

تاثیر دو نوع کود آهن بر عملکرد و اجزای عملکرد سویا در شمال خوزستان

کامران میرزاشاهی^۱، فریدون نورقلی پور و سعید سماوات

استادیار پژوهش مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی آباد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، دزفول، ایران.
kamranmirzashahi@yahoo.com
عضو هیات علمی موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. Nourfg@yahoo.com
استادیار پژوهش موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. ssamavat@swri.ir

دریافت: اسفند ۱۳۹۴ و پذیرش: مرداد ۱۳۹۵

چکیده

به منظور بررسی اثر بخشی کود مایع فولوات آهن با منشا کود دامی " کود گاوی پوسیده" و مقایسه آن با کلات-Fe EDDHA بر عملکرد دانه و اجزا عملکرد سویا (*Glycine max (L.) Merr.*) رقم سالند؛ این پژوهش در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۱ در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی آباد- دزفول اجرا گردید. تیمارهای آزمایش عبارت بودند از: تیمار ۱ (شاهد، بدون کاربرد کود آهن)، تیمار ۲ (کاربرد خاکی سکوسترین آهن ۱۳۸ برای تامین ۱۰۰ درصد آهن توصیه "۱۲/۵ کیلوگرم در هکتار")، تیمار ۳ (محلول پاشی فولوات آهن برای تامین ۱۰۰ درصد آهن توصیه " غلظت ۵ در هزار")، تیمار ۴ (کاربرد خاکی سکوسترین آهن ۱۳۸ برای تامین ۷۵ درصد آهن توصیه "۹/۳۸ کیلوگرم در هکتار" + محلول پاشی فولوات آهن برای تامین ۲۵ درصد آهن توصیه " غلظت ۱/۲۵ در هزار")، تیمار ۵ (کاربرد خاکی سکوسترین آهن ۱۳۸ برای تامین ۵۰ درصد آهن توصیه "۶/۲۵ کیلوگرم در هکتار" + محلول پاشی فولوات آهن برای تامین ۵۰ درصد آهن توصیه " غلظت ۲/۵ در هزار") و تیمار ۶ (کاربرد خاکی سکوسترین آهن ۱۳۸ برای تامین ۲۵ درصد توصیه "۳/۱۳ کیلوگرم در هکتار" + محلول پاشی فولوات آهن برای تامین ۷۵ درصد آهن توصیه " غلظت ۳/۷۵ در هزار"). نتایج نشان داد که اثر کاربرد کود آهن بر ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد های دانه و کل، شاخص کلروفیل متر (۴ و ۶ هفته پس از کشت) و جذب آهن و منگنز توسط دانه معنی دار بود. صرف نظر از نوع کود آهن مصرفی، به طور متوسط عملکرد دانه ناشی از کاربرد آهن نسبت به شاهد (تیمار ۱)، ۲۸ درصد بیشتر بود. در مجموع، نتایج این آزمایش نشان داد که فولوات آهن می تواند به عنوان یک منبع تامین آهن مورد استفاده قرار گیرد و در جمع بندی کلی تیمار ۵ نسبت به سایر تیمارهای کود آهن موثر تر بود.

واژه های کلیدی: جذب، سکوسترین آهن، سویا، فولوات آهن.

مقدمه

سویا (*Glycine max* (L.) Merr.) یکی از گیاهان زراعی مهم می باشد. این گیاه نقش مهمی در تامین روغن و پروتئین خوراکی دارد. بنابراین، افزایش محصول این گیاه ضروری می باشد. کمبود آهن (یا کلروز آهن)، محدودکننده عملکرد سویا در خاک های آهنکی می باشد. کلروز آهن علاوه بر کمبود آهن در خاک به عدم توانایی گیاه در جذب آهن در خاک نیز، مرتبط است. گیاه سویا با آزادسازی اسیدها سبب حلالیت آهن در خاک می شود که این امر منجر به جذب آهن توسط ریشه می گردد. اما، در شرایط pH بالا، سطوح بالای بیکربنات و نیز شوری خاک به دلیل وقوع واکنش شیمیایی بین بیکربنات ها و آهن خاک، قابلیت دسترسی محدود می شود (هنسن و همکاران، ۲۰۰۳). پترسن و اونکن (۱۹۹۲) کمبود آهن (کلروز آهن) در سویا را ناشی از اثرات متقابل پیچیده بین شرایط محیطی، خاک و گیاه گزارش کردند. مواد هیومیکی شامل سه بخش اصلی یعنی اسیدهای فولویک، اسید های هیومیک و هیومین می باشند که از منابع مختلفی نظیر خاک، لیگنیت های اکسیده شده و ترکیبات آلی گیاهی و جانوری استخراج می شوند. تفاوت این سه ترکیب بر مبنای رنگ، درجه پلی مریزاسیون، وزن مولکولی، مقدار اکسیژن و کربن، اسیدیته تبادلی و درجه حلالیت است. به طوری که، از اسید فولویک تا هیومین، رنگ از زرد روشن به سیاه، وزن مولکولی از کم (۲۰۰۰) به زیاد (۳۰۰۰۰۰)، مقدار اکسیژن از زیاد (۴۸ درصد) به کم (۳۰ درصد)، مقدار کربن از کم (۴۵ درصد) به زیاد (۶۲ درصد)، اسیدیته تبادلی از زیاد (۱۴۰۰ میلی اکی والان در هر ۱۰۰ گرم) به کم (۵۰۰ میلی اکی والان در هر ۱۰۰ گرم) و حلالیت از زیاد به کم تغییر می کند (استیونسون، ۱۹۸۲).

اسیدهای فولویک بنا به تعریف مجموعه ای از زنجیره های الیفاتیک ضعیف و اسید های آلی آرماتیک می باشند که بر خلاف اسید هیومیک که فقط در pH بالاتر از دو محلول است، در هر pH (اسیدی، خنثی و قلیایی) در آب قابل حل می باشد. این ویژگی باعث شده است که

در جریان استخراج یا جداسازی، این دو ماده از یکدیگر مجزا شوند. برای استخراج در وهله اول از محلول قلیایی (مثلاً هیدرواکسید سدیم ۰/۵ نرمال) برای جدا سازی بخش محلول در قلیا (اسید های هیومیک و فولویک) و نامحلول (هیومین) و در مرحله بعد، از محلول اسیدی برای جداسازی اسید فولویک (محلول در اسید) از اسید هیومیک (نامحلول در اسید) استفاده می گردد. اسید های هیومیک و اسید های فولویک به ترتیب قادر به تشکیل کمپلکس های پایدار نامحلول و محلول با عناصر کم مصرف به خصوص آهن می باشند، افزون بر این اسید های فولویک به دلیل کوچک بودن مولکول از دیواره سلولی ریشه به خوبی عبور و جذب گیاه می شود.

برخی مطالعات حاکی از اثر بخشی مثبت نمک های اسید فولویک (نظیر فولوات آهن) بر رشد و جذب عناصر غذایی توسط گیاه می باشد. چن و اویاد (۱۹۹۰) گزارش کردند که با مصرف اسید هیومیک و یا اسید فولویک در محلول غذایی و یا محلول پاشی در غلظت های ۲۵ تا ۳۰۰ میلی گرم در لیتر، رشد اندام هوایی در بسیاری از گیاهان تحریک می شود. چن و همکاران (۱۹۹۹) گزارش کردند که کاربرد اسید فولویک و اسید هیومیک باعث افزایش جذب عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و گوگرد و نیز عناصر کم مصرف از جمله آهن، روی، مس و منگنز شد. پیکولو (۱۹۹۲) در تحقیقات خود نشان داد که اسید فولویک دارای مولکول کوچکتر و گروه های اسیدی بیشتری نسبت به اسید هیومیک می باشد لذا، اثرات شبیه هورمونی آن بیشتر است. مورالس و آبادیا (۱۹۹۰) گزارش کردند که در شرایط کمبود آهن، تعداد رنگدانه های فتوسنتز کننده و مقدار کلروفیل برگها کاهش می یابد. وایرسما (۲۰۰۵) نتیجه گیری نمود که تیمار ترکیبی آغشته کردن بذر با کلات Fe-EDDHA و نیز مصرف نواری آن در کاهش علائم کلروز و افزایش عملکرد دانه سویا بهتر از سایر تیمارها بود. کالسیکان و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که کوددهی آهن باعث

آهن در کیلوگرم خاک نسبت به سطح قبلی معنی‌دار نبود. نوده شریفی و دردی پور (۱۳۹۴) نتیجه‌گیری نمودند که وزن تر و خشک سویا در تیمارهای مصرف خاکی سکوسترین آهن و سولفات آهن همراه با ماده آلی و باکتری سیدروفور به طور معنی‌داری بیشتر از تیمارهای سولفات آهن به تنهایی و شاهد بود. هم چنین، ایشان توصیه نمودند که برای افزایش کارایی، سولفات آهن همراه با ماده آلی و سیدروفور مصرف گردد؛ زیرا، در این حالت امکان جایگزینی آن با کود گران قیمت سکوسترین آهن وجود دارد.

انتخاب ارقام مقاوم (گزینه اول) و استفاده از روش خاک کاربرد و محلول پاشی با استفاده از منابع مختلفی نظیر کلات‌ها "EDTA, DTPA, EDDHA", فنولیک-ها، لیگنو سولفات‌ها، اسیدهای آمینه، سترات‌ها، گلوکوپتوناتها، سولفات‌ها، کربناتها و نترات‌ها از راهکارهای مقابله با کمبود یا کلروز آهن محسوب می‌گردند (بران، ۲۰۰۸ و لیچ و همکاران، ۲۰۱۱). در مناطق دچار کمبود آهن، مصرف خاکی کی لیت های آهن نظیر Fe-EDDHA به ویژه در خاک‌های قلیایی و آهکی (به دلیل پایداری در pH بالا و فسفات‌ها، ایمن برای محصول و نیز اثر بخشی آن) امر رایجی است؛ اما، هزینه بالای این کود دامنه کاربرد آن را به خصوص برای محصولاتی با ارزش افزوده پایین، محدود نموده است (گوس و همکاران، ۲۰۰۴). از این رو، ضرورت جایگزینی که بتواند ضمن موثر بودن، از نظر اقتصادی نیز مقرون به صرفه باشد، بیش از پیش احساس می‌شود. در این راستا، استفاده از مواد هیومیکی نظیر فولوات آهن (نمک اسید فولویک استخراج شده از ضایعات کشاورزی از جمله چهار نوع ماده آلی " کود دامی، کمپوست پسماند شهری، ورمی کمپوست پسماند شهری و کمپوست ضایعات سلولزی) مورد توجه و بررسی موسسه تحقیقات خاک و آب قرار گرفته است. در این ارتباط، به دلیل بیشتر بودن ثابت پایداری آهن با اسید فولویک از منشا کود دامی "کود گاوی پوسیده" حاصل از بررسی های آزمایشگاهی، کود

افزایش شاخص‌های رشد و عملکرد دانه سویا گردید. کادام و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که کاربرد توام منابع آلی نیتروژن و اسید فولویک منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد دانه و کاه و نیز ارتفاع گیاه و تعداد برگ‌های سویا گردید. رونقی و قاسمی فسایی (۲۰۰۸) در بررسی اثر بخشی کود سکوسترین آهن بر سه ژنوتیپ سویا گزارش کردند که به رغم پایین بودن آهن قابل دسترس در خاک مورد مطالعه، کاربرد سکوسترین آهن باعث افزایش معنی‌دار عملکرد سویا نگردید. پژوهشگران نامبرده اثر متقابل منفی بین آهن و منگنز را دلیلی بر عدم پاسخ گیاهی نسبت به کاربرد کود آهن دانستند. شیخ بگلو و همکاران (۲۰۱۰) نتیجه‌گیری نمودند که کاربرد کود نانو آهن در مقایسه با کود سولفات آهن به صورت محلول پاشی، ضمن بهبود وزن اندام‌های هوایی و وزن خشک غلاف‌ها سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه سویا گردید. گمبل و همکاران (۲۰۱۴) در بررسی تاثیر کلات های آهن بر کاهش کلروز آهن در سویا و عملکرد محصول نتیجه‌گیری نمودند که کاربرد Fe-EDDHA به صورت مصرف خاکی و یا ترکیبی از خاکی و محلول پاشی در مقایسه با تیمارهای Fe-citrate (مصرف خاکی و محلول پاشی) و سولفات آهن (محلول پاشی) سبب کاهش کلروز و بهبود عملکرد سویا گردید. کیسر و همکاران (۲۰۱۴) نتیجه‌گیری نمودند که تیمار آغشته نمودن بذر با Fe-EDDHA در مقایسه با استفاده از گیاه همراه- کشت مخلوط سویا با جو دوسر (*Avena sativa*L.) و یا تیمار ترکیبی آنها در کاهش شدت کلروز و افزایش عملکرد دانه سویا مناسب‌تر بود.

بخشی و کریمیان (۱۳۸۲) گزارش کردند که غلظت آهن در گیاه و مقدار جذب کل با افزایش سطوح کاربرد آهن به طور معنی‌داری افزایش یافت. ولی، غلظت و جذب کل روی، مس و منگنز شدیداً کاهش یافت. هم چنین وزن خشک اندام هوایی نیز در سطح پنج میلی‌گرم در کیلوگرم خاک نسبت به شاهد به طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد، اما افزایش وزن در سطح ۱۰ میلی‌گرم

آهن مورد استفاده تهیه و همچنین روش بهینه مصرف آن بر اساس نتایج گلخانه ای- روش محلول پاشی- تعیین گردید (سماوات، ۱۳۹۴). بنابراین، هدف از انجام این پژوهش مطالعه اثر بخشی کود فولوات آهن از منشا کود دامی "کود گاوی پوسیده" در مقایسه با کلات Fe-EDDHA در شرایط مزرعه ای متعاقب انجام مطالعات پیشین بود.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر بخشی کود فولوات آهن از منشا کود گاوی پوسیده بر عملکرد و اجزای عملکرد سویا (*Glycine max* (L.) Merr.)، این پژوهش در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی آباد- دزفول بر روی یک خاک سوری Clayey, mixed, Hyperthermic-Aridic Haplusteps در مزرعه ای با مشخصات ۳۲ درجه و ۱۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۳۲ دقیقه طول شرقی در سال ۱۳۹۱ اجرا گردید. آزمایش در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با شش تیمار و در سه تکرار به مورد اجرا گذاشته شد. تیمارهای آزمایش عبارت بودند از: ۱- شاهد (بدون مصرف کودهای آهن)؛ ۲- مصرف خاکی کود سکوسترین آهن ۱۳۸ برای تامین ۱۰۰٪ آهن توصیه "۱۲/۵ کیلوگرم در هکتار"؛ ۳- محلول پاشی کود فولوات آهن برای تامین ۱۰۰٪ آهن توصیه "غلظت پنج در هزار"؛ ۴- مصرف خاکی کود سکوسترین آهن ۱۳۸ برای تامین ۷۵ درصد آهن توصیه "۹/۳۸ کیلوگرم در هکتار" + محلول پاشی کود فولوات آهن برای تامین ۲۵ درصد آهن توصیه "غلظت ۱/۲۵ در هزار"؛ ۵- مصرف خاکی کود کلات آهن سکوسترین ۱۳۸ برای تامین ۵۰ درصد آهن توصیه "۶/۲۵ کیلوگرم در هکتار" + محلول پاشی کود فولوات برای تامین ۵۰ درصد آهن توصیه "غلظت ۲/۵ در هزار" + ۶- مصرف خاکی کود کلات آهن سکوسترین ۱۳۸ برای تامین ۲۵ درصد آهن توصیه "۳/۱۳ کیلوگرم در هکتار" + محلول پاشی کود فولوات آهن برای تامین ۷۵

درصد آهن توصیه "۳/۷۵ کیلوگرم در هکتار". پس از عملیات تهیه زمین (آبیاری اولیه، دیسک و تسطیح)، نقشه پروژه در محل تعیین شده پیاده شد و از هر تکرار یک نمونه مرکب خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری تهیه و آزمایشات لازم نظیر بافت خاک، درصد کربن آلی، اسیدیته، شوری، درصد آهک، فسفر و پتاسیم و نیز عناصر غذایی کم مصرف (آهن، روی، مس و منگنز) مطابق با دستورالعمل‌های موسسه تحقیقات خاک و آب (علی‌احیایی و بهبهانی زاده، ۱۳۷۲) اندازه‌گیری شدند. عناصر غذایی بر اساس آزمون خاک (خادمی و همکاران، ۱۳۸۴) به میزان ۱۱۵ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل و ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم تعیین و نیز نیتروژن به عنوان استارتر از منبع کود اوره به میزان ۸۰ کیلوگرم در هکتار به صورت یکنواخت استفاده گردید. تمامی کود فسفر، پتاسیم و نیتروژن قبل از کاشت به صورت خاک کاربرد مورد استفاده قرار گرفتند. بذر سویا رقم سالند پس از تلقیح با ریزوبیوم به وسیله دست کشت شد. فاصله بوته‌ها از هم هفت سانتی متر و ابعاد هر کرت ۵ × ۲/۴۴ متر (۱۲/۲ متر مربع) در نظر گرفته شد. کود کلات آهن Fe-EDDHA (سکوسترین آهن ۱۳۸) به مقدار ۱۲/۵ کیلوگرم در هکتار (۱۰۰ درصد توصیه) و پیش از آبیاری سوم به صورت نواری و کود مایع فولوات آهن (حاوی سه درصد آهن) به غلظت پنج در هزار (۱۰۰ درصد توصیه) به صورت محلول پاشی مطابق با تیمارهای آزمایش استفاده شدند. محلول پاشی با استفاده از یک دستگاه سم پاش پستی تلمبه ای مدل CP3 با نازل شماره ۱۱۰۰۴ در مرحله رشد ۷₃ (فهر و کاویناس، ۱۹۷۷) انجام شد. برای جلوگیری از اختلاط کرت‌ها با یکدیگر، آبیاری هر تکرار مجزا و توسط سیفون صورت گرفت. کلیه عملیات زراعی در طول دوره رشد به طور یکنواخت برای تمامی کرت‌ها انجام گرفت. در طول دوره رشد (۴، ۶ و هشت هفته پس از کشت)، مقدار کلروفیل برگ‌ها با استفاده از کلروفیل متر دستی (Opti-Sciences، مدل CM-

افزایش یافت. هنسن و همکاران (۲۰۰۳) گزارش کردند گیاهانی که از کمبود آهن رنج می‌برند رشد آهسته‌تر و نیز ارتفاع کمتری نسبت به شرایط معمول دارند.

تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف

نتایج نشان داد که کاربرد کود آهن منجر به افزایش تعداد غلاف در بوته نسبت به تیمار شاهد گردید که این اختلاف از نظر آماری در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کاربرد آهن از هر دو منبع باعث افزایش تعداد غلاف در بوته گردید، هر چند که بین تیمارهای کود آهن تفاوتی مشاهده نشد. بیشترین تعداد غلاف در بوته (۵۹ عدد) از کاربرد تیمار پنج حاصل شد (جدول ۳). کاربرد کود آهن بر تعداد دانه در غلاف معنی‌دار نشد. البلا و همکاران (۲۰۰۴) گزارش کردند که کاربرد عناصر غذایی کم مصرف باعث افزایش تعداد غلاف در بوته می‌گردد. کاکپوچی و کوباتا (۲۰۰۶) نتیجه‌گیری کردند که یکی از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده در میزان عملکرد دانه سویا، تعداد غلاف در بوته می‌باشد. همچنین شیروایا و همکاران (۲۰۰۴) اظهار نمودند که تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف دو عامل تاثیر گذار بر عملکرد دانه سویا هستند. تاکاشی و همکاران (۲۰۰۹) نتیجه‌گیری کردند که افزایش تعداد غلاف در بوته و تشکیل دانه بیشتر سویا به دلیل تاثیر آهن بر تشدید گلدهی به ویژه در اوایل آن می‌باشد. حیدریان و همکاران (۲۰۱۱) نتیجه‌گیری کردند که کاربرد کود آهن منجر به افزایش تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف در سویا نسبت به تیمار شاهد (بدون کاربرد کود آهن) گردید.

وزن هزاردانه، عملکرد دانه و عملکرد کل

اثر تیمارها بر شاخص‌های مذکور به ترتیب در سطح پنج درصد و یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تفاوتی بین تیمارهای مختلف کاربرد آهن وجود نداشت، اما همه

200 ساخت آمریکا) تعیین شد. قرانت کلروفیل پس از محلول پاشی صورت گرفت.

در هر کرت ۱۰ بوته به صورت تصادفی انتخاب و متوسط قرائت کلروفیل یادداشت گردید. به منظور اندازه‌گیری اجزای عملکرد، تعداد ۱۰ بوته به صورت تصادفی انتخاب و صفات ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف اندازه‌گیری گردید. عملکرد دانه، عملکرد کل، وزن هزار دانه و هم چنین غلظت آهن و منگنز دانه و میزان جذب آنها توسط دانه (عملکرد دانه در غلظت عنصر غذایی در دانه) پس از حذف خطوط کناری و حذف ۰/۵ متر از بالا و پایین دو خط وسط محاسبه گردید. نتایج با استفاده از نرم افزار آماری MSTATC مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و مقایسه میانگین‌ها نیز توسط آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج نشان داد که کاربرد کود آهن موجب افزایش ارتفاع بوته نسبت به تیمار شاهد (بدون کاربرد کود آهن) شد که از نظر آماری این اختلاف در سطح پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کاربرد کود آهن از هر دو منبع منجر به افزایش ارتفاع بوته شد. هر چند که، بین تیمارهای مختلف کاربرد آهن از دو منبع سکوسترین آهن ۱۳۸ و فولوات آهن اختلاف معنی‌داری دیده نشد. بالاترین ارتفاع بوته (۶۵/۶۷ سانتی متر) نسبت به شاهد ناشی از کاربرد تیمار پنج (کاربرد سکوسترین آهن ۱۳۸ به مقدار ۵۰ درصد توصیه شده + کود فولوات آهن به مقدار ۵۰ درصد توصیه شده) بدست آمد (جدول ۳). با توجه به مشارکت ترکیبات آهن در واکنش‌های مرتبط با تقسیم سلولی و رشد، افزایش ارتفاع بوته نسبت به شاهد دور از انتظار نیست (زیدان و همکاران، ۲۰۱۰). گوس و جانسون (۲۰۰۰) نتیجه‌گیری نمودند که با کاربرد کود آهن، ارتفاع بوته نسبت به شاهد

تیمارها نسبت به شاهد وزن هزار دانه را افزایش دادند. بالاترین وزن هزار دانه از کاربرد تیمار ۵ به میزان ۱۵۵/۱۲ گرم بدست آمد (جدول ۳). همین روند برای عملکرد دانه و عملکرد کل صادق بود. به طوری که، بین تیمارهای مصرف آهن تفاوت آماری مشاهده نشد اما، مصرف آهن به خصوص در تیمار پنج نسبت به شاهد عملکردهای دانه و کل را به طور معنی داری افزایش دادند (جدول ۳). بالاترین عملکرد دانه و کل (۲۹۲۵ و ۸۳۱۴ کیلوگرم در هکتار) از تیمار پنج بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۳۴ و ۱۵ درصد بیشتر بود (جدول ۳). جلیل شش بهره و موحدی دهنوی (۱۳۹۱) و حیدریان و همکاران (۲۰۱۱) نتیجه گیری کردند که کاربرد کود آهن نسبت به شاهد وزن هزار دانه سویا را به طور معنی داری افزایش داد. با توجه به نقش آهن در فرآیندهای فتوسنتزی و تجمع هیدرات کربن و نیز مشارکت آن در ساخت کلروفیل و انتقال الکترون در فتوسنتز، بدیهی است که تامین کافی آهن مورد نیاز گیاه منجر به افزایش وزن هزار دانه و به تبع آن عملکرد دانه و کل شود. از طرفی، یکی از عوامل موثر بر عملکرد دانه، افزایش تعداد غلاف در بوته می باشد، لذا هر عاملی که این ویژگی را افزایش دهد، عملکرد دانه نیز، زیاد می شود (شوکت و تایچی، ۲۰۱۰). بنابراین، با توجه به افزایش معنی دار تعداد غلاف در بوته (از ۴۲/۶۷ عدد در تیمار شاهد به حداکثر ۵۹ عدد در تیمار پنج) و وزن هزار دانه (از ۱۴۶/۳۳ گرم در تیمار شاهد به حداکثر ۱۵۵/۱۲ گرم در تیمار پنج) به عنوان اجزاء عملکرد دانه در نتیجه کاربرد کود آهن، افزایش عملکرد دانه سویا و به تبع آن عملکرد کل منطقی به نظر می رسد.

غلظت آهن و منگنز دانه و جذب آنها توسط دانه

نتایج نشان داد که کاربرد کود آهن تاثیر معنی داری بر غلظت آهن و منگنز دانه نداشت (جدول ۲). هر چند که با مصرف کود آهن غلظت آهن و منگنز دانه به ترتیب روند افزایشی و کاهشی داشت. بالاترین غلظت

آهن دانه (۱۰۵ میلی گرم در کیلوگرم) و کمترین آن (۷۸ میلی گرم در کیلوگرم) به ترتیب از تیمار ۵ و شاهد بدست آمد (جدول ۳). این موضوع احتمالاً ناشی از بر همکنش منفی بین آهن و منگنز در جذب توسط ریشه ها، یا در طی انتقال از ریشه ها به برگ ها و یا سایر قسمت های هوایی می باشد (واندرمور و ونداایست، ۱۹۷۹). موسوی و رونقی (۲۰۱۱) و کبرایی و همکاران (۲۰۱۱) نتایج مشابهی را مبنی بر اثرات متقابل منفی (آنتی گونیستی) بین آهن و منگنز گزارش کردند. نتایج نشان داد که کوددهی آهن باعث افزایش جذب آهن و منگنز توسط دانه نسبت به شاهد گردید که این اختلاف از نظر آماری در سطح یک و پنج درصد معنی دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین ها (جدول ۳) نشان داد که میزان جذب آهن و منگنز نسبت به تیمار شاهد متناسب با عملکردهای بدست آمده برای هر دو عنصر روند افزایشی داشت. نتایج نشان داد که کاربرد آهن باعث افزایش جذب آهن و منگنز توسط دانه نسبت به شاهد گردید که این اختلاف از نظر آماری در سطح پنج و یک درصد معنی دار بود. مقایسه میانگین ها نشان داد که میزان جذب آهن و منگنز نسبت به شاهد متناسب با عملکردهای بدست آمده برای هر دو عنصر روند افزایش داشت. بیشترین میزان جذب آهن و منگنز به ترتیب ۳۰۷/۲۷ و ۱۱۲/۹۶ میلی گرم در کیلوگرم از تیمار ۵ حاصل گردید (جدول ۳).

شاخص کلروفیل متر (چهار، شش و هشت هفته پس از کشت)

تجزیه واریانس نشان داد که محلول پاشی کود فولوات آهن باعث افزایش شاخص کلروفیل متر پس از چهار و شش هفته از رشد گیاه سویا نسبت به تیمار شاهد گردید که این اختلاف از نظر آماری به ترتیب در سطح پنج درصد و یک درصد معنی دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین ها نشان داد که تیمارهای کود آهن نسبت به شاهد باعث افزایش شاخص مذکور شدند (جدول ۳). رونقی و قاسمی فسایی (۲۰۰۸) نتیجه گرفتند که کاربرد کود آهن

پژوهش‌های بعدی به ویژه در مقایسه با سایر منابع کود آهن مورد بررسی و مقایسه قرار گیرد.

تیمار ۱ (شاهد، بدون کاربرد کود آهن)، **تیمار ۲** (کاربرد خاکی سکوسترین آهن ۱۳۸ برای تامین ۱۰۰ درصد آهن توصیه "۱۲/۵ کیلوگرم در هکتار")، **تیمار ۳** (محلول پاشی فولوات آهن برای تامین ۱۰۰ درصد آهن توصیه "غلظت ۵ در هزار")، **تیمار ۴** (کاربرد خاکی سکوسترین آهن ۱۳۸ برای تامین ۷۵ درصد آهن توصیه "۹/۳۸ کیلوگرم در هکتار" + محلول پاشی فولوات آهن برای تامین ۲۵ درصد آهن توصیه "غلظت ۱/۲۵ در هزار")، **تیمار ۵** (کاربرد خاکی سکوسترین آهن ۱۳۸ برای تامین ۵۰ درصد آهن توصیه "۶/۲۵ کیلوگرم در هکتار" + محلول پاشی فولوات آهن برای تامین ۵۰ درصد آهن توصیه "غلظت ۲/۵ در هزار") و **تیمار ۶** (کاربرد خاکی سکوسترین آهن ۱۳۸ برای تامین ۲۵ درصد توصیه "۳/۱۳ کیلوگرم در هکتار" + محلول پاشی فولوات آهن برای تامین ۷۵ درصد آهن توصیه "غلظت ۳/۷۵ در هزار"). اعداد دارای حروف مشترک در ستون‌ها از نظر آماری با توجه به آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار نیستند.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک محل آزمایش قبل از

کشت و نیز آب آبیاری مورد استفاده

مقدار	ویژگی آب	مقدار	ویژگی خاک
۷/۴	pH	۱/۸	ECe(dS/m)
۰/۵۴۴	EC (dS/m)	۷/۸۱	pH (کل اشباع)
۲/۸	Ca ²⁺ (me/l)	۰/۵۴	O.C(%)
۰/۴	Na ⁺ (me/l)	۴۶	T.N.V(%)
۲/۸	Mg ²⁺ (me/l)	۵/۳	Ava.P(mg/kg)
۵/۴	HCO ₃ ⁻ (me/l)	۱۵۹	Ava.K(mg/kg)
۰/۲	Cl ⁻ (me/l)	۴/۸	Ava.Fe(mg/kg)
۰/۳	SO ₄ ²⁻ (me/l)	۱/۱	Ava.Zn(mg/kg)
-	-	۰/۴۴	Ava.Cu(mg/kg)
-	-	۲/۸	Ava.Mn(mg/kg)
-	-	۲۴	درصد رس
-	-	L	بافت خاک

- هر عدد میانگین سه تکرار است.

منجر به افزایش قرائت کلروفیل متر در مراحل رشد ۳ و ۴ (Gs3 و Gs4) گردید. هم چنین، هیت هولت و همکاران (۲۰۰۳) گزارش کردند که کاربرد کود آهن نسبت به شاهد باعث افزایش قرائت کلروفیل متر در مراحل شروع غلاف دهی (R3) تا شروع تشکیل دانه (R5) سویا شد. کلروفیل متر غلظت نسبی کلروفیل برگ را نشان می‌دهد، بنابراین افزایش شاخص کلروفیل متر می‌تواند دلالت بر افزایش غلظت کلروفیل برگ در نتیجه استفاده از کود آهن باشد. وجود آهن در سنتز پروتئین لازم است و از آنجا که نقش عمده آهن در ساخت پروتئین‌های همراه کلروفیل است، با افزایش آن در برگ میزان کلروفیل برگ زیاد می‌شود (ایمسانه، ۱۹۹۸).

رهیافت ترویجی

نتایج نشان داد که صرف نظر از نوع کود آهن مصرفی، در شرایط اجرای این آزمایش، تاثیر کاربرد کود آهن بر شاخص‌های مورد بررسی مثبت و در نهایت باعث افزایش عملکرد دانه نسبت به شاهد (بدون کاربرد کود آهن) گردید. از سویی، به دلیل اثر بخشی یکسان دو نوع کود آلی آهن مصرفی و هم چنین با توجه به هدف مورد انتظار از این پژوهش، کود مایع فولوات آهن تهیه شده از کود دامی (کود گاوی پوسیده) می‌تواند از نقطه نظر کاربرد، قابل رقابت با Fe-EDDHA (سکوسترین آهن) باشد و این احتمال وجود دارد که بتواند حداقل جایگزین بخشی از کود سکوسترین آهن شود. از طرفی مجموع نتایج بدست آمده نشان داد که مصرف توام خاک کاربرد و محلول پاشی نسبت به مصرف کود آهن تماماً به صورت خاکی و محلول پاشی نتایج بهتری داشت. هم چنین، با عنایت به نتایج بدست آمده از این آزمایش پیشنهاد می‌شود که مطالعات بیشتری در زمینه کاربرد فولوات آهن در سایر محصولات زراعی و باغی به منظور اخذ نتایج جامع‌تر صورت گیرد. از سویی، ضرورت دارد که کاربرد فولوات آهن از جنبه اقتصادی و کارایی در

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر تیمارها بر صفات مورد بررسی

میانگین مربعات														منابع تغییرات
شاخص کلروفیل متر پس از هشت هفته	شاخص کلروفیل متر پس از شش هفته	شاخص کلروفیل متر پس از چهار هفته	جذب منگنز توسط دانه	جذب آهن توسط دانه	غلظت منگنز در دانه	غلظت آهن در دانه	وزن هزار دانه	عملکرد کل	عملکرد دانه	تعداد دانه در غلاف	تعداد غلاف در بوته	ارتفاع بوته	درجه آزادی	
n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	۲	تکرار
n.s	**	*	**	*	n.s	n.s	*	**	**	n.s	**	*	۵	تیمار
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۱۰	خطا
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۱۷	کل
۹/۷۷	۷/۹۰	۱۱/۵۸	۵/۶۳	۱۴/۶۵	۴/۹۸	۱۴/۱۲	۱/۶۸	۲/۷۶	۴/۷۲	۲/۶۸	۴/۹۱	۳/۲۱	-	ضریب تغییرات

- ** معنی دار در سطح احتمال ۱٪، * معنی دار در سطح احتمال ۵٪ و n.s معنی دار نیست.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر تیمارها بر صفات مورد بررسی

تیمار	ارتفاع بوته (سانتی متر)	تعداد غلاف در بوته	تعداد غلاف	وزن هزار دانه (گرم)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد کل (کیلوگرم در هکتار)	غلظت آهن در دانه (میلی گرم در کیلوگرم)	غلظت منگنز در دانه (میلی گرم در کیلوگرم)	جذب آهن (گرم در هکتار)	جذب منگنز (گرم در هکتار)	شاخص کلروفیل متر پس از چهار هفته	شاخص کلروفیل متر پس از شش هفته	شاخص کلروفیل متر پس از هشت هفته
۱	۵۹b	۴۲/۶۷c	۲/۴۳a	۱۴۶/۳۳b	۲۱۸۳b	۷۲۱۸c	۷۸b	۴۱/۳۳a	۱۶۹/۴۳c	۹۰/۱۹b	۲۱/۵۷b	۲۵/۲۰b	۳۶/۴۰a
۲	۶۲/۶۷ab	۵۳/۳۳b	۲/۵۰a	۱۵۲/۲۸a	۲۶۹۱a	۷۷۴۶b	۸۲ab	۴۱/۶۷a	۲۱۹/۸۶bc	۱۱۱/۹۹a	۳۰/۴۷a	۳۱/۷۰a	۳۸/۵۰a
۳	۶۳a	۵۴/۳۳ab	۲/۵۳a	۱۵۲/۹۰a	۲۷۵۰a	۷۸۸۴b	۹۰ab	۴۲a	۲۴۶/۱۷ab	۱۱۵/۵۱a	۳۰/۵۳a	۳۱/۰۳a	۳۹/۴۰a
۴	۶۳/۶۷a	۵۵ab	۲/۵۷a	۱۵۳/۴۵a	۲۷۷۹a	۸۰۲۴ab	۹۳ab	۳۹/۳۳a	۲۵۷/۴۱ab	۱۰۹/۳۲a	۳۰/۵۷a	۳۴/۳۳a	۳۹/۶۰a
۵	۶۵/۶۷a	۵۹a	۲/۵۷a	۱۵۵/۱۲a	۲۹۲۵a	۸۳۱۴a	۱۰۵a	۳۸/۶۷a	۳۰۷/۲۷a	۱۱۲/۹۶a	۳۰/۸۳a	۳۴/۹۷a	۴۳/۱۰a
۶	۶۴/۳۳a	۵۶/۳۳ab	۲/۵۳a	۱۵۳/۷۵a	۲۸۳۸a	۸۰۹۵ab	۱۰۰ab	۳۸a	۲۸۳/۵۱ab	۱۰۷/۹۰a	۳۰/۷۳a	۳۴/۳۷a	۴۰/۹۰a

فهرست منابع

۱. بخشی، م. ر. و کریمیان، ن. ع. ۱۳۸۲. تاثیر مصرف سکوسترین آهن بر ترکیبات شیمیایی و عملکرد سویا. تغذیه بهینه دانه های روغنی (مجموعه مقالات). چاپ اول. انتشارات خانیران، تهران، ایران. ص ۴۰۱-۴۰۰.
۲. جلیل شش بهره، م. و موحدی دهنوی، م. ۱۳۹۱. اثر محلول پاشی روی و آهن بر بنيه بذر سویا رشد کرده در شرایط تنش خشکی. مجله الکترونیکی تولید گیاهان زراعی. جلد پنجم، شماره اول. ص ۳۵-۱۹.
۳. خادمی، ز.، مهاجر میلانی، پ.، بلالی، م. ر.، درودی، م. س. و ملکوتی، م. ج. ۱۳۸۴. بهینه سازی توصیه کود برای تعدادی از محصولات استراتژیک با استفاده از مدل کامپیوتری. گزارش نهایی موسسه تحقیقات خاک و آب، شماره ثبت ۸۴/۱۰۳۰۶.
۴. سماوات، س. ۱۳۹۴. امکان دستیابی به دانش فنی تولید اسید فولویک از ضایعات کشاورزی. گزارش نهایی موسسه تحقیقات خاک و آب، شماره ثبت ۴۷۷۵۶ مورخ ۱۳۹۴/۷/۱.
۵. علی احيایی، م. و بهبهانی زاده ع. ا. ۱۳۷۲. شرح روش های شیمیایی تجزیه خاک. نشریه فنی شماره ۸۹۳، چاپ اول، موسسه تحقیقات خاک و آب.
۶. نوده شریفی، غ. ر. و ا. دردی پور. ۱۳۹۴. اثر کودهای مصرفی آهن بر میزان وزن تر و خشک سویا در خاک های استان گلستان. نخستین کنفرانس ملی توسعه کشاورزی، زمین سالم. ۳۰ دی ماه، کرج.
7. Brown, P. H. 2008. Micronutrient use in agriculture in the United States of America. In: B. J. Hallaway (ed.). Micronutrient deficiencies in global crop production. Springer. 353 p.
8. Calsikan, S., I. Ozkaya, M. E. Caliskan, and A. Arslan. 2008. The effects of nitrogen and iron fertilization on growth, yield and fertilizer use efficiency of soybean in a Mediterranean-type soil. Field Crops Research. 108: 126-132.
9. Chen, Y. and T. Aviad. 1990. Effects of humic substances on plant growth. In: P. MacCarthy, C. E. Clapp, R. L. Malcolm and P. R. Bloom (eds.) Humic Substances in Soil and Crop Sciences: Selected Readings, Soil Science Society of America, Madison, pp:161-186.
10. Chen, Y., C. E. Clapp, H. Magen and V. W. Cline. 1999. Stimulation of plant growth by humic substances: Effects on iron availability. In: Ghabbour, E. A, G. Davies (Eds.). Understanding humic substances: Advanced methods, Properties and Application. Royal Society of Chemistry, Cambridge. pp: 255-263.
11. Elballa, M. M. A., A. H. B. El-amin, E. A. El-amin and E. A. E. El-sheikh. 2004. Interactive effects of cultivar, foliar application of micronutrients and rhizobium inoculation on snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.) performance. Journal of Agricultural Science.
12. Fehr, W. R. and C. E. Caviness. 1977. Stages of soybean development. Special Report. Agriculture and Home Economics Experiment Station, Iowa State University. pp:80-110.
13. Gamble, A. V., J. A. Howe, D. Delancy and R. Yates. 2014. Iron chelates alleviate iron chlorosis in soybean on high pH soils. Agronomy Journal. 106(4): 1251- 1257.
14. Goos, R. J. and B. Johnson. 2000. A comparison of three methods for reducing iron deficiency chlorosis on soybean. Agronomy Journal. 92: 1135-1139.
15. Goos, R. J., B. Johnson, G. Jakson and G. Hargrove. 2004. Greenhouse evaluation of controlled release iron fertilizers for soybean. Journal of Plant Nutrition. 27: 43- 55.
16. Heidarian, A. R., H. Kord, K. Mostafavi, A. Parviz Lak and F. Amini Mashhadi. 2011. Investigating Fe and Zn foliar application on yield and its components of

- soybean (*Glycine max*(L) Merr.) at different growth stages. Journal of Agricultural Biotechnology and sustainable Development. 3: 189-197.
17. Heitholt, J., J. Sloan, C. T. MacKown and R. I. Cabrera. 2003. Soybean growth on calcareous soil as affected by three iron sources. Journal of Plant Nutrition. 26: 935-948.
 18. Hensen, N. C., M. A. Schmitt, J. E. Anderson and J. S. Stok. 2003. Iron deficiency of soybean in the upper mid west and associated soil properties. Agronomy Journal. 95:1595-1601.
 19. Imsande, J. 1998. Iron, sulfate and chlorophyll deficiencies: A need for an integrative approach in plant physiology. Physiologia Plantarum. 103: 139-144.
 20. Kadam, S. A., V. M. Amrustsager, S. R. Patil and I. R. Bagwan, I. R. 2008. Effect of organic nitrogen sources and fulvic acid spray on growth and yield of soybean on inceptisols. Asian Journal of Soil Science. 3:214-216.
 21. Kaiser, D. E., J. A. Lamb, P. R. Bloom and J. A. Hernandez. 2014. Comparison of field management strategies for preventing iron deficiency chlorosis in soybean. Agronomy Journal. 1963- 1974.
 22. Kakiuchi, J. and T. Kobata. 2006. The relationship between dry matter increase of seed and shoot during the seed-filling period in three kinds of soybean with different growth habits subjected to shading and thinning. Plant Production Science. 9: 20-26.
 23. Kobraee, S., G. Noormohamadi, H. Heidarisharifabad, F. Darvishkajori and B. Delhkosh. 2011. Influence of micronutrient fertilizer on soybean nutrient composition. Indian Journal of Science and Technology. 4: 763-769.
 24. Liesch, A. M., D. A. Ruiz Diaz, K. L. Martin, B. L. Olson, D. B. Mengel and K. L. Roozeboom. 2011. Management strategies for increasing soybean yield on soils suspected to iron deficiency. Agronomy Journal. 103: 1870- 1877.
 25. Morales, F. A. and J. Abadia. 1990. Characterization of the xanthophyll cycle and other photosynthetic pigment changes induced by iron deficiency in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). Plant Physiology. 94: 607-613.
 26. Moosavi, A. A. and A. Ronaghi. 2011. Influence of foliar and soil application of iron and manganese on soybean dry matter yield and iron-manganese relationship in a calcareous soil. Australian Journal of Crop Science. 5:1550-1556.
 27. Peterson, G. C. and A. B. Onken. 1992. Relationship between chlorophyll concentration and iron chlorosis in grain sorghum. Crop Science. 32: 964-967.
 28. Piccolo, A., S. Nardi and G. Concheri. 1992. Structural characteristics of humic substances as related to nitrate uptake and growth regulation in plant systems. Soil Biology and Biochemistry. 24:373-380.
 29. Ronaghi A. and R. Ghasemi-Fasaei. 2008. Field evaluation of yield, iron-manganese relationship, and chlorophyll meter readings in soybean genotype as affected by Iron- Ethylenediamine Di-o-hydroxyphenylacetic Acid in calcareous soils. Journal of Plant Nutrition. 31:81-89.
 30. Sheykhabglou, R., M. Sedghi, M. Tajbakhsh shishevan, and R. Sharifi. 2010. Effects of nano- iron oxide particles on agronomic traits of soybean. Notulae Scientia Biologicae. 2(2): 112-113.
 31. Shirawia, T., N. Ueno, S. Shimada and T. Horie, T. 2004. Correlation between yielding ability and dry matter productivity during initial seed filling stage in various soybean genotypes. Plant Production Science. 7: 138-142.
 32. Showkat, M. and S. D. Tyagi. 2010. Correlation and path coefficient analysis of some quantitative traits in soybean (*Glycine max* (L.) Merrill.). Research Journal of Agricultural Science. 1:102-106.

33. Stevenson, F. J. 1982. Humus chemistry: Genesis, composition, reactions. Willey Interscience Publication, New York.
34. Takashi, Sh., M. Eitaro and H. Kyoko. 2009. The effect of Fe injection on flowering without Fe-deficiency symptom. The Proceeding of the International Plant Nutrition Colloquium XVI, Department of Plant Science, UC Davis.
35. Van Der Vorm, P. D. J. and A. Van Diest. 1979. Aspect of the Fe and Mn nutrition of Rice plants. I. Iron and manganese uptake by rice plants grown under aerobic and anaerobic condition. Plant Soil. 51:235-246.
36. Wiersma, J.V. 2005. High rates of Fe-EDDHA and seed iron concentration suggest partial solutions to iron deficiency in soybean. Agronomy Journal. 97:924– 934.
37. Zeidan, M. S., M. Hozayn and M. E. E. Abd El-Salam. 2006. Yield and quality of lentil as affected by micronutrient deficiencies in sandy soils. Journal of Applied Science Research.2: 1342-1345.