نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی، سال دوازدهم، شماره ۴۵، بهار ۱۳۹۶ / صفحات: ۳۷-۲۷

اثر محلول‌پاشی آهن بر عملکرد، اجزای عملکرد و پروتئین دانه عدس

احمد مهربان

گروه کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان، زاهدان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۲/۱۲ تاریخ پذیرش: ۹۶/۳/۱۸

چکیده

تحقیق حاضر در دو سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ و ۹۵-۱۳۹۴ در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران واقع در کرج اجرا شد. هدف آزمایش بررسی اثر محلول‌پاشی نانو کلات آهن بر عملکرد، اجزای عملکرد و پروتئین عدس تحت شرایط دیم بود. طرح آزمایشی مورد استفاده بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و هفت تیمار شامل شاهد (عدم محلول‌پاشی)، محلول‌پاشی دو در هزار (گرم در لیتر) نانو کود در مراحل گلدهی، غلاف‌دهی و گلدهی + غلاف‌دهی و محلول‌پاشی چهار در هزار (گرم در لیتر) نانو کود در مراحل گلدهی، غلاف‌دهی و گلدهی + غلاف‌دهی بود. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر محلول‌پاشی آهن بر ویژگی‌های اجزای عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و دانه، شاخص برداشت، آهن و پروتئین دانه و عملکرد پروتئین دانه معنی‌دار شد. اما اثر سال بر این ویژگی‌ها معنی‌دار شود. بر اساس مقایسه میانگین‌ها، بیشترین مقدار صفات تعداد دانه در بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه و پروتئین دانه و نیز آهن و پروتئین دانه در تیمار محلول‌پاشی چهار در هزار نانو کود در مرحله گلدهی و نیام‌دهی به‌دست آمد. با این وجود، بین تیمارهای محلول‌پاشی دو و چهار در هزار نانو کود در مرحله گلدهی و نیام‌دهی از نظر عملکرد دانه و عملکرد پروتئین دانه تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. بنابراین محلول‌پاشی نانو کلات آهن در مرحله گلدهی + نیام‌دهی، توانست بیشترین میزان شاخص‌های زراعی و عملکرد دانه را تولید کند.

واژه‌های کلیدی: دیم، عدس، عملکرد دانه، محلول‌پاشی، نانو کلات آهن

مقدمه

یکی از نیازهای مهم در برنامه‌ریزی زراعی ارزیابی سیستم‌های مختلف تغذیه گیاه است. عناصر کم مصرف با وجود نیاز کم، جایگاه ویژه‌ای در تولیدات کشاورزی دارند (Kafi et al., 2009). آهن یکی از عناصر ضروری کم مصرف و کم تحرک است. گیاهان در بین همه ریز مغذی‌ها، بیشترین نیاز را به آهن دارند. آهن در ساختار هموپروتئین‌ها مانند سیتوکروم‌ها، سیتوکروم اکسیداز و لگ هموگلوبین شرکت می‌کند و در سنتز کلروفیل نقش مهمی دارد. این عنصر به‌عنوان گیرنده الکترون و فعال کننده چندین آنزیم انتقال الکترون در فتوسنتز عمل می‌کند (Irmak et al., 2012). همچنین نقش ساختاری، عملکردی و تنظیمی بسیار مهمی را در گیاهان بر عهده داشته و به‌عنوان کوفاکتور در فعالیت بسیاری از آنزیم‌ها دخالت دارد (Salem and El-Gizawy, 2012).

تحقیقات نشان داده است عدم دسترسی گیاه به آهن منجر به زرد شدن برگ‌های جوان گشته و باعث کاهش چشمگیر فعالیت فتوسنتز و رشد و در نهایت سبب کاهش تولید گیاهان می‌گردد (Briat et al., 2007; Pirzad and Shokrani, 2012; Pourgholam et al., 2013; Eleyan et al., 2014). بنابراین، کاربرد

*نویسنده مسئول: A.mehraban@yahoo.com

آهن علاوه بر رفع نیاز گیاهان به این عناصر، سبب افزایش عملکرد گیاه می‌گردد (Mazlomi et al., 2012; Kobraee et al., 2013; Eleyan et al., 2014).

یکی از مهم‌ترین کاربردهای فناوری نانو در زمینه‌ها و گرایش‌های مختلف کشاورزی در بخش آب و خاک، استفاده از نانو کودها برای تغذیه گیاهان می‌باشد. این ترکیبات به سرعت و به صورت کامل جذب گیاه شده و به خوبی نیازها و کمبودهای غذایی آن را مرتفع می‌سازد (Mazlomi et al., 2012).

نانو کود آلی کلاته آهن خضراء با بنیان EDDHA (اتیلن دی‌آمین دی‌هیدروکسی‌فنیل استیک‌اسید) امکان مصرف خاکی و برگی را ایجاد کرده است. این نانو کود کلاته آهن به علت پایداری مناسب و توان آزادسازی کنترلی، پایه کودی مطمئنی برای رهایش آهن می‌باشد. همچنین، نانو کود کلات آهن دارای کمپلکس منحصر به فردی است که دارای ۹ درصد آهن محلول درآب در بازه ۱۱>pH>۳ می‌باشد. تاثیر مثبت نانو کود کلات آلی آهن بر افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گیاه زراعی برنج گزارش شده است (Baghaie et al., 2012b). در پژوهشی روی کلزا مشخص شد که محلول‌پاشی با نانو کود کلات آلی آهن موجب افزایش عملکرد دانه این گیاه می‌شود (Bahrani and Pourreza, 2014). در مطالعه‌ای روی زعفران زراعی نیز گزارش شد که نانو کود کلات آهن باعث افزایش تعداد و وزن گل و وزن کلاله شد (Baghaie and Maleki Farahani, 2014). بررسی‌های محققین بر روی زیره سبز نشان داد در شرایط محدودیت آبیاری، می‌توان با کاربرد نانو کود آهن کاهش عملکرد ناشی از افزایش دور آبیاری را جبران نمود (Baghaie et al., 2012a). طی پژوهشی اعلام شد که در اسفناج با کاربرد نانو کود کلات آهن، عملکرد بالاتری به‌دست آمد که حدود ۷۰ درصد نسبت به تیمار شاهد برتری داشت (Ladan Moghadam et al., 2012).

با توجه به این که عدس یکی از مهم‌ترین حبوبات در سیستم‌های کشت دیم به خصوص در تناوب با جو و گندم در مناطق با بارندگی کم تا متوسط به حساب می‌آید (Parsa and Bagheri, 2013) و همین‌طور کمبود آهن در اغلب خاک‌های ایران به‌خصوص در زمین‌های دیم (Mahmoudi et al., 2005) مشاهده می‌گردد، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر محلول‌پاشی نانو کلات آهن در مراحل مختلف رشد بر عملکرد بیولوژیک و دانه و برخی صفات دیگر گیاه زراعی عدس تحت شرایط دیم در شرایط آب و هوایی شهر کرج اجرا گردید.

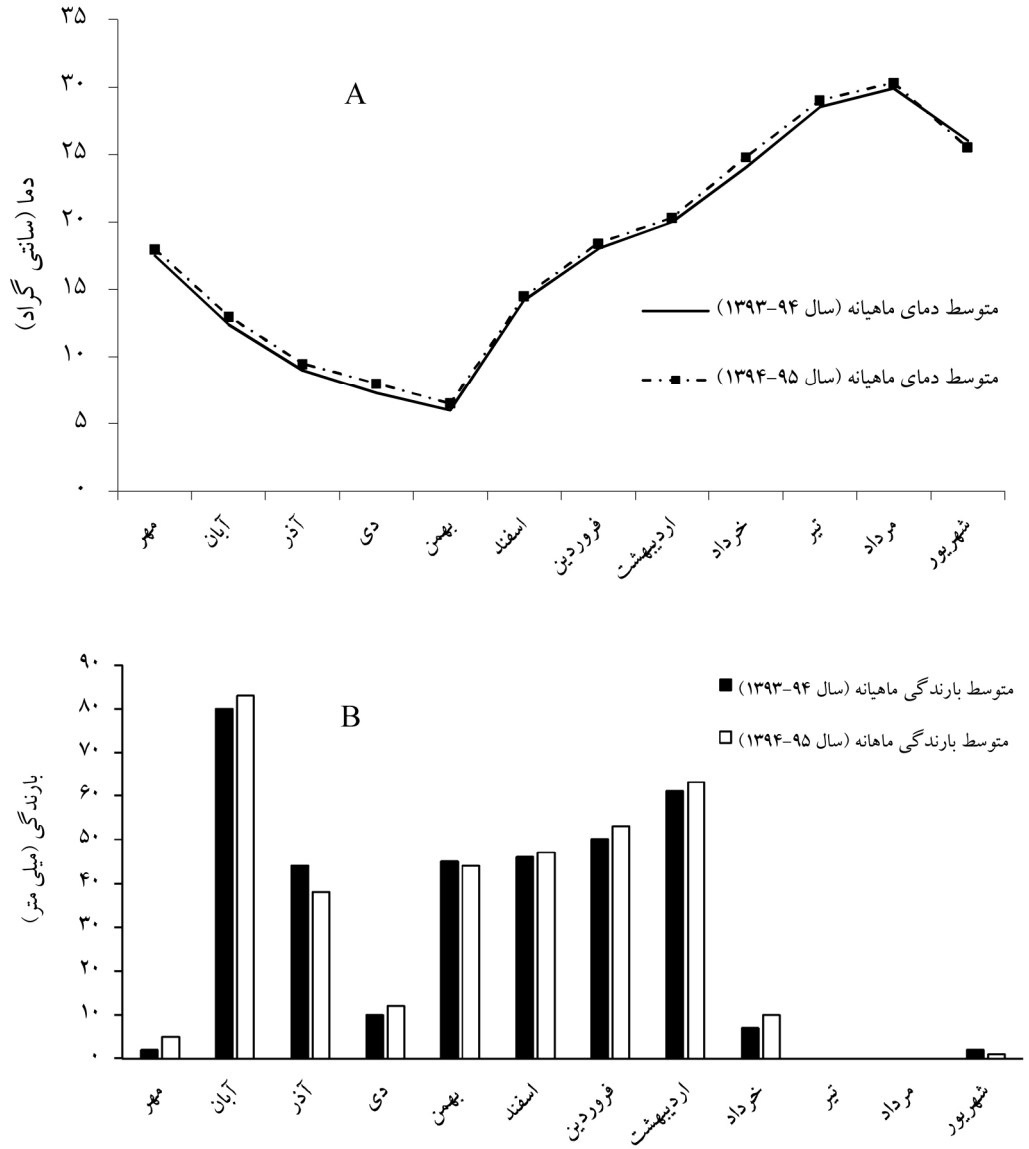
مواد و روش‌ها

این تحقیق در دو سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ و ۹۵-۱۳۹۴ در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران واقع در کرج (عرض و طول جغرافیایی ۳۵ درجه و ۵۶ دقیقه شمالی و ۵۰ درجه و ۵۸ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۳۱۶ متر از سطح دریا) انجام شد. آزمایش در قالب طرح آزمایشی بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار تحت شرایط دیم اجرا گردید. تیمارهای مورد مطالعه در این تحقیق شامل شاهد (عدم محلول‌پاشی)، محلول‌پاشی دو در هزار (گرم در لیتر) نانو کود در مراحل گلدهی، غلاف‌دهی و گلدهی + غلاف‌دهی و محلول‌پاشی چهار در هزار (گرم در لیتر) نانو کود در مراحل گلدهی، غلاف‌دهی و گلدهی + غلاف‌دهی بودند. برای آزمون خاک پس از تعیین محل اجرای آزمایش اقدام به برداشت نمونه خاک گردید. بافت خاک محل آزمایش لومی رسی بود. دیگر نتایج آزمون خاک محل آزمایش در جدول ۱ ارایه شده است. در محل اجرای آزمایش متوسط بلند مدت بارندگی سالیانه ۲۴۷ میلی‌متر و متوسط دمای

هوا ١٤/٤ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. همچنین، میزان کل بارندگی در طول اجرای آزمایش در سال اول و دوم حدود ۱۸۵- ۱۷۵ میلی‌متر بود. نتایج آب و هوای محل آزمایش در شکل ۱ ارائه شده است.

جدول ۱: خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش.

رس ٪	سیلت ٪	شن ٪	بافت	آهن ($mg\ kg^{-1}$)	فسفر قابل جذب (ppm)	پتاسیم قابل جذب (ppm)	نیتروژن ٪	اسیدیته	هدایت الکتریکی dS/m	کربن آلی ٪
۲۸	۳۲	٤٠	لومی رسی	۲/۳۲	٤/٥٥	٥٧٥	۰/۱۲	۷/۲٥	۰/۳۹۸	۱/٤٠



شکل ۱: متوسط دما (A) و بارندگی (B) ماهیانه محل آزمایش در طول فصول زراعی ٩٤-١٣٩٣ و ٩٥-١٣٩٤

عملیات آماده سازی زمین در اوایل پاییز سال ۱۳۹۳ و ١٣٩٤ انجام گرفت و سپس در تاریخ ۱۵ اسفند بذر عدس به صورت دستی و در ردیف‌های با فاصله ٤٠ سانتی‌متر و با تراکم نهایی ۱۰۰ بوته در متر مربع کشت شد. ابعاد هر کرت ٤ متر در ۳ متر بود. با توجه به توصیه کودی آزمایشگاه آب و خاک، حدود

۳۰ کیلوگرم نیتروژن خالص به‌عنوان کود استارتر در زمان کاشت مصرف شد. واحدهای آزمایشی بر حسب نیاز از نظر علف‌های‌هرز، آفات و بیماری‌ها مورد کنترل قرار گرفتند.

نانو کود کلاته آهن از شرکت صدور احرار شرق تهیه شد و به میزان دو و چهار در هزار (گرم در لیتر) در مراحل مختلف رشد و براساس تیمارهای آزمایشی محلول‌پاشی شد. براساس اندازه‌گیری AFM نمونه کود آهن در دو مد Ac و Dc، اندازه ذرات در محدوده ٤٥ تا ٨٣ نانومتر توسط دستگاه AFM مدل Dualscope Ds 95-200-E ساخت شرکت DME در مجتمع دانشگاهی برق الکترونیک دانشگاه صنعتی مالک اشتر ارزیابی شده است.

تاریخ برداشت عدس اواسط تیر ماه هر دو سال زراعی بود. صفات مورد ارزیابی در این مطالعه شامل تعداد دانه در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، شاخص برداشت، درصد و عملکرد پروتئین دانه و میزان آهن بودند. تاریخ برداشت از اواخر تیر ماه هر دو سال زراعی بود. برای محاسبه اجزای عملکرد از هر کرت ۱۰ بوته در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک به صورت تصادفی برداشت شد و صفات مذکور تعیین گردید. برای تعیین عملکرد نهایی دانه و عملکرد بیولوژیک عدس، پس از حذف اثرات حاشیه ۳ متر مربع از هر کرت برداشت شد. مراحل جداسازی کاه و دانه عدس با دست انجام شد و پس از آن با توزین دقیق عملکرد دانه محاسبه گردید. عملکرد دانه عدس با ١٤ درصد رطوبت محاسبه شد.

برای اندازه‌گیری محتوای آهن دانه عدس از دستگاه طیف سنجی جذب اتمی شعله‌ای و روش Rayan و همکاران (۲۰۰۷) استفاده شد. اساس این تکنیک، استفاده از دستگاه جذب برای ارزیابی غلظت آنالیت در نمونه است و برای اندازه‌گیری فلزات استفاده می‌شود.

درصد پروتئین دانه‌ها نیز توسط روش کجلدال که در شیمی تجزیه برای اندازه‌گیری کمی نیتروژن در مواد مختلف به کار می‌رود، سنجیده شد. در این تکنیک سه مرحله هضم ماده غذایی، تقطیر و تیتراسیون وجود دارد و نیتروژن پروتئینی کل سنجیده می‌شود (Magomya et al., 2014).

پس از انجام تست‌های مربوط به مفروضات تجزیه واریانس و اطمینان از صادق بودن آن‌ها، تجزیه آماری داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS انجام گرفت. برای مقایسه میانگین‌ها نیز از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار و در سطح احتمال ۵ درصد (LSD, $P<0.05$) استفاده شد.

نتایج

تعداد دانه در بوته: نتایج تجزیه واریانس داده‌های تعداد دانه در بوته نشان داد که اثر سال بر این صفت معنی‌دار نشد ولی اثر تیمار آزمایشی بر این ویژگی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نیز نشان داد که تعداد دانه در بوته تحت محلول‌پاشی چهار در هزار نانو کود آهن در مرحله گلدهی و نیام‌دهی نسبت به سایر تیمارها به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافت (جدول ۳). با این‌حال تفاوت معنی‌داری بین تیمار محلول‌پاشی چهار در هزار و دو در هزار در مراحل گلدهی و نیام‌دهی وجود نداشت. در این تیمارها محلول‌پاشی نانو کود کلاته آهن در مراحل گلدهی + نیام‌دهی به همراه موجب دسترسی بهتر به مواد غذایی شده و به‌طور معنی‌داری افزایش تعداد دانه در بوته را در پی داشته است. به‌طور کلی، در صفت تعداد دانه در بوته محلول‌پاشی در مرحله گلدهی اثر بیشتری نسبت به مصرف نانو کود در مرحله نیام‌دهی داشت (جدول ۳).

جدول ۲: میانگین مربعات اثر محلول‌پاشی بر اجزای عملکرد، عملکرد دانه و بیولوژیک و شاخص برداشت عدس

منبع تغییرات	درجه آزادی	تعداد دانه در بوته	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	شاخص برداشت
سال	۱	۰/۸۵^{ns}	۳۷/۵۲^{ns}	۳۰۰۳/۲۵^{ns}	۴۹۱۷/۲۵^{ns}	۱۲/۲۷^{ns}
تکرار در سال	٤	٤/۲٦	٦/۹۲	۹۰۷/٦۳	٦۷٥٦/٤٤	۳۹/٥۲
محلول‌پاشی	٦	۱۹/۳۸*	۲٤/۳۳*	٥۰٥۰/٥۷*	۱۲۸۸۸/٥۳*	۲۹/۷۲^{ns}
سال × محلول‌پاشی	٦	۱۰/٤۱^{ns}	۲/٥۲^{ns}	۱۰۹۱/٥۹^{ns}	۷۳۹٦/۳۷^{ns}	۳/۰۹^{ns}
خطای آزمایشی	۲٤	٥/۲۸	۹/۰۲	۱٦۲۱/۹۹	٥۱۸۷/۲۹	۱۱/۸٦
C.V (%)	--	۸/۲۸	۹/۹۰	۱٤/۹۹	۱٤/۰۷	۱۱/٤٦

ns, * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۳: مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی بر اجزای عملکرد، عملکرد دانه و بیولوژیک و شاخص برداشت عدس

تیمار محلول‌پاشی	تعداد دانه در بوته	وزن هزار دانه (g)	عملکرد دانه ($kg\ ha^{-1}$)	عملکردبیولوژیک ($kg\ ha^{-1}$)	شاخص برداشت (٪)
بدون محلول‌پاشی	۲٥/۰۰^{d}	۲۷/۳۸^{c}	۷۱۹/۳۳^{c}	۲٦٤۳/۰۰^{b}	۲۷/۲۲
۲ در هزار گلدهی (گرم در لیتر)	۲۷/۸۳^{bc}	۲۸/٤۱^{bc}	۷۸۹/٦٥^{bc}	۲٦٦٦/۳٦^{b}	۲۹/٦۲
۲ در هزار غلاف‌دهی (گرم در لیتر)	۲٦/۱٦^{cd}	۳۰/۸۳^{abc}	۸۱۰/۳۷^{bc}	۲۸۳۰/٦۱^{b}	۲۹/٦۳
۲ در هزار گلدهی+ غلاف‌دهی(گرم در لیتر)	۲۹/٥۰^{ab}	۳۱/۱٦^{ab}	۹۱۸/۷٥^{ab}	۲۹۰۷/٥۰^{ab}	۳۱/۸۰
٤ در هزار گلدهی(گرم در لیتر)	۲۸/٦٦^{abc}	۲۹/٦٦^{bc}	۸٤٦/٤۲^{bc}	۲۷٥۰/٤۸^{b}	۳۰/۷۷
٤ در هزار غلاف‌دهی(گرم در لیتر)	۲۷/۱٦^{bcd}	۳۱/۳٦^{ab}	۸٥۷/۲۹^{bc}	۲۸۸۹/۱٦^{b}	۳۰/٤۸
٤ در هزار گلدهی+ غلاف‌دهی(گرم در لیتر)	۳۰/۰۰^{a}	۳۳/٤۱^{a}	۱۰۰۳/۰۷^{a}	۳۰٥۷/۸٥^{a}	۳۲/۸۰

حروف غیر مشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها می‌باشد.

وزن هزار دانه: نتایج تجزیه واریانس ارایه شده در جدول ۲ نشان می‌دهد که اثر سال بر وزن هزار دانه معنی‌داری نبود ولی، اثر تیمار محلول‌پاشی در سطح احتمال پنج درصد بر این صفت معنی‌دار بود. با توجه به مقایسه میانگین تیمارها مشخص گردید که وزن هزار دانه در تیمار محلول‌پاشی چهار در هزار نانو کود در مرحله گلدهی و نیام‌دهی بیشتر از سایر تیمارها بود و در مقایسه با تیمار شاهد، حدود ۲۰ درصد وزن هزار دانه را افزایش داد (جدول ۳).

عملکرد بیولوژیک و دانه: عملکرد بیولوژیک عدس تحت تاثیر اثر سال قرار نگرفت ولی اثر محلول‌پاشی بر این ویژگی معنی‌دار بود (جدول ۲)، بیشترین و کمترین میزان عملکرد بیولوژیک (به‌ترتیب ۳۰٥۷/۸٥ و ۲٦٤۳/۰۰ کیلوگرم در هکتار) در تیمار محلول‌پاشی چهار در هزار نانو کود در مرحله گلدهی و نیام‌دهی مشاهده شد (جدول ۳) ولی اختلاف این تیمار با تیمار محلول‌پاشی دو در هزار نانو کود در مرحله گلدهی و نیام‌دهی از نظر این ویژگی معنی‌دار نبود (جدول ۳).

تجزیه واریانس ارائه شده در جدول ۲ نشان می‌دهد که اثر سال بر ویژگی عملکرد دانه عدس معنی‌دار نشد ولی، اثر محلول‌پاشی آهن بر این صفت در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین عملکرد دانه (۱۰۰۳/۰۷ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار محلول‌پاشی چهار در هزار نانو کود در مرحله گلدهی و نیام‌دهی و کمترین مقدار (۷۱۹/۳۳ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار شاهد (بدون محلول‌پاشی) بود

(جدول ۳). تیمار محلول‌پاشی چهار در هزار نانو کود در مرحله گلدهی و نیام‌دهی در مقایسه با تیمار محلول‌پاشی دو در هزار نانو کود در مرحله گلدهی و نیام‌دهی، عملکرد دانه را افزایش داد، ولی بین آن‌ها از لحاظ آماری تفاوتی وجود نداشت (جدول ۳).

شاخص برداشت: میانگین مربعات داده‌ها نشان داد که اثر سال بر شاخص برداشت عدس معنی‌دار نبود ولی این صفت تحت تاثیر محلول‌پاشی قرار گرفت (جدول ۲)، با اینکه بیشترین میزان شاخص برداشت (۳۲/۸۳ درصد) در تیمار محلول‌پاشی چهار در هزار نانو کود در مرحله گلدهی و نیام‌دهی مشاهده شد ولی اختلاف این تیمار با سایر تیمارهای محلول‌پاشی معنی‌دار نبود و تنها تیمار شاهد (عدم محلول‌پاشی) دارای اختلاف معنی‌دار با دیگر تیمارهای آزمایشی بود و کمترین میزان این صفت را بدست آورد (جدول ۳).

میزان آهن دانه: تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر سال بر میزان آهن دانه معنی‌دار نشد ولی اثر محلول‌پاشی این عنصر بر این ویژگی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ٤). بیشترین و کمترین میزان آهن دانه (به‌ترتیب ۸/۱۰ و ٤/٤٥ میلی گرم در کیلوگرم) به‌ترتیب در تیمارهای محلول‌پاشی چهار در هزار آهن در مرحله گلدهی و نیام‌دهی و شاهد (بدون محلول‌پاشی) مشاهده شد (جدول ۵). تیمار محلول‌پاشی چهار در هزار آهن در مرحله گلدهی و نیام‌دهی نسبت به تیمار بدون محلول‌پاشی حدود ۳۵ درصد میزان آهن دانه را افزایش داد. البته تیمار محلول‌پاشی چهار در هزار آهن در مرحله گلدهی و نیام‌دهی اختلاف معنی‌داری با تیمار محلول‌پاشی دو در هزار آهن در مرحله گلدهی و نیام‌دهی نداشت.

جدول ٤: میانگین مربعات اثر محلول‌پاشی بر برخی میزان آهن دانه و درصد و عملکرد پروتئین عدس

منبع تغییرات	درجه آزادی	میزان آهن دانه	درصد پروتئین دانه	عملکرد پروتئین
سال	۱	۰/۳٦^{ns}	۰/۲۲^{ns}	۲۱٤/٤٥^{ns}
تکرار در سال	٤	۱/۲۹	۱۸/۰۰	۲۰۹/۲۲
محلول‌پاشی	٦	٦/۸٤**	۱۷/۲۱*	۸۹۷/۲۷**
سال × محلول‌پاشی	٦	۰/۱۳^{ns}	۲/۰۰^{ns}	۱۲۲/٦۲^{ns}
خطای آزمایشی	۲٤	۰/٦۷	۵/۷۳	۱۲۷/۵٦
C.V (%)	--	۹/٤۷	۸/۹۲	۱۵/۵۸

ns, * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۵: مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی بر آهن و پروتئین دانه و عملکرد پروتئین

تیمار محلول‌پاشی	آهن دانه ($mg\ kg^{-1}$)	پروتئین دانه (٪)	عملکرد پروتئین ($kg\ ha^{-1}$)
بدون محلول‌پاشی	٤/٤٥^{d}	۲۳/۰۸^{c}	۱۷۳/٦٦^{d}
۲ در هزار گلدهی (گرم در لیتر)	٦/۲۳^{c}	۲۵/۹٤^{bc}	۲۰٤/۹۱^{cd}
۲ در هزار غلاف‌دهی (گرم در لیتر)	٦/۳٦^{bc}	۲٦/٤۰^{bc}	۲۱٤/۳٤^{cd}
۲ در هزار گلدهی+ غلاف‌دهی(گرم در لیتر)	۷/٦۵^{ab}	۲۸/۲۷^{ab}	۲۵۹/۳۳^{ab}
٤ در هزار گلدهی(گرم در لیتر)	۷/۳۱^{b}	۲٦/۳۳^{bc}	۲۲۲/۷۵^{bc}
٤ در هزار غلاف‌دهی(گرم در لیتر)	۷/۰٦^{bc}	۲۷/۰۰^{bc}	۲۳۱/٦۳^{bc}
٤ در هزار گلدهی+ غلاف‌دهی(گرم در لیتر)	۸/۱۰^{a}	۲۹/۵۵^{a}	۲۹۵/۰۱^{a}

حروف غیر مشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها می‌باشد.

درصد و عملکرد پروتئین دانه: اثر سال بر ویژگی‌های درصد پروتئین دانه و عملکرد پروتئین معنی‌دار نبود (جدول ٤). ولی اثر محلول‌پاشی بر این ویژگی‌ها به‌ترتیب در سطح احتمال پنج و یک درصد معنی‌دار بود (جدول ٤). کمترین میزان درصد پروتئین دانه (۲۳/۰۸ درصد) به تیمار عدم محلول‌پاشی آهن تعلق گرفت. همچنین، بیشترین درصد این ویژگی (۲۹/۵۵ درصد) در تیمار محلول‌پاشی چهار در هزار آهن در مراحل گلدهی و نیام‌دهی مشاهده شد (جدول ۵). هر چند این تیمار با تیمار محلول‌پاشی دو در هزار آهن در مراحل گلدهی و نیام‌دهی تفاوت معنی‌دار نداشتند (جدول ۵). بیشترین و کمترین عملکرد پروتئین (به‌ترتیب ۲۹۵/۰۱ و ۱۷۳/٦٦ کیلوگرم در هکتار) نیز به‌ترتیب متعلق به تیمار محلول‌پاشی چهار در هزار آهن در مراحل گلدهی و نیام‌دهی و تیمار شاهد (عدم محلول‌پاشی) بود (جدول ۵). تیمار برتر (محلول‌پاشی چهار در هزار آهن در مراحل گلدهی و نیام‌دهی) نسبت به تیمار شاهد عملکرد پروتئین عدس را در حدود ٤۰ درصد افزایش داد. هر چند در این صفت نیز مانند دیگر ویژگی‌های مورد ارزیابی اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای محلول‌پاشی دو و چهار در هزار در مراحل گلدهی و نیام‌دهی گیاه زراعی عدس مشاهده نشد (جدول ۵).

بحث

آهن به عنوان یکی از عناصر مهم در تغذیه گیاهان به مقدار فراوان در خاک وجود دارد ولی به‌دلایل متعددی قابلیت جذب آن بسیار کم و محدود می‌باشد. به‌دلیل آهکی بودن و داشتن مواد آلی کم در بخش زیادی از خاک‌های کشورمان (به‌خصوص در مزارع دیم)، بسیاری از محصولات از کمبود آهن رنج می‌برند (Mahmoudi et al., 2005). آهن یکی از عناصر ضروری برای رشد کمی و کیفی مناسب در گیاهان مختلف زراعی است (Baghaie and Maleki Farahani, 2014). گیاهان در بین همه ریز مغذی‌ها، بیشترین نیاز را به آهن دارند (Mahmoudi et al., 2005). آهن به‌صورت دو ظرفیتی و کلیت جذب می‌گردد. این عنصر در ساختار هموپروتئین‌ها مانند سیتوکروم‌ها، سیتوکروم اکسیداز و لگ هموگلوبین شرکت می‌کند. آهن گرچه در ساختار کلروفیل وجود ندارد ولی در سنتز آن نقش مهمی دارد. این عنصر به اشکال مختلف کانی در خاک وجود دارد (Whiting et al., 2014). برخی پژوهشگران اظهار داشتند که مصرف نانو کود کلات آهن در مرحله گلدهی تاثیر مثبتی بر صفات کمی و کیفی برخی لگوم‌ها مانند نخود و عدس دارد همچنین، این محققین کاربرد نانو کود در دو مرحله گلدهی و نیام‌دهی را بهترین تیمار گزارش کردند (Mahmoudi et Hamzei et al., 2014 al., 2005;).

یافته‌هایی مبنی بر افزایش وزن هزار دانه گندم در اثر محلول‌پاشی آهن، روی و منگنز، نتایج این پژوهش را تأیید می‌کند (Pahlavan Rad et al., 2008; Heidarian et al., 2011). هر چند تفاوت معنی‌داری بین محلول‌پاشی در زمان گلدهی و نیام‌دهی در ویژگی وزن هزار دانه وجود نداشت اما، مقادیر وزن هزار دانه در تیمار محلول‌پاشی در مرحله نیام‌دهی بیش از میزان این صفت در تیمار محلول‌پاشی در مرحله گلدهی بود (جدول ۳) که ممکن است از طریق افزایش دسترسی توسط مواد مغذی نانو کلاته آهن و احتمالا افزایش طول دوره پر شدن دانه‌ها، وزن دانه را افزایش داده است. با توجه به نتایج این مطالعه تیمار محلول‌پاشی چهار در هزار نانو کود در مرحله گلدهی و نیام‌دهی در مقایسه با تیمار محلول‌پاشی دو در هزار نانو کود در مرحله گلدهی و نیام‌دهی، عملکرد بیولوژیک و دانه را افزایش داد. این موضوع

بیانگر فراهم شدن شرایط مناسب برای گیاه در جهت جذب عناصر ریز مغذی با محلول‌پاشی نانو کود است که می‌تواند علاوه بر افزایش رشد و نمو گیاه، عملکرد دانه را نیز افزایش دهد. به‌عبارت دیگر در تیمارهای محلول‌پاشی نانو کود در دو مرحله گلدهی و نیام‌دهی، موجب افزایش دسترسی به عناصر غذایی به‌خصوص آهن شده و از طریق افزایش اجزای عملکرد (تعداد دانه در بوته و وزن دانه)، عملکرد دانه را افزایش داده است. در پژوهشی گزارش شد که کاربرد عنصر ریز مغذی آهن به‌صورت محلول‌پاشی در گیاه سویا باعث بهبود اغلب صفات رشدی مانند عملکرد و وزن خشک اندام هوایی نسبت به تیمار عدم محلول‌پاشی شد (Moosavi and Ronaghi, 2011). در مطالعه‌ای روی نقش مصرف عناصر غذایی بر عملکرد دانه و روغن در کلزا اعلام شد که مصرف عناصر ریز مغذی از قبیل آهن سبب افزایش عملکرد بیولوژیک و وزن قسمت‌های هوایی این گیاه می‌شود (Bahrani, 2015). همچنین، افزایش وزن خشک اندام هوایی با کاربرد نانو کود کلات آهن در گیاه سورگوم تایید شد (Jokar and Ronaghi, 2015). نتایج پژوهش حاضر مطابق با یافته‌های Hamzei و همکاران (۲۰۱٤) و Roosta و Mohsenian (۲۰۱۲) به‌ترتیب در گیاهان نخود و فلفل است. در دو رقم گیاه اسفناج نیز مشخص شد با کاربرد نانو کود کلات آهن، عملکرد بالاتری به دست آمد که به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمار عدم کاربرد کود کلات آهن افزایش نشان داد (Ladan Moghadam et al., 2012). نتایج این آزمایش با یافته‌های سایر پژوهشگران هماهنگ است (Roosta and Mohsenian, 2012; Lashani, 2006; Kassab et al., 2004).

همانطور که ذکر گردید احتمالاً محلول‌پاشی در مرحله گلدهی و نیام‌دهی از طریق افزایش تعداد دانه در بوته و وزن دانه‌ها باعث افزایش عملکرد دانه می‌گردد و در نهایت نیز باعث می‌شود تا شاخص برداشت تحت تاثیر این تیمار قرار گرفته و افزایش یابد (جدول ۳). نقش مثبت مصرف عناصر غذایی مثل آهن بر شاخص برداشت این گیاه گزارش شد (Bahrani, 2015). Bahrani و Pourreza (۲۰۱٤) در مطالعه اثر عناصر ریزمغذی بر عملکرد دانه و محتوای روغن کلزا گزارش کردند که عناصر ریز مغذی سبب افزایش معنی‌دار شاخص برداشت نسبت به تیمار عدم کاربرد عناصر ریز مغذی شد. نتایج این مطالعه حاضر منطبق با پژوهش‌های Roosta و Mohsenian (۲۰۱۲) بر روی گیاه فلفل است.

از آنجا که کمبود آهن، همواره موجب از بین رفتن کلروفیل و تخریب ساختمان کلروپلاست می‌شود (Ahmadi and Jabbari, 2009)، دسترسی مطلوب به این عنصر باعث افزایش چشمگیر فعالیت فتوسنتز و در نتیجه بهبود رشد می‌گردد (Salem and El-Gizawy, 2012). محققین بسیاری بر نقش مثبت این عنصر در افزایش رشد گیاهان مختلف اشاره کرده‌اند (Hamzei et al., 2014; Roosta and Mohsenian, 2012; Habib, 2009; Chohura et al., 2007). همچنین، پژوهشگرانی پس از بررسی و مقایسه انواع کلات‌ها گزارش نمودند تیمار گیاه سویا با کلات آهن، آهن کل را تا ۵۰ درصد افزایش داد (Schenkeveld et al., 2010). افزایش آهن اندام هوایی سورگوم نیز با کاربرد نانو کود کلات آهن گزارش شد (Jokar and Ronaghi, 2015).

با توجه به تاثیر مثبت عنصر آهن بر سنتز کلروفیل و افزایش ماده‌سازی در گیاهان زراعی و نیز حضور این عنصر در برخی ترکیبات شیمیایی گیاهان از جمله اسیدهای آمینه، میزان پروتئین دانه عدس هم در این مطالعه افزایش داشت که این موضوع منطبق با یافته‌های دیگر محققین در گیاهان نخود و گوجه فرنگی می‌باشد (Hamzei et al., 2014; Chohura et

al., 2007). در نهایت افزایش درصد پروتئین دانه عدس و نیز افزایش عملکرد دانه باعث افزایش عملکرد پروتئین شد. Zayed و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهش‌های خود به نقش موثر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی به‌خصوص آهن در رشد و عملکرد گیاهان زراعی اشاره نموده‌اند.

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که عملکرد گیاه زراعی عدس با محلول‌پاشی عنصر ریز مغذیی آهن در مراحل مختلف رشدی مانند گلدهی و نیام‌دهی از لحاظ کمی و کیفی نسبت به تیمار عدم محلول‌پاشی افزایش معنی‌داری یافت. اما این افزایش عملکرد کمی و کیفی در تیمارهای مختلف روند یکسانی نداشته، به‌طوری‌که محلول‌پاشی آهن با غلظت چهار در هزار (گرم در لیتر) و در دو مرحله گل و نیام‌دهی دارای بیشترین اثر مثبت نسبت به بقیه تیمارها بود. گرچه تفاوت تیمارهای غلظت دو و چهار در هزار (گرم در لیتر) در ویژگی‌های مورد ارزیابی معنی‌دار نبود که از این لحاظ توجه به بنیه اقتصادی کشاورز، مسائل زیست محیطی، میزان آهن مورد نیاز در بین مصرف کنندگان ضروری به‌نظر می‌رسد.

References

Ahmadi, A. and Jabbari, F. (2009). Introduction to plant physiology. Tehran University Press.1: 163-158.

Baghaie, N., Keshavarz, N., Amini Dehaghai, M. and Nazaran, M.H. (2012a). Effect of Nano iron chelate fertilizer on yield and yield components of Cumin (*Cuminum cyminum*) under different irrigation intervals. International Congress on Medicinal Plants. Kish Island. Iran.

Baghaie, N., Keshavarz, N. and Nazaran, M.H. (2012b). Effect of nano iron chelate fertilizer on yield and yield components of rice, Hashemi cultivar. 12th Iranian Crop Sciences Congress. Islamic Azad University, branch of Karaj. Iran. Karaj.

Baghaie, N. and Maleki Farahani, S. (2014). Comparison of nano and micro chelated iron fertilizers on quantitative yield and assimilates allocation of saffron (*Crocus sativus* L.). Journal of Saffron Research. 1(2): 156-169.

Bahrani, A. (2015). Effect of some micro and macro nutrients on seed yield and oil content of rapeseed (*Brassica napus* L.). International Journal of Chemical Environmental and Biological Sciences. 3(1): 71-74.

Bahrani, A.M. and Pourreza, A. (2014). Effects of micronutrients on seed yield and oil content of *Brassica napus* L. CV Talaeh. Botany. 43(2): 231-233.

Briat, J.F., Curie, C. and Gaymard, F. (2007). Iron utilization and metabolism in plants. Current Opinion in Plant Biology. 10: 276-282.

Chohura, P., Kołota, E. and Komosa, A. (2007). The effect of different source of iron on nutritional value of greenhouse tomato fruit grown in peat substrate. Vegetable Crops Research Bulletin. 67: 55-61.

Eleyan, S.E.D., Abodahab, A.A., Abdallah, A.M. and Rabeh., H.A. (2014). Effect of foliar application of manganese and iron on growth characters, yield and fiber properties of some Egyptian cotton cultivars (*Gossypium barbadense* L.). International Journal of Agriculture and Crop Sciences. 7: 1283-1292.

Habib, M. (2009). Effect of foliar application of Zn and Fe on wheat yield and quality. African Journal of Biotechnology.8 (24):6795-6798.

Hamzei, J., Najjari, S., Sadeghi, F. and Seyedi, M. (2014). Effect of foliar application of nano-iron chelate and inoculation with mesorhizobium bacteria on root nodulation, growth and yield of chickpea under rainfed conditions. Iranian Journal of Pulses Research. 5(2): 9-18.

Heidarian, A.R., Kord, H., Mostafavi, K., Parviz Lak, A. and Amini Mashhadi, F. (2011). Investigating Fe and Zn foliar application on yield and its components of soybean at different growth stages. Journal of Agricultural Biotechnology and Sustainable Development. 3(9): 189 - 197.

Irmak, S., Nuran Çıl, A., Yücel, H. and Kaya, Z. (2012). The effects of iron application to soil and foliarly on agronomic properties and yield of peanut (*Arachis hypogaea*). Journal of Food, Agriculture and Environment.10 (3and4): 417 - 422.

Jokar, L. and Ronaghi, A. (2015). Effect of foliar application of different Fe levels and sources on growth and concentration of some nutrients in sorghum. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture. 6(2): 163-173.

Kafi, M., Borzooei, A., Salehi, M., Kamandi, A., Maassoumi, A. and Nabati, M. (2009). Plant environmental stress physiology. Mashhad University Jihad Press.p. 502.

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 plants. Menofia Journal of Agricultural Research. 29: 925-932.

Kobraee, S., Noormohamadi, G., Heidari Sharif Abad, H., Darvish Kajori, F. and Delkhosh, B. (2013). Micronutrients distribution in soybean plant with Zn, Fe, and Mn application. Annual Review and Research in Biology. 3(2): 83-91.

Komosa, A., Kołota, E. and Chohura, P. (2002). Usefulness of iron chelates for fertilization of greenhouse tomato cultivated in rockwool. Vegetable Crop Research Bulletin. 55: 35-40.

Ladan Moghadam, A., Vattani, H. Baghaei, N. and Keshavarz, N. (2012). Effect of different levels of fertilizer nano_iron chelates on growth and yield characteristics of two varieties of Spinach (*Spinacia oleracea* L.): Varamin 88 and Viroflay. Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology. 4(12): 4813-4818.

Lashani, H. (2006). Effect of systems farming- nutrinional on yield and yield components of cultivar SC704 in climatic Khorramabad. M.SC. thesis. Faculty of Agriculture, Lorestan University.p. 109.

Magomya, A.M., Kubmarawa, D., Ndahi, J.A. and Yebpella, G.G. (2014). Determination of plant proteins via the Kjeldahl method and amino acid analysis: A comparative study. International Journal of Science Technology Research. 3(4): 68-72.

Mahmoudi, H., Ksouri, R. and Lachaal, M. (2005). Differences in responses to iron deficiency between two legumes: lentil and chickpea. Journal of Plant Physiology. 162: 1237-1254.

Mazlomi M., Pirzad, A. and Zardoshti, M. (2012). Allocation ratio of photosynthate to different parts of sugar beet plant affected by nano-iron foliar application at varying growth stages. International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences. 2: 121: 128.

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 relationship in in a calcareous soil. Australian Journal Crop Science. 5: 1550-1556.

Pahlavan Rad, M.R., Keykha, G. and Naroui Rad, M.R. (2008). Effects of application of Zn, Fe and Mn on yield, yield component, nutrient concentration and uptake in wheat grain. Pajouhesh and Sazandegi.79: 142-150.

Parsa, M. and Bagheri, A. (2013). Legumes. Mashhad Jahad Daneshgahi Press.p. 524.

Pirzad, A. and Shokrani, F. (2012). Effects of iron application on growth characters and flower yield of *Calendula officinalis* L. under water stress. World Applied Sciences Journal. 18(9): 1203-1208.

Pourgholam, M., Nemati, N. and Oveysi, M. (2013). Effect of zinc and iron under the influence of drought on proline, protein and nitrogen leaf of rapeseed

(*Brassica napus*). Annals of Biological Research. 4(7): 200-203.

Rayan, J.R., Estefan, G. and Rashid, A. (2007). Soil and plant analysis laboratory manual. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas. 62-65.

Roosta, H.R. and Mohsenian, Y. (2012). Effects of foliar spray of different Fe sources on pepper (*Capsicum annum* L.) plants in aquaporin system. Scientia Horticulturae. 146: 182–191.

Salem, H.M. and El-Gizawy, N.K.B. (2012). Importance of micronutrients and its application methods for improving maize yield grown in clayey soil. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science. 12 (7): 954-959.

Schenkeveld, W.D., Reichwein, A.M. Bugter, M.H. Temminghoff, E.J. and van Riemsdijk, W.H. (2010). Performance of soil-applied FeEDDHA isomers in delivering Fe to soybean plants in relation to the moment of application. Journal Agriculture Food Chemistry. 58:12833–12839.

Whiting, D., Card, A. Wilson, C. and Reeder, J. (2014). Iron Chlorosis: Iron Additves. Colorado State University. 223-7.

Zayed, B.A., Salem, A.K.M. and Sharkawy, H.M. (2011). Effect of different micronutrient treatments on rice (*Oriza sativa* L.) growth and yield under saline soil conditions. World Journal of Agricultural Sciences. 7:179-184.