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 استفادهٔ 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، ٤٠، ٨٠، ١٢٠ و ١٦٠ میلی‌گرم در کیلوگرم از منبع پتاسیم دی‌هیدروژن فسفات) و چهار سطح آهن (صفر، ۲/۵، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم از منبع سکسترین 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<۰/۰۵) 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 ٤٠ 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

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.4.8.1]

مقدمه

در خاک‌های آهکی ایران بـه علـت فراوانـی کلسـیم کربنـات و پ–هاش زیاد، قابلیت استفاده آهن کـم اسـت. سـالیانه مقـادیر چشم‌گیری کودهـای فسـفردار بـه ایـن گونـه خاک‌هـا افـزوده می‌شود، که علاوه بر به‌پروری (Eutrification) و القـای کمبـود آهن، می‌تواند سبب تجمع فسفر در اندام هوایی گیـاه گردد. در خاک‌هایی که غلظت فسفر قابل اسـتفاده از حـد بحرانـی کمـتر است، گیاهان نسبت به کاربرد کودهـای فسـفردار پاسـخ مثبـت می‌دهند (۱، ۲، ۳ و ٤). سامپت (۳۰) در کشت گلخانه‌ای سـویا نتیجه گرفت که عملکرد ماده خشـک سـویا بـا افزایـش فسـفر افزایش یافت. بیشترین عملکرد ماده خشک سویا با افـزودن ۵۰ یا ۱۰۰ میلی‌گرم فسفر در هر کیلوگرم خاک به دست آمد، که به ترتیب افزایشی برابر ٤۳ و ٥٤ درصد نسبت به شاهد داشت.

لیندسی و شواب (۲۲) نشان دادند که در کاهش کمبود آهن در یـک خـاک آهکـی، FeEDDHA مؤثرتـر از FeDTPA و FeEDTA بوده است. آنان علت را پایداری بیشـتر FeEDDHA در محدوده پ–هاش ٤ تا ۱۰ ذکر کردند. رومی‌زاده و کریمیـان (۲۹) گزارش دادند که کاربرد آهن به صـورت FeEDDHA در تمام خاک‌های آهکی مورد آزمایش به طـور معنـی‌داری بـاعث افزایش غلظت آهن در سویا شده، ولی غلظت منگنـز بـه دلیـل ایجاد اختلال در انتقال آن از خاک بـه ریشـه و یـا از ریشـه بـه قسمت هوایی گیـاه کـاهش یـافت. دانش‌نیـا و همکـاران (١٤) گزارش کردنـد کـه مصـرف زیـاد FeEDDHA در برخـی از خاک‌های آهکی جنوب ایـران ممکـن اسـت منجـر بـه کمبـود عناصر کم‌مصرف دیگر نظیر روی، منگنز و مس شود.

در بسیاری از نواحی خشک و نیمه خشک، فسفر بـه مقـدار زیاد به خاک اضافه می‌شود، که می‌تواند سبب ایجاد کمبود آهن و در نتیجه کلروز آهن در گیاه شود. دکاک (۱۵) اعلام کـرد کـه نسبت فسفر به آهن در گیاهان، نمایه مناسبی برای بیان وضعیت آهن در گیاه است. بزرگی این نسبت به معنـی کمبـود آهـن یـا فزونی فسفر، و کوچکی آن گویای سـمیت آهـن و یـا احتمـالاً کمبود فسفر می‌باشد.

هولمز و تفین (۱۸) نتیجه گرفتند که علاوه بر کمبـود آهـن قابل استفاده در خاک، که می‌تواند در بروز کلروز آهن در برخی از ارقام سویا یـک عـامل مـهم باشـد، مصـرف بهینـه کودهـای شیمیایی فسفر و آهن نیز از عوامل مهم در برطرف کردن کلروز آهن در سویا محسوب می‌شود. میلر و همکاران (۲٦) دریـافتند که کلروز آهن در سطوح بالای فسفر در حضور یا عدم حضـور بی‌کربنات بروز کرده، و علت آن را به افزایش غلظت فسـفر در گیاه و در نتیجه غیر فعال شدن آهن در گیاه نسبت دادند.

با توجه به مصرف مداوم و بی‌رویه فسفر توسط کشـاورزان، که علاوه بر تشدید به‌پروری می‌تواند بـر جـذب آهـن و دیـگر عناصر غذایی گیاه نیز تأثیر منفی داشته باشـد، و بـا عنـایت بـه کمبود ذاتی آهن در خاک‌های آهکی و حساسیت سویا به تنـش آهن، این پژوهش طراحی و اجرا گردید. بنابراین، هدف اصلـی از اجرای این پژوهش بررسی تأثیر فسفر، آهن و برهمکنش آنها بر وزن خشک انـدام هوایـی، غلظـت، و جـذب کـل برخـی از عناصر غذایی سویا بود.

مواد و روش‌ها

خاک کافی از افق سـطحی (۰–۲۰ سـانتی‌متری) سـری چیتـگر واقع در شهرستان سروستان استان فارس جمع‌آوری گردید. این خاک از نوع Calcic Brown soil بوده و مترادف آن در سیسـتم تاکسونومی خاک Fine-loamy, carbonatic, thermic, Typic Calcixerepts می‌باشـد (۵). پـس از خشـک کـردن خـاک در معرض هوا و عبور از الک دو میلی‌متری، برخی از ویژگی‌هـای فـیزیکی و شـیمیایی آن نظـیر بـافت بـه روش هیدرومـتر (۹)، کلسیم کربنات معادل به روش خنثی کردن با اسـید کلریدریـک (٦)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشـباع بـا هدایت‌سـنج الکتریکی، فسفر قابل استفاده به روش اولسن و همکـاران (۲۸)، پ–هاش در خمیر اشباع، غلظت عناصر کم مصرف کاتیونی بـا عصاره‌گیر DTPA (۲۱)، ماده آلی به روش اکسیداسیون با اسـید کرومیک و سپس تیتره کردن با فروس آمونیـوم سـولفات (۱۹)، نیتروژن کل به روش کلدال (۱۱)، نیتروژن نیتراتی به روش فنـل

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.4.8.1]

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 ۳٤ و ۱٤ درجه سانتی‌گراد) به صورت فاکتوریل ٤×٥ در چارچوب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. تیمارهای مورد استفاده عبارت بودند از پنج سطح فسفر (صفر، ٤۰، ۸۰، ۱۲۰ و ۱٦۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک) و چهار سطح آهن (صفر، ۲/٥، ٥ و ۱۰ میلی‌گرم آهن در کیلوگرم خاک). فسفر از منبع پتاسیم دی‌هیدروژن فسفات (KH_2PO_4) و آهن از منبع سکسترین آهن ۱۳۸ (FeEDDHA) پیش از کاشت به خاک افزوده گردید. نیتروژن به مقدار ۷۰ میلی‌گرم پیش از کاشت و ٥۰ 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 ٦٥ 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 (حاصل‌ضرب 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 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 ۳٦ 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 ٥۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک داشته، که افزایشی به ترتیب برابر ٤۳ و ٥٤ درصد نسبت به شاهد بوده است.

مصرف آهن در سطح ۲/٥ 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 ۲/٥ تا ٤/٥ 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

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.4.8.1]

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

ویژگی‌های خاک	مقدار
شن (درصد)	۳۰
سیلت (درصد)	٤٦
رس (درصد)	٢٤
بافت	لوم
پ–هاش (خمیر اشباع)	۷/۵
قابلیت هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	۰/۹
ماده آلی (درصد)	۱
ظرفیت تبادل کاتیونی (سانتی‌مول در کیلوگرم خاک)	۱۰/۱
کربنات کلسیم معادل (درصد)	٥٦/٥
فسفر محلول در بی‌کربنات سدیم (میکروگرم در گرم خاک)	٤/٥
نیتروژن کل (درصد)	۰/۰٥٤
نیتروژن نیتراتی (میکروگرم در گرم خاک)	۱۰
پتاسیم محلول در استات آمونیوم (میکروگرم در گرم خاک)	۲٥۰
آهن محلول در DTPA (میکروگرم در گرم خاک)	۲/۲
روی محلول در DTPA (میکروگرم در گرم خاک)	۰/۹٦
منگنز محلول در DTPA (میکروگرم در گرم خاک)	۳/٥
مس محلول در DTPA (میکروگرم در گرم خاک)	۰/۸۷

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 ارورا (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 ۱٦۰ 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).

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.4.8.1]

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

سطح آهن (میلی‌گرم در کیلوگرم)	سطح فسفر (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)					میانگین
	۰	٤٠	۸۰	۱۲۰	۱٦۰	
	وزن خشک اندام هوایی (گرم در گلدان)					
۰	۳/٤۳ f	٤/٥۳ cde	٥/۰۳	٤/۸۲ cde	٤/٦۳ cde	٤/٤۹ B
۲/٥	٤/٤۱ e	٥/٤۰ ab	٥/٦۱ a	٥/٤۱ ab	٥/٥۰ ab	٥/۲۷ A
٥	۳/۸۰ f	٤/٦۰ cde	٥/۱۲ abc	٤/٥۱ de	٤/٤۰ e	٤/٤۹ B
۱۰	۳/۳۹ f	٤/٥۲ de	٤/٦۹ cde	٤/۷٤ cde	٤/٥۷ cde	٤/۳۸ B
میانگین	۳/۷٦C	٤/۷٦B	٥/۱۱ A	٤/۸۷ AB	٤/۷۸ B	
	غلظت فسفر (میکروگرم در گرم)					
۰	۱۲۰۰ i	۲۲۹٥g	۳۷۳۱d	٤٥۷٥ a	٤۳۷۸ b	۳۲۳٦ A
۲/٥	۱۰٤٤jk	۱۷٥٦h	۲۲۱۲ g	۳۷٦۲ d	٤۰۳۱	۲٥٦۱ B
٥	۹٥۷ k	۱۲۷٦ i	۱٦۸۷ h	۲٥۰۰f	۳۲٥۰ e	۱۹۳٤ C
۱۰	۸۲۱l	۹۸٦k	۱۱٦۹ ij	۱۷۸۷ h	۲۲۰٦ g	۱۳۹٤ D
میانگین	۱۰۰٦ E	۱٥۷۸D	۲۲۰۰ C	۳۱٥٦ B	۳٤٦٦ A	
	جذب کل فسفر (میلی‌گرم در گلدان)					
۰	٤/۱۲ klm	۱۰/٤۲ fg	۱۸/۷۷ c	۲۲/۰۹ a	۲۰/۲۸ b	۱٥/۱٤ A
۲/٥	٤/٦۰ jk	۹/٤۹ ghi	۱۲/٤۳ e	۲۰/۳٤ b	۲۲/۱٦ a	۱۳/۸۱ B
٥	۳/٦٤ lm	٥/۸۷j	۸/٦۰ hi	۱۱/۲۹ ef	۱٤/۳۲ d	۸/۷٤ C
۱۰	۲/۷۸m	٤/٤٦ jkl	٥/٤۷ jk	۸/٥۱ i	۱۰/۰۸ fgh	٦/۲٦ D
میانگین	۳/۷۹E	۷/٥٦ D	۱۱/۳۲ C	۱٥/٥٦ B	۱٦/۷۱ A	

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.

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 ٥٦ و ٥۸ 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 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

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.4.8.1]

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

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

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.

این افزایش کمتر است (جدول ۳). دکاک (۱۵ و ۱۶) گزارش داد که افزایش چشم‌گیر این نسبت نشان‌دهندهٔ 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 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

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.4.8.1]

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 ٤). قنبری (٤) 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 ٤۰ 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 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 ٢٤) نشان دادند که هرچند در خاک‌های آهکی سکسترین 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 ٦) 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 ۱٦۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. تنها کاربرد ٤۰ 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

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.4.8.1]

جدول ٤. تأثیر سطوح مختلف فسفر و آهن بر غلظت و جذب کل روی و نسبت فسفر به روی در سویا

سطح آهن (میلی‌گرم در کیلوگرم)	سطح فسفر (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)					میانگین
	۰	٤۰	۸۰	۱۲۰	۱٦۰	
	غلظت روی (میکروگرم در گرم)					
۰	۱۱/۳٤ a	۸/۳۲ b	۷/۳۷ c	۷/٤٤ c	٦/۵۷ d	۸/۲۱ A
۲/۵	۱۱/٤۱ a	۸/۵۷ b	۷/۵۱ c	۷/٤۷ c	٦/۲۰ d	۸/۲۳ A
۵	۱۱/٤٤ a	۸/۲۱ b	۷/۳٤ c	۷/٤٤ c	٦/۵۲ d	۸/۲۰ A
۱۰	۱۱/۱٦ a	۸/۱٦ b	۸/۳۷ c	۷/۲۰ c	٦/۵۵ d	۸/۲۹ A
میانگین	۱۱/۳٤ A	۸/۳۲ B	۷/٦۵ C	۷/۳۹ D	٦/٤٦ E	
	جذب کل روی (میکروگرم در گلدان)					
۰	۳۸/۹٦ cdefg	۳۷/۷۳ defg	۳۷/۱۱ defg	۳۵/۹٦ efg	۳۰/٤۵ hi	۳٦/۰٤ B
۲/۵	۵۰/٤۰ a	٤٦/۳۳ ab	٤۲/۱٦ bcd	٤۰/٤۵ cde	۳٤/۰۹ fgh	٤۲/٦۸ A
۵	٤۳/٤۱ bc	۳۷/۷۵ defg	۳۷/٦۲ defg	۳۳/٦۲ ghi	۲۸/٦۹ i	۳٦/۲۲ B
۱۰	۳۷/۸۳ defg	۳٦/۸۹ defg	۳۹/۲۵ cdef	۳٤/۱۳ fgh	۳۰/۰٤ hi	۳۵/٦۳ B
میانگین	٤۲/٦۵ A	۳۹/٦۷ B	۳۹/۰٤ B	۳٦/۰٤ C	۳۰/۸۲ D	
	نسبت فسفر به روی					
۰	۱۰٦ kl	۲۷٦ ef	۵۰۷ c	٦۱٦ b	٦٦۷ a	٤۳٤ A
۲/۵	۹۱ klm	۲۰٤ h	۲۹۵ e	۵۰٤ c	٦۵۰ a	۳٤۹ B
۵	۸۳ lm	۱۵۵ i	۲۳۰ gh	۳۳٦ d	٤۹۹ c	۲٦۱ C
۱۰	۷۳ m	۱۲۱ jk	۱۳۹ ij	۲٤۸ fg	۳۳۸ d	۱۸٤ D
میانگین	۸۸ E	۱۸۹ D	۲۹۳ C	٤۲٦ B	۵۳۸ A	

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 ٦). 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.

نتیجه‌گیری

نتایج این آزمایش نشان داد که مصرف فسفر تا ۸۰ میلی‌گرم و آهن تا ۲/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک سبب افزایش رشد سویا گردید. با این حال، کاربرد بیشتر فسفر و آهن با کاهش ماده خشک گیاه همراه بود، که احتمالاً به دلیل میزان فسفر و آهن قابل جذب اولیه خاک و تأثیر سوء قابل توجه این دو عنصر بر غلظت عناصر غذایی کم‌مصرف کاتیونی مانند منگنز و روی بوده است.

در 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

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.4.8.1]

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

سطح آهن (میلی‌گرم در کیلوگرم)	سطح فسفر (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)					میانگین
	۰	۴۰	۸۰	۱۲۰	۱۶۰	
	غلظت منگنز (میکروگرم در گرم)					
۰	۸۳/۹۲ c	۹۴/۴۰ b	۱۲۲/۷ a	۷۴/۴۰ d	۷۳/۶۲ d	۸۹/۸۱ A
۲/۵	۲۳/۰۲ ij	۳۳/۱۱ f	۲۵/۳۵ hi	۶۶/۸۱ e	۲۷/۹۴ gh	۳۵/۲۵ B
۵	۱۹/۸۹ jk	۳۱/۲۴ fg	۲۰/۹۴ jk	۱۱/۳۷ l	۲۷/۸۴ gh	۲۲/۲۵ C
۱۰	۱۸/۲۵ k	۲۷/۲۵ h	۱۸/۰۰ k	۷/۸۷ l	۱۹/۳۷ jk	۱۸/۱۵ D
میانگین	۳۶/۲۷ C	۴۶/۵۰ A	۴۶/۷۵ A	۴۰/۱۲ B	۳۷/۱۹ C	
	جذب کل منگنز (میکروگرم در گلدان)					
۰	۲۸۷/۹ d	۴۲۹/۰ b	۶۱۶/۶ a	۳۵۸/۵ c	۳۳۹/۹ c	۴۰۶/۴ A
۲/۵	۱۰۱/۷ hij	۱۷۸/۷ e	۱۴۲/۸ fg	۳۶۱/۳ c	۱۵۳/۵ ef	۱۸۷/۶ B
۵	۷۵/۵۶ jkl	۱۴۳/۳ fg	۱۰۷/۲ hi	۵۱/۴۰ lm	۱۲۲/۳ gh	۹۹/۹۷ C
۱۰	۶۱/۷۸ klm	۱۲۳/۱ gh	۸۴/۴ ijk	۳۷/۳۲ m	۸۸/۶۴ ijk	۷۹/۰۵ D
میانگین	۱۳۱/۷ E	۲۱۸/۵ B	۲۳۷/۷ A	۲۰۲/۱ C	۱۷۶/۱ D	
	نسبت آهن به منگنز					
۰	۰/۴۵ j	۰/۲۸ jk	۰/۱۹ k	۰/۱۸ k	۰/۱۹ k	۰/۲۵ D
۲/۵	۲/۴۲ e	۱/۳۸ h	۱/۴۸ h	۰/۳۷ jk	۰/۸۴ i	۱/۳۰ C
۵	۳/۳۸ c	۱/۷۴ g	۲/۱۰ f	۳/۱۲ d	۰/۸۸ i	۲/۲۵ B
۱۰	۴/۲۱ b	۲/۳۵ e	۳/۰۹ d	۵/۵۸ a	۲/۴۴ e	۳/۵۳ A
میانگین	۲/۶۱ A	۱/۴۴ D	۱/۷۲ C	۲/۳۱ B	۱/۰۹ E	

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 (میلی‌گرم 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.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.4.8.1]

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.

سپاسگزاری

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). ۱۳٦۷. *اصول تغذیه گیاه*. جلد دوم. انتشارات دانشگاه تهران.

٤. 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 $CaCO_3$ 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.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.4.8.1]

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.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.4.8.1]