ وارد و سپس به بافت‌های مختلف منتقل می‌شوند (Uzu *et al*., 2010). در برخی تحقیقات ذکر شده است که کاربرد نانو ذرات آهن به‌خاطر حلالیت، جذب بهتر و اثرات مخرب کمتر در رنگ مواد غذایی) شاید برای غنی‌سازی مواد غذایی مناسب‌تر باشند، با این حال برای افزایش پایداری می‌توان آنها را در کنار منیزیم یا کلسیم استفاده کرد (Cha and Chinnan, 2004). کاربرد کودهای آهن و آهن نانو در گیاه ریحان سبب افزایش کلروفیل کل نسبت به تیمار شاهد گردید (پیوندی و همکاران، ۱۳۹۰). بالاترین تعداد شاخه فرعی و تعداد غلاف در بوته در اثر متقابل لاین ILC482 نخود دیم در سطح ۳ هزار محلول‌پاشی نانو کود کلات آهن حاصل شد (میر و همکاران، ۱۳۹۵). محلول‌پاشی نانو کلات آهن موجب افزایش معنی‌داری در ارتفاع بوته گیاه عدس گردید (ندری و همکاران، ۱۳۹۱). محلول‌پاشی عنصر ریزمغذی آهن موجب افزایش ارتفاع ساقه گیاه ذرت گردید (Whitty and Chambliss, 2005). محلول‌پاشی با تیمار ۰/۷۵ گرم در لیتر نانو اکسید آهن در گیاه سویا سبب افزایش مثبت و معنی‌داری بر میزان عناصر معدنی (آهن، منیزیم، کلسیم و فسفر) در مقایسه با شاهد شد (Sheykhbaglou, 2012). محلول‌پاشی نانو ذره اکسید منیزیم با غلظت ۰/۰۳ درصد در گیاه یونجه باعث بیشترین عملکرد دانه گردید (آذربرا، ۱۳۹٦). محلول‌پاشی منیزیم در گیاه ذرت باعث افزایش ارتفاع ساقه گردید (Ashraf and Qaiser, 2004). کاربرد کودهای منیزیم‌دار، به‌خصوص اکسید منیزیم در گیاه ذرت باعث افزایش غلظت این عنصر در بافت‌های گیاهی شد به‌طوریکه غلظت منیزیم در برگ بیش از ۱۰۰ درصد افزایش یافت (Boskovic-Rakocevic, 2004). کاربرد عناصر ماکرو میکرو (نیتروژن، فسفر، پتاسیم، بور، روی و منیزیم) در گیاه ذرت علاوه بر تأثیر بر اجزای عملکرد، میزان تجمع ماده خشک و شاخص سطح برگ را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد (نوابی و ملکوتی، ۱۳۸۱). محلول‌پاشی منیزیم همراه با عناصر ریزمغذی بور، مولیبدن و منگنز در ابتدای گلدهی لوبیا سبب افزایش عملکرد دانه، وزن هزار دانه و تعداد غلاف در بوته شد (Ziolek *et al*., 1992).

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 نانو ذرات اکسیدی می‌تواند موجب کارآیی بهتر و مؤثرتر این عناصر و نیز کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی از طریق استفاده کمتر از کودها گردد و درنهایت از لحاظ اقتصاد کشاورزی مقرون به‌صرفه باشد. هدف از اجرای این تحقیق، بررسی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.8.9]

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش (عمق صفر تا ٦٠ سانتی‌متر)

بافت	شن	سیلت	رس	کربن آلی	پتاسیم	اسیدیته	شوری	نیتروژن	فسفر
	٪					pH	($dS.m^{-1}$)	ppm	
سیلتی- شنی	۳۲	٤٤	۲۲	۰/۷۹	۱٤۳	۷/۸۹	۰/۲٦	۰/۰۵۷	۱٤

تفاوت بین ذرات نانو و ذرات معمولی آهن و منیزیم در غلظت‌های مختلف و محلول‌پاشی توأم آهن و منیزیم بر برخی خصوصیات مورفولوژیکی و عملکرد دانه لوبیا چشم‌بلبلی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش درسال زراعی ۱۳۸۹ در مزرعه آموزشی دانشکده کشاورزی (بسطام) دانشگاه صنعتی شاهرود واقع در عرض جغرافیایی ۳٦ درجه و ۲۵ دقیقه شرقی و ٥٤ درجه و ۵۷ دقیقه شمالی در ارتفاع ۱۳٤۹/۹ متر از سطح دریا به‌اجرا در آمد. آب و هوای منطقه دارای اقلیم سرد و خشک و متوسط بارندگی (۱۵۰ میلی‌متر) در سال و با پراکنش نامظم است. تجزیه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در عمق صفر تا ٦٠ سانتی‌متر در جدول ۱ آمده است.

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار بود. تیمارها شامل پنج سطح محلول‌پاشی آهن (صفر و دو غلظت ۰/۲۵ و ۰/۵گرم در لیتر از نانو ذره و ۰/۲۵ و ۰/۵ گرم در لیتر آهن معمولی) به‌عنوان فاکتور اول و منیزیم به دو شکل نانو ذره و معمولی شامل بر سه سطح (صفر، غلظت ۱درصد از نانو ذره و همین غلظت از منیزیم معمولی) به‌عنوان فاکتور دوم بودند. در این آزمایش از دو نوع کود نانو اکسید آهن (Fe_2O_3) و منیزیم (MgO) خریداری‌شده از شرکت نانو پارس لیما و اکسید آهن و منیزیم معمولی مرک آلمان (Merck) استفاده گردید. در مجموع ٤۵ کرت آزمایشی در نظر گرفته شد که هر کدام شامل ٤ ردیف کاشت به طول ۳ متر و با فواصل ۰/٦ متر از یکدیگر بود. فاصله بذور روی ردیف‌ها ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. آبیاری کرت‌ها هر ۷ روز یک‌بار به‌طور منظم انجام شد. طی دو نوبت به‌ترتیب ٥٦ و ۷۲ روز پس از کاشت در هنگام صبح و در شرایط بدون وزش باد اقدام به محلول‌پاشی آهن و منیزیم شد. یک هفته بعد از محلول‌پاشی دوم نمونه‌برداری انجام گردید. نمونه‌برداری‌ها با فواصل ۱٤ روز یک‌بار در طی فصل رشد پس از حذف حاشیه انجام گرفت و صفات مورد نظر اندازه‌گیری شدند. در این بررسی صفات ارتفاع ساقه، تعداد انشعابات جانبی، فاصله اولین غلاف از سطح خاک و شاخص سطح برگ در ۱۳۷ روز پس از کاشت و عملکرد و اجزای عملکرد، طول غلاف، غلظت عناصر آهن و منیزیم برگ و پروتئین در ۱۵۱ روز پس از کاشت مورد بررسی قرار گرفتند، زمان‌های نمونه‌برداری با توجه به رشد نامحدودبودن گیاه و شبیه‌ترین مرحله مورفولوژیکی به مرحله برداشت گیاه انتخاب شدند.

انشعابات جانبی: جهت اندازه‌گیری تعداد انشعابات جانبی، هر انشعابی که دارای برگ، گل و یا غلاف بود، در نظر گرفته شد.

عملکرد و اجزای عملکرد: از هر کرت آزمایشی ۱۰ بوته با در نظرگرفتن حاشیه و به‌منظور تعیین عملکرد نهایی برداشت گردید. مساحت اشغال‌شده توسط این ۱۰ بوته محاسبه و عملکرد نهایی برحسب متر مربع برآورد گردید. اجزای عملکرد در گیاه لوبیا چشم‌بلبلی شامل تعداد غلاف در گیاه، تعداد دانه در هر غلاف و وزن هزار دانه هستند (پارسا و باقری، ۱۳۸۷).

شاخص سطح برگ (Index Leaf Area): در هر بار نمونه‌برداری، سطح برگ تعداد ۵ بوته برگ گیاه توسط دستگاه دستگاه دیجیتالی لیفریامتر مدل (CI-203-2.10-05049- CID,Inc. Area Meter –made in USA) اندازه‌گیری شد و سپس شاخص سطح برگ از فرمول زیر محاسبه گردید (کوچکی و سرمدنیا، ۱۳۸٤).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.8.9]

$$LAI = \frac{LA}{GA}$$

شاخص سبزینگی: جهت اندازه‌گیری کلروفیل در ۱۰۶ روز پس از کاشت (بهترین زمان نمونه‌گیری به‌دلیل تشابه خصوصیات مورفولوژیکی با مرحله برداشت گیاه) از دستگاه اسپد (Hiscox and Israelstam, 1978) استفاده شد که 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.

غلظت عناصر آهن و منیزیم اندام‌های هوایی: مقدار عنصر آهن در برگ و عنصر منیزیم در برگ و ساقه در ۷ روز پس از محلول‌پاشی با دستگاه ICP (Inductively Coupled Plasma) (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 به‌تدریج (۵ درجه در دقیقه) افزایش یافت تا به ۵۰۰ درجه رسید و سپس خارج‌شده و به آن ۱۰ میلی‌لیتر کلریدریک اسید ۲۰ درصد اضافه گردید. نمونه درون حمام بخار قرار گرفت تا مایع تبخیر گردد سپس با کاغذ صافی واتمن ٤٢ صاف شد. در مرحله بعد با آب‌مقطر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد، سپس با دستگاه ICP خوانده شد.

پروتئین دانه: اندازه‌گیری پروتئین دانه به روش کجلدال انجام شد (AOAC, 2000)، ۱ گرم از بافت خوب پودر شده به بالن‌های مخصوص کجلدال منتقل گردید. برای عمل هضم ۲۰ میلی‌لیتر سولفوریک اسید غلیظ و سپس ۷ گرم سدیم سولفات و ۱ گرم مس سولفات (به‌عنوان کاتالیزور) اضافه گردید. مخلوط حاصل تا بی‌رنگ‌شدن حرارت داده شد. عمل تقطیر توسط دستگاه نیمه‌اتوماتیک کجلدال مدل Gerhard شش کاناله ساخت شرکت WPI20S کشور آلمان انجام شد. تیتراسیون با استفاده از هیدروکلریک اسید ۰/۱ نرمال به‌صورت دستی انجام شد. آمونیوم بورات حاصل از مرحله تقطیر توسط این اسید تیتر گردید. حجم اسید مصرف‌شده برای رسیدن به رنگ ارغوانی در رابطه زیر قرار گرفت تا درصد نیتروژن حاصل گردد سپس از طریق ضریب تبدیل پروتئین در گیاه لوبیا چشم‌بلبلی که ٦/٢٥ است، درصد پروتئین به‌دست آمد.

وزن نمونه (گرم) / (A × ۰/۱٤) = درصد نیتروژن

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

فاکتور پروتئینی × درصد نیتروژن = درصد پروتئین

تجزیه واریانس داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در محیط نرم‌افزار SAS (Version 9.1) و نمودارها در محیط نرم افزار Excel رسم گردید.

نتایج و بحث

اثر سطوح مختلف آهن و منیزیم بر صفات اکومورفولوژیک

لوبیا چشم‌بلبلی: نتایج نشان داد که کاربرد آهن و منیزیم تأثیر مثبتی بر صفات اکومورفولوژیک مورد بررسی داشت اما فقط کاربرد آهن بر میزان پروتئین موجود در دانه لوبیا چشم‌بلبلی معنی‌دار بود (جدول ۲).

ارتفاع ساقه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کاربرد منیزیم (در سطح یک درصد) کاربرد توأم کود آهن × منیزیم (در سطح پنج درصد) بر ارتفاع لوبیا چشم‌بلبلی معنی‌دار بود (جدول ۲). در شکل ۱ اثر ترکیبات تیماری حاصل از آهن و منیزیم بر ارتفاع ساقه در ۱۳۷ روز پس از کاشت نشان داده شده است. مقایسه میانگین تیمارهای مختلف نشان داد، بیشترین ارتفاع ساقه با میانگینی معادل ۱۰۳ سانتی‌متر از ترکیب تیماری نانو آهن ۰/۲۵ گرم در لیتر × نانو منیزیم به‌دست آمد. در سایر سطوح تیماری آهن (بجز تیمار نانو آهن ۰/۵ گرم در لیتر) نیز کاربرد آهن × نانو منیزیم سبب افزایش معنی‌دار طول ساقه گردید. در تیمار نانو آهن ۰/۵ گرم در لیتر × عدم‌کاربرد منیزیم ارتفاع ساقه به ۷۸/۱٤ سانتی‌متر رسید و مانند دیگر تیمارهای عدم‌کاربرد منیزیم، کاهش شدید ارتفاع را نشان نداد. علت این امر ممکن است مربوط به افزایش تأثیر نانو کلات آهن و جبران کاهش اثرات منیزیم باشد. در صورت عدم‌کاربرد منیزیم (بجز تیمار آهن ۰/۵ گرم در لیتر) ارتفاع ساقه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و کم‌ترین طول ساقه از ترکیب تیماری آهن معمولی ۰/۵ گرم در لیتر × عدم‌مصرف

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.8.9]

جدول ۲- تجزیه واریانس برخی صفات اکومورفولوژیک تحت تأثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع ساقه	تعداد انشعابات جانبی	فاصله‌ی اولین غلاف از سطح زمین	طول غلاف	تعداد غلاف در بوته	تعداد دانه در غلاف	وزن هزار دانه
تکرار	۲	۷۸/۹٦ ns	۰/۰۰۸ ns	۲۷/۱۹ ns	۰/۳۱ ns	۰/۳۰۲ ns	۲/۱۵ ns	۲۵٤/۱۹ ns
آهن	٤	۱۰۳/۹۰ ns	۰/۵۲۵ ns	۱۵۷/۲٦**	٤/۵۲**	٦/۵۵ ns	٦/۳۷ ns	۳۰۸/۷٤ ns
منیزیم	۲	۱٦۸٦/٦٤**	۰/۲۹۸ ns	۱۱۳۷/۹٦**	۳/۰٤*	۲/۷۸ ns	۳/۱٦ ns	۱۳۰/۸۳ ns
آهن × منیزیم	۸	۳۹۵/٦٦*	۱/٦٤۹**	۱۵۳/۰۸**	۲/۱۱*	۱۱/۸۷**	۱۲/۸٦**	۷۰۲/٤۳*
خطا	۲۸	۱٤٤/٤۱	۰/۲۵۲	۲٤/۱٤	۰/۷۸	۳/۱۵	۲/۷۲	۲٦۷/۹۲
ضریب تغییرات		۱۵/۹۳	۱۰/۷٤	۱۲/۰۲	۵/۸۰	۲۲/۰۷	۳۱/۲۹	۷/٤۱

***، ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و ns بدون تفاوت معنی دار**

ادامه جدول ۲-

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد	سطح برگ	کلروفیل کل	آهن برگ	منیزیم برگ	پروتئین
تکرار	۲	۲٤٦۷٦۵/۵٦ ns	۰/۰۰۸ ns	۰/٦۲ ns	۱۵۰۰/۰۰ ns	۰/۰۰۱ ns	۲/۹۹ ns
آهن	٤	۱۵۰۵۷۰/۳۱**	۰/۱۲۵**	٤/٤۳ ns	۱۰۵۱۰/٤۵*	۰/۰۰۹ ns	۸/۰۸**
منیزیم	۲	۳٦٦۱٦۱/٦۹**	۰/۸۰۵**	۱۹/٤٦**	۱۳۵۰۷/۸۵*	۰/۰۲۰ ns	۸/۱۰ ns
آهن × منیزیم	۸	۵٤۳٦۸۳/٤۷**	۰/۲۰۲**	۳۸/٤٦*	۱٦۳۳۷/۹۱**	۰/۰۱۹*	۱/۳٤ ns
خطا	۲۸	۵۹۰۷۳/۲۸	۰/۰۲۸	۳/۲۰	۳۷۳٤/۵۰	۰/۰۰٦۵	۱/۷۲
ضریب تغییرات		۱۵/۹۱	۱۲/۹٦	۳/۸۷	۳۲/٤۵	۵/۳۰	٦/۱۵

***، ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و ns بدون تفاوت معنی دار**

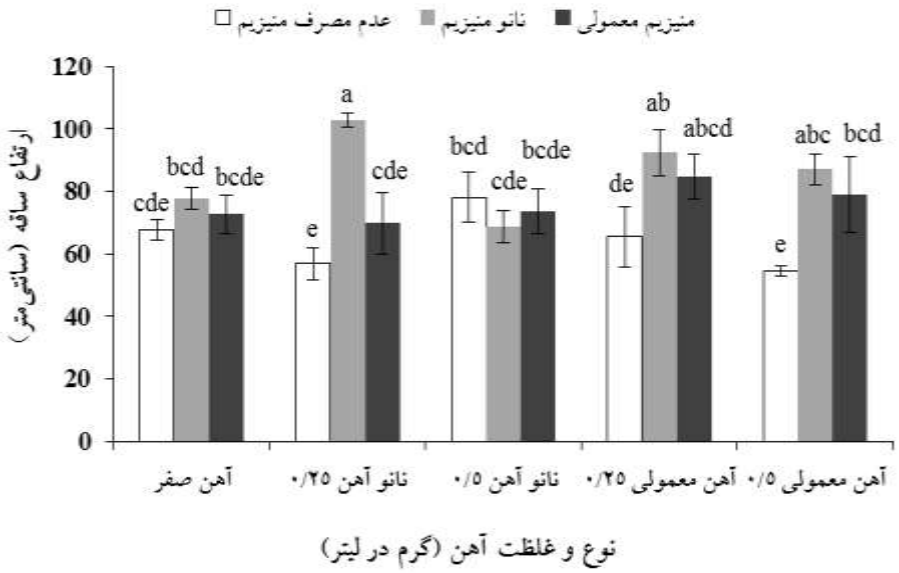
منیزیم (۵٤/۵۰ سانتی‌متر) به‌دست آمد (شکل ۱) .

عنصر آهن نقش اساسی در تعداد گرانای کلروپلاست دارد، در اثر کمبود آهن اندازه کلروپلاست کاهش می‌یابد و درنهایت در اثر کاهش فرآورده‌های فتوسنتزی منجر به کاهش ارتفاع گیاه می‌شود (Sommer, 1995). اهمیت کاربرد نانو کلات آهن بر ارتفاع ساقه در تحقیقات زوار (۱۳۹۵) در گیاه دارویی به‌لیمو و میر و همکاران (۱۳۹۵) در رقم‌های آزاد و هاشم نخود گزارش شده است. منیزیم سولفات، جذب نیتروژن توسط ریشه را افزایش می‌دهد و نیتروژن موجب افزایش ارتفاع گیاه و رشد اندام‌های هوایی می‌شود (Choudhury and Khanif, 2001). نتایج تحقیق De Olivira (۲۰۰۰) نیز مشابه تحقیق حاضر نشان‌دهنده افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته، سطح برگ و وزن خشک لوبیای معمولی درنتیجه کاربرد منیزیم سولفات بود.

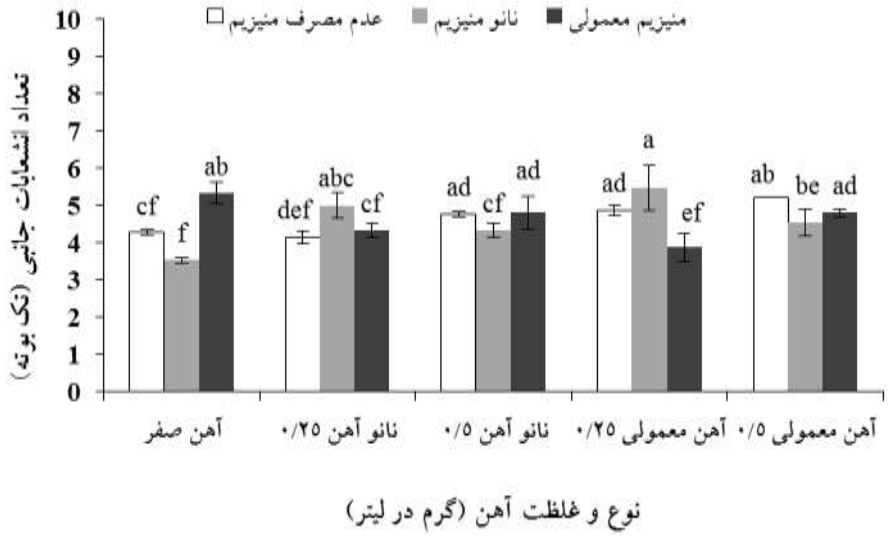
تعداد انشعابات جانبی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کاربرد توأم کود آهن × منیزیم (در سطح یک درصد) بر تعداد انشعابات جانبی لوبیا چشم‌بلبلی معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین تیمارهای مختلف نشان داد، بیشترین تعداد انشعابات جانبی (۵/٤٦) در گیاهانی مشاهده شد که تیمارهای آهن معمولی ۰/۲۵ گرم در لیتر و نانو منیزیم را به‌طور همزمان دریافت کرده بودند (شکل ۲). البته بین این ترکیب تیماری با بسیاری از ترکیبات تیماری دیگر اختلاف معنی‌داری وجود

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.8.9]



شکل ۱- مقایسه میانگین ارتفاع ساقه در ۱۳۷ روز پس از کاشت تحت تأثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم. بارهای روی میله‌ها SE ± است. حروف مشابه عدم‌تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار را نشان می‌دهد.



شکل ۲- مقایسه میانگین تعداد انشعابات جانبی در ۱۳۷ روز پس از کاشت تحت تأثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم. بارهای روی میله‌ها SE ± است. **حروف مشابه عدم‌تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار را نشان می‌دهد.**

نداشت. تعداد شاخه در گیاه در گونه‌های مختلف حبوبات متفاوت است و به‌عنوان یک معیار مهم برای عملکرد دانه محسوب می‌شود. شاخه‌دهی در گیاه به‌شدت تحت تأثیر 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 مقابل گیاهانی که فقط تیمار نانو منیزیم را دریافت کرده بودند با میانگین ۳/۵۳ انشعاب فرعی در بوته کمترین میزان انشعاب فرعی را دارا بودند. این در حالی است که وقتی منیزیم معمولی به‌تنهایی محلول‌پاشی گردید، تعداد انشعابات به بیشتر از ۵ انشعاب در بوته رسید (شکل ۲). پایین‌بودن تعداد انشعابات فرعی در شرایطی که نانو منیزیم به‌تنهایی استفاده

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.8.9]

گردید حاکی از اهمیت بالای حضور آهن برای تأثیرگذاری نانو منیزیم بر انشعابات فرعی در این گیاه است. طی آزمایشی دیگر در مورد کاربرد عناصر غذایی کم‌مصرف (آهن، روی و بر) در گیاه گلرنگ بیشترین عملکرد دانه و تعداد شاخه‌های فرعی مربوط به تیمار آهن بود (کمرکی و گلوی، ۱۳۸۵)، که تأییدکننده نتایج تحقیق حاضر است. به‌طور کلی در غلظت بالای آهن (۰/۵ گرم در لیتر) به هر دو شکل نانو و معمولی، محلول‌پاشی با هر دو فرم منیزیم تعداد انشعاب را نسبت به شرایط عدم‌مصرف منیزیم به‌طور معنی‌داری کاهش داد. در حالیکه وقتی غلظت آهن محلول‌پاشی‌شده به هر دو شکل معمولی و نانو کم بود (۰/۲۵ گرم در لیتر)، محلول‌پاشی نانو منیزیم تعداد انشعابات را حدود ۱ انشعاب در بوته بهبود بخشید (شکل ۲).

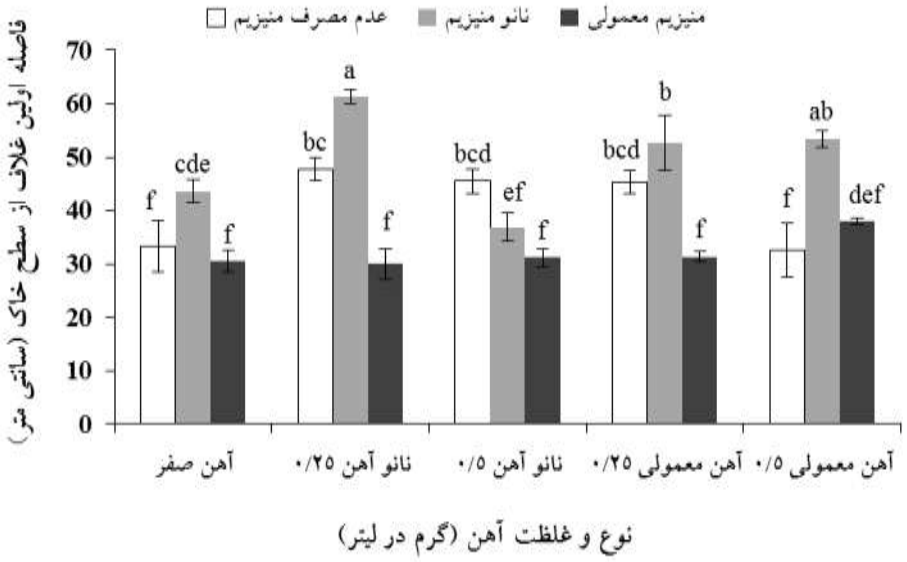
بهاری و همکاران (۱۳۸٤) گزارش کردند که استعمال کود آهن موجب افزایش معنی‌داری در گیاه نخود شد که با نتایج این آزمایش هم‌خوانی دارد. در آزمایشی که توسط Sheykhbaglou و همکاران (۲۰۱۰) اجرا شد، استفاده از نانو اکسید آهن در غلظت‌های مختلف تأثیر معنی‌داری بر تعداد انشعابات جانبی در سویا نداشت. کابرد عنصر منیزیم به‌تنهایی به دو فرم نانو و معمولی تأثیر متفاوتی بر تعداد شاخه‌های فرعی گیاه لوبیا چشم‌بلبلی داشت. به‌طوریکه فرم نانو افزایش و فرم معمولی کاهش تعداد انشعابات جانبی را برای این گیاه به‌دنبال داشت (طالع‌زاده، ۱۳۹۱).

فاصله اولین غلاف از سطح خاک: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی کاربرد آهن، منیزیوم و اثر متقابل کاربرد توأم کود آهن × منیزیم (در سطح ۱ درصد) بر فاصله اولین غلاف از سطح خاک لوبیا چشم‌بلبلی معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین تیمارهای مختلف نشان داد، به‌طوریکه بیشترین فاصله اولین غلاف از سطح خاک با میانگینی معادل ٦۱/۳۰ سانتی‌متر مربوط به ترکیب تیماری نانو آهن ۰۲۵ گرم در لیتر× نانو منیزیوم بود. تلفیق نانو منیزیم با هر دو غلظت آهن معمولی به یک اندازه بر این صفت تأثیر داشت و در مرتبه دوم قرار گرفتند. محلول‌پاشی منیزیم معمولی به‌تنهایی و نیز با سطوح مختلف آهن (بجز آهن معمولی ۰/۵ گرم در لیتر) با میانگینی معادل ۳۰ سانتی‌متر کمترین فاصله غلاف از سطح خاک را نشان دادند (شکل ۳). در شکل ۳ اثر ترکیبات تیماری حاصل از آهن و منیزیم بر فاصله اولین غلاف از سطح خاک در۱۳۷ روز پس از کاشت نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد تلفیق نانو منیزیم با تمام سطوح تیماری آهن، بجز تیمار نانو آهن ۰/۵ گرم در لیتر که رفتار متفاوتی نشان داد، موجب افزایش قابل توجه و معنی‌دار در فاصله اولین غلاف از سطح خاک گردید. با توجه به اینکه غلاف یکی از اجزای عملکرد محسوب می‌گردد، قرارگیری این جز در شرایطی مناسب روی بوته می‌تواند در عملکرد نهایی تأثیرگذار باشد و لوبیا چشم‌بلبلی از جمله حبوباتی است که دارای احتمال ریزش غلاف است (پارسا و باقری، ۱۳۸۷). بنابراین احتمالاً هر چه ارتفاع فاصله 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 به‌مراتب بیشتر از مخازن دورتر حمایت می‌کنند. بدیهی است که دریافت نور و به‌دنبال آن فتوسنتز در برگ‌های بالایی کانوپی بیشتر است (کوچکی و سرمدنیا، ۱۳۸٤). لذا احتمالاً هر چه غلاف در ارتفاع بالاتری روی کانوپی تشکیل گردد، احتمال دریافت اسیمیلات‌ها و درنتیجه پرشدن آن بیشتر خواهد بود.

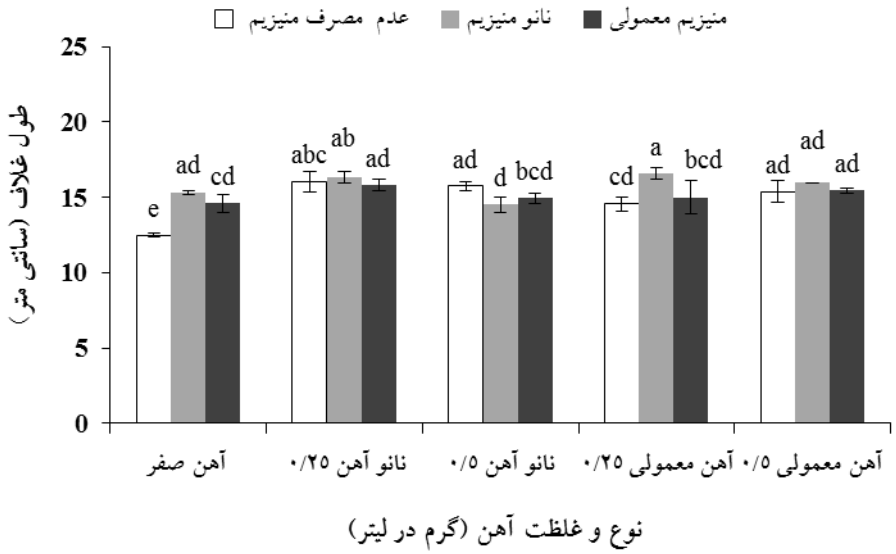
طول غلاف: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی کاربرد آهن (در سطح ۱ درصد)، منیزیوم و اثر متقابل کاربرد توأم کود آهن × منیزیم (درسطح ۵ درصد) بر طول غلاف لوبیا چشم‌بلبلی معنی‌دار بود (جدول ۲). با توجه به اینکه تعداد غلاف یکی از اجزای عملکرد محسوب می‌گردد، افزایش طول غلاف امکان حضور تعداد بذر بیشتری که خود نیز یکی دیگر از اجزای عملکرد است را فراهم می‌نماید. به‌نظر می‌رسد حضور هر دو عنصر آهن و منیزیم بر این صفت از اهمیت بالایی برخوردار است (پارسا و باقری، ۱۳۸۷). مقایسه میانگین تیمارهای مختلف نشان داد، نانو منیزیم و منیزیم

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.8.9]



شکل ۳- مقایسه میانگین فاصله اولین غلاف از سطح خاک در ۱۳۷ روز پس از کاشت تحت تأثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم. بارهای روی میله‌ها SE ± است. حروف مشابه عدم‌تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار را نشان می‌دهد.



شکل ٤- مقایسه میانگین طول غلاف در ۱۵۱ روز پس از کاشت تحت تأثیر محلول‌پاشی آهن منیزیم. بارهای روی میله‌ها SE ± است. حروف مشابه عدم‌تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار را نشان می‌دهد.

معمولی به‌تنهایی موجب افزایش طول غلاف به‌ترتیب معادل ۲/۸۳ و ۲/۱۱ سانتی‌متر یا ۲۲/٦٤ و ۱٦/۸۸ درصد نسبت به شاهد شدند (شکل ٤). احتمالاً تأثیر دو عنصر آهن و منیزیم از طریق تأثیر بر طول غلاف و دوام آن خواهد بود. نانو آهن ۰/۲۵ گرم در لیتر به‌تنهایی، طول غلاف را حدود ۳/۵ سانتی‌متر در مقایسه با شاهد بهبود بخشید، که البته اختلاف معنی‌داری با ترکیب این تیمار با نانو منیزیم و منیزیم معمولی نداشت. اگرچه نانو آهن ۰/۵ گرم در لیتر، این صفت را حدود ۳/۲ سانتی‌متر افزایش داد ولی تلفیق آن با نانو منیزیم و منیزیم معمولی اثر منفی داشت (شکل ٤). افزایش مشاهده‌شده در تیمار آهن معمولی ۰/۲۵ گرم در لیتر، ۲/۱ سانتی‌متر بود و تلفیق محلول‌پاشی منیزیم معمولی با این سطح از آهن تفاوت

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.8.9]

زیادی با کاربرد آن به‌تنهایی نداشت ولی توأم‌شدن نانو منیزیم با این سطح از آهن بیشترین طول غلاف معادل ۱٦/٥٦ سانتی‌متر را نشان داد که ٤/۱ سانتی‌متر بیشتر از شاهد بود و اختلاف آن با اکثر ترکیبات تیماری معنی‌دار بود. آهن معمولی ۰/۵ گرم در لیتر به‌تنهایی و تلفیق آن با منیزیم معمولی نیز طول غلاف را حدود ۲/۹ سانتی‌متر نسبت به شاهد افزایش دادند. تأثیر ترکیب تیماری آهن معمولی ۰/۵ گرم در لیتر با نانو منیزیم (۱۵/۹۵ سانتی‌متر) بیشتر بود (شکل ٤). در شکل ٤ مشاهده می‌گردد که طول غلاف‌های تولیدشده 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.

نتایجی مشابه برای سایر گیاهان گزارش شده است به‌عنوان مثال در آزمایشی که در آزمایش روی گندم استفاده از عناصر ریزمغذی (مس+منگنز+آهن+روی) سبب بیشترین طول سنبلک در گندم (به‌عنوان اجزای عملکرد) شد (Seadh *et al*., 2009).

شاخص سطح برگ: شاخص سطح برگ به‌طور بسیار معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد تحت تأثیر تیمارهای مختلف محلول‌پاشی آهن و منیزیم و اثرات متقابل آنها قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین شاخص سطح برگ در ۱۳۷ روز پس از کاشت با میانگین ۱/۹٦ از ترکیب نانو منیزیم با نانو آهن ۰/۲۵گرم در لیتر به‌دست آمد (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کم‌ترین شاخص سطح برگ با میانگین ۰/۸۰ از ترکیب منیزیم معمولی با آهن معمولی ۰/۵ گرم در لیتر به‌دست آمد (جدول ۳). شاخص سطح برگ در اثر محلول‌پاشی منیزیم به‌تنهایی در هر دو شکل معمولی و نانو کم‌تر از شاهد بود ولی اثر آن در اکثر موارد بیشتر از محلول‌پاشی آهن به‌تنهایی (به‌ویژه به شکل معمولی) بود (جدول۳).

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 (پارسا و باقری، ۱۳۸۷). 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 (Kumudini *et al*., 2001). سطح برگ در گیاه گندم تحت تأثیر کود نانو کلات آهن ۹/۵ درصد در مقایسه با کلات آهن معمولی (شاهد) کاهش یافت (امیدی نرگسی و همکاران، ۱۳۹٤). محلول‌پاشی منیزیم به فرم نانو بر شاخص سطح برگ لوبیا چشم‌بلبلی تأثیر منفی داشت ولی منیزیم معمولی این شاخص را بهبود بخشید (طالع‌زاده، ۱۳۹۱).گزارش شده است که استفاده از منیزیم سولفات در گیاه لوبیا سبب افزایش شاخص سطح برگ می‌شود (De Olivira *et al*., 2002). در آزمایشی که توسط فعلی و همکاران (۱۳۹۰) انجام شد، بیشترین سطح برگ میخک در تیمار شاهد (از ابتدا حاوی ۱/۵ میلی‌مول بر لیتر منیزیم سولفات بود) مشاهده شد.

عملکرد و اجزای عملکرد: نتایج تجزیه واریانس عملکرد نشان داد، عملکرد به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر آهن، منیزیم و اثر متقابل این دو عنصر قرار گرفت (در سطح یک درصد) قرار گرفت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که چنانچه نانو منیزیم با مقادیر بالای آهن از هر دو نوع معمولی و نانو همراه باشد عملکرد بیشتری به‌دست خواهد آمد (جدول ۳). البته در این بین تأثیر آهن معمولی بیشتر از نانو آهن بود به‌طوریکه بالاترین عملکرد با میانگینی معادل ۲۳۷۷/۷۳ کیلوگرم در هکتار از ترکیب تیماری آهن معمولی ۰/۵ گرم در لیتر × نانومنیزیم به‌دست آمد. در گیاهانی مانند لوبیا اجزای عملکرد دانه را تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن هزار دانه تشکیل می‌دهند (Santos *et al*., 2006). بالابودن تعداد غلاف در بوته و همچنین وزن هزاردانه نیز در ترکیب تیماری آهن معمولی ۰/۵ گرم در لیتر × نانو منیزیم به‌دست آمد (جدول ۳). این در حالی است که میزان عملکرد در ترکیب تیماری نانوآهن ۰/۵ گرم در لیتر × نانو منیزیم حدود ٥٤ کیلوگرم در هکتار کم‌تر از این مقدار بود. با کاربرد نانو کود کلاته آهن در لوبیا چیتی مشاهده شد که تأثیر کود بر تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، کارآیی مصرف کود و سطح برگ معنی‌دار

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.8.9]

جدول ۳- مقایسه میانگین برخی صفات اکومورفولوژیک تحت تأثیر محلول‌پاشی آهن و منیزیم

ترکیب تیماری		تعداد غلاف (در بوته)	تعداد دانه (در غلاف)	وزن هزار دانه (گرم)	عملکرد (کیلوگرم در هکتار)	شاخص سطح برگ	آهن برگ (میلی‌گرم بر کیلو گرم)	منیزیم برگ (درصد)
عدم‌آهن	عدم‌منیزیم	۶/۸۵ cd	٤/۱۱ cd	۲۱۵/۹۵ bcd	۱۱۶۹/۳۱ efg	۱/٦۹ ab	۱٤٦/۵۰ c	۱/٤۸ cde
	نانو منیزیم	۶/۰۰ cd	۳/۹۰ cd	۲۰۲/۱٦ cd	۷۹۲/۵۵ g	۱/۱٦ efg	۱۷۱/۰۰ c	۱/٦۲ ab
	منیزیم معمولی	۸/٤٦ bcd	۳/۷۵ cd	۲۱۸/۹٦ abc	۱۰۳۵/۸۰ fg	۱/۲۲ defg	۲۱۱/۰۰ bc	۱/۵۸ abcd
نانو آهن ۰/۲۵	عدم‌منیزیم	۷/۳۰ bcd	۵/۵٤ bc	۲۱۸/۸۰ abc	۱۷۵۹/۸۷ b	۱/۳٦ cde	۳۰۸/۵۰ ab	۱/٤٦ de
	نانو منیزیم	۷/۳٦ bcd	۷/۳۷ ab	۲۱۹/۰۰ abc	۱۸۰۱/۸۳ b	۱/۹٦ a	۱٤٦/۵۰ c	۱/۵۵ abcd
	منیزیم معمولی	۸/۷۳ bcd	٤/۵۵ cd	۲۲۳/۷۳ abc	۱۵۱۲/۱۸ bcde	۰/۹۹ gh	۱۸۲/۵۰ c	۱/٤۸ cde
نانو آهن ۰/۵	عدم‌منیزیم	۱۰/۰۵ ab	٦/۱۰ bc	۲۳۱/۵۳ ab	۲۲۷۳/۹۸ a	۱/۳۹ cde	۱۹٦/۵۰ c	۱/٤۷ cde
	نانو منیزیم	۸/۵٦ bcd	٦/۰۱ bc	۲۳۱/۷٦ ab	۲۳۲٤/۳۵ a	۱/۳۸ cde	۱٦۳/۵۰ c	۱/٤۸ cde
	منیزیم معمولی	۷/۹۳ bcd	٦/۰٤ bc	۲۲۱/۸۰ abc	۱٦۹۱/۰۹ bc	۱/۰۰ gh	۱٤۸/۰۰ c	۱/٤۹ bcde
آهن معمولی ۰/۲۵	عدم‌منیزیم	۵/۸۵ d	۷/۵۳ ab	۲۱۲/۷٦ bcd	۱۲۹۸/۰۰ bc	۱/۳۱ cdef	۱٤٤/۰۰ c	۱/٦۰ abc
	نانو منیزیم	۷/۵۰ bcd	۳/۷۲ cd	۲۲۲/۰٦ abc	۱۰۵٦/۵۸ fg	۱/٤۹ bcd	۱۳۰/۵۰ c	۱/۵۰ bcde
	منیزیم معمولی	۸/۹٦ bc	۳/۹۳ cd	۲۳۵/۳۰ ab	۱٦۳۱/۹۲ bcd	۱/۲٦ defg	۱۷٤/۰۰ c	۱/٤۸ cde
آهن معمولی ۰/۵	عدم‌منیزیم	۷/۸٦ bcd	٤/۵٤ cd	۲۲۲/۰۳ abc	۱۲٤۵/۱٤ def	۱/۰٤ fgh	۱۳۵/۰۰ c	۱/۳۷ e
	نانو منیزیم	۱۲/۷۵ a	۲/۷۱ d	۲٤۵/۰۰ a	۲۳۷۷/۷۳ a	۱/۵٦ bc	۱۸۵/۵۰ c	۱/۵۸ abcd
	منیزیم معمولی	٦/٤۵ cd	۹/۲۹ a	۱۹۱/۱۰ d	۹۳۱/۷۹ fg	۰/۸۰ h	۳۸۱/۰۰ a	۱/٦٦ a
LSD 5%		۲/۹٦	۲/۷۵	۲۷/۳۸	٤۰٦/۵	۰/۲۷۹۹	۱۰۲/۲	۰/۱۳٤۸

حروف مشابه عدم‌تفاوت معنی‌دار را نشان می‌دهد.

بود (مجیدی دیزج و همکاران، ۱۳۹۰). در تحقیق دیگری نیز کاربرد بیشترین سطح نانو کلات آهن (۳ در هزار) سبب بیشترین عملکرد دانه (۱۰۲۱/۳۳ کیلوگرم در هکتار) در گیاه لوبیا چشم‌بلبلی گردید (سابکی و همکاران، ۱۳۹٦). پایین‌بودن قابل توجه عملکرد (۷۹۲/۵۵ کیلوگرم در هکتار) در شرایطی که نانو منیزیم به‌تنهایی استفاده گردید حاکی از اهمیت بالای وجود آهن برای تأثیرگذاری بیشتر نانو منیزیم در گیاه است. در این شرایط (ترکیب تیماری عدم‌آهن × نانو منیزیم) پایین‌بودن هر سه جز اجزای عملکرد یعنی تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن هزار دانه سبب کاهش قابل توجه عملکرد گردید. در شرایط عدم‌استفاده از منیزیم، محلول‌پاشی با نانو آهن ۰/۵ گرم در لیتر عملکرد را به‌طور قابل توجهی نسبت به سایر تیمارهای آهن افزایش داد و عملکردی معادل ۲۲۷۳/۹۸ کیلوگرم در هکتار رقم خورد. که به عملکرد به‌دست آمده از ترکیبات تیماری نانو منیزیم با همین سطح از آهن و نانو منیزیم با آهن معمولی ۰/۵ گرم در لیتر بسیار نزدیک بود و در مجموع عملکرد حاصل از این سه ترکیب تیماری به‌طور قابل توجه و معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارها بود. در این ترکیب تیماری نیز دو جز وزن هزار دانه و به‌ویژه تعداد غلاف در بوته مقادیر نسبتا بالایی را دارا بودند. از بین اجزای عملکرد صفت تعداد دانه در غلاف تأثیر چندانی در افزایش عملکردهای مشاهده شده نداشت و معمولاً مقادیر آن عکس دو جز دیگر بود. به‌عنوان 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 جز دیگر همراه بود. علی‌رغم بالابودن این صفت عملکرد پایینی به‌دست آمد. این در حالی است که در ترکیب تیماری آهن معمولی ۰/۵ × نانو منیزیم اگرچه کمترین مقدار تعداد دانه در غلاف مشاهده

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.8.9]

شد ولی به‌دلیل بالابودن دو جز دیگر، بیشترین عملکرد حاصل شد (جدول ۳).

اهمیت هر یک از اجزا در تعیین عملکرد از آزمایشی به آزمایش دیگر متفاوت گزارش شده است (Shenkut and Brick, 2003). Kassab و همکاران (۲۰۰٤) 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. در تحقیق Sheykhbaglou و همکاران (۲۰۱۰) کاربرد نانو اکسید آهن اثر معنی‌دار بر عملکرد گیاه سویا داشت. درحالیکه اثر آن بر وزن صد دانه معنی‌دار نبود. نانو کود کلات آهن و پتاسیم، بیشترین عملکرد دانه در تیمار ۲ گرم در لیتر نانو کود کلات آهن و ۳ گرم در لیتر نانو کود کلات پتاسیم در گیاه اسفرزه مشاهده شد (آقازاده خلخالی و همکاران، ۱۳۹٤). در تحقیق طالع‌زاده (۱۳۹۱) کاربرد محلول‌پاشی ذرات نانو و معمولی منیزیم در عملکرد گیاه لوبیا چشم‌بلبلی اثر معنی‌داری داشت و بیشترین عملکرد در استفاده از محلول‌پاشی منیزیم معمولی (۱ درصد) با میانگین ۲۷۱۳/۱۱ کیلوگرم در هکتار حاصل شد.

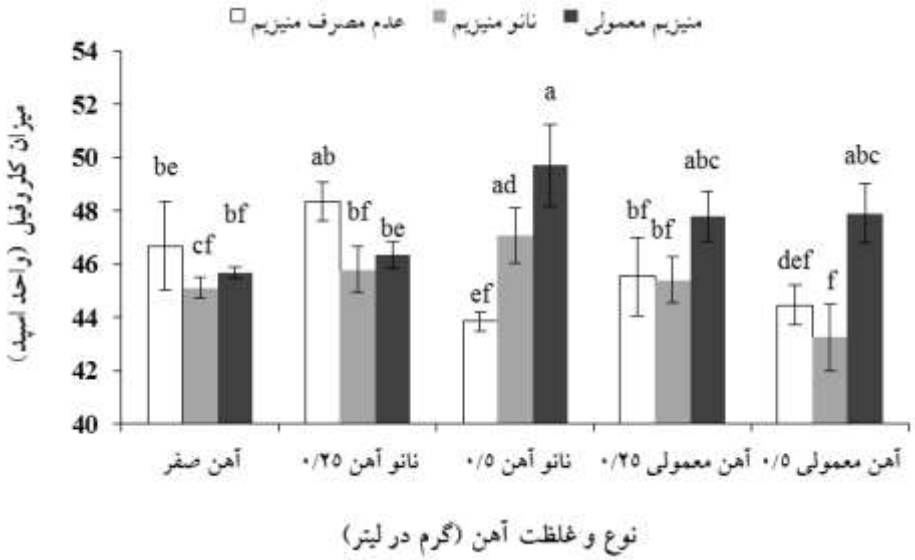
کلروفیل کل: نتایج تجزیه واریانس کلروفیل کل نشان داد این صفت به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر منیزیم و اثر متقابل آهن × منیزیوم (در سطح ۱ درصد) قرار گرفت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد، ترکیب تیماری نانو آهن ۰/۵ × با منیزیم معمولی با میانگین کلروفیل ٤۹/۷ (اسپد) بیشترین کلروفیل را دارا بود. همراه‌شدن منیزیم معمولی با هر دو غلظت آهن معمولی نیز با میانگین حدود ٤۸ مقادیر بالایی از کلروفیل را نشان دادند. ترکیب تیماری نانو آهن ۰/۵ با منیزیم معمولی نسبت به ترکیب تیماری آهن معمولی ۰/۵ × نانو منیزیم و ترکیب تیماری نانو آهن ۰/۵ × عدم‌مصرف مصرف منیزیم به‌ترتیب ۱٤/۹۰ و ۱۳/۳۱ درصد میزان کلروفیل بیشتری داشت (شکل ۵).

آهن به‌صورت مستقیم در بیوسنتز کلروفیل نقش ندارد اما به شکل غیرمستقیم برای بیوسنتز کنترل‌کننده‌های تشکیل پیش ماده اسید دلتا-آمینولوولینیک ضروری است (Marschner, 1995). 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 (Ridolfi and Garrec, 2000). تحقیقات دیگر نشان داد که بین ۱۵ تا ۳۰ درصد کل منیزیم گیاه در ساختار کلروفیل وجود دارد (Hopkins, 1995). در سویا نیز زیادی و کمبود آهن تأثیر قابل توجهی بر مقدار کلروفیل داشته است که درنهایت سبب جلوگیری از فتوسنتز و رشد گیاه گردید (Goos *et al*., 2004). اثر محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف (مانند آهن، روی و منگنز) در میزان کلروفیل گیاه آفتابگردان نشان داد که محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف و اثر متقابل آنها تأثیر معنی‌داری بر میزان کلروفیل برگ داشت و بیشترین میزان کلروفیل برگ در تیمار کاربرد همزمان آهن و منگنز به میزان ۱٦/٤ (اسپد) بود (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۹). در طی بررسی فرهادی (۱۳۹٤) مشاهده شد که بیشترین میزان کلروفیل کل در گیاه زینتی- دارویی همیشه بهار با ٤/۷٦ میلی‌گرم در گرم وزن تر با کاربرد یک گرم در لیتر نانو کلات آهن حاصل شد و کم‌ترین میزان کلروفیل با ۳/۸۰ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ مربوط به شاهد (عدم‌مصرف کود) بود. تیمارهای کود آهن در گیاه سویا نسبت به شاهد باعث افزایش شاخص کلروفیل متر گردید (میرزاشاهی و همکاران، ۱۳۹۵).

عنصر آهن برگ: تجزیه داده‌های حاصل از اندازه‌گیری میزان آهن موجود در برگ نشان داد اثر محلول‌پاشی آهن و منیزیم (در سطح پنج درصد) و اثر متقابل آنها (در سطح یک درصد) بر میزان آهن برگ معنی‌دار شد (جدول ۲). ترکیب تیماری حاصل از آهن معمولی در هر دو غلظت ۰/۲۵ و ۰/۵ گرم در لیتر با منیزیم معمولی سبب افزایش تجمع آهن برگ گردید (جدول ۳). به‌طوریکه 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 ۲/٦ برابر بیشتر بود بلکه نسبت به سایر ترکیبات تیماری نیز به‌طور قابل توجه و معنی‌دار بالاتر بود. در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.8.9]



شکل ۵- مقایسه میانگین میزان کلروفیل برگ در ۱۰۶ روز پس از کاشت تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی آهن و منیزیم. بارهای روی میله‌ها SE ± است. حروف مشابه عدم‌تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار را نشان می‌دهد.

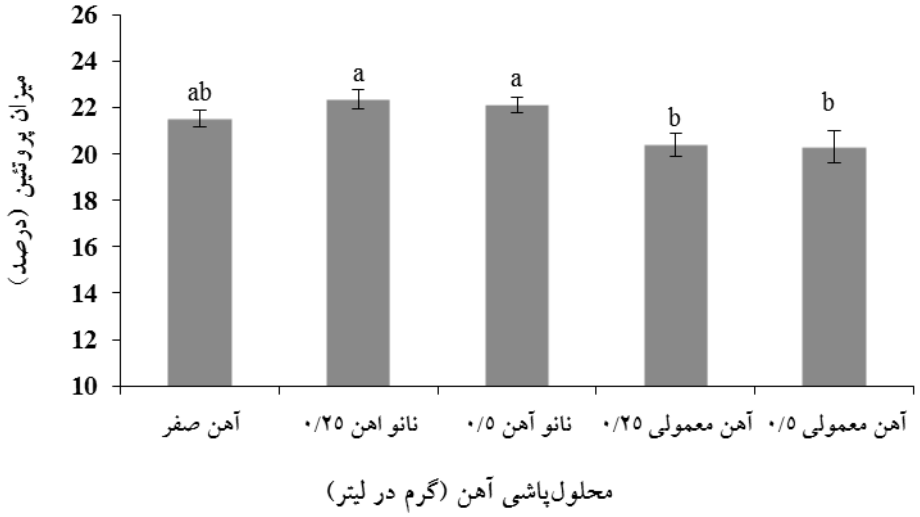
بین ترکیبات تیماری کمترین مقدار آهن برگ در تلفیق تیمار آهن معمولی ۰/۲۵ گرم در لیتر با نانو منیزیم به‌میزان ۱۳۰/۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده شد (جدول ۳).

افزایش کاربرد آهن در گیاه گندم سبب افزایش میزان غلظت آهن برگ گردید به‌طوریکه در اثر استفاده از ۵ میلی‌گرم در لیتر سیترات آهن نسبت به عدم‌مصرف 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 به‌میزان ۳۷۲ میکروگرم در گرم در گندم شد (Ai-Qing *et al.*, 2011). نتایج به‌دست آمده از آزمایشات خلج و همکاران (۱۳۸۸) نشان داده است که افزایش میزان نانو کلات آهن خضرا به‌صورت چال کود بر عملکرد و تعداد میوه سیب گلاب اثر افزایشی داشت ولی مقدار آهن برگ از روندی کاهشی برخوردار بود.

عنصر منیزیم برگ: نتایج تجزیه واریانس میزان منیزیم برگ نشان داد، اثر متقابل آهن و منیزیم به‌طور معنی‌داری (در سطح پنج درصد) بر میزان منیزیم برگ تأثیر داد (جدول ۲). بیشترین مقدار منیزیم برگ با میانگین ۱/٦٦ 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 به‌تنهایی مشاهده شد (جدول ۳). این در حالی است که منیزیم ثبت‌شده در برگ گیاهان شاهد معادل ۱/٤۸ درصد بود. محلول‌پاشی با نانو منیزیم و منیزیم معمولی بدون حضور آهن توانستند مقدار منیزیم برگ را به‌ترتیب ۰/۱٤ و ۰/۱ درصد بهبود بخشند. تأثیر تلفیق‌شدن نانو منیزیم با نانو آهن ۰/۲۵ گرم در لیتر نیز از لحاظ تأثیرگذاری بر مقدار منیزیم برگ مفید بود (جدول ۳).

نتایج تحقیق طالع‌زاده (۱۳۹۱) نشان داد مقادیر بالایی از منیزیم در برگ گیاهان لوبیا چشم‌بلبلی که نانو منیزیم را دریافت کرده بودند مشاهده گردید درحالیکه در گیاهانی که منیزیم معمولی دریافت کردند افزایش قابل توجهی نسبت به شاهد مشاهده نگردید. در یک تحقیق دیگر نیز مؤثربودن محلول‌پاشی منیزیم در گیاه دارویی پونه طی دو سال زراعی سبب افزایش غلظت منیزیم در برگ‌ها شد (Christos, 2009). همچنین در آزمایشی افزایش استفاده از محلول‌های غذایی آهن و بر در توت‌فرنگی 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 احتمالاً سبب بروز مسمومیت از طریق افزایش بور شده و مقدار نیترات، فسفر، کلسیم، منیزیم و آهن برگ‌ها را نیز کاهش داد (تقوی و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.8.9]



شکل ٦- مقایسه میانگین درصد پروتئین دانه تحت تأثیر محلول‌پاشی آهن. بارهای روی میله‌ها SE ± است. حروف مشابه عدم‌تفاوت معنی دار در سطح ۵ درصد آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار را نشان می‌دهد.

همکاران، ١٣٨٤).

پروتئین دانه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که از بین تیمارهای آزمایش تنها اثر اصلی آهن در سطح یک درصد بر پروتئین دانه معنی‌داری شد (جدول ۲). در شکل ٦ مشاهده می‌گردد که تیمار نانو آهن در هر دو غلظت ۰/۲۵ و ۰/۵ گرم در لیتر سبب بهبود درصد پروتئین دانه گردید. به‌طوریکه دانه‌های حاصل از تیمار نانو آهن ۰/۲۵ گرم در لیتر حاوی ۲۲/۳۵ درصد پروتئین بودند. در مقابل محلول‌پاشی با آهن معمولی در هر دو غلظت پروتئین دانه را به‌طور معنی‌داری نسبت به هر دو غلظت نانو آهن کاهش داد. مقدار پروتئین دانه در غلظت‌های آهن معمولی حدود ۲ درصد کمتر از پروتئین دانه در تیمار نانو آهن ۰/۲۵ بود.

آهن و روی دو عنصر ضروری برای ساختمان آنزیم‌ها هستند که بیوسنتز اسیدهای آمینه دخالت دارند، اسیدهای آمینه نیز در سنتز پروتئین نقش دارند و میزان پروتئین با استفاده از ریزمغذی‌ها افزایش می‌یابد (Zakaria *et al.*, 2001). مواد مغذی از جمله آهن و روی در ساختار پروتئین‌ها و هم‌چنین در متابولیسم نیتروژن شرکت می‌کنند و درنتیجه ممکن است باعث افزایش مقدار پروتئین شود (کریمی، ۱۳۹۳). در سطوح مختلف آهن با فرم نانو و معمولی، محلول‌پاشی آهن عملکرد پروتئین لوبیا سبز را افزایش داد (نوذری‌راد و همکاران، ۱۳۹۵).

همبستگی بین صفات: در مجموع می‌توان بیان کرد که احتمالاً با افزایش ارتفاع ساقه فاصله اولین غلاف از سطح خاک افزایش یافت ($r=۰/۵۴۳^{*}$). ارتفاع ساقه به شکل غیرمستقیم به‌عنوان جزئی از عملکرد می‌توان در نظر گرفته شود که با افزایش ارتفاع ساقه سبب افزایش فاصله اولین غلاف از سطح خاک گردید، با توجه به اینکه غلاف یکی از اجزای عملکرد محسوب می‌گردد، قرارگیری این جز در شرایطی مناسب روی بوته می‌تواند در عملکرد نهایی تأثیرگذار باشد. هرچه فاصله غلاف‌ها از سطح خاک بیشتر باشد احتمال آلودگی به عوامل بیماری‌زا موجود در سطح خاک برای غلاف‌ها کم‌تر خواهد بود که بدین شکل غیرمستقیم، غلاف‌های سالم‌تر توانستن در افزایش کارآیی عملکرد مؤثرتر باشند. هم‌چنین فاصله اولین غلاف از سطح خاک با طول غلاف ($r=۰/۵۷۶^{*}$) و شاخص سطح برگ ($r=۰/٦٦١^{**}$) همبستگی مستقیم و مثبت داشت. با وجود همبستگی بین اولین غلاف از سطح خاک با طول غلاف و شاخص سطح برگ می‌توان چنین بیان کرد که احتمالاً با افزایش ارتفاع ساقه، تعداد برگ در بوته نیز افزایش یافته است که این افزایش در تعداد برگ منجر به افزایش شاخص سطح برگ شده است که به دنبال افزایش شاخص سطح برگ، کارآیی مصرف نور افزایش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.8.9]

جدول ٤- ضرایب همبستگی (پیرسون) بین صفات مورد مطالعه در آزمایش

	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
	ارتفاع ساقه	تعداد انشعابات جانبی	فاصله اولین غلاف از سطح خاک	طول غلاف	تعداد غلاف در بوته	تعداد دانه در غلاف	وزن هزار دانه	عملکرد	شاخص سطح برگ	کلروفیل کل	آهن برگ	منیزیم برگ	پروتئین
۱	۱												
۲	۰/۱٤۹	۱											
۳	۰/٥٤۳*	۰/۱٥٤	۱										
٤	۰/٤۰۸	۰/۲۲۳	۰/٥۷٦*	۱									
٥	۰/۲۲٤	۰/۰۳۱	۰/۰۹۰	۰/۲٥۲	۱								
٦	۰/۰۱٤	۰/۱۸٤	۰/۱۳٤	۰/۰٥٤	-۰/٤٦٥	۱							
۷	۰/۱۳٥	-۰/۰۰۳	۰/۰۷۸	۰/۱۲٤	۰/۸٤۰**	-۰/٥٤۰*	۱						
۸	۰/۱۲۹	-۰/۱۰۸	۰/۲٦٦	۰/۱۹٤	۰/۷۳۰**	-۰/۰۱۳	۰/۷۷۸**	۱					
۹	۰/٤٤۲	۰/۰٥٦	۰/٦٦۱**	-۰/۰۱۸	۰/۱۷۱	-۰/۱۷٦	۰/۳۷۹	۰/۳٦۳	۱				
۱۰	-۰/۱۲۸	-۰/۲۲۱	-۰/٤۱۰	-۰/۲۲۹	-۰/٤۰٥	۰/۳٦٤	-۰/۲۹۰	-۰/۱۲۱	-۰/۳۲٤	۱			
۱۱	-۰/۱٦۰	-۰/۱۲٦	-۰/۰۳۰	۰/۱۷۸	-۰/۰۹۳	۰/٤٤۷	-۰/٤٥۳	-۰/۱۰٥	-۰/٤۰۸	۰/۳۳۲	۱		
۱۲	۰/۳۹۳	-۰/۰٥۷	۰/۲۷۷	۰/۰۳۸	-۰/۱۹۹	۰/۳۰۷	-۰/٥۰٥	-۰/۳۱٥	-۰/۰٦۷	-۰/۰٥٦	۰/۳۸۰	۱	
۱۳	-۰/۳۱٦	-۰/۱٦۲	-۰/۳۰۲	-۰/۰۰۷	-۰/۳۲۳	۰/۳۷٥	-۰/۳٤۲	-۰/۰٥۹	-۰/۳٤۲	۰/٤۱۷	۰/۳۰۲	-۰/۱۳۲	۱

*** و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ٥ و ۱ درصد**

یافته است که سبب انتقال مجدد مواد غذایی ذخیره‌ای بیشتر به سمت اجزای عملکردی از جمله غلاف‌ها گردیده است که در این میان باعث افزایش طول غلاف‌ها شده است. با وجود رابطه معکوس بین اجزای عملکرد که در این آزمایش نیز بین تعداد دانه در غلاف و وزن هزار دانه و از طرف دیگر رابطه همبستگی مثبت بین وزن هزار دانه و عملکرد می‌توان بیان کرد که طول غلاف بیشتر سبب تولید بذر بیشتر درون غلاف‌ها نشده است اما با فزاهم‌کردن فضای بیشتر درون غلاف و در اختیارگذاشتن مواد غذایی بیشتر برای بذرها سبب افزایش وزن هزار دانه شده که درنهایت برآیند این شرایط باعث افزایش عملکرد نهایی گردیده است. از طرفی بین تعداد غلاف و وزن هزار دانه همبستگی مثبت (r=۰/۸٤۰**)، بین تعداد دانه در غلاف و وزن هزار دانه همبستگی منفی (r= -۰/٥٤۰*)، بین تعداد غلاف در بوته و عملکرد همبستگی مثبت (r=۰/۷۳۰**) و بین وزن هزار دانه و عملکرد همبستگی مثبت (r=۰/۷۷۸**) وجود داشت (جدول ٤).

نتیجه‌گیری

در تمام صفات موفولوژیک و فیزیولوژیک شاخص سطح برگ ذکرشده در این آزمایش تیمار آهن ۰/۲٥ گرم در لیتر (به هر دو فرم نانو و معمولی) همراه با تیمار نانو منیزیم برتری خود را ثابت کردند. درحالیکه در صفات عملکرد و سایر صفات فیزیولوژیک تیمارهای آهن ۰/٥ گرم در لیتر (به هر دو فرم نانو و معمولی) همراه با منیزیم معمولی برتری داشتند. بنابراین

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.8.9]

این‌گونه استنباط می‌شود که استفاده از این دو عنصر به شکل محلول‌پاشی و نانو موجب کارآیی بهتر و مؤثرتر این عناصر در تغذیه‌ی گیاهی گردید. درنهایت با به‌کارگیری نانو کودها به‌عنوان جایگزین کودهای مرسوم، عناصر غذایی کود به‌تدریج و به‌صورت کنترل‌شده در خاک آزاد می‌شوند و باعث کاهش تلفات عناصر غذایی و افزایش کارایی مصرف کودها می‌گردد.

منابع

امیدی نرگسی، ص.، زاهدی، م.، عشقی‌زاده، ح. ر. و خوش‌گفتارمنش، ا. ح. (۱۳۹٤) غربال ژنوتیپ‌های مختلف گندم در پاسخ به کلات معمولی و کود نانو کلات آهن در محلول غذایی. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ٦: ۱۳۳-۱۲۳.

آذربرا، ا. (۱۳۹٦) بررسی تأثیر نانو ذرات منیزیم بر روی برخی خواص مورفوفیزیولوژیکی و عملکرد یونجه (*Medicago sativa* L.)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قدس.

آقازاده خلخالی، د.، مهرآفرین، ع.، عبدوسی، و. و نقدی‌بادی، ح. ع. (۱۳۹٤) عملکرد دانه و موسیلاژ اسفرزه (*Plantago psyllium* L.) در پاسخ به محلول‌پاشی نانو کود کلات آهن و پتاسیم. فصل‌نامه گیاهان دارویی ٤: ۳٤-۲۲.

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

بهاری، م.، پهلوانی، ر.، اکبری، ن. و احسان‌زاده، پ. (۱۳۸٤) تأثیر مقادیر کودهای کم‌مصرف آهن و مس بر رشد و عملکرد ژنوتیپ‌های نخود تحت شرایط دیم منطقه الیگودرز- ازنا استان لرستان. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی (ویژه‌نامه زراعت و اصلاح نباتات) ۱۲: ۲۰۱-۱۹۰.

پارسا، م. و باقری، ع. ر. (۱۳۸۷) حبوبات. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

پیوندی، م.، کمالی جامکانی، ز. و میرزا، م. (۱۳۹۰) تأثیر نانو کلات آهن بر رشد و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مرزه (*Satureja hortensis*). مجله تازه‌های بیوتکنولوژی سلولی- مولکولی ۵: ۳۲-۲۵.

تقوی، ت.، بابالار، م.، عبادی، ع.، ابراهیم‌زاده، ح. و عسگری، م. ع. (۱۳۸٤) اثر سطوح مختلف آهن و بر بر روی مقدار عناصر و عملکرد توت‌فرنگی رقم سلوا ۳٦: ۱۰۷۳-۱۰٦۵.

جوکار، ل.، رونقی، ع. م.، کریمیان، ن. ج. و قاسمی فسایی، ر. (۱۳۹٤) اثر کاربرد سطوح مختلف آهن از نانو کود کلات آهن و سکوسترین آهن بر رشد و غلظت برخی عناصر غذایی گیاه لوبیا در یک خاک آهکی. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ٦: ۱۸-۹.

خلج، ح.، نظران، م. ح.، لبافی حسین آبادی، م. ر.، شیبانی،ک. و رزازی، ع. (۱۳۸۸) بررسی کاربرد محلول‌پاشی و چال کود نانو کود آلی کلاته آهن بر عملکرد سیب‌گلاب. مجموعه مقالات دومین همایش ملی کاربرد نانو تکنولوژی در کشاورزی، سالن همایش‌های مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، کرج.

زوار، ح. (۱۳۹۵) ارزیابی سطوح مختلف کودهای نانو کلات آهن و نانو سوپرمیکرو کامل بر خصوصیات رشدی و عملکردی گیاه به‌لیمو (*Lippia citrodora*). پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان.

سابکی، م.، اصغری‌پور، م. ر.، قنبری، ا. و میری، خ. (۱۳۹٦) تأثیر کود نانو کلات آهن بر ویژگی‌های اکومورفولوژیک کشت مخلوط ارزن مرواریدی و لوبیاچشم‌بلبلی. مجله کشاورزی بوم‌شناختی ۱: ۱۰۸-۹٦.

طالع‌زاده، م. (۱۳۹۱) تأثیر محلول‌پاشی نانو ذره روی و منیزیم بر برخی خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک لوبیا چشم‌بلبلی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.8.9]

فرهادی، ف. (۱۳۹٤) تأثیر نانو کلات آهن بر رشد، گلدهی و خصوصیات آنتی‌اکسیدانی دو رقم گیاه زینتی- دارویی همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان.

فعلی، ع.، عبادی، م.، لاری یزدی، ح. و موسوی، م. (۱۳۹۰) اثرات غلظت‌های مختلف سولفات منیزیم بر پارامترهای رشد جدا کشت‌های میخک (*Dianthus caryophyllusv* L.) در شرایط کشت‌بافت. دومین کنفرانس ملی فیزیولوژی گیاهی ایران، دانشگاه یزد.

کریمی، ز. (۱۳۹۳) اثرات غلظت‌های مختلف نانو کود آهن و کود کلات آهن بر جوانه‌زنی، رشد و کیفیت گیاه ماش (*Vigna radiata*). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه.

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.

کوچکی، ع. و سرمدنیا، غ. ح. (۱۳۸٤) فیزیولوژی گیاهان زراعی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

مجیدی دیزج، ح.، محمدزاده، آ.، مقدم، ح.، مجنون حسینی، ن. و بقائی، ن. (۱۳۹۰) بررسی تأثیر نانو کود کلاته آهن بر عملکرد و اجزا عملکرد لوبیا چیتی. دوازدهمین گنگره علوم خاک ایران (حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه)، تبریز.

میر، ی.، دانشور، م.، نظریان، ف. و خسروی، ح. (۱۳۹۵) اثر محلول‌پاشی کود نانو کلات آهن بر عملکرد و صفات رشدی ارقام نخود دیم. مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی ۸: ۱۹۵-۱۸٤.

میرزاشاهی، ک.، نورقلی‌پور، ف. و سماوات، س. (۱۳۹۵) تأثیر دو نوع کود آهن بر عملکرد و اجزای عملکرد سویا در شمال خوزستان. نشریه مدیریت اراضی ٤: ۲۰۱-۱۹۲.

ندری، ی.، دانشور، م. و گودرزی، د. (۱۳۹۱) تأثیر نانو کود کلات آهن بر صفات زراعی ژنوتیپ‌های عدس در شرایط محیطی خرم‌آباد. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه کشاورزی، دانشگاه لرستان.

نوابی، ف. و ملکوتی، م. ج. (۱۳۸۱) بررسی تأثیر تغذیه متعادل عناصر غذایی بر کمیت و کیفیت ذرت دانه‌ای. مجله علوم خاک و آب ۱٦: ۱٦۸-۱٦۱.

نوذری‌راد، د.، برادران فیروزآبادی، م.، مکاران، ح.، فرخی، ن. و غلامی، ا. (۱۳۹۵) تأثیر محلول‌پاشی میکرو و نانو ذرات اکسید آهن به همراه مواد افزودنی D.G ADJUVANT و RCP-5 بر برخی صفات فیزیولوژیکی لوبیا سبز (*Phaseolus vulgaris* L.). نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران ۷: ۱۷۳-۱٦۱.

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.). Journal of Environmental Biology 32: 235-239.

AOAC. (2000) Official Methods of Analysis. 17nd Ed. AOAC, Washington, DC.

Ashraf, M. and Qaiser, S. M. H. (2004) Effect of magnesium on growth and development of maize. Pakistan Journal of Agricultural Sciences 7: 33-38.

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

Cha, D. and Chinnan, M. (2004) Biopolymer- based antimicrobial packaging: A review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 44: 223-237.

Chinnamuthu, C. R. and Boopathi, M. (2009) Nanotechnology and agroeco system. The Madras Agricultural Journal 96: 17-31.

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

Christos, D. (2009) Foliar application of calcium and magnesium improves growth, yield, and essential oil yield of oregano (*Origanum vulgare* spp. Hirtum). Industrial Crops and Products 29: 599-608.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.8.9]

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: 103-107.

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

Hiscox, J. D. and Israelstam, G. F. (1978) A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. Canadian Journal of Botany 57: 1332-1334.

Hopkins, W. G. (1995) Introduction to plant physiology. 2nd Ed. John wiley and Sons, Inc.

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 Journal of Agricultural Research 29: 925-032.

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 Science 41: 391-398.

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.

Marschner, H. (1995) Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, New York, USA.

Moosavi, A. A. and Ronaghi, A. (2011) Influence of foliar and soil application of iron and manganese on soybean dry matter yield and iron-manganese relationshipin in a calcareous soil. Aust Journal of Crop Science and Biotechnology 5: 1550-1556.

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. Annals of Forest Science 57: 209-218.

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 Science 170: 659-664.

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. Journal of Biological Sciences 9: 851-858.

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: 339-347.

Sheykhbaglou, R., Sedghi, M., Tajbakhsh shishevan, M. and Sharifi, R. (2010) Effects of nano–iron oxide particles on agronomic traits of soybean. International Journal of Biological Sciences 2: 112-113.

Sheykhbaglou, R., Sedghi, M., Tajbaksh Shishevan, M. and Seyed Sharifi, R. (2012) Effect on foliar nano oxide iron mineral elements in soybean. Proceeding of the 1th National Congress on Modern Agricultural Science and Technology. Zanjan, Iran. (In Persian with English Summary)

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

Uzu, G., Sobanska, S., Sarret, G., Munoz, M. and Dumat, C. (2010) Foliar lead uptake by lettuce exposed to atmospheric pollution, environ. Journal of Agricultural Science and Technology 44: 1036-1042.

Whitty, E. N. and Chambliss, C. G. (2005) Fertilization of field and forage crops. Nevada State University Publication 21.

Wurth, B. (2007) Emissions of engineered and unintentionally produced nanoparticles to the soil. Diploma thesis. ETH Zurich Department of Environmental Sciences. Switzerland.

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: 18-28.

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.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.8.9]

Effect of nano iron and magnesium chelate fertilizers on on growth and grain yield of *Vigna sinensis* L.

Hamideh Khalaj[1]*, Mehdi Baradarn Firouzabadi[2], Maryam Delfani[3]

[1]Assistant professor, Payame Noor University, Iran, Tehran, [2]Assistant professor, Shahrood University of Technology, [3]Graduated Ph.D., Agronomy-Physiology of Crops, University of Ilam

(Received: 16/09/2018, Accepted: 13/02/2019)

Abstract

In order to evaluate the effect of foliar application of iron and magnesium nano-chelate fertilizers on morphophysiological characteristics of *Vigna sinensis* L., an experiment was conducted in Shahroud University of Technology in 2010-2011. The experiment was carried out in a factorial arrangement with randomized complete block design with three replications. Treatments included five levels of iron (0, 0.25, 0.5 g/l of nanoparticles and the same concentration of normal iron) as the first factor and foliar application of magnesium with three levels (zero, 1% concentration of nanoparticles and the same concentration of normal magnesium) as a second factor. The traits including stem height, number of branches, distance from the first pod from soil surface, pod length, leaf area index, yield and yield components, Greenness Index, iron and magnesium elements and seed protein were measured. The results showed that the effect of different levels of iron and magnesium on all traits except grain protein was significant. The highest stem height, distance between the first pods from the soil surface and leaf area index were observed in the nano-iron treatment 0.25 g/l and 1% nano magnesium. The iron composition of 0.25 g/l and nano magnesium had the highest number of lateral branches (5.46 branches per plant) and sheath length (16.56 cm). While the Greenness Index traits and the amount of iron and magnesium in leaves, had the highest efficiency in 0.5 grams per liter iron in both nano and normal forms, with normal magnesium treatment. However, the highest grain protein (22.35%) was produced by using nano-iron at 0.25 g/l alone. Also, the highest yield resulted from the application of Fe (0.5 g/l) × nano-magnesium with mean of 2377.73 kg/h and the lowest values were for the nano magnesium (792/55 kg/h). One of the reasons for the observed increase in yield in Fe (0.5 g / L) × nano magnesium was the increase in the number of pods per plant and the weight of 1000 seeds. Amongst the yield components, number of seeds per pod were the highest when Fe × magnesium applied. It seemed that in all of the morphological and physiological traits, the leaf area index was the best with Fe (0.25 g/l) (both nano and normal forms) ×nano magnesium treatment. However, in the traits of yield and other physiological traits iron treatments of 0.5 grams per liter (both nano and normal forms) were superior to normal magnesium.

Keywords: *Vigna sinensis,* nano chelate , yield and component yield, Greenness index and seed protein.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.8.9]

Corresponding author, Email: hamideh_6285@yahoo.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.8.9]