تأثیر فسفر و آهن بر رشد و ترکیب شیمیایی ذرت

عبدالمجید رونقی، محمدرضا چاکرالحسینی و نجف‌علی کریمیان[۱]

چکیده

فسفر و آهن از عناصر غذایی ضروری گیاهانند. در خاک‌های آهکی ایران، به دلیل فراوانی کربنات کلسیم، و نیز پ-هاش بالا، قابلیت استفاده آهن کم می‌باشد. هم‌چنین، مصرف بیش از نیاز کودهای فسفردار ممکن است قابلیت استفاده آهن را کاهش دهد. هدف از این بررسی ارزیابی گلخانه‌ای تأثیر فسفر و آهن بر رشد و ترکیب شیمیایی ذرت (Zea mays L.) 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، ٢/٥، ٥ و ١٠ 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 Typic Calcixerepts ، thermic ، carbonatic ، fine-loamy رشد کردند.

نتایج نشان داد که کاربرد فسفر تا سطح ٨٠ میلی‌گرم در کیلوگرم سبب افزایش وزن خشک قسمت هوایی گردید. غلظت و جذب کل فسفر با مصرف فسفر افزایش، ولی با کاربرد آهن کاهش یافت. کاربرد آهن تا سطح پنج میلی‌گرم در کیلوگرم، وزن خشک را افزایش، ولی در سطوح بالاتر آن را کاهش داد. غلظت و جذب کل آهن با کاربرد آهن افزایش، ولی با کاربرد فسفر کاهش یافت. با مصرف فسفر، غلظت روی و مس در گیاه به طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد. غلظت منگنز در سطح ٤٠ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم افزایش، ولی در سطوح بالاتر کاهش یافت. کاربرد آهن، غلظت روی و منگنز را در قسمت هوایی ذرت کاهش داد، ولی تأثیری بر غلظت مس نداشت.

واژه‌های کلیدی: *فسفر، آهن، تغذیه گیاه، ذرت، کربنات کلسیم، پ-هاش*

---

۱. به ترتیب استادیار، دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و استاد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1381.6.2.8.2]

مقدمه

فسفر از عناصر غذایی مورد نیاز گیاه است. عوامل بسیاری همچون مقدار فسفر قابل استفاده در خاک، پ-هاش خاک، کربنات کلسیم، مقدار و نوع رس، میزان ماده آلی و کاتیون‌های کلسیم، منیزیم، آهن و آلومینیم بر جذب و قابلیت استفاده فسفر در خاک مؤثر می‌باشد (۱، ۲، ٤، ٥، ۲۰، ۲۸ و ۲۹). آهن نیز از عناصر غذایی ضروری کم مصرف برای گیاهان است. حلالیت کانی‌های حاوی آهن با افزایش پ-هاش خاک کاهش می‌یابد (۱۹). زیادی فسفات در خاک، و افزایش غلظت منگنز در خاک یا گیاه نیز ممکن است باعث بروز کمبود آهن شود (۱۰، ۱۷، ۲۳، ۳٤، ۳٥ و ۳٦). در خاک‌های آهکی ایران به علت فراوانی کربنات کلسیم، و نیز پ-هاش بالا، قابلیت استفاده آهن کم می‌باشد. سالیانه مقادیر بسیاری کودهای فسفردار به این گونه خاک‌ها افزوده می‌شود، که علاوه بر کاهش جذب آهن، می‌تواند سبب انباشته شدن 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 (۳، ٦ و ۷). کریمیان و قنبری (۲٦) حد بحرانی فسفر را برای ذرت در خاک‌های آهکی استان فارس، ۱۸ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک با روش اولسن و همکاران (۳۸) گزارش نموده‌اند.

لوپرت و هالمارک (۳۲) گزارش کردند که عوامل خاکی مانند پ-هاش، اکسیدهای بی‌شکل آهن، ماده آلی، مقدار کربنات کلسیم، نمک‌های محلول و پتانسیل اکسایش و کاهش در حلالیت آهن تأثیر بسزایی دارند. ساکال و همکاران (٤۰) گزارش نمودند که هم‌بستگی آهن عصاره‌گیری شده توسط دی‌تی‌پی‌ا با پ-هاش، منفی، و با کربن آلی و فسفر مثبت می‌باشد. شومان (٤۳) نشان داد که با افزایش پ-هاش ناشی از افزودن آهک به خاک، شکل‌های تبادلی و آلی آهن کاهش یافت. براون و جونز (۱٦) نتیجه گرفتند که غلظت آهن محلول در خاک از ۰/۱ در پ-هاش ۳ به ۰/۰۱ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک در پ-هاش ٦ کاهش می‌یابد. گوپتاو همکاران (۲۲) گزارش دادند که در پ-هاش بیشتر از ٦/٥، آهن محلول در خاک به اکسید فریک تبدیل شده، که در شرایط طبیعی یا قلیایی غیر محلول می‌باشد، و در نتیجه ممکن است منجر به کمبود آهن در محصولات کشاورزی شود.

لیندسی و شواب (۳۱) 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 ٤ تا ۱۰ ذکر می‌کنند. براون و همکاران (۱٦) مشاهده کردند که کاهش Fe^{3+} به Fe^{2+} یک مرحله ضروری در آزادسازی آهن از کلات و جذب آهن توسط ذرت می‌باشد. آنان هم‌چنین عقیده دارند که حساسیت گیاهان به کمبود آهن ممکن است به فرایندهای متابولیک مربوط باشد، که منجر به آزادسازی آهن از FeEDDHA می‌شود. برای انجام تفکیک آهن بایستی آهن کلاته از شکل فریک به شکل فرو تبدیل شود، که دارای پایداری کمتری است.

دانش‌نیا و همکاران (۱۸) گزارش کردند که مصرف اضافی FeEDDHA در برخی از خاک‌های آهکی جنوب ایران ممکن است باعث کمبود عناصر کم‌مصرف دیگر، همچون روی و منگنز شود. دکاک (۱۹) اعلام کرد که به طور کلی نسبت فسفر به آهن در گیاهان نمایه مناسبی برای بیان وضعیت آهن در گیاه می‌باشد. بزرگی این نسبت به معنی کمبود آهن یا فزونی فسفر، و کوچکی آن مشخص کننده سمیت آهن و یا احتمالاً کمبود فسفر می‌باشد. کاشی‌راد و همکاران (۲۷) نشان دادند که مصرف زیاد فسفر در خاک‌های آهکی، قابلیت استفاده آهن را کم می‌کند. کاشی‌راد و مارشنر (۲۸) حساسیت بیشتر ذرت به کلروز آهن در مقایسه با آفتاب‌گردان را به تجمع مقدار زیاد فسفر در ساقه مرتبط دانسته، و علت کاهش جذب آهن را نتیجه تأثیر فسفر در ایجاد رسوب آهن و احیای آهن ذکر می‌کنند.

هولمز و تفین (۲٤) بیان کردند که گرچه کمبود آهن قابل استفاده در خاک می‌تواند یک عامل ایجاد کلروز آهن باشد، ولی نباید آن را به عنوان تنها عامل ذکر کرد. میلر و همکاران (۳٥)

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1381.6.2.8.2]

نتیجه گرفتند که بی‌کربنات به طور غیر مستقیم سبب ایجاد کلروز آهن می‌شود. بدین معنی که بی‌کربنات سبب افزایش قابلیت استفاده فسفر شده، که پیامد آن کاهش غلظت آهن در برگ و ریشه و نهایتاً ایجاد کلروز آهن است. آنان مشاهده کردند که کلروز آهن در سطوح بالای فسفر، در حضور یا عدم حضور بی‌کربنات بروز نموده، و علت آن را به افزایش غلظت فسفر در گیاه و در نتیجه غیر فعال شدن آهن در گیاه نسبت داده‌اند. جورج و لوچلی (۲۱) علت کمبود آهن توسط فسفات در ذرت را نتیجه اثر بازدارندگی فسفر بر جذب آهن به وسیله ریشه و یا بر انتقال آهن از ریشه‌ها به ساقه ذکر کردند. بنابراین، هدف اصلی از اجرای این آزمایش بررسی تأثیر فسفر و آهن و برهمکنش آنها بر رشد و ترکیب شیمیایی ذرت (*Zea mays* L.) می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این آزمایش، خاک کافی از افق سطحی (۰-۲۰ سانتی‌متری) سری چیتگر واقع در ۹ کیلومتری جنوب شرقی روستای نظرآباد شهرستان سروستان استان فارس جمع‌آوری گردید. این خاک از نوع Calcic Brown Soil بوده که در سیستم تاکسونومی خاک fine-loamy ،carbonatic ،thermic ،Typic Calcixerepts نامیده می‌شود (۸). پس از خشک کردن خاک در معرض هوا و گذراندن از الک دو میلی‌متری، برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن مانند بافت به روش هیدرومتر (۱۳)، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی کردن با اسید کلریدریک (۹)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع با هدایت‌سنج الکتریکی، فسفر قابل استفاده به روش اولسن و همکاران (۳۸)، پ-هاش در خمیر اشباع، غلظت عناصر کم‌مصرف کاتیونی به روش دی‌تی‌پی‌ا (۳۰)، ماده آلی به روش اکسیداسیون با اسید کرومیک و سپس تیتره کردن با فروس آمونیوم سولفات (۲۵)، ازت کل به روش کجلدال (۱۵)، ازت نیتراتی به روش فنل دی‌سولفونیک اسید (۱٤) و پتاسیم عصاره‌گیری شده با استات آمونیوم (۲۹) تعیین گردید. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ نشان داده شده است.

آزمایش در شرایط گلخانه‌ای (میانگین درجه حرارت روز و شب به ترتیب ۳٤ و ۱٤ درجه سانتی‌گراد و میانگین شدت نور ۱۲۰۰۰ لوکس) 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 شد. ازت به مقدار ۷۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک پیش از کاشت و ٥۰ میلی‌گرم در کیلوگرم چهار هفته پس از کاشت از منبع اوره [$CO(NH_2)_2$] به عنوان سرک به کلیه تیمارها اضافه گردید. فسفر، آهن و ازت به صورت محلول به دو کیلوگرم از خاک مورد آزمایش در کیسه‌های پلاستیکی افزوده، و سپس رطوبت به وسیلهٔ آب مقطر به حد ظرفیت مزرعه رسانده شد.

پس از کاهش رطوبت، خاک موجود در داخل کیسه‌های پلاستیکی کاملاً مخلوط، و سپس به گلدان‌های سه کیلوگرمی منتقل گردید. پنج دانهٔ ذرت، رقم سینگل کراس ۷۰٤ در عمق ۳-٤ سانتی‌متری از سطح خاک کاشته شد. حدود دو هفته پس از کاشت، شمار بوته‌ها به سه کاهش داده شد. آبیاری گلدان‌ها در طول رشد با آب مقطر، از طریق توزین گلدان‌ها در حد ظرفیت مزرعه صورت گرفت.

پس از هشت هفته، گیاهان از محل طوقه (نزدیک سطح خاک) قطع و پس از شست‌شو، در آون با دمای ٦٥ درجه سانتی‌گراد، تا هنگامی که وزن نمونه‌ها ثابت شود، خشک، و نمونه‌های گیاهی پس از توزین به وسیله آسیاب برقی پودر گردیدند. برای تجزیه گیاه، یک گرم ماده خشک گیاه در کوره الکتریکی در دمای ٥٥۰ درجه سانتی‌گراد خاکستر شده، و سپس پنج میلی‌لیتر اسید کلریدریک دو نرمال به آن افزوده گردید. سپس نمونه حل شده از کاغذ صافی واتمن ٤۲ عبور داده شد،

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1381.6.2.8.2]

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

ویژگی خاک	مقدار
شن (درصد)	۳۰
سیلت (درصد)	٤٦
رس (درصد)	٢٤
بافت	لوم
پ–هاش (خمیر اشباع)	۷/۵
قابلیت هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	۰/۹
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
ازت کل (درصد)	۰/۰٥٤
پتاسیم محلول در استات آمونیوم (میکروگرم در گرم خاک)	۲۵۰
ماده آلی (درصد)	۱/۰
آهن محلول در دی‌تی‌پی‌ا (میکروگرم در گرم خاک)	۲/۲
روی محلول در دی‌تی‌پی‌ا (میکروگرم در گرم خاک)	۰/۹٦
منگنز محلول در دی‌تی‌پی‌ا (میکروگرم در گرم خاک)	۳/۵
مس محلول در دی‌تی‌پی‌ا (میکروگرم در گرم خاک)	۰/۸۷

و حجم محلول صاف شده با آب مقطر به ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. غلظت آهن، روی، منگنز، و مس با استفاده از دستگاه جذب اتمی، و غلظت فسفر به روش مورفی و رایلی (۳۷) تعیین گردید. مقدار فسفر و آهن قابل استفاده خاک به ترتیب به روش اولسن و همکاران (۳۸) و دی‌تی‌پی‌ا (۳۰) عصاره‌گیری، و توسط دستگاه رنگ‌سنجی و جذب اتمی اندازه گرفته شد.

پاسخ‌های گیاهی، شامل وزن خشک اندام هوایی گیاه، غلظت آهن و فسفر، جذب کل آهن و فسفر در هر گلدان (حاصل ضرب وزن ماده خشک در غلظت عنصر غذایی)، غلظت و جذب کل روی، منگنز و مس به وسیله روش‌های آماری و برنامه کامپیوتری MSTATC و با استفاده از آزمون F مورد تجزیه واریانس قرار گرفته و میانگین‌های مربوط به اثر اصلی هر یک از عامل‌ها و برهمکنش آنها استخراج و با آزمون دانکن مقایسه شد.

نتایج و بحث

با افزایش سطوح فسفر، میانگین وزن ماده خشک از ۳/٤۹ گرم در گلدان در شاهد به ۱۰/٦۱ گرم در گلدان در سطح ۸۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک رسیده، که افزایشی برابر با ۲۰٤ درصد را نسبت به شاهد نشان می‌دهد. ولی کاربرد سطوح بالاتر فسفر سبب کاهش وزن ماده خشک گردیده است (جدول ۲). کریمیان و قنبری (۲٦) حد بحرانی فسفر را برای ذرت در خاک‌های آهکی استان فارس ۱۸ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک با روش اولسن گزارش کرده‌اند. با توجه به این که غلظت فسفر در خاک مورد آزمایش ٤/٥ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بوده است، پاسخ گیاه به افزودن فسفر قابل توجیه است.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1381.6.2.8.2]

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

سطح آهن	سطح فسفر (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)					میانگین
(میلی‌گرم در کیلوگرم)	۰	۴۰	۸۰	۱۲۰	۱۶۰	
	وزن خشک اندام هوایی (گرم در گلدان)					
۰	۲/۵۳^{k}	۹/۷۷^{def}	۱۱/۲۰^{a}	۹/۹۶^{de}	۹/۴۴^{efg}	۸/۵۸^{BC}
۲/۵	۳/۵۱^{j}	۱۰/۷۵^{ab}	۱۱ ^{ab}	۹/۳۳^{fgh}	۹/۳۳^{fgh}	۸/۷۹^{AB}
۵	۴/۴۵^{i}	۱۱/۰۵ ^{ab}	۱۰/۵۲^{bc}	۹/۶۰^{efg}	۹/۱۵^{gh}	۸/۹۶ ^{A}
۱۰	۳/۵۰ ^{j}	۱۰/۲۰^{cd}	۹/۷۲ ^{defg}	۹/۵۳^{efg}	۸/۸۱^{h}	۸/۳۶^{C}
میانگین	۳/۴۹^{D}	۱۰/۴۵ ^{A}	۱۰/۶۱ ^{A}	۹/۶۰^{B}	۹/۱۹ ^{C}	
	غلظت فسفر (میکروگرم در گرم ماده خشک)					
۰	۱۷۰۰^{i}	۲۷۹۵^{g}	۴۲۳۱	۵۰۷۵ ^{a}	۴۸۷۸^{b}	۳۷۳۶ ^{A}
۲/۵	۱۵۴۴ ^{jk}	۲۲۵۶^{h}	۲۷۱۲ ^{g}	۴۲۶۲^{d}	۴۵۲۵^{c}	۳۰۶۰^{B}
۵	۱۴۵۷ ^{k}	۱۷۷۶ ^{i}	۲۱۸۷ ^{h}	۳۰۰۰^{f}	۳۷۱۳^{e}	۲۴۳۰ ^{C}
۱۰	۱۳۲۱^{l}	۱۴۸۶^{k}	۱۶۶۹ ^{ij}	۲۲۸۷ ^{h}	۳۷۰۰ ^{e}	۲۰۹۳ ^{D}
میانگین	۱۵۰۶^{E}	۲۰۷۸ ^{D}	۲۷۰۰ ^{C}	۳۶۵۶^{B}	۴۲۰۹ ^{A}	
	جذب کل فسفر (میلی‌گرم در گلدان)					
۰	۴/۳۰ ^{l}	۲۷/۳۰ ^{g}	۴۷/۴۰ ^{d}	۵۰/۵۳ ^{a}	۴۶/۰۴^{b}	۳۵/۱۲^{A}
۲/۵	۵/۴۳ ^{l}	۲۴/۳۰ ^{h}	۲۹/۷۹ ^{g}	۳۹/۷۵ ^{d}	۴۲/۲۲ ^{c}	۲۸/۳۰^{B}
۵	۶/۴۸ ^{l}	۱۹/۶۲ ^{j}	۲۳/۰۰ ^{h}	۲۸/۸۳ ^{f}	۳۴/۲۱ ^{e}	۲۲/۴۳ ^{C}
۱۰	۴/۶۳ ^{l}	۱۵/۱۷ ^{k}	۱۶/۲۳ ^{ij}	۲۱/۷۹ ^{h}	۳۲/۶۱ ^{e}	۱۸/۰۸ ^{D}
میانگین	۵/۲۱ ^{E}	۲۱/۶۰ ^{D}	۲۹/۱۱ ^{C}	۳۵/۲۳^{B}	۳۸/۷۷ ^{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.

ضیاء و همکاران (۴۸) در یک آزمایش گلخانه‌ای نشان دادند که وزن ماده خشک و غلظت فسفر در ذرت با افزودن فسفر به خاک افزایش می‌یابد، به طوری که وزن ماده خشک گیاه در سطوح ۴۸ و ۶۹ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک به حداکثر خود رسید. ولی مقادیر بیشتر فسفر سبب کاهش وزن ماده خشک گیاه گردید. قنبری (۵) نشان داد که مصرف ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک، وزن ماده خشک ذرت را به طور معنی‌داری افزایش داده، ولی میزان افزایش در خاک‌هایی که فسفر بومی زیاد داشته‌اند، کمتر بوده است. کاربرد آهن تا سطح پنج میلی‌گرم در کیلوگرم خاک سبب افزایش معنی‌دار وزن ماده خشک ذرت شده است. ولی مصرف ۱۰ میلی‌گرم آهن در کیلوگرم خاک موجب کاهش این پارامتر رشد گردیده است. اثر برهمکنش فسفر و آهن بر وزن ماده خشک گیاه ذرت منفی می‌باشد (جدول ۲).

با افزایش سطح فسفر، غلظت و جذب کل فسفر افزایش معنی‌داری یافته است، به گونه‌ای که در سطح ۱۶۰ میلی‌گرم

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1381.6.2.8.2]

فسفر در کیلوگرم خاک، میانگین غلظت و جذب کل فسفر به ترتیب افزایشی در حدود ۱۷۹ و ٦٤٤ درصد نسبت به شاهد داشته است (جدول ۲). با توجه به تأثیر فسفر بر وزن ماده خشک قسمت هوایی گیاه ذرت، چنین نتیجه‌ای در مورد جذب کل فسفر دور از انتظار نمی‌باشد. هاجین و همکاران (۲۳) گزارش نمودند که فسفر افزوده شده به خاک، غلظت و جذب کل فسفر توسط ذرت را به طور معنی‌داری افزایش داده است. میان و احمد (۳٤) دریافتند که میزان فسفر مصرفی، غلظت فسفر را در ذرت به طور معنی‌داری افزایش داده، و این افزایش در خاک‌هایی که میزان فسفر بومی آنها کم بوده، بیشتر است.

کاربرد آهن سبب کاهش معنی‌دار میانگین غلظت و جذب کل فسفر در گیاه ذرت شده است (جدول ۲). یکی از دلایل احتمالی کاهش غلظت فسفر در گیاه تا سطح پنج میلی‌گرم آهن در کیلوگرم خاک را می‌توان تأثیر رقت ناشی از اثر مثبت آهن بر رشد گیاه دانست. ولی در سطح ۱۰ میلی‌گرم آهن در کیلوگرم خاک، به رغم این که وزن ماده خشک کاهش یافته، غلظت فسفر نیز کاهش پیدا کرده است. مقایسه میانگین‌های غلظت و جذب کل فسفر نشان دهندهٔ برهمکنش منفی فسفر و آهن بر غلظت و جذب کل فسفر می باشد (جدول ۲)، به طوری که در تمام سطوح فسفر مصرفی، با افزایش غلظت آهن، میزان غلظت و جذب کل فسفر به طور معنی‌داری کاهش یافته است (جدول ۲). ولی در مورد غلظت فسفر در گیاه، کاربرد آهن، غلظت فسفر را در سطوح ٤۰ و ۸۰ بیشتر از ۱۲۰ و ۱٦۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک کاهش داده است. مقایسه میانگین غلظت آهن نشان می‌دهد که کاربرد فسفر به طور معنی‌داری سبب کاهش غلظت آهن در گیاه ذرت شده است، و بیشترین کاهش در سطح ۱٦۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک بوده است، که می‌تواند معلول کاهش انتقال آهن از ریشه به ساقه باشد (جدول ۳).

جورج و لوچلی (۲۱) علت کاهش غلظت آهن در گیاه ذرت توسط فسفات را نتیجه اثر بازدارندگی فسفر در جذب آهن به وسیله ریشه و یا بر انتقال آهن از ریشه به ساقه می‌دانند. آنان گزارش کردند که فسفر بر اثر رقابت با سیترات، که وظیفه آن انتقال آهن به آوندها برای انتقال به ساقه است، مانع انتقال آهن می‌شود. ونکاتا و مهتا (٤٦) اعتقاد دارند که کاهش غلظت آهن به دنبال مصرف فسفر در گیاه برنج، به علت تشکیل فسفات آهن در خاک می‌باشد. مقایسه میانگین غلظت آهن بیانگر این حقیقت است که با افزایش سطوح مصرفی آهن، غلظت آهن در گیاه ذرت به طور معنی‌داری افزایش یافته است، به طوری که در سطوح ۲/۵، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم آهن در کیلوگرم خاک، به ترتیب افزایشی معادل ٤۵، ۵۷ و ۷۷ درصد نسبت به شاهد داشته است. افزایش غلظت آهن در گیاه بر اثر کاربرد آهن توسط پژوهندگان بسیاری گزارش شده است (٤۱ و ٤٤).

همان گونه که جدول ۳ نشان می‌دهد، کاربرد هم‌زمان فسفر و آهن اثر منفی بر غلظت آهن در گیاه ذرت داشته است. سینگ و همکاران (٤۵) نتیجه گرفتند که در یک سطح معین آهن، با افزایش سطح فسفر مصرفی، غلظت آهن در گیاه کاهش می‌یابد. با مصرف ٤۰ و ۸۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک، جذب کل آهن به وسیله گیاه به دلیل افزایش وزن خشک گیاه به طور معنی‌داری افزایش یافته، ولی در سطوح بالای فسفر، جذب کل آهن کاهش پیدا کرده است (جدول ۳). بررسی برهمکنش فسفر و آهن بر میانگین جذب کل آهن، نشان می‌دهد که تأثیر کاربرد توأم فسفر و آهن بر جذب کل آهن، در مقایسه با کاربرد هر عنصر به طور جداگانه مثبت می‌باشد (جدول ۳).

با افزایش سطح مصرفی فسفر، میانگین نسبت فسفر به آهن به طور معنی‌داری افزایش یافته است (جدول ۳). با توجه به این که افزایش مقدار فسفر باعث افزایش غلظت فسفر و کاهش غلظت آهن در گیاه ذرت شده است (جدول‌های ۲ و ۳)، این نتیجه قابل توجیه می‌باشد. هم‌چنین، جدول ۳ نشان می‌دهد که کاربرد آهن سبب کاهش نسبت فسفر به آهن در ذرت شده است. از سویی، این نسبت با افزایش سطح مصرفی آهن در تمامی سطوح فسفر روند کاهشی داشته است. دکاک (۱۹) عقیده دارد که به طور کلی نسبت فسفر به آهن در گیاه شاخص مناسبی برای بیان وضعیت آهن در گیاه به حساب می‌آید.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1381.6.2.8.2]

جدول ۳. تأثیر سطوح مختلف فسفر و آهن و برهمکنش آنها بر غلظت و جذب کل آهن، و نسبت فسفر به آهن در ذرت

سطح آهن (میلی‌گرم در کیلوگرم)	سطح فسفر (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)					میانگین
	۰	۴۰	۸۰	۱۲۰	۱۶۰	
	غلظت آهن (میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک ذرت)					
۰	۶۴/۹۰^{g}	۵۷/۳۶^{h}	۴۴/۷۶^{h}	۳۵/۹۶^{k}	۲۸/۰۳^{l}	۴۶/۲۰^{D}
۲/۵	۸۵/۸۵^{d}	۷۶/۲۷^{ef}	۶۵/۲۶^{g}	۵۷/۶۱^{h}	۵۲/۰۶^{i}	۶۷/۳۵^{C}
۵	۱۰۰/۴^{b}	۸۷/۹۶^{d}	۷۴/۸^{f}	۵۹/۴۱^{h}	۴۲/۷۳^{j}	۷۲/۹۵^{B}
۱۰	۱۱۶/۹^{a}	۹۴/۰۶^{c}	۷۸/۳۸^{c}	۴۴/۱۲^{g}	۵۶/۹۳^{h}	۸۲/۰۹^{A}
میانگین	۹۱/۹۷^{A}	۷۸/۹۱^{B}	۶۵/۶۵^{C}	۵۴/۲۷^{D}	۴۴/۹۴^{E}	
	جذب کل آهن (میکروگرم در گلدان)					
۰	۱۶۴/۸^{n}	۵۶۰/۴^{f}	۵۰۱/۳^{gh}	۳۵۸/۳^{l}	۲۶۴/۵^{m}	۳۶۹/۹^{C}
۲/۵	۲۹۹/۹^{m}	۸۲۲/۱^{b}	۷۱۶/۸^{d}	۵۳۷/۱^{fg}	۴۸۵/۵^{hi}	۵۷۲/۳^{B}
۵	۴۴۶/۱^{ij}	۹۷۱/۹^{a}	۷۸۰/۲^{bc}	۵۷۱/۰^{ef}	۳۹۲/۸^{kl}	۶۳۲/۴^{A}
۱۰	۴۰۹/۷^{jk}	۹۶۰/۴^{a}	۷۶۱/۹^{cd}	۶۱۱/۱^{e}	۵۰۱/۹^{gh}	۶۴۹/۰^{A}
میانگین	۳۰۳/۱^{E}	۸۲۸/۷^{A}	۶۹۰/۱۰^{B}	۴۰۵/۲^{C}	۴۱۱/۲^{D}	
	نسبت فسفر به آهن در گیاه					
۰	۲۶^{ik}	۴۸^{g}	۹۴^{e}	۱۴۱^{b}	۱۷۴^{a}	۹۷^{A}
۲/۵	۱۸^{l}	۲۹^{ij}	۴۱^{h}	۷۴^{e}	۸۷^{d}	۵۰^{B}
۵	۱۴^{lm}	۲۰^{kl}	۲۹^{ij}	۵۰^{g}	۸۷^{d}	۴۰^{C}
۱۰	۱۱^{m}	۱۵^{lm}	۲۱^{kl}	۳۵^{hi}	۶۵^{f}	۲۹^{D}
میانگین	۱۷^{E}	۲۸^{D}	۴۶^{C}	۷۵^{B}	۱۰۳^{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.

افزایش این نسبت می‌تواند به معنی نبود آهن یا فزونی فسفر، و کاهش آن دلیل سمیت آهن و یا کمبود احتمالی فسفر باشد. کاشی راد و مارشنر (۲۸) افزایش نسبت فسفر به آهن در ساقه ذرت را نتیجه افزایش فسفر در ساقه و هم‌چنین کاهش انتقال آهن از ریشه به ساقه می‌دانند.

با افزایش سطح فسفر، غلظت روی در گیاه کاهش یافت (جدول ۴)، هرچند که بین غلظت روی در سطح ۴۰ با ۸۰ و یا ۱۲۰ با ۱۶۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. طبق جدول ۴، جذب کل روی تا سطح ۸۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک افزایش، ولی با مصرف بیشتر فسفر کاهش نشان می‌دهد. قنبری (۵) نشان داد که غلظت روی در ذرت با افزایش میزان فسفر مصرفی کاهش یافته، و جذب کل روی در سطح ۵۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک حداکثر بوده، و در سطوح ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک، گرچه در مقایسه با شاهد افزایش داشته، ولی نسبت به سطح ۵۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک کاهش یافته است.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1381.6.2.8.2]

جدول ٤. تأثیر سطوح مختلف فسفر و آهن و برهمکنش آنها بر غلظت و جذب کل روی، و نسبت فسفر به روی در ذرت

سطح آهن (میلی‌گرم در کیلوگرم)	سطح فسفر (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)					میانگین
	۰	٤۰	۸۰	۱۲۰	۱٦۰	
	غلظت روی (میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک ذرت)					
۰	۳۱/۷۲^{a}	۱۲/٦۹^{b}	۱۲/۲۸^{b}	۱۱/۲۹^{b}	۱۱/۲۷^{b}	۱۵/۸۵^{A}
۲/۵	۲۸/٤۸ ^{a}	۱۱/۷۰^{b}	۱۲/۱۱^{b}	۱۰/۸٤^{b}	۱۰/۵٦^{b}	۱٤/۷٤^{B}
۵	۲۳/۳٦ ^{ab}	۱۳/۳۷^{b}	۱۱/۹۰^{b}	۱۰/۹٦^{b}	۹/۵۵^{b}	۱۳/۸۳^{C}
۱۰	۲۲/۲۷ ^{ab}	۱۲/۸۰^{b}	۱۱/۷۷^{b}	۱۰/۳^{b}	۹/۵۳^{b}	۱۳/۳۳ ^{C}
میانگین	۲٦/٤٦ ^{A}	۱۲/٦٤ ^{B}	۱۲/۰۱ ^{B}	۱۰/۸٤ ^{C}	۱۰/۲۳ ^{C}	
	جذب کل روی (میکروگرم در گلدان)					
۰	۸۰/٤٤^{h}	۱۲۳/۹^{bcd}	۱۳۷/٦ ^{ab}	۱۱۲/٤de	۱۰٦/٤^{e}	۱۱۲/۳ ^{A}
۲/۵	۱۰۰/۱^{efg}	۱۲٦/۲^{bcd}	۱۳۳/۰ ^{ab}	۱۰۱/۱^{efg}	۹۸/٦۲^{efg}	۱۱۱/۸ ^{A}
۵	۱۰۳/۳^{ef}	۱٤۷/۷ ^{a}	۱۲۵/۳^{bcd}	۱۰۵/۰^{e}	۸۷/۳۳^{fgh}	۱۱۳/۸ ^{A}
۱۰	۷۷/۹۸ ^{h}	۱۰۳/۷^{bc}	۱۱٤/۰^{cde}	۹۸/۱۸^{efg}	۸٤/۱۰gh	۱۰۱/۰ ^{B}
میانگین	۹۰/٤۸ ^{C}	۱۳۲/۱ ^{A}	۱۲۷/۵ ^{A}	۱۰٤/۲ ^{B}	۹٤/۱۲ ^{C}	
	نسبت فسفر به روی					
۰	۵۳ ^{h}	۲۲۰^{e}	۳٤۹^{c}	٤۵۳ ^{a}	٤۳۳ ^{a}	۳۰۲ ^{A}
۲/۵	۵٤ ^{h}	۱۹۳^{ef}	۲۲٤ ^{e}	۳۹۵^{b}	٤۲۸ ^{a}	۲۵۹ ^{B}
۵	٦۳ ^{h}	۱۳۳^{g}	۱۸٤^{f}	۲۷٤^{d}	۳۹۱^{b}	۲۰۹ ^{C}
۱۰	۵۹ ^{h}	۱۱۷ ^{g}	۱٤۵ ^{g}	۲۲۳ ^{e}	۳۸۹^{b}	۱۸٦ ^{D}
میانگین	۵۷^{E}	۱٦٦^{D}	۲۲۵ ^{C}	۳۳٦ ^{B}	٤۱۰ ^{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.

اورابی و همکاران (۳۹) با بررسی اثر فسفر بر جذب روی در خاک‌های آهکی مصر گزارش نمودند که عملکرد و جذب کل روی توسط ذرت با افزایش فسفر، افزایش یافت. از دلایل ذکر شده رابطه تنازعی میان فسفر و روی در گیاه می‌تواند اثر رقت باشد.

کاربرد فسفر سبب افزایش معنی‌دار نسبت فسفر به روی در تمام سطوح فسفر مصرفی نسبت به شاهد شده است (جدول ٤). هم‌چنین، تفاوت معنی‌داری بین این نسبت در سطوح مختلف فسفر مصرفی وجود دارد. بوآن و لژت (۱۲) دریافتند که نسبت فسفر به روی رابطه بهتری با اختلال متابولیک ناشی از اثر فسفر در پیدایش علایم کمبود روی نشان می‌دهد. در نسبت فسفر به روی کمتر از ٤۰۰، مقدار روی در گیاه کافی بوده ولی در نسبت‌های بالاتر از ٤۰۰، گیاه دچار کمبود روی شده است. بررسی میانگین غلظت، جذب کل روی و نسبت فسفر به روی در جدول ٤، نشان می‌دهد که با کاربرد آهن مقدار این سه ویژگی در ذرت کاهش یافته است، به طوری که

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1381.6.2.8.2]

در مورد غلظت روی، در تمام سطوح آهن مصرفی تفاوت معنی‌داری نسبت به شاهد وجود دارد. از سویی، مصرف ۲/۵ یا ۵ میلی‌گرم آهن در کیلوگرم خاک باعث افزایش معنی‌دار جذب کل روی نسبت به شاهد شده است. میانگین‌های نسبت فسفر به روی در تمام سطوح آهن مصرفی با یکدیگر، و هم‌چنین با شاهد تفاوت معنی‌داری دارند.

یکی از آثار مصرف فسفر، افزایش نسبت فسفر به روی است، که می‌تواند در نسبت‌های بالا سبب بروز کمبود روی در گیاه شود. در پژوهش حاضر کاربرد آهن موجب کاهش نسبت فسفر به روی در گیاه شده است (جدول ٤)، و در نتیجه تأثیر سوء فسفر را در کاهش غلظت روی تقلیل داده، یعنی به طور غیر مستقیم سبب افزایش غلظت نسبی روی در گیاه گردیده است.

وارناک (٤٧) که برهمکنش آهن و روی را در ذرت بررسی کرده است، گزارش نموده که گیاه ذرت که بر اثر مصرف فسفر زیاد دچار کمبود روی شده بود، توانست با انباشتن مقدار زیادی آهن در خود با این کمبود مقابله نماید. سالاردینی و مورفی (٤١) گزارش کردند که در خاک با کمبود آهن، کاربرد آهن به صورت FeEDDHA، غلظت روی را در گیاه سورگوم کاهش، ولی جذب کل روی را افزایش داده است. کاربرد آهن تقریباً در تمامی سطوح فسفر، سبب کاهش غلظت روی شده است، ولی این کاهش در سطوح بالای فسفر کمتر بوده است (جدول ٤). در سطوح صفر و ٤٠ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک، کاربرد آهن تا سطح پنج میلی‌گرم آهن در کیلوگرم خاک سبب افزایش جذب کل روی شده، ولی مصرف ١٠ میلی‌گرم آهن در کیلوگرم خاک باعث کاهش آن گردیده است. حال آن که در دیگر سطوح فسفر، کاربرد سطوح مختلف آهن سبب کاهش جذب کل روی شده است. کاربرد آهن در کلیه سطوح فسفر مصرفی (به استثنای شاهد) موجب کاهش معنی‌دار نسبت فسفر به روی شده است (جدول ٤).

غلظت منگنز در گیاه با مصرف ٤٠ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک نسبت به شاهد افزایش، ولی در سطوح بالاتر فسفر کاهش یافته است (جدول ٥). جذب کل منگنز نیز از روند مشابهی پیروی می‌کند، و تفاوت معنی‌داری میان کلیه تیمارها با شاهد وجود دارد. نسبت آهن به منگنز تا سطح ١٢٠ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک کاهش یافته، ولی کاربرد ١٦٠ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک سبب افزایش این نسبت شده است. کاهش اولیه را می‌توان به تأثیر فسفر در کاهش غلظت آهن و افزایش غلظت منگنز نسبت داد.

غلظت و جذب کل منگنز با کاربرد آهن به طور معنی‌داری کاهش یافته است (جدول ٥)، به نحوی که بین میانگین‌های غلظت و جذب کل منگنز با یکدیگر، و نیز با شاهد تفاوت معنی‌داری دیده می‌شود. سینگ و یداو (٤٤) اظهار داشتند که با افزودن آهن، غلظت منگنز در گیاه سورگوم به طور معنی‌داری کاهش یافته، ولی کاهش جذب کل منگنز تنها در سطوح بالای آهن شایان توجه بوده است. آنان دلیل این امر را رقابت میان آهن و منگنز برای اشغال محل‌های جذب روی ناقل‌ها در سطح ریشه ذکر می‌کنند. مقایسه میانگین نسبت آهن به منگنز نشان می‌دهد که با افزایش سطوح آهن مصرفی، این نسبت به طور معنی‌داری افزایش یافته است (جدول ٥). لوسنا و همکاران (٣٣) در یک آزمایش به صورت آب‌کشتی، دریافتند که نسبت آهن به منگنز پارامتر مناسبی در ارزیابی وضعیت آهن در توت فرنگی می‌باشد. این نسبت در ریشه ذرت بیشتر بوده، و دلیل آن را تجمع اکسیدهای آهن در سطح ریشه ذکر کردند. شیو (٤٢) نسبت آهن به منگنز ١/٥ تا ٢/٥ را برای رشد طبیعی بسیاری از گیاهان مناسب می‌داند.

در سطوح مختلف فسفر، کاربرد آهن سبب کاهش غلظت و جذب کل منگنز شده است، ولی نسبت آهن به منگنز را به صورت معنی‌داری افزایش داده است (جدول ٥).

با افزایش سطح فسفر، غلظت مس در گیاه به طور معنی‌داری کاهش یافته است. جذب کل مس نخست تا سطح ٨٠ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک افزایش، و سپس در سطوح بالاتر کاهش یافته است (جدول ٦). بدانور و ونکاتا (١١) با کاربرد فسفر در سطح خاک و در عمق ١٥ تا ٣٠ سانتی‌متری،

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1381.6.2.8.2]

جدول ۵. تأثیر سطوح مختلف فسفر و آهن و برهمکنش آنها بر غلظت و جذب کل منگنز، و نسبت آهن به منگنز در ذرت

سطح آهن (میلی‌گرم در کیلوگرم)	سطح فسفر (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) ۰	۴۰	۸۰	۱۲۰	۱۶۰	میانگین
	غلظت منگنز (میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک ذرت)					
۰	۹۷/۲۲^{a}	۷۱/۹۲^{de}	۹۲/۲۷^{b}	۸۳/۷۱^{c}	۶۴/۳۵^{f}	۸۱/۸۹^{A}
۲/۵	۵۳/۵۱^{h}	۷۱/۵۲^{de}	۷۳/۲۳^{d}	۶۸/۲۷^{ef}	۴۷/۰۰^{j}	۶۲/۷۱^{B}
۵	۴۷/۸۶^{ij}	۹۱/۱۷^{b}	۵۸/۲۳^{g}	۵۱/۸۰^{hi}	۳۵/۳۵^{l}	۵۶/۸۸^{C}
۱۰	۴۰/۹۵^{k}	۶۵/۷۶^{f}	۴۵/۵۶^{jk}	۴۲/۲۷^{k}	۲۲/۰۸^{m}	۴۳/۳۲^{D}
میانگین	۵۹/۸۸^{C}	۶۹/۰۹^{A}	۶۷/۳۲^{A}	۶۲/۵۱^{C}	۴۲/۱۹^{D}	
	جذب کل منگنز (میکروگرم در گلدان)					
۰	۲۴۶/۵^{j}	۷۰۲/۷^{d}	۱۰۳۳/۰^{a}	۸۳۲/۳^{b}	۶۰۶/۷^{f}	۶۸۴/۲^{A}
۲/۵	۱۸۷/۶^{kl}	۷۷۰/۹^{c}	۸۰۶/۴^{bc}	۶۳۷/۲^{ef}	۴۳۹/۰^{h}	۵۶۸/۲^{B}
۵	۲۱۴/۳^{jk}	۱۰۰۷/۴^{a}	۶۱۲/۶^{f}	۴۹۷/۴^{g}	۳۲۴/۹^{i}	۵۳۱/۳^{C}
۱۰	۱۴۳/۶^{l}	۶۷۱/۳^{de}	۴۴۳/۱^{h}	۴۰۳/۱^{h}	۱۹۴/۸^{k}	۳۷۱/۲^{D}
میانگین	۱۹۸/۰^{E}	۷۲۹/۱^{A}	۷۲۳/۷^{A}	۵۹۲/۵^{C}	۳۹۱/۴^{D}	
	نسبت آهن به منگنز در گیاه					
۰	۰/۶۷^{l}	۰/۸۰^{kl}	۰/۴۸^{m}	۰/۴۳^{m}	۰/۴۴^{m}	۰/۵۶^{D}
۲/۵	۱/۶۰^{de}	۱/۰۷^{hij}	۰/۸۹^{jk}	۰/۸۴^{k}	۱/۱۱^{ghi}	۱/۱۰^{C}
۵	۲/۱۴^{c}	۰/۹۶^{ijk}	۱/۲۷^{fg}	۱/۱۵^{gh}	۱/۲۱^{gh}	۱/۳۵^{B}
۱۰	۲/۸۶^{a}	۱/۴۳^{ef}	۱/۷۳^{d}	۱/۵۳^{e}	۲/۵۹^{b}	۲/۰۳^{A}
میانگین	۱/۸۲^{A}	۱/۱۶^{CD}	۱/۰۹^{C}	۰/۹۹^{D}	۱/۳۴^{B}	

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 ذرت

تیمار	سطح (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)	غلظت مس (میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک ذرت)	جذب کل مس (میکروگرم در گلدان)
فسفر	۰	۷/۲۲^{A}	۲۵/۲۱^{D}
	۴۰	۵/۸۳^{B}	۶۰/۷۲^{A}
	۸۰	۵/۸۲^{B}	۶۱/۶۵^{A}
	۱۲۰	۵/۰۰^{C}	۴۷/۹۳^{B}
	۱۶۰	۳/۹۹^{D}	۳۶/۷۲^{C}
آهن	۰	۵/۶۶^{A}	۴۶/۱۳^{A}
	۲/۵	۵/۴۶^{A}	۴۵/۸۲^{A}
	۵	۵/۵۴^{A}	۴۸/۳۰^{A}
	۱۰	۵/۶۲^{A}	۴۵/۵۳^{A}

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 معنی‌داری نمی‌باشند.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1381.6.2.8.2]

مشاهده کردند که میزان مس قابل استفاده در خاک کاهش یافت.

نتیجه‌گیری

کاربرد فسفر تا سطح ۸۰ میلی‌گرم و آهن تا سطح ۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک سبب افزایش وزن ماده خشک ذرت گردید. ولی سطوح بالاتر این عناصر عملکرد ماده خشک را کاهش داد. هرچند که تأثیر برهمکنش فسفر و آهن بر این پارامتر رشد منفی بود، اما به نظر می‌رسد نسبت غلظت فسفر به آهن در گیاه معیار مناسبی برای ارزیابی وضعیت این عناصر در ذرت باشد.

با مصرف فسفر، غلظت آهن، روی و مس در گیاه به طور معنی‌داری کاهش یافت. کاربرد آهن غلظت روی و منگنز را در قسمت هوایی ذرت کاهش داد، ولی تأثیری بر غلظت مس نداشت. البته، پیش از هر گونه توصیه کودی، لازم است تا نتایج به دست آمده از این پژوهش در شرایط مزرعه نیز تأیید گردد.

سپاسگزاری

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

منابع مورد استفاده

۱. چراتی آرائی، ع. ۱۳۷۵. تأثیر فسفر و ماده آلی بر رشد و جذب روی به وسیله گیاه جو و شکل‌های شیمیایی روی در دو خاک آهکی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

۲. حق‌پرست تنها، م، ر. (مترجم). ۱۳۷۱. *تغذیه و متابولیسم گیاهان*. انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد رشت.

۳. سالاردینی، ع، ا. ۱۳۷۰. *حاصلخیزی خاک*. انتشارات دانشگاه تهران.

٤. سالاردینی، ع، ا. و م. مجتهدی (مترجمان). ۱۳٦۷. *اصول تغذیه گیاه*. انتشارات دانشگاه تهران.

۵. 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.

٦. کسرایی، ر. (مترجم). ۱۳۷۲. *چکیده‌ای در باره تغذیه گیاهی*. انتشارات دانشگاه تبریز.

۷. ملکوتی، م، ج. و ع. ح. ریاضی (مترجمان). ۱۳۷۱. *حاصلخیزی خاک و کودها*. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس.

8. 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.

9. Allison, L. E. and C. D. Moodie. 1965. Carbonate. PP. 1379-1396. *In*: C. A. Black (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part II, Monograph No. 9, Am. Soc. Agron., Madison, WI.

10. Anter, F., M. H. Hilal and A. H. Damaty. 1973. Effect of calcium carbonate on P and Fe uptake. Plant Soil 39: 479-486.

11. Badanur, V. P. and B. V. Venkata. 1973. Influence of phosphorus build up on availability of micronutrients in red soils of Bangalore. Soil Sci. 119: 292-294.

12. Boawn, L. C. and G. E. Leggett. 1964. Phosphorus and zinc concentration in Russet Burbank potato tissue in relation to development of zinc deficiency symptoms. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 28: 229-232.

13. Bouyoucos, G. J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil. Agron. J. 54: 464-465.

14. Bremner, J. M. 1965. Inorganic forms of nitrogen. PP. 1179-1232. *In*: C. A. Black (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 2, Monograph No. 9, Am. Soc. Agron., Madison. WI.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1381.6.2.8.2]

15. Bremner, J. M. 1965. Total nitrogen. PP. 1149-1178. *In*: C. A. Black (Ed.), Methods of Soil Analysis. Am. Soc. Agron., Madison, WI.
16. Brown, J. C. and W. E. Jones. 1974. Phosphorus efficiency as related to iron inefficiency in sorghum. Agron. J. 62: 468-472.
17. Dahiya, S. S. and M. Singh. 1976. Effect of salinity, alkalinity, and iron application on the availability of iron, manganese, phosphorus and sodium in pea crop. Plant Soil 44: 697-702.
18. 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.
19. Dekock, P. C. 1955. Iron nutrition of plants at high pH. Soil Sci. 79: 167-175.
20. Fohse, D., N. Classen and A. Jungk. 1991. Phosphorus efficiency of plants. II. Significance of root radius, root hair and cation-anion balance for phosphorus influx in seven plant species. Plant Soil 132: 261-272.
21. George, C. E. and A. Lauchli. 1985. Phosphorus efficiency and phosphate-iron interaction in maize. Agron. J. 77: 399-403.
22. Gupta, A. P., S. S. Khanna and N. K. Tomar. 1985. Effect of sodicity on the utilization of phosphatic fertilizer by wheat. J. Indian Soc. Soil Sci. 36: 49-51.
23. Hagin, J., M. Giskin and P. Kafkafi. 1972. Corn response to phosphate fertilization and to residual phosphate level. III. Greenhouse experiment. Agron. J. 64: 593-597.
24. Holmes, R. C. and L. O. Tiffin. 1959. Hypothesis concerning iron chlorosis. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 23: 231-234.
25. Jackson, M. L. 1975. Soil Chemical Analysis. Advanced course, Univ. of Wisconsin, Madison, WI.
26. Karimian, N. and A. Ghanbari. 1990. Evaluation of different extractants for prediction of plant responses to applied P fertilizer in highly calcareous soils. Abstract, P. 25, 10th World Fertilizer Congress, CIEC, Nicosia, Cyprus.
27. Kashirad, A., A. Bassiri and M. Kheradnam. 1977. Response of cowpeas to application of P and Fe in calcareous soils. Agron. J. 70: 67-70.
28. Kashirad, A. and H. Marschner. 1974. Iron nutrition of sunflower and corn plant in mono and mixed culture. Plant Soil 41: 91-101.
29. 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.
30. Lindsay, W. I. and W. A. Norvell. 1978. Development of a DTPA test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 421-428.
31. 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.
32. Loeppert, R. H. and C. T. Hallmark. 1985. Indigenous soil properties influencing the availability of iron in calcareous soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 49: 597-603.
33. 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.
34. Mian, M. A. and J. Ahmad. 1973. Effects of P and N rates on maize at different initial soil P levels. Agric. Pakistan 24: 261-270.
35. 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.
36. Moraghan, J. I., T. P. Freeman and D. Whited. 1986. Influence of FeEDDHA and soil temperature on the growth of two soybean varieties. Plant Soil 95: 57-67.
37. 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.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1381.6.2.8.2]

38. 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.
39. Orabi, A. A., M. Mashadi, A. Abdallah and M. Morsy. 1981. Effect of Zn and P on the grain yield of corn grown on a calcareous soil. Plant Soil 63: 291-294.
40. Sakal, R., A. P. Singh and S. P. Singh. 1988. Distribution of available zinc, copper, iron and manganese in old alluvial soil as related to certain soil characteristics. J. Indian Soc. Soil Sci. 36: 59-63.
41. Salardini, A. A. and L. S. Murphy. 1978. Grain sorghum responses to organic iron on calcareous soil. Plant Soil 49: 57-70.
42. Shive, J. W. 1941. Significant roles of trace elements in the nutrition of plant. Plant Physiol. 16: 435-445.
43. Shuman, L. M. 1988. Effect of phosphorus level on extractable micronutrient and their distribution among soil fraction. Soil Sci. Soc. Am. J. 52: 136-141.
44. Singh, M. and D. S. Yedav. 1980. Effect of copper, iron and liming on the growth, concentration and uptake of Cu, Fe, Mn and Zn in sorghum. J. Indian Soc. Soil Sci. 28: 113-118.
45. Singh, V., R. Singh and N. Khan. 1993. Effect of P and Fe application on the yield and nutrient contents in chickpea. J. Indian Soc. Soil Sci. 41: 186-187.
46. Venkata, S. A. and B. V. Mehta. 1974. Effect of Zn and Fe application on the yield and chemical composition of rice. Indian J. Agric. Sci. 44: 602-607.
47. Warnok, R. E. 1970. Micronutrient uptake and mobility within corn plants in relation to phosphorus-induced zinc deficiency. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 34: 765-769.
48. Zia, M. S., R. Amin. F. E. Qayum and M. Aslam. 1988. Plant tissue concentration and uptake of phosphorus by maize as affected by level of P fertilization. Pakistan J. Agric. Res. 9: 335-338.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1381.6.2.8.2]