

پاسخ سویا به کاربرد آهن و فسفر در یک خاک آهکی

محمدرضا چاکرال‌حسینی، عبدالمجید رونقی، منوچهر مفتون و نجف‌علی کریمیان^۱

چکیده

قابلیت استفاده آهن در خاک‌های آهکی ایران به دلیل فراوانی کلسیم کربنات و پ-هاش زیاد، کم است. هم‌چنین، مصرف بیش از نیاز کودهای فسفردار ممکن است قابلیت استفاده آهن را کاهش دهد. هدف از این پژوهش ارزیابی گلخانه‌ای تأثیر فسفر، آهن و برهمکنش آنها بر وزن خشک اندام هوایی، غلظت، و جذب کل برخی از عناصر غذایی گیاه سویا (*Glycine max (L.) Merrill*) بود. تیمارها شامل پنج سطح فسفر (صفر، ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ و ۱۶۰ میلی‌گرم در کیلوگرم از منبع پتاسیم دی‌هیدروژن فسفات) و چهار سطح آهن (صفر، ۲/۵، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم از منبع سبکترین آهن) به صورت فاکتوریل در چارچوب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار بود. گیاهان به مدت هشت هفته در یک خاک لومی سری چیتگر با نام علمی *Fine-loamy, carbonatic, thermic, Typic, Calcixerepts* رشد کردند. نتایج نشان داد که کاربرد فسفر تا سطح ۸۰ و آهن در سطح ۲/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم سبب افزایش معنی‌دار ($P < 0.05$) وزن خشک قسمت هوایی سویا گردید. میانگین غلظت، جذب کل فسفر و نسبت فسفر به آهن در گیاه با مصرف فسفر افزایش، ولی با کاربرد آهن کاهش یافت. غلظت و جذب کل آهن با کاربرد آهن افزایش، ولی با مصرف فسفر کاهش یافت. برهمکنش آهن و فسفر تأثیری بر وزن خشک قسمت هوایی سویا نداشت. غلظت روی و مس در گیاه با مصرف فسفر به طور معنی‌داری کاهش یافت. غلظت منگنز تا سطح ۴۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم افزایش، ولی در سطوح بالاتر کاهش یافت. کاربرد آهن تأثیری بر غلظت روی و مس در سویا نداشت، ولی در تمام سطوح غلظت منگنز را کاهش داد. قبل از هر گونه توصیه کودی لازم است تأثیر فسفر، آهن و برهمکنش آنها بر سویا در شرایط مزرعه با خاک‌ها و واریته‌های متفاوت سویا بررسی گردد.

واژه‌های کلیدی: فسفر، آهن، تغذیه گیاه، سویا، کلسیم کربنات، پ-هاش، غلظت، جذب، ماده خشک

۱. به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، دانشیار و استادان خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

مقدمه

در خاک‌های آهکی ایران به علت فراوانی کلسیم کربنات و پ-هاش زیاد، قابلیت استفاده آهن کم است. سالیانه مقادیر چشم‌گیری کودهای فسفردار به این گونه خاک‌ها افزوده می‌شود، که علاوه بر به‌پروری (Eutrication) و القای کمبود آهن، می‌تواند سبب تجمع فسفر در اندام هوایی گیاه گردد. در خاک‌هایی که غلظت فسفر قابل استفاده از حد بحرانی کمتر است، گیاهان نسبت به کاربرد کودهای فسفردار پاسخ مثبت می‌دهند (۱، ۲، ۳ و ۴). سامپت (۳۰) در کشت گلخانه‌ای سویا نتیجه گرفت که عملکرد ماده خشک سویا با افزایش فسفر افزایش یافت. بیشترین عملکرد ماده خشک سویا با افزودن ۵۰ یا ۱۰۰ میلی‌گرم فسفر در هر کیلوگرم خاک به دست آمد، که به ترتیب افزایشی برابر ۴۳ و ۵۴ درصد نسبت به شاهد داشت.

لیندسی و شواب (۲۲) نشان دادند که در کاهش کمبود آهن در یک خاک آهکی، FeEDDHA مؤثرتر از FeDTPA و FeEDTA بوده است. آنان علت را پایداری بیشتر FeEDDHA در محدوده پ-هاش ۴ تا ۱۰ ذکر کردند. رومی‌زاده و کریمیان (۲۹) گزارش دادند که کاربرد آهن به صورت FeEDDHA در تمام خاک‌های آهکی مورد آزمایش به طور معنی‌داری باعث افزایش غلظت آهن در سویا شده، ولی غلظت منگنز به دلیل ایجاد اختلال در انتقال آن از خاک به ریشه و یا از ریشه به قسمت هوایی گیاه کاهش یافت. دانش‌نیا و همکاران (۱۴) گزارش کردند که مصرف زیاد FeEDDHA در برخی از خاک‌های آهکی جنوب ایران ممکن است منجر به کمبود عناصر کم‌مصرف دیگر نظیر روی، منگنز و مس شود.

در بسیاری از نواحی خشک و نیمه خشک، فسفر به مقدار زیاد به خاک اضافه می‌شود، که می‌تواند سبب ایجاد کمبود آهن و در نتیجه کلروز آهن در گیاه شود. دکاک (۱۵) اعلام کرد که نسبت فسفر به آهن در گیاهان، نمایه مناسبی برای بیان وضعیت آهن در گیاه است. بزرگی این نسبت به معنی کمبود آهن یا فزونی فسفر، و کوچکی آن گویای سمیت آهن و یا احتمالاً کمبود فسفر می‌باشد.

هولمز و تفین (۱۸) نتیجه گرفتند که علاوه بر کمبود آهن قابل استفاده در خاک، که می‌تواند در بروز کلروز آهن در برخی از ارقام سویا یک عامل مهم باشد، مصرف بهینه کودهای شیمیایی فسفر و آهن نیز از عوامل مهم در برطرف کردن کلروز آهن در سویا محسوب می‌شود. میلر و همکاران (۲۶) دریافتند که کلروز آهن در سطوح بالای فسفر در حضور یا عدم حضور بی‌کربنات بروز کرده، و علت آن را به افزایش غلظت فسفر در گیاه و در نتیجه غیر فعال شدن آهن در گیاه نسبت دادند.

با توجه به مصرف مداوم و بی‌رویه فسفر توسط کشاورزان، که علاوه بر تشدید به‌پروری می‌تواند بر جذب آهن و دیگر عناصر غذایی گیاه نیز تأثیر منفی داشته باشد، و با عنایت به کمبود ذاتی آهن در خاک‌های آهکی و حساسیت سویا به تنش آهن، این پژوهش طراحی و اجرا گردید. بنابراین، هدف اصلی از اجرای این پژوهش بررسی تأثیر فسفر، آهن و برهمکنش آنها بر وزن خشک اندام هوایی، غلظت، و جذب کل برخی از عناصر غذایی سویا بود.

مواد و روش‌ها

خاک کافی از افق سطحی (۰-۲۰ سانتی‌متری) سری چیتگر واقع در شهرستان سروستان استان فارس جمع‌آوری گردید. این خاک از نوع Calcic Brown soil بوده و مترادف آن در سیستم تاکسونومی خاک Fine-loamy, carbonatic, thermic, Typic Calcixerpts می‌باشد (۵). پس از خشک کردن خاک در معرض هوا و عبور از الک دو میلی‌متری، برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن نظیر بافت به روش هیدرومتر (۹)، کلسیم کربنات معادل به روش خنثی کردن با اسید کلریدریک (۶)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع با هدایت‌سنج الکتریکی، فسفر قابل استفاده به روش اولسن و همکاران (۲۸)، پ-هاش در خمیر اشباع، غلظت عناصر کم مصرف کاتیونی با عصاره‌گیر DTPA (۲۱)، ماده آلی به روش اکسیداسیون با اسید کرومیک و سپس تیترو کردن با فروس آمونیوم سولفات (۱۹)، نیتروژن کل به روش کلدال (۱۱)، نیتروژن نیتراتی به روش فنل

هر یک از عامل‌ها و برهمکنش آنها محاسبه و با آزمون دانکن مقایسه شد.

نتایج و بحث

با افزایش سطوح فسفر، میانگین وزن خشک قسمت هوایی به طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش یافت. بیشترین میانگین وزن خشک نسبت به شاهد با مصرف ۸۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک به دست آمد، که افزایشی برابر ۳۶ درصد نسبت به شاهد نشان داد (جدول ۲)، هرچند که سطوح بالاتر فسفر باعث کاهش وزن ماده خشک قسمت هوایی شد. سامپت (۳۰) در یک آزمایش گلخانه‌ای نشان داد که مصرف فسفر سبب افزایش عملکرد وزن ماده خشک سویا می‌گردد، و بیشترین تأثیر را سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک داشته، که افزایشی به ترتیب برابر ۴۳ و ۵۴ درصد نسبت به شاهد بوده است.

مصرف آهن در سطح ۲/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک سبب افزایش معنی‌دار وزن ماده خشک گردید، ولی در سطوح بالاتر آهن رشد سویا کاهش یافت (جدول ۲). لیندسی و نورول (۲۱) غلظت بحرانی آهن را در خاک‌های نواحی خشک، که دارای مقدار بسیاری مواد آهکی هستند، بین ۲/۵ تا ۴/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک با روش DTPA اعلام کردند. با توجه به این که میزان آهن قابل استفاده در خاک مورد آزمایش ۲/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بوده است، افزایش وزن ماده خشک با کاربرد آهن قابل توجیه می‌باشد. کاهش وزن ماده خشک در سطوح بالاتر آهن را می‌توان معلول نبود توازن بین عناصر غذایی دانست. رومی‌زاده و کریمیان (۲۹) نشان دادند که افزودن ۲۰ میلی‌گرم آهن در کیلوگرم، به خاکی که آهن قابل جذب آن بیشتر از غلظت بحرانی بوده، باعث کاهش معنی‌دار وزن خشک سویا شده است.

کاربرد فسفر سبب افزایش معنی‌دار غلظت و جذب کل فسفر در گیاه شد (جدول ۲)، به نحوی که میانگین‌های غلظت و جذب کل فسفر دارای تفاوت معنی‌داری (در سطح پنج

دی‌سولفونیک اسید (۱۰) و پتاسیم عصاره‌گیری شده با استات آمونیوم (۲۰) تعیین گردید. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ نشان داده شده است.

آزمایش در شرایط گلخانه‌ای (میانگین دمای روز و شب به ترتیب ۳۴ و ۱۴ درجه سانتی‌گراد) به صورت فاکتوریل ۵×۴ در چارچوب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. تیمارهای مورد استفاده عبارت بودند از پنج سطح فسفر (صفر، ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ و ۱۶۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک) و چهار سطح آهن (صفر، ۲/۵، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم آهن در کیلوگرم خاک). فسفر از منبع پتاسیم دی‌هیدروژن فسفات (KH_2PO_4) و آهن از منبع سکستین آهن ۱۳۸ (FeEDDHA) پیش از کاشت به خاک افزوده گردید. نیتروژن به مقدار ۷۰ میلی‌گرم پیش از کاشت و ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک چهار هفته پس از کاشت از منبع اوره [$CO(NH_2)_2$]، به عنوان سرک به کلیه تیمارها اضافه شد. هفت عدد بذر سویا، رقم ویلیامز در عمق ۲ تا ۳ سانتی‌متری از سطح خاک کاشته شد.

حدود دو هفته پس از کاشت، شمار بوته‌ها به سه عدد کاهش داده شد. آبیاری گلدان‌ها در طول رشد با آب مقطر تا حد ظرفیت مزرعه، از طریق توزین گلدان‌ها صورت گرفت. پس از هشت هفته، گیاهان از محل طوقه (نزدیک سطح خاک) قطع و پس از شست‌شو در آون در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد تا ثابت شدن وزن نمونه‌ها، خشک گردیدند. نمونه‌های گیاهی پس از توزین به وسیله آسیاب برقی پودر شد. به منظور تجزیه گیاه، یک گرم ماده خشک گیاه، پس از خشک‌سوزانی (Dry ashing) به صورت محلول درآورده شد. غلظت آهن، روی، منگنز، و مس با استفاده از دستگاه جذب اتمی و غلظت فسفر به روش مورفی و رایلی (۲۷) تعیین گردید.

پاسخ‌های گیاهی شامل، وزن خشک اندام هوایی گیاه، غلظت آهن، فسفر، روی، منگنز و مس و جذب کل این عناصر (حاصل ضرب وزن ماده خشک در غلظت عنصر غذایی) به وسیله روش‌های آماری و نرم‌افزار MSTATC، و با استفاده از آزمون F تجزیه واریانس شده، میانگین‌های مربوط به اثر اصلی

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

مقدار	ویژگی‌های خاک
۳۰	شن (درصد)
۴۶	سیلت (درصد)
۲۴	رس (درصد)
لوم	بافت
۷/۵	پ-هاش (خمیر اشباع)
۰/۹	قابلیت هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)
۱	ماده آلی (درصد)
۱۰/۱	ظرفیت تبادل کاتیونی (سانتی‌مول در کیلوگرم خاک)
۵۶/۵	کربنات کلسیم معادل (درصد)
۴/۵	فسفر محلول در بی‌کربنات سدیم (میکروگرم در گرم خاک)
۰/۰۵۴	نیترژن کل (درصد)
۱۰	نیترژن نیتراتی (میکروگرم در گرم خاک)
۲۵۰	پتاسیم محلول در استات آمونیوم (میکروگرم در گرم خاک)
۲/۲	آهن محلول در DTPA (میکروگرم در گرم خاک)
۰/۹۶	روی محلول در DTPA (میکروگرم در گرم خاک)
۳/۵	منگنز محلول در DTPA (میکروگرم در گرم خاک)
۰/۸۷	مس محلول در DTPA (میکروگرم در گرم خاک)

درصد) در تمام سطوح فسفر بودند. والیس و همکاران (۳۱) گزارش کردند که فسفر افزوده شده به خاک، غلظت فسفر در پنج رقم سویا را به طور معنی‌داری افزایش داده است. باهال و اورا (۷) نتیجه گرفتند که با افزایش فسفر قابل استفاده، جذب فسفر توسط سویا افزایش یافته، و این افزایش در خاک‌های با میزان فسفر محلول اولیه کمتر آنها، بیشتر بوده است.

طبق جدول ۳، افزایش سطوح آهن مصرفی سبب افزایش معنی‌دار میانگین غلظت و جذب کل آهن نسبت به تیمار شاهد شد، و بیشترین افزایش با افزودن ۱۰ میلی‌گرم آهن در کیلوگرم خاک ایجاد گردید. رومی‌زاده و کریمیان (۲۹) دریافتند که کاربرد آهن به صورت FeEDDHA سبب افزایش معنی‌دار

غلظت و جذب کل آهن در سویا شده است. با افزایش فسفر، میانگین غلظت آهن به طور معنی‌داری نسبت به شاهد کاهش یافت، و کاربرد ۱۶۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک باعث بیشترین کاهش در میانگین غلظت آهن گردید (جدول ۳). دلیل این کاهش را می‌توان به کاهش قابلیت استفاده آهن در خاک در اثر فسفر، و کاهش جذب یا تأثیر فسفر بر انتقال آهن از ریشه به قسمت هوایی گیاه نسبت داد. براون و جونز (۱۲) نتیجه گرفتند که کاهش غلظت آهن در سورگوم در اثر کاربرد فسفر، به دلیل تأثیر منفی فسفر بر مکانیسم جذب آهن توسط گیاه می‌باشد. به طور کلی، کاربرد فسفر سبب کاهش معنی‌دار میانگین جذب کل آهن نسبت به شاهد شد (جدول ۳).

جدول ۲. تأثیر سطوح مختلف فسفر و آهن بر وزن خشک اندام هوایی، غلظت و جذب کل فسفر در سویا

میانگین	سطح فسفر (میلی گرم در کیلوگرم خاک)					سطح آهن
	۱۶۰	۱۲۰	۸۰	۴۰	۰	(میلی گرم در کیلوگرم)
	وزن خشک اندام هوایی (گرم در گلدان)					
۴/۴۹ ^B	۴/۶۳ ^{cde}	۴/۸۲ ^{cde}	۵/۰۳	۴/۵۳ ^{cde}	۳/۴۳ ^f	۰
۵/۲۷ ^A	۵/۵۰ ^{ab}	۵/۴۱ ^{ab}	۵/۶۱ ^a	۵/۴۰ ^{ab}	۴/۴۱ ^e	۲/۵
۴/۴۹ ^B	۴/۴۰ ^e	۴/۵۱ ^{de}	۵/۱۲ ^{abc}	۴/۶۰ ^{cde}	۳/۸۰ ^f	۵
۴/۳۸ ^B	۴/۵۷ ^{cde}	۴/۷۴ ^{cde}	۴/۶۹ ^{cde}	۴/۵۲ ^{de}	۳/۳۹ ^f	۱۰
	۴/۷۸ ^B	۴/۸۷ ^{AB}	۵/۱۱ ^A	۴/۷۶ ^B	۳/۷۶ ^C	میانگین
	غلظت فسفر (میکروگرم در گرم)					
۳۲۳۶ ^A	۴۳۷۸ ^b	۴۵۷۵ ^a	۳۷۳۱ ^d	۲۲۹۵ ^g	۱۲۰۰ ⁱ	۰
۲۵۶۱ ^B	۴۰۳۱	۳۷۶۲ ^d	۲۲۱۲ ^g	۱۷۵۶ ^h	۱۰۴۴ ^{jk}	۲/۵
۱۹۳۴ ^C	۳۲۵۰ ^e	۲۵۰۰ ^f	۱۶۸۷ ^h	۱۲۷۶ ⁱ	۹۵۷ ^k	۵
۱۳۹۴ ^D	۲۲۰۶ ^g	۱۷۸۷ ^h	۱۱۶۹ ^{ij}	۹۸۶ ^k	۸۲۱ ^l	۱۰
	۳۴۶۶ ^A	۳۱۵۶ ^B	۲۲۰۰ ^C	۱۵۷۸ ^D	۱۰۰۶ ^E	میانگین
	جذب کل فسفر (میلی گرم در گلدان)					
۱۵/۱۴ ^A	۲۰/۲۸ ^b	۲۲/۰۹ ^a	۱۸/۷۷ ^c	۱۰/۴۲ ^{fg}	۴/۱۲ ^{klm}	۰
۱۳/۸۱ ^B	۲۲/۱۶ ^a	۲۰/۳۴ ^b	۱۲/۴۳ ^e	۹/۴۹ ^{ghi}	۴/۶۰ ^{jk}	۲/۵
۸/۷۴ ^C	۱۴/۳۲ ^d	۱۱/۲۹ ^{ef}	۸/۶۰ ^{hi}	۵/۸۷ ^j	۳/۶۴ ^{lm}	۵
۶/۲۶ ^D	۱۰/۰۸ ^{fgh}	۸/۵۱ ⁱ	۵/۴۷ ^{jk}	۴/۴۶ ^{kl}	۲/۷۸ ^m	۱۰
	۱۶/۷۱ ^A	۱۵/۵۶ ^B	۱۱/۳۲ ^C	۷/۵۶ ^D	۳/۷۹ ^E	میانگین

برای هر یک از پاسخ‌های گیاهی، میانگین‌هایی که در هر ردیف یا در هر ستون در یک حرف بزرگ، و یا میانگین‌هایی که در متن جدول در یک حرف کوچک مشترک هستند، طبق آزمون دانکن در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

اظهار کردند که این امر احتمالاً به دلیل تشکیل فسفات آهن یا فسفات هیدروکسید آهن بوده است.

مقایسه میانگین‌های نسبت فسفر به آهن نشان می‌دهد که مصرف فسفر سبب افزایش معنی‌دار این نسبت در سویا شده است (جدول ۳). این تأثیر با توجه به افزایش غلظت فسفر و کاهش غلظت آهن بر اثر کاربرد فسفر دور از انتظار نیست.

کاربرد هم‌زمان فسفر و آهن سبب افزایش نسبت فسفر به آهن در برگ سویا شد، ولی در مقایسه با کاربرد فسفر به تنهایی

با افزایش سطوح آهن، میانگین غلظت و جذب کل فسفر توسط سویا به طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۲). به نحوی که مصرف ۱۰ میلی‌گرم آهن در کیلوگرم خاک سبب بیشترین کاهش در غلظت و جذب کل فسفر، به ترتیب به میزان ۵۶ و ۵۸ درصد نسبت به شاهد گردید. از علل کاهش غلظت فسفر می‌توان تغییر شکل فسفر قابل استفاده به شکل‌های غیر قابل استفاده را ذکر کرد. داهیا و سینگ (۱۳) دریافتند که افزودن آهن سبب کاهش غلظت فسفر در گیاه یولاف شده، و

جدول ۳. تأثیر سطوح مختلف فسفر و آهن بر غلظت و جذب کل آهن و نسبت فسفر به آهن در سویا

میانگین	سطح آهن (میلی گرم در کیلوگرم خاک)					میانگین (میلی گرم در کیلوگرم)
	۱۶۰	۱۲۰	۸۰	۴۰	۰	
غلظت آهن (میکروگرم در گرم)						
۲۲/۸۰ ^D	۱۳/۷۹ ^g	۱۳/۳۶ ^g	۲۳/۰۸ ^f	۲۶/۳۰ ^f	۳۷/۴۷ ^c	۰
۳۷/۳۵ ^C	۲۳/۶۰ ^f	۲۴/۵۴ ^f	۳۷/۳۶ ^e	۴۵/۶۲ ^d	۵۵/۶۲ ^c	۲/۵
۴۴/۹۸ ^B	۲۴/۴۴ ^f	۳۵/۳۹ ^e	۴۳/۷۱ ^d	۵۴/۲۹ ^c	۶۷/۱۰ ^b	۵
۵۷/۵۰ ^A	۴۷/۲۷ ^d	۴۳/۹۰ ^d	۵۵/۶۷ ^c	۶۳/۹۱ ^b	۷۶/۷۶ ^a	۱۰
	۲۷/۲۷ ^E	۲۹/۳۰ ^D	۳۹/۹۶ ^C	۴۷/۵۳ ^B	۵۹/۲۴ ^A	میانگین
جذب کل آهن (میکروگرم در گلدان)						
۹۸/۵۴ ^C	۶۳/۷۲ ^g	۶۴/۶ ^g	۱۱۶/۵ ^f	۱۱۹/۱ ^f	۱۲۸/۷ ^f	۰
۱۹۲/۸ ^B	۱۲۹/۷ ^f	۱۳۲/۳ ^f	۲۰۹/۷ ^d	۲۴۶/۵ ^{bc}	۲۴۵/۸ ^{bc}	۲/۵
۱۹۹/۱ ^B	۱۰۸/۰ ^f	۱۵۹/۷ ^e	۲۲۲/۸ ^{cd}	۲۵۰/۱ ^b	۲۵۴/۹ ^b	۵
۲۴۶/۵ ^A	۲۱۶/۴ ^d	۲۰۷/۳ ^d	۲۶۰/۸ ^b	۲۸۸/۸ ^a	۲۵۹/۴ ^b	۱۰
	۱۲۹/۴ ^C	۱۴۱/۰ ^C	۲۰۲/۵ ^B	۲۲۶/۱ ^A	۲۲۲/۲ ^A	میانگین
نسبت فسفر به آهن						
۱۸۹ ^A	۳۱۷ ^b	۳۴۳ ^a	۱۶۴ ^{cd}	۸۷ ^f	۳۲ ^{kj}	۰
۸۸ ^B	۱۷۲ ^c	۱۵۳ ^d	۵۹ ^{gh}	۳۸ ⁱ	۱۹ ^{jk}	۲/۵
۵۶ ^C	۱۳۳ ^e	۷۱ ^g	۳۸ ⁱ	۲۳ ^{jk}	۱۴ ^k	۵
۲۷ ^D	۴۶ ^{hi}	۴۱ ⁱ	۲۱ ^{jk}	۱۵ ^k	۱۰ ^k	۱۰
	۱۶۷ ^A	۱۵۲ ^B	۷۱ ^C	۴۱ ^D	۱۹ ^E	میانگین

برای هر یک از پاسخ‌های گیاهی، میانگین‌هایی که در هر ردیف یا در هر ستون در یک حرف بزرگ، و یا میانگین‌هایی که در متن جدول در یک حرف کوچک مشترک هستند، طبق آزمون دانکن در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

همکاران (۸) نشان دادند که در ماش کشت شده در خاک کوشکک بیشترین و کمترین رشد در نسبت فسفر به آهن بین ۳۰ تا ۴۰ به دست آمد.

با افزایش سطوح فسفر، میانگین غلظت و جذب کل روی به طور معنی‌داری نسبت به شاهد کاهش یافت. یکی از دلایل کاهش غلظت روی را می‌توان اثر رقت دانست. مندال و مندال (۲۵) دیدند که مصرف سطوح بالای فسفر باعث کاهش غلظت روی در برنج شد. آنان اظهار داشتند که این کاهش غلظت

این افزایش کمتر است (جدول ۳). دساک (۱۵ و ۱۶) گزارش داد که افزایش چشم‌گیر این نسبت نشان‌دهنده اختلالات شدید تغذیه‌ای آهن در گیاه می‌باشد. بنابراین، تعدیل نسبت فسفر به آهن با مصرف مناسب و هم‌زمان فسفر و آهن قابل توصیه است. با توجه به این که حداکثر عملکرد وزن خشک سویا در سطح ۸۰ میلی‌گرم فسفر و ۲/۵ میلی‌گرم آهن در کیلوگرم خاک به دست آمد، مناسب‌ترین نسبت به دست آمده فسفر به آهن در پژوهش حاضر را می‌توان حدود ۶۰ ذکر کرد. بصیری و

سویا سبب کاهش معنی‌دار غلظت و جذب کل منگنز شده است. آنان دلیل این امر را محدودیت ایجاد شده توسط آهن در انتقال منگنز از خاک به ریشه، و یا از ریشه به اندام‌های هوایی گیاه ذکر کردند. لوسنا و همکاران (۲۳ و ۲۴) نشان دادند که هرچند در خاک‌های آهکی سبک‌ترین آهن مناسب‌ترین کود آهن است، ولی باید توجه داشت که استفاده از مقادیر زیاد آن می‌تواند منجر به بروز کمبود منگنز در گیاه سویا شود.

در پژوهش حاضر افزودن آهن سبب افزایش معنی‌دار میانگین نسبت آهن به منگنز شد (جدول ۵)، به طوری که میانگین‌ها در تمامی سطوح آهن مصرفی با یکدیگر و شاهد تفاوت معنی‌دار داشتند. دلیل این تأثیر، افزایش غلظت آهن و کاهش غلظت منگنز در نتیجه کاربرد آهن در گیاه است. نسبت کم آهن به منگنز در محلول غذایی منجر به بروز کمبود آهن می‌شود، و به نظر می‌رسد که این پدیده مربوط به اختلال در فعالیت آنزیمی آهن باشد (۲). با بررسی برهمکنش فسفر و آهن بر نسبت آهن به منگنز، می‌توان نتیجه گرفت که نسبت مناسب آهن به منگنز در برگ سویا در پژوهش حاضر برای تولید حداکثر عملکرد وزن خشک، در حدود ۱/۵ می‌باشد، که با مصرف آهن و فسفر به ترتیب به میزان‌های ۲/۵ و ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک به دست آمده است.

مقایسه میانگین‌های غلظت مس (جدول ۶) نشان می‌دهد که با افزایش سطوح فسفر، این میانگین تا سطح ۸۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک به طور معنی‌داری کاهش یافته، ولی سطوح بالاتر فسفر سبب افزایش معنی‌دار آن نسبت به شاهد شده است، هرچند که میانگین‌های غلظت مس در دو سطح ۱۲۰ و ۱۶۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. تنها کاربرد ۴۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک باعث افزایش معنی‌دار میانگین جذب کل مس نسبت به شاهد شد، ولی دیگر میانگین‌ها با یکدیگر و با شاهد تفاوت معنی‌داری نشان ندادند. والیس و همکاران (۳۱) نشان دادند که در پ-هاش بیش از ۷، افزایش فسفر سبب کاهش مس در

می‌تواند معلول برهمکنش این دو عنصر در خاک، تأثیر فسفر بر متابولیسم روی در گیاه یا اثر رقت باشد. فرح و سلیمان (۱۷) گزارش دادند که کاربرد فسفر سبب کاهش غلظت و جذب کل روی در گندم گردید. کاربرد فسفر سبب افزایش معنی‌دار نسبت فسفر به روی در سویا شد (جدول ۴). قنبری (۴) نیز گزارش کرد که افزودن فسفر به خاک سبب افزایش معنی‌دار این نسبت شده است، که دلیل آن را افزایش غلظت فسفر و کاهش غلظت روی در گیاه ذکر کرده است. کاربرد آهن تأثیر معنی‌داری بر میانگین غلظت روی در گیاه نداشت، ولی افزودن ۲/۵ میلی‌گرم آهن در کیلوگرم خاک سبب افزایش معنی‌دار میانگین جذب کل روی شد، که به دلیل افزایش رشد گیاه بوده است، هرچند که با افزایش سطوح آهن مصرفی این میانگین کاهش یافت. رومی‌زاده و کریمیان (۲۹) نشان دادند که کاربرد آهن تأثیر معنی‌داری بر میانگین غلظت و جذب کل روی در سویا ندارد. با افزایش سطوح آهن، نسبت فسفر به روی به طور معنی‌داری نسبت به شاهد کاهش یافت. دلیل این تأثیر را می‌توان کاهش غلظت فسفر بر اثر مصرف آهن ذکر کرد (جدول ۲).

با مصرف فسفر تا سطح ۸۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک میانگین غلظت منگنز به طور معنی‌داری افزایش یافت، هرچند که بین سطوح مصرفی ۴۰ و ۸۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک اختلاف معنی‌داری دیده نشد، و سطوح بالاتر آن را کاهش داد (جدول ۵). میانگین جذب کل منگنز با افزایش سطوح فسفر به طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش یافت. بیشترین افزایش را سطح ۸۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک ایجاد کرد، ولی سطوح بالاتر سبب کاهش آن شد (جدول ۵). کاربرد فسفر به طور کلی نسبت آهن به منگنز را به طور معنی‌داری نسبت به شاهد کاهش داد. این تغییرات در نتیجه تأثیر فسفر بر غلظت آهن و منگنز می‌باشد (جدول‌های ۳ و ۵). کاربرد آهن در تمام سطوح مصرفی سبب کاهش معنی‌دار غلظت و جذب کل منگنز گردید (جدول ۵)، و بیشترین کاهش را تیمار ۱۰ میلی‌گرم آهن در کیلوگرم خاک ایجاد کرد. رومی‌زاده و کریمیان (۲۹) گزارش کردند که کاربرد آهن در

جدول ۴. تأثیر سطوح مختلف فسفر و آهن بر غلظت و جذب کل روی و نسبت فسفر به روی در سویا

میانگین	سطح فسفر (میلی گرم در کیلوگرم خاک)					سطح آهن
	۱۶۰	۱۲۰	۸۰	۴۰	۰	(میلی گرم در کیلوگرم)
	غلظت روی (میکروگرم در گرم)					
۸/۲۱ ^A	۶/۵۷ ^d	۷/۴۴ ^c	۷/۳۷ ^c	۸/۳۲ ^b	۱۱/۳۴ ^a	۰
۸/۲۳ ^A	۶/۲۰ ^d	۷/۴۷ ^c	۷/۵۱ ^c	۸/۵۷ ^b	۱۱/۴۱ ^a	۲/۵
۸/۲۰ ^A	۶/۵۲ ^d	۷/۴۴ ^c	۷/۳۴ ^c	۸/۲۱ ^b	۱۱/۴۴ ^a	۵
۸/۲۹ ^A	۶/۵۵ ^d	۷/۲۰ ^c	۸/۳۷ ^c	۸/۱۶ ^b	۱۱/۱۶ ^a	۱۰
	۶/۴۶ ^E	۷/۳۹ ^D	۷/۶۵ ^C	۸/۳۲ ^B	۱۱/۳۴ ^A	میانگین
	جذب کل روی (میکروگرم در گلدان)					
۳۶/۰۴ ^B	۳۰/۴۵ ^{hi}	۳۵/۹۶ ^{efg}	۳۷/۱۱ ^{defg}	۳۷/۱۳ ^{defg}	۳۸/۹۶ ^{cdefg}	۰
۴۲/۶۸ ^A	۳۴/۰۹ ^{fgh}	۴۰/۴۵ ^{cde}	۴۲/۱۶ ^{bcd}	۴۶/۳۳ ^{ab}	۵۰/۴۰ ^a	۲/۵
۳۶/۲۲ ^B	۲۸/۶۹ ⁱ	۳۳/۶۲ ^{ghi}	۳۷/۶۲ ^{defg}	۳۷/۷۵ ^{defg}	۴۳/۴۱ ^{bc}	۵
۳۵/۶۳ ^B	۳۰/۰۴ ^{hi}	۳۴/۱۳ ^{fgh}	۳۹/۲۵ ^{cdef}	۳۶/۸۹ ^{defg}	۳۷/۸۳ ^{defg}	۱۰
	۳۰/۸۲ ^D	۳۶/۰۴ ^C	۳۹/۰۴ ^B	۳۹/۶۷ ^B	۴۲/۶۵ ^A	میانگین
	نسبت فسفر به روی					
۴۳۴ ^A	۶۶۷ ^a	۶۱۶ ^b	۵۰۷ ^c	۲۷۶ ^{ef}	۱۰۶ ^{kl}	۰
۳۴۹ ^B	۶۵۰ ^a	۵۰۴ ^c	۲۹۵ ^e	۲۰۴ ^h	۹۱ ^{klm}	۲/۵
۲۶۱ ^C	۴۹۹ ^c	۳۳۶ ^d	۲۳۰ ^{gh}	۱۵۵ ⁱ	۸۳ ^{lm}	۵
۱۸۴ ^D	۳۳۸ ^d	۲۴۸ ^{fg}	۱۳۹ ^{ij}	۱۲۱ ^{jk}	۷۳ ^m	۱۰
	۵۳۸ ^A	۴۲۶ ^B	۲۹۳ ^C	۱۸۹ ^D	۸۸ ^E	میانگین

برای هر یک از پاسخ‌های گیاهی، میانگین‌هایی که در هر ردیف یا در هر ستون در یک حرف بزرگ، و یا میانگین‌هایی که در متن جدول در یک حرف کوچک مشترک هستند، طبق آزمون دانکن در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

برگ، ساقه و ریشه سویا شده است. کاربرد آهن تأثیر معنی‌داری بر میانگین غلظت مس نداشت، ولی کاربرد ۲/۵ میلی‌گرم آهن در کیلوگرم خاک سبب افزایش معنی‌دار میانگین جذب کل مس نسبت به شاهد شد (جدول ۶). رومی‌زاده و کریمیان (۲۹) نتیجه گرفتند که کاربرد آهن و برهمکنش فسفر و آهن تأثیر معنی‌داری بر غلظت و جذب کل مس در سویا نداشته است.

برای این پژوهش، تأثیر منفی مصرف بیش از نیاز فسفر و آهن بر وزن ماده خشک، جذب و غلظت دیگر عناصر غذایی گیاه مانند روی، مس و منگنز، گویای اهمیت کاربرد بهینه کودهای

نتیجه‌گیری

نتایج این آزمایش نشان داد که مصرف فسفر تا ۸۰ میلی‌گرم و

جدول ۵. تأثیر سطوح مختلف فسفر و آهن بر غلظت و جذب کل منگنز و نسبت آهن به منگنز در سویا

میانگین	سطح فسفر (میلی گرم در کیلوگرم خاک)					سطح آهن (میلی گرم در کیلوگرم)
	۱۶۰	۱۲۰	۸۰	۴۰	۰	
غلظت منگنز (میکروگرم در گرم)						
۸۹/۸۱ ^A	۷۳/۶۲ ^d	۷۴/۴۰ ^d	۱۲۲/۷ ^a	۹۴/۴۰ ^b	۸۳/۹۲ ^c	۰
۳۵/۲۵ ^B	۲۷/۹۴ ^{gh}	۶۶/۸۱ ^e	۲۵/۳۵ ^{hi}	۳۳/۱۱ ^f	۲۳/۰۲ ^{ij}	۲/۵
۲۲/۲۵ ^C	۲۷/۸۴ ^{gh}	۱۱/۳۷ ^l	۲۰/۹۴ ^{jk}	۳۱/۲۴ ^{fg}	۱۹/۸۹ ^{jk}	۵
۱۸/۱۵ ^D	۱۹/۳۷ ^{jk}	۷/۸۷ ^l	۱۸/۰۰ ^k	۲۷/۲۵ ^h	۱۸/۲۵ ^k	۱۰
	۳۷/۱۹ ^C	۴۰/۱۲ ^B	۴۶/۷۵ ^A	۴۶/۵۰ ^A	۳۶/۲۷ ^C	میانگین
جذب کل منگنز (میکروگرم در گلدان)						
۴۰/۶/۴ ^A	۳۳۹/۹ ^c	۳۵۸/۵ ^c	۶۱۶/۶ ^a	۴۲۹/۰ ^b	۲۸۷/۹ ^d	۰
۱۸۷/۶ ^B	۱۵۳/۰ ^{ef}	۳۶۱/۳ ^c	۱۴۲/۸ ^{fg}	۱۷۸/۷ ^e	۱۰۱/۷ ^{hij}	۲/۵
۹۹/۹۷ ^C	۱۲۲/۳ ^{gh}	۵۱/۴۰ ^{lm}	۱۰۷/۲ ^{hi}	۱۴۳/۳ ^{fg}	۷۵/۵۶ ^{jkl}	۵
۷۹/۰۵ ^D	۸۸/۶۴ ^{ijk}	۳۷/۳۲ ^m	۸۴/۴ ^{ijk}	۱۲۳/۱ ^{gh}	۶۱/۷۸ ^{klm}	۱۰
	۱۷۶/۱ ^D	۲۰۲/۱ ^C	۲۳۷/۷ ^A	۲۱۸/۵ ^B	۱۳۱/۷ ^E	میانگین
نسبت آهن به منگنز						
۰/۲۵ ^D	۰/۱۹ ^k	۰/۱۸ ^k	۰/۱۹ ^k	۰/۲۸ ^{jk}	۰/۴۵ ^j	۰
۱/۳۰ ^C	۰/۸۴ ⁱ	۰/۳۷ ^{jk}	۱/۴۸ ^h	۱/۳۸ ^h	۲/۴۲ ^e	۲/۵
۲/۲۵ ^B	۰/۸۸ ⁱ	۳/۱۲ ^d	۲/۱۰ ^f	۱/۷۴ ^g	۳/۳۸ ^c	۵
۳/۵۳ ^A	۲/۴۴ ^e	۵/۵۸ ^a	۳/۰۹ ^d	۲/۳۵ ^e	۴/۲۱ ^b	۱۰
	۱/۰۹ ^E	۲/۳۱ ^B	۱/۷۲ ^C	۱/۴۴ ^D	۲/۶۱ ^A	میانگین

برای هر یک از پاسخ‌های گیاهی، میانگین‌هایی که در هر ردیف یا در هر ستون در یک حرف بزرگ، و یا میانگین‌هایی که در متن جدول در یک حرف کوچک مشترک هستند، طبق آزمون دانکن در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ۶. تأثیر سطوح مختلف فسفر و آهن بر غلظت و جذب کل مس در سویا

تیمار	سطح (میلی گرم در کیلوگرم)	غلظت مس (میکروگرم در گرم)	جذب کل مس (میکروگرم در گلدان)
فسفر	۰	۵/۴۹ ^A	۲۰/۶۶ ^B
	۴۰	۴/۸۸ ^B	۲۳/۲۶ ^A
	۸۰	۴/۱۴ ^C	۲۱/۱۸ ^{AB}
	۱۲۰	۴/۶۵ ^B	۲۲/۶۸ ^{AB}
	۱۶۰	۴/۷۳ ^B	۲۲/۵۹ ^{AB}
آهن	۰	۴/۷۴ ^A	۲۱/۱۴ ^B
	۲/۵	۴/۷۹ ^A	۲۵/۰۱ ^A
	۵	۴/۷۱ ^A	۲۰/۹۴ ^B
	۱۰	۴/۸۷ ^A	۲۱/۲۲ ^B

برای هر یک از پاسخ‌های گیاهی، میانگین‌هایی که در هر ستون در یک حرف بزرگ مشترک می‌باشند، طبق آزمون دانکن در سطح پنج درصد دارای تفاوت معنی‌دار نمی‌باشند.

سیاسگزاری

شیمیایی است. با توجه به تفاوت شرایط مزرعه و گلخانه، پیش از هر گونه توصیه کودی شایسته است که مصرف توأم فسفر و آهن در شرایط مزرعه در خاک‌های مختلف و با واریته‌های متفاوت سویا بررسی گردد.

بدین وسیله از دانشگاه شیراز برای تأمین وسایل و امکانات و ایجاد تسهیلات لازم، و هم‌چنین از همکاران بخش خاک‌شناسی صمیمانه قدردانی می‌گردد.

منابع مورد استفاده

۱. رومی‌زاده، س. ۱۳۷۳. ارزیابی وضعیت آهن قابل استفاده گیاهی به روش‌های مختلف آزمایشگاهی و گلخانه‌ای در خاک‌های آهکی منطقه زیر سد درودزن استان فارس. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.
۲. سالاردینی، ع. ا. ۱۳۷۰. حاصل‌خیزی خاک. انتشارات دانشگاه تهران.
۳. سالاردینی، ع. ا. و م. مجتهدی (مترجمان). ۱۳۶۷. اصول تغذیه گیاه. جلد دوم. انتشارات دانشگاه تهران.
۴. قنبری، ع. ۱۳۷۱. ارزیابی گلخانه‌ای و آزمایشگاهی چندین عصاره‌گیر جهت تعیین فسفر قابل استفاده در بعضی از خاک‌های آهکی مهم استان فارس. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.
5. Abtahi, A. 1980. Soil genesis as affected by topography and time in highly calcareous parent material under semiarid condition in Iran. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 329-336.
6. Allison, L. E. and C. D. Moodie. 1965. Carbonate. PP. 1379-1396. *In: C. A. Black (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part II, Am. Soc. Agron., Madison, WI.*
7. Bahal, G. S. and B. S. Arora. 1991. Studies on uptake and utilization of P by soybean grown on characteristically different soil of Punjab. *J. Agric. Biol.* 20: 113-117.
8. Bassiri, A., A. Kashirad and M. Kheradnam. 1979. Growth and mineral composition of mungbean as influenced by P and Fe fertilization. *Agron. J.* 71: 139-141.
9. Bouyoucos, G. J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil. *Agron. J.* 54: 464-465.
10. Bremner, J. M. 1965. Inorganic forms of nitrogen. PP. 1132-1179. *In: C. A. Black (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 2, Monograph No. 9, Am. Soc. Agron., Madison, WI.*
11. Bremner, J. M. 1965. Total nitrogen. PP. 1149-1178. *In: C. A. Black (Ed.), Methods of Soil Analysis. Am. Soc. Agron., Madison, WI.*
12. Brown, J. C. and W. E. Jones. 1974. Phosphorus efficiency as related to iron inefficiency in sorghum. *Agron. J.* 62: 468-472.
13. Dahiya, S. S. and R. Singh. 1982. Effect of soil application of CaCO₃ and Fe on dry matter yield and nutrient uptake in oats. *Plant Soil* 65: 79-86.
14. Daneshnia, A., H. Rastegar, A. Shahrokhnia and Y. Mehdizadeh. 1991. The effect of nitrogen and iron on yield and quality of drip-irrigated tangerine. *Res. Rep. No. 71/279, Fars Agric. Res. Center.*
15. Dekock, P. C. 1955. Iron nutrition of plants at high pH. *Soil Sci.* 79: 167-175.
16. Dekock, P. C. 1981. Iron nutrition under condition of stress. *J. Plant Nutr.* 3: 513-521.
17. Farah, M. A. and M. F. Soliman. 1987. Zinc-phosphorus interaction in wheat plants. *Agrochimica* 30: 416-425.
18. Holmes, R. C. and L. O. Tiffin. 1959. Hypothesis concerning iron chlorosis. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 23: 231-234.
19. Jackson, M. L. 1975. Soil chemical analysis. Advanced course, Dept. Soil, College Agric., Univ. Wis., Madison, WI.

20. Knudsen, D., G. A. Peterson and P. F. Prat. 1982. Lithium, sodium and potassium. PP. 225-246. *In*: A. L. Page (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part. II, 2nd ed.*, Monograph No. 9, Am. Soc. Agron., Madison, WI.
21. Lindsay, W. L. and W. A. Norvell. 1978. Development of a DTPA test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 421-428.
22. Lindsay, W. L. and A. P. Schwab. 1982. The chemistry of iron in soils and its availability to plant. *J. Plant Nutr.* 5: 821-840.
23. Luccena, J. J., A. Garate, A. M. Ramon and M. Monzahres. 1990. Iron nutrition of a hydroponic strawberry culture supplied with different Fe chelates. *Plant Sci.* 23: 9-15.
24. Luccena, J. J., M. Manzanares and A. Garate. 1992. A test to evaluate the efficiency of commercial Fe chelates. *J. Plant Nutr.* 15: 1553-1566.
25. Mandal, B. and L. N. Mandal. 1990. Effect of phosphorus application on transformation of zinc fraction on soil and on the zinc nutrition of lowland rice. *Plant Soil* 121: 115-123.
26. Miller, G. W., J. C. Brown and R. S. Holmes. 1960. Chlorosis in soybean as related to iron, phosphorus, bicarbonate and cytochrome oxidase activity. *Plant Physiol.* 35: 619-625.
27. Murphy, J. and J. P. Riley. 1962. A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chem. Acta.* 27: 31-36.
28. Olsen, S. R. C., V. Cole, F. S. Watanabe and L. A. Dean. 1954. Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate, USDA. Cir. 939. US Govern. Printing Office, Washington, DC.
29. Roomizadeh, S. and N. Karimian. 1996. Manganese-iron relationship in soybean grown in calcareous soil. *J. Plant Nutr.* 19: 397-406.
30. Sampet, C. 1978. Effect of N, P and S on growth, nodulation and nutrient content of soybean in Khunwang soil. *Thai. J. Agric. Sci.* 22: 121-128.
31. Wallace, A., W. L. Berry and G. V. Alexander. 1981. Iron, nitrogen and phosphorus interaction in two cultivars of soybean grown on a calcareous soil. *J. Plant Nutr.* 3: 625-635.