تأثیر فسفر و روی بر رشد و ترکیب شیمیایی ذرت

عبدالمجید رونقی، ابراهیم ادهمی و نجف‌علی کریمیان[1]

چکیده

قابلیت جذب عناصر کم‌مصرف، از جمله روی، برای رشد بهینه گیاهان حایز اهمیت است. قابلیت جذب روی درخاک‌های آهکی ایران، به دلیل وجود مقدار زیاد کربنات کلسیم و پ‌هاش بالا، نسبتاً کم است. کاربرد زیاد فسفر ممکن است سبب بروز کمبود روی در گیاه شود. هدف از این آزمایش مطالعه تأثیر فسفر و روی بر رشد و ترکیب شیمیایی ذرت (Zea mays L.) در شرایط گلخانه‌ای بود. آزمایش به صورت فاکتوریل، شامل پنج سطح فسفر (صفر، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکروگرم فسفر در گرم خاک از منبع فسفات دی‌هیدروژن پتاسیم)، و سه سطح روی (صفر، ۵ و ۱۰ میکروگرم روی در گرم خاک از منبع سولفات روی)، در چارچوب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. طول دوره رشد ۶۰ روز بود، و در پایان آن گیاهان از نزدیکی سطح خاک برداشت شدند.

نتایج نشان داد که وزن ماده خشک بخش هوایی ذرت با مصرف فسفر و یا روی افزایش یافت. کاربرد فسفر، غلظت و جذب کل فسفر را در گیاه افزایش، ولی غلظت روی را کاهش داد، و بر جذب کل روی تأثیری نداشت. مصرف روی، غلظت فسفر را در قسمت هوایی ذرت کاهش، ولی غلظت و جذب کل روی را افزایش داد. نسبت فسفر به روی با کاربرد فسفر افزایش و با مصرف روی کاهش یافت. مصرف فسفر و روی سبب افزایش غلظت آهن در گیاه شد، ولی غلظت منگنز را کاهش داد، و تأثیری بر غلظت مس نداشت. پیش از هر گونه توصیه کودی، برای ارزیابی دقیق‌تر پاسخ رشد ذرت به مصرف فسفر و روی، به بررسی‌های بیشتری در شرایط مزرعه‌ای نیاز می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: *فسفر، روی، تغذیه گیاه، ذرت*

مقدمه

فسفر از عناصر غذایی پرمصرف و روی از عناصر کم‌مصرف غذایی گیاهان است. غلظت فسفر از ۰/۱ تا ۰/۵ درصد و غلظت بهینه روی از ۲۰ تا ۱۵۰ میکروگرم در گرم ماده خشک گیاه ذکر شده است (۵۹).

قنبری (٤) دریافت که مصرف ۵۰، ۱۰۰ یا ۲۰۰ میکروگرم فسفر در گرم خاک، وزن ماده خشک ذرت را افزایش می‌دهد. ولی در خاک‌هایی که فسفر بومی آنها زیاد بوده کاربرد فسفر تأثیری بر رشد گیاه نداشته است. کریمیان و قنبری (٢٤) سطح بحرانی فسفر را به روش اولسن، در خاک‌های آهکی ۱۸ میکروگرم در

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

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-10-14]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.1.2.9]

گرم خـاک گـزارش کردنـد. کریمیـان (۲۳) افزایـش وزن مـاده خشـک ذرت را از ۹/٦ در شـاهد، بـــه ۱٤/۷ و ۱٦/۷ گـــرم در گلدان، به ترتیب با کاربرد ۵۰ و ۱۰۰ میکروگرم فســفر در گـرم خاک گزارش نمود. چنین نتایجی نیز توسط رتور و سینگ (٤٥) گرفته شد. اورابی و همکاران (۳۷) افزایش وزن خشک ذرت را با مصرف ۵۰ میکروگرم فسفر در گـرم خـاک گـزارش کردنـد، ولی مصرف بیشـتر فسـفر تغییری در وزن ذرت ایجـاد نکـرد. شارما و همکاران (٤۸) نیز افزایش وزن خشک ذرت را با اضافه کردن ۲۵ و ۵۰ میکروگرم فسفر در گرم خاک گزارش نمودنـد، ولی کاربرد بیشتر فسفر سـبب کـاهش وزن گردیـد. هـم‌چنیـن، نتایج مشابهی توسط براون و همکاران (۱۱)، تاکـار و همکـاران (۵۷)، صفایا (٤٦) و کریستنسن و جکسون (۱٤) گـزارش شـده است.

حد بحرانی روی محلول در دی‌تی‌پی‌اِ بر حسب میکروگـرم در خاک توسط درجه (۳) ۰/٤، ساکال و همکـاران (٤۷) ۰/۷۸، شارما و لل (۵۰) ۰/٦، و ترهـان و گـروال (٦۱) ۰/۷۵ گـزارش شده اســت. درجـه (۳) افزایـش وزن مـاده خشـک ذرت را بـا کاربرد ۱۰ میکروگرم روی در گرم خاک گزارش نمـوده اسـت. پارکر (۳۸) گزارش کـرد کـه غلظـت ۰/٤ میکرومـولار روی در محلول غذایی، عملکرد ذرت را ٤۹ درصـد نسـبت بـه کـاربرد غلظـت ۱۲ میکرومـولار روی کـاهش داده اسـت. پراسـاد و همکاران (٤۰)، و رشـید و فـاکس (٤۳)، نـیز نتـایج مشـابهی را گزارش کردند.

هر چند فسفر به عنوان یک عنصر غذایی پرمصرف بـه کـار می‌رود، ولی موارد بسیاری گزارش شده که کمبـود روی سـبب محدود شدن پاسخ گیاه به فسفر، و حتی کـاهش عملکـرد گیـاه شده است (۲۰ ، ۳٤ و ٤۹). کریمیان (۲۳) گزارش می‌کند که بـا مصرف ۱۵۰ میکروگرم نیتروژن و ۱۰۰ میکروگرم فسفر در گرم خاک، وزن خشک ذرت ۱٦/۷ گرم در گلدان بـوده، بـا مصـرف ۲۰ میکروگرم روی در گرم خاک بـه تنـهایی ۱۱/۲ گـرم بـوده، ولی با مصرف توأم فسفر و روی به ۱۹ گرم افزایش یافته است. صفایا (٤٦)، و شارما و همکاران (٤۸) نیز برهمکنـش فسـفر و روی را بر رشد ذرت مثبت گزارش نموده‌اند.

پژوهش‌های بسیاری نشان می‌دهد که مصـرف زیـاد فسـفر می‌تواند سبب کمبود روی در گیاهان گوناگون شـود (۱٤ ، ۳۱ ، ۳۳ ، ٤٦ و ۵۹). قنبری (٤) مشاهده کرد که مصرف ۵۰، ۱۰۰ یـا ۲۰۰ میکروگرم فسفر در گرم خاک سبب کاهش غلظت روی از ٦٤/۱۳ در شاهد، به ترتیب به ٤۵/٦، ۳۸/۷، و ۳۲/۹ میکـروگـرم در گرم مـاده خشـک گیـاه گردیـد. کریمیـان (۲۳) نـیز کـاهش غلظت روی را بـا اضافـه کـردن فسـفر در ذرت گـزارش کـرد. آدریـانو و همکـاران (۵)، و اسـتوکنهولتز و همکـاران (۵٦) نـیز نتایج مشابهی را مشاهده نمودند. سینها و همکاران (۵۳) کاهش غلظت روی و آهن ذرت را با مصـرف ۲٦ کیلـوگـرم فسـفر در هکتار گزارش کردند. جذب کل آهن بـا کـاربرد ۲٦ کیلـوگـرم فسفر در هکتار افزایش یافت، ولی با مصرف بیشتر فسفر کاهش نشان داد. صفایا (٤٦) گزارش کرد که کاربرد فسفر غلظت روی را در ذرت کاهش داد، ولی تأثیرش بـر غلظـت مـس، منگـنز و آهن روند مشخصی نداشت.

کمبود روی سبب ایجاد غلظت زیاد فسـفر در گیـاه در حـد سمیت می‌شـود (۱٤ و ۲۸). پـارکر (۳۸) عقیـده دارد بـارزترین تأثیر روی بر جذب عناصر غذایـی مربـوط بـه جـذب فسـفر و انباشتگی زیاد فسفر در گیاه است. کریمیان (۲۳) گـزارش نمـود که کاربرد روی تأثیری بر غلظت و جـذب کـل فسـفر در ذرت نداشت، ولی پارکر و همکـاران (۳۹) غلظت‌هـای زیـاد در حـد سـمیت فسـفر را در بـرگ ذرت بـا کـاربرد ۰/٤ ، ۱/۲۵ و ۲/۵ میکرومولار روی در محلول غذایی، نسـبت بـه ۱۲ میکرومـولار روی گزارش کرده‌اند. کاربرد ۰/٤ میکرومولار روی در محلـول غذایی نسبت به سطح استاندارد (۱۲ میکرومولار)، هرچند سبب افزایش غلظت منگنز شده، ولی بر غلظت مـس و آهـن تـأثیری نداشته است. در حالی که وارناک (٦٤) افزایش غلظـت آهـن را تا هفت برابر، در برگ ذرت تحت کمبود روی گزارش می‌کنـد. کریمیان (۲۳) گزارش کرد که اضافه کردن توأم ۲۰ میکـروگـرم روی و ۵۰ میکروگرم فسفر در گرم خاک، غلظت روی در گیـاه را در مقایسه با کاربرد روی به تنهایی کاهش داده، ولـی جـذب

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-10-14]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.1.2.9]

کل روی افزایش یافته است. صفایا (٤٦) نشان داد که کاربرد فسفر به تنهایی غلظت مس را در قسمت هوایی ذرت کاهش داده، حال آن که مصرف روی بدون کاربرد فسفر یا با مصرف ۲۵ میکروگرم فسفر درگرم خاک آن را افزایش داده است. کریستنسن و جکسون (١٤) گزارش کردند که در سطح سه میلی‌مولار فسفر در محلول غذایی، غلظت فسفر در قسمت هوایی ذرت ۰/۲٤٥ درصد بوده، ولی با مصرف ۰/٤١ میکرومولار روی در محلول غذایی این عدد به ۰/۱۲٤ درصد کاهش یافته است. با توجه به گزارش‌های متناقض در مورد تأثیر فسفر و روی، پژوهش حاضر به منظور بررسی تأثیر فسفر و روی، بر عملکرد ماده خشک، غلظت و جذب کل فسفر، روی آهن، منگنز و مس در شرایط خاک‌های آهکی ایران انجام شد.

مواد و روش‌ها

نمونه‌هایی از خاک‌های نقاط مختلف استان فارس انتخاب و به آزمایشگاه انتقال یافت. دراین نمونه‌ها فسفر به روش بی‌کربنات سدیم (٣٦) و روی قابل جذب توسط دی‌تی‌پی‌ا (۲۷) عصاره‌گیری، و به ترتیب با روش مورفی و رایلی (٣٤) و دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. از میان نمونه‌ها، خاک سری کوشکک که مطابق تاکسونومی خاک (٥٥) به نام (Fine-loamy, mixed, xeric, Typic Calcixerepts) رده‌بندی شده انتخاب گردید. سپس مقدار کافی خاک از این نمونه از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری جمع‌آوری و پس از خشک کردن در معرض هوا و عبور از الک دو میلی‌متری، برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن شامل بافت به روش هیدرومتر (٨)، پ‌هاش در خمیر اشباع، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی‌سازی با اسید کلریدریک (٦)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش جانشینی کاتیون‌ها با استات سدیم (۱۳)، کربن آلی به روش واکی و بلاک (٦۲)، فسفر قابل جذب به روش اولسن، عناصر کم‌مصرف کاتیونی با عصاره‌گیری توسط دی‌تی‌پی‌ا و پتاسیم عصاره‌گیری شده با استات آمونیوم (۲٦) اندازه‌گیری شد (جدول ۱).

آزمایش در شرایط گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل ٥ × ۳، در چارچوب طرح کاملاً تصادفی شامل پنج سطح فسفر (صفر، ۲۵، ٥۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکروگرم فسفر در گرم خاک، از منبع فسفات دی‌هیدروژن پتاسیم) و سه سطح روی (صفر، ٥ و ۱۰ میکروگرم روی در گرم خاک، از منبع سولفات روی) در سه تکرار انجام گرفت. فسفر و روی به صورت محلول به دو کیلوگرم خاک در کیسه‌های پلاستیکی چهار کیلوگرمی اضافه گردید. به تمام گلدان‌ها به طور یک‌نواخت ۱٤۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک به صورت نیترات آمونیوم محلول به خاک درون کیسه‌های پلاستیکی افزوده شد. آب مقطر تا رسیدن رطوبت به حدود ظرفیت مزرعه اضافه، و پس از کاهش رطوبت به مقدار مناسب، خاک موجود در کیسه‌های پلاستیکی به خوبی آمیخته شده و به گلدان‌های دو کیلوگرمی انتقال داده شد.

در هر گلدان شش دانه ذرت (*Zea mays* L.) رقم سینگل کراس ۷۰٤ در عمق حدود ۲/٥ سانتی‌متری از سطح خاک کشت گردید. پس از هفت روز شمار گیاهان به سه بوته کاهش داده شد. در طول دوره رشد (٦۰ روز)، رطوبت خاک توسط آب مقطر، با استفاده از روش توزین گلدان‌ها در حدود ظرفیت مزرعه تأمین گردید. سپس گیاهان از محل طوقه برداشت و پس از شست‌شو با آب مقطر، در آون با دمای ٦٥ درجه سانتی‌گراد تا ثابت شدن وزن نمونه‌ها خشک شدند. پس از تعیین وزن خشک گیاه و آسیاب کردن آنها، یک گرم نمونه گیاهی در دمای ٥٥۰ درجه سانتی‌گراد خاکستر و سپس در پنج میلی‌لیتر اسید کلریدریک دو مولار حل گردید. محلول از کاغذ صافی عبور داده و پس از شست‌شوی مواد باقی مانده بر کاغذ صافی با آب مقطر، حجم محلول به ٥۰ میلی‌لیتر رسانده شد. غلظت روی، آهن، مس و منگنز با استفاده از دستگاه جذب اتمی تعیین گردید، و غلظت فسفر در گیاه به روش مورفی و رایلی (٣٤) اندازه‌گیری شد.

پاسخ‌های گیاهی، شامل وزن خشک قسمت هوایی گیاه،

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-10-14]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.1.2.9]

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

شن (درصد)	۲۷
سیلت (درصد)	۳٦
رس (درصد)	۳۷
بافت	لوم رسی
کربنات کلسیم معادل (درصد)	۳۹
ماده آلی (درصد)	۱
ظرفیت تبادل کاتیونی (سانتی‌مول بر کیلوگرم)	۱۷
هدایت الکتریکی در عصاره اشباع (دسی‌زیمنس بر متر)	۰/٦
پ‌هاش در خمیر اشباع	۷/۵
فسفر محلول در بیکربنات سدیم (میکروگرم در گرم خاک)	۱۲
روی محلول در دی‌تی‌پی‌ا (میکروگرم در گرم خاک)	۰/٦
آهن محلول در دی‌تی‌پی‌ا (میکروگرم در گرم خاک)	۱۳
منگنز محلول در دی‌تی‌پی‌ا (میکروگرم در گرم خاک)	۷
مس محلول در دی‌تی‌پی‌ا (میکروگرم در گرم خاک)	۲
پتاسیم محلول در استات آمونیوم (میکروگرم در گرم خاک)	۲۵۰

غلظت فسفر و روی درگیاه، جذب کل فسفر و روی در هر گلدان (حاصل ضرب وزن خشک در غلظت فسفر یا روی)، نسبت فسفر به روی، غلظت آهن، مس و منگنز یادداشت، و با استفاده از نرم‌افزارهای کامپیوتری MSTATC و COSTAT تجزیه و تحلیل آماری گردید. میانگین مربوط به آثار اصلی فسفر، روی و برهمکنش آنها تعیین و با آزمون دانکن مقایسه شد.

نتایج و بحث

میانگین وزن خشک ذرت، با مصرف فسفر تا سطح ۱۰۰ میکروگرم در گرم خاک، افزایشی معادل ٦۹ درصد نسبت به شاهد داشت (جدول ۲). کریمیان و قنبری (۲٤) حد بحرانی فسفر را با روش اولسن، در خاک‌های آهکی فارس ۱۸ میکروگرم در گرم خاک گزارش کردند. با توجه به این که غلظت فسفر عصاره‌گیری شده با سدیم بیکربنات در خاک مورد آزمایش ۱۲ میکروگرم در گرم خاک بود، افزایش عملکرد با مصرف فسفر دور از انتظار نمی‌باشد. قنبری (٤) گزارش کرد که میانگین وزن ماده خشک ذرت از ۸/۲۱ گرم در گلدان در شاهد، با مصرف ۵۰، ۱۰۰ یا ۲۰۰ میکروگرم فسفر در گرم خاک به ترتیب به ۱۷/۳٦، ۱۹/۷۷ و ۲۰/۰۸ گرم در گلدان افزایش یافت. نتایج مشابهی توسط دیگران گزارش گردیده است (۳۷، ٤٦، ۵۷ و ٦۵).

مصرف پنج میکروگرم روی در گرم خاک باعث افزایش میانگین وزن خشک ذرت به میزان ٦٤ درصد نسبت به شاهد گردید، ضمناً تفاوت معنی‌داری میان سطوح مصرفی ۵ و ۱۰ میکروگرم روی در گرم خاک نبود (جدول ۲). درجه (۳) افزایش وزن خشک ذرت را از ۱٦/۱۹ گرم در گلدان در شاهد به ۱۷/۷٤ گرم در گلدان با مصرف ۱۰ میکروگرم روی در گرم خاک گزارش کرد. مفتون و کریمیان (۳۰) مشاهده کردند که کاربرد ۱۰ میکروگرم روی در گرم خاک باعث افزایش وزن

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-10-14]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.1.2.9]

جدول ۲. تأثیر سطوح فسفر و روی بر وزن خشک ذرت (گرم در گلدان)

سطوح فسفر (میکروگرم درگرم خاک)	سطوح روی (میکروگرم در گرم خاک)			میانگین
	۰	۵	۱۰	
۰	۱۵/۱^{fg}	۲۰/٤^{ef}	۱۷/٦^{fg}	۱۷/۷^{D}
۲۵	۱۳/۵^{g}	۲٦/۱^{de}	۲٦/۷^{de}	۲۲/۲^{C}
۵۰	۱٦/٦^{fg}	۲۸/۰^{cd}	۳۰/۵^{bcd}	۲۵/۰^{BC}
۱۰۰	۱۸/۰^{fg}	۳۳/۵^{abc}	۳۸/۵^{a}	۳۰/۰^{A}
۲۰۰	۱۹/۷^{fg}	۲۸/۰^{cd}	۳٤/۷^{ab}	۲۷/۵^{AB}
میانگین	۱٦/٦^{B}	۲۷/۲^{A}	۲۹/٦^{A}	

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

خشک ساقه و برگ ذرت به میزان ۲٦ تا ٤۰ درصد نسبت به شاهد گردید. کریمیان (۲۳) نشان داد که با اضافه کردن ۲۰ میکروگرم روی در گرم خاک، وزن خشک اندام هوایی ذرت در یک خاک آهکی افزایش یافت. چنین نتایجی نیز توسط دیگران گزارش شده است (۱۸، ۲٦، ۳۸، ٤۱ و ٤٤).

کاربرد فسفر به تنهایی سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک ذرت نشد، ولی با مصرف ۵ یا ۱۰ میکروگرم روی در گرم خاک، کاربرد فسفر تا سطح ۱۰۰ میکروگرم در گرم خاک سبب افزایش وزن خشک ذرت گردید. بیشترین عملکرد ماده خشک ذرت با مصرف توأم ۱۰۰ میکروگرم فسفر و ۱۰ میکروگرم روی در گرم خاک، که برابر ۱۵۵ درصد افزایش نسبت به شاهد می‌باشد، به دست آمد. به طور کلی برهمکنش فسفر و روی بر وزن خشک ذرت مثبت بوده است. تأثیر کاربرد روی به تنهایی بر وزن خشک ذرت معنی‌دار نبود، حال آن که کاربرد روی درکلیه سطوح مصرفی فسفر بر این پارامتر رشد معنی‌دار بوده است (جدول ۲). شارما وهمکاران (٤۸) گزارش کردند که وزن خشک قسمت هوایی ذرت با افزایش مصرف فسفر تا سطح ٤۰۰ میکروگرم در گرم خاک بدون کاربرد روی تنها، چهار گرم بر گلدان بود، ولی همراه با کاربرد پنج میکروگرم روی در گرم خاک به ۱۵ گرم در گلدان افزایش یافت. نتایج مشابهی نیز به وسیله دیگران گزارش شده است (۵، ۱٤ و ٤٦).

بررسی میانگین غلظت و جذب کل فسفر (جدول ۳) نشان می‌دهد که افزایش سطوح فسفر باعث افزایش غلظت و جذب کل فسفر شده است. این نتایج با گزارش‌های دیگران (۲، ٤، ۷، ۱۲، ۱٤، ۲۱،۱٦ و ۲۳) هم‌خوانی داد. ولی کاربرد روی باعث کاهش میانگین غلظت فسفر شده است، هرچند که میان سطوح روی مصرفی تفاوت معنی‌داری در کاهش غلظت فسفر مشاهده نشد. جذب کل فسفر در ذرت با افزایش میزان روی افزایش یافت.

برخی پژوهش‌ها نشان می‌دهد که در گیاه دارای کمبود روی، مصرف بی‌رویه فسفر می‌تواند منجر به مسمومیت فسفر در گیاه شود (۱٤، ۲۸ و ۵۹). پارکر (۳۸) گزارش می‌کند که غلظت فسفر در ذرت، در سطح ۰/٤ میکرومولار روی در محلول غذایی به چهار میلی‌گرم، و در سطح ۱۲ میکرومولار روی در محلول غذایی به ۱/۵ میلی‌گرم در گرم کاهش یافته است. وی همانند این نتایج را در شش گیاه مورد آزمایش به دست آورد، و بر این باور است که عنصر روی تأثیر ویژه‌ای بر کنترل غلظت و جذب فسفر در گیاهان گوناگون دارد، یعنی معمولاً جذب فسفر در شرایط کمبود روی در گیاه افزایش می‌یابد. نتایج مشابهی به وسیله شارما و همکاران (٤۸) و مورگان (۳۳) گزارش شده است.

کریستنسن و جکسون (۱٤) غلظت‌های زیاد فسفر در برگ

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-10-14]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.1.2.9]

جدول ۳. تأثیر سطوح فسفر و روی بر غلظت (میلی‌گرم درگرم ماده خشک گیاه) و جذب کل فسفر (میلی‌گرم در گلدان) در ذرت

سطوح فسفر (میکروگرم در گرم خاک)	سطوح روی (میکروگرم در گرم خاک)			
	۰	۵	۱۰	میانگین
			غلظت	
۰	۱/٤^{f}	۱/۱^{f}	۱/۰^{f}	۱/۱^{D}
۲۵	۱/٤^{f}	۱^{f}	۱/۱^{f}	۱/۲^{D}
۵۰	۲/۲^{cde}	۱/۲^{f}	۱/۱^{f}	۱/۵^{C}
۱۰۰	۲/٦^{bc}	۲/۱^{de}	۱/۹^{e}	۲/۲^{B}
۲۰۰	۳/۸^{a}	۲/۷^{b}	۲/۵^{bcd}	۳/۰^{A}
میانگین	۲/۳^{A}	۱/٦^{B}	۱/۵^{B}	
			جذب کل	
۰	۲۰/۵^{f}	۲۱/٦^{ef}	۱۸^{f}	۲۰^{D}
۲۵	۱۸/۹^{f}	۲۷/۲^{def}	۲۸/۸^{def}	۲۰/۵^{D}
۵۰	۳٦/٤^{cd}	۳۳/٦^{de}	۳۳/۵^{de}	۳٤/۵^{C}
۱۰۰	٤٦/۸^{c}	٦۹/۳^{b}	۷۲/۹^{b}	٦۳/۰^{B}
۲۰۰	۷۲/۷^{b}	۷۵/۵^{a}	۸۷^{a}	۷۸/۳^{A}
میانگین	۳۹/۱^{B}	٤۵/٤^{A}	٤۸/۰^{A}	

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

سیب‌زمینی را تحت کمبود روی به افزایش انتقال فسفر از ریشه به قسمت هوایی و افزایش جذب کل فسفر نسبت می‌دهند. لونرگان و همکاران (۲۸) دریافتند که کمبود روی سبب کاهش غلظت فسفر در ریشه بامیه، ولی سبب افزایش غلظت در قسمت هوایی، و هم‌چنین افزایش جذب کل فسفر توسط قسمت‌های مختلف گیاه شده است، و نتیجه‌گرفتند که کمبود روی به صورت مشخص سبب افزایش جذب فسفر توسط ریشه‌ها، افزایش انتقال آن به قسمت هوایی و در نتیجه سبب انباشته شدن آن در برگ‌های بامیه می‌گردد.

مارشنز و کک‌مک (۳۲) نشان دادند که در پنبه، کمبود روی موجب افزایش جذب فسفر می‌شود، در حالی که سرعت جذب عناصر غذایی دیگر نظیر پتاسیم، کلسیم و نیترات با کمبود روی تغییر نکرده، و حتی در مورد منیزیم کاهش نشان داده است. آنان اظهار می‌دارند که در شرایط کمبود روی، مقدار بیشتری فسفر از ریشه‌ها به قسمت‌های هوایی گیاه منتقل می‌شود، و علت را آسیب‌دیدگی سیستم کنترل آزاد شدن فسفر از سلول‌های ریشه به آوندهای چوبی ذکر می‌کنند. هم‌چنین، این اثر ممکن است به دلیل کاهش انتقال فسفر از قسمت‌های هوایی به ریشه گیاهانی باشد که تحت شرایط کمبود روی قرار دارند.

به دلیل تأثیر روی در پایداری دیواره سلولی (٤۲)، احتمالاً افزایش جذب فسفر در حالت کمبود روی به دلیل انتقال بیشتر فسفر به اندام هوایی می‌باشد (۲۸ و ٤٦). ولی با افزایش نفوذپذیری دیواره سلولی ریشه، غلظت عناصر دیگر نیز بایستی مشابه با فسفر افزایش یابد. ضمناً، افزایش نفوذپذیری دیواره سلولی، همان گونه که می‌تواند جذب عناصر را زیاد کند، خروج آنها از ریشه گیاه را نیز بایستی افزایش دهد. بنابراین،

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-10-14]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.1.2.9]

نهایتاً غلظت عناصر در گیاه نباید تغییر کند. بر پایهٔ دلایل یاد شده، هنوز تأثیر روی بر جذب و غلظت فسفر به طور کامل روشن نیست (۳۹). در پژوهش حاضر، با توجه به این که جذب کل فسفر با مصرف روی در ذرت به رغم کاهش غلظت فسفر، تقریباً ثابت مانده، و در مواردی حتی افزایش نشان می‌دهد، بنابراین کاهش غلظت فسفر بایستی معلول اثر رقت باشد.

کاربرد فسفر تا سطح ۱۰۰ میکروگرم فسفر در گرم خاک باعث کاهش معنی‌دار غلظت روی در ذرت گردید (جدول ٤)، ولی تأثیری بر میانگین جذب کل روی نداشت. شارما و همکاران (٤٨) بیان می‌کنند که کاربرد ۲۵ میکروگرم فسفر در گرم خاک باعث بیشترین کاهش در غلظت روی در ذرت شده است. گزارش‌های بسیاری نشان می‌دهد که سطوح بالای فسفر می‌تواند سبب کاهش غلظت روی در گیاهان گوناگون شود (٤، ۲۳، ۳۳، ۵۲، ۵۳ و ۵٦). تشکیل ترکیب فسفات روی با حلالیت کم یک تصور ابتدایی در زمینهٔ تأثیر فسفر بر کاهش غلظت روی بود، ولی پژوهش‌های بعدی ثابت کرد که حلالیت $Zn_3(PO_4)_2.4H_2O$ به اندازه‌ای که نیاز گیاه به روی را تأمین کند زیاد است (۵۹). سینگ و همکاران (۵۱ و ۵۲) تأثیر فسفر بر کاهش غلظت روی در ذرت را به اثر رقت نسبت می‌دهند.

همیلتون و همکاران (۱۹) بیان کرده‌اند که افزایش آلودگی با قارچ‌های میکوریزا جذب فسفر، مس و روی را افزایش می‌دهد. زیرا قارچ‌های میکوریزا می‌توانند به عناصر قابل جذبی که در دسترس ریشه‌ها نیستند دسترسی پیدا کنند. افزایش جذب عناصر غذایی در هنگام آلودگی با قارچ‌های میکوریزا توسط دیگران نیز گزارش شده است (۹، ۱۰ و ۵٤). از سوی دیگر، افزایش مصرف کودهای فسفری می‌تواند سبب کاهش آلودگی گیاه با قارچ میکوریزا، و در نتیجه کاهش جذب روی گردد (٤۵). شارما و همکاران (٤٨) گزارش می‌کنند که مصرف بیشتر از ۲۵ میکروگرم فسفر در گرم خاک سبب افزایش جذب کل روی در ذرت می‌شود. بنابراین، تأثیر اصلی فسفر در کاهش غلظت روی را یک اثر بازدارندگی در انتقال روی از ریشه به قسمت هوایی ذکر می‌نمایند. این عقیده توسط برخی از پژوهشگران دیگر نیز پذیرفته شده است (۱٦، ۲۱ و ٤٦).

یانگدال و همکاران (٦۷) مشاهده کردند که مقدار فسفر در محیط رشد می‌تواند بر توانایی اتصال (Bounding capacity) روی به دیواره سلولی اثر بگذارد. روی آزاد شده توسط پکتیناز در ریشه گیاهانی که در محلول غذایی دارای هشت میلی‌مولار فسفر رشد کردند، سه برابر گیاهان رشد کرده در محلول غذایی با غلظت دو میلی‌مولار فسفر بوده، که نشان دهنده افزایش روی پیوند یافته با جزء پکتین می‌باشد. احتمالاً پکتین یکی از نقاط واکنش فسفر و روی در کاهش انتقال روی به قسمت هوایی گیاه است.

مصرف روی با افزایش غلظت و جذب کل آن در گیاه همراه بود (جدول ٤). کاربرد ۱۰ میکروگرم روی در گرم خاک سبب افزایش میانگین غلظت روی به میزان ۱۳٤ درصد، و میانگین جذب کل روی به میزان ۲۹۲ درصد نسبت به شاهد شد. همیلتون و همکاران (۱۹) افزایش غلظت روی در ذرت را با کاربرد سولفات روی گزارش کرده‌اند. نتایج مشابهی توسط مورگان (۳۳)، کریمیان (۲۳)، تاکار همکاران (۵۷)، صفایا (٤٦) و شارما و همکاران (٤٨ و ٤۹) گزارش شده است.

میانگین غلظت روی در ذرت بدون مصرف فسفر ۱۲/۳ میکروگرم در گرم ماده خشک بود، که کمتر از حد بحرانی گزارش شده توسط پژوهشگران دیگر است (٤۳ و ٦۱)، در حالی که کاربرد ۵ یا ۱۰ میکروگرم روی در گرم خاک بدون کاربرد فسفر، غلظت روی را به ترتیب به میزان ۷۸ و ۱۳٤ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ٤). از سویی، می‌توان نتیجه گرفت که به دلیل کم بودن غلظت روی، مصرف فسفر نتوانسته است رشد گیاه را افزایش دهد. ترهان و گراول (٦۱) حد بحرانی روی در ذرت را ۱٤، و رشید و فاکس (٤۳) آن را ۲٤ میکروگرم در گرم ماده خشک گیاه گزارش کرده‌اند.

نسبت فسفر به روی در گیاه با مصرف فسفر افزایش، و با مصرف روی کاهش یافت (جدول ۵). بوان و لژت (۷) عقیده دارند برای ارزیابی بهتر کمبود روی، استفاده از نسبت فسفر به

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-10-14]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.1.2.9]

جدول ٤. تأثیر سطوح فسفر و روی بر غلظت (میکروگرم در گرم ماده خشک گیاه) و جذب کل روی (میکروگرم در گلدان) در ذرت

سطوح فسفر (میکروگرم درگرم خاک)	سطوح روی (میکروگرم در گرم خاک)			
	۰	۵	۱۰	میانگین
غلظت				
۰	۱٤/۰^{fg}	۳٦/۲^{b}	٤٤/۹^{a}	۳۱/٤^{A}
۲۵	۱۱/٤^{g}	۲۰/۱^{de}	۳۲/۳^{b}	۲۱/۳^{B}
۵۰	۱۱/٤^{g}	۲۳/۲^{cd}	۲٦/۹^{c}	۲۰/۵^{B}
۱۰۰	۱۳/۹^{fg}	۱۵/۳^{efg}	۱۹/۱^{def}	۱٦/۱^{C}
۲۰۰	۱۰/٦^{g}	۱٤/۹^{efg}	۲۱/۹^{cd}	۱۵/۸^{C}
میانگین	۱۲/۳^{C}	۲۱/۹^{B}	۲۸/۸^{A}	
جذب کل				
۰	۲۰۹/۷^{f}	۷٤۰/۳^{abc}	۷۸٦/۵^{ab}	۵۷۸/۸^{A}
۲۵	۱۵٤/۸^{f}	۵۲۳/۵^{bcd}	۸٤۵/٦^{a}	۵۰۸^{A}
۵۰	۱۸٦/۸^{f}	٦٤۹/٦^{abcd}	۸۲۰/٤^{a}	۵۵۲/۳^{A}
۱۰۰	۲۵۳^{ef}	۵۱۱/٦^{cde}	۷٤۱/۳^{abc}	۵۰۱/۹^{A}
۲۰۰	۲۰٤/۹^{f}	٤۱۷^{def}	۷٦۰/۹^{abc}	٤٦۰/۸^{A}
میانگین	۲۰۱/۸^{C}	۵٦۸/٤^{B}	۷۹۰/۹^{A}	

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

روی در ذرت، در مقایسه با استفاده فسفر یا روی به تنهایی مناسب‌تر است، و بیشترین عملکرد را در نسبت فسفر به روی برابر ۱۰۰ به دست آوردند. وارناک (٦٤) مشاهده کرد که بیشترین عملکرد ذرت با نسبت فسفر به روی معال ۱۳٤ به دست می‌آید. هرچند که گسترهٔ نسبت فسفر به روی ذرت در آزمایش آنان از ۱۱ تا ۷۰۰ متغیر بود. ترمان و همکاران (۵۸) نشان دادند که نسبت فسفر به روی در ذرت از ۲۱۰ تا ۱۵۵۰ تغییر کرده، ولی کمبود روی تنها به قابلیت جذب روی وابسته بوده است. آنان عقیده دارند که نسبت فسفر به روی تنها نشان دهنده غلظت یک عنصر نسبت به عنصر دیگر است. عدم کارآیی نسبت فسفر به روی در ارزیابی کمبود روی توسط برخی دیگر نیز گزارش شده است (۱۵، ٤۸ و ۵۸). در بررسی حاضر، نسبت فسفر به روی در گیاه از ۲۳ تا ۳٦۰ در ذرت متغیر بود (جدول ۵)، و بیشترین عملکرد ماده خشک ذرت با نسبت فسفر به روی برابر ۱۰۱ به دست آمد. در برخی موارد، به رغم این که عملکرد ماده خشک خیلی کمتر از حداکثر عملکرد بود، ولی نسبت فسفر به روی درحدود ۱۰۰ می‌باشد (جدول ۵).

میانگین غلظت آهن در ذرت با کاربرد ۵۰ میکروگرم فسفر در گرم خاک افزایش معنی‌دار نشان داد (جدول ٦). جکسون و همکاران (۲۲) دریافتند که تنها در صورت کمبود روی، مصرف فسفر می‌تواند غلظت آهن در ذرت را افزایش دهد. وارناک (٦٤) نیز نشان داد که غلظت آهن در بافت ذرتی که دارای کمبود روی بود با مصرف فسفر افزایش یافت. صفایا (٤٦)

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-10-14]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.1.2.9]

جدول ۵. تأثیر سطوح فسفر و روی بر نسبت فسفر به روی گیاه

سطوح فسفر (میکروگرم در گرم خاک)	سطوح روی (میکروگرم در گرم خاک)			
	۰	۵	۱۰	میانگین
۰	۹۸^{c}	۳۰^{d}	۲۳^{d}	۵۱^{E}
۲۵	۱۲۶^{c}	۵۲^{d}	۳٤^{d}	۷۱^{D}
۵۰	۲۰۷^{b}	۵٤^{d}	٤۱^{d}	۱۰۱^{C}
۱۰۰	۱۹۲^{b}	۱۳۵^{c}	۱۰۱^{c}	۱٤۳^{B}
۲۰۰	۳٦۰^{a}	۱۸۳^{b}	۱۱٤^{c}	۲۱۹^{A}
میانگین	۱۹۷^{A}	۹۱^{B}	٦۳^{C}	

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

جدول ٦. تأثیر سطوح فسفر و روی بر غلظت آهن، منگنز و مس در گیاه (میکروگرم در گرم ماده خشک گیاه)

سطوح فسفر (میکروگرم در گرم خاک)	سطوح روی (میکروگرم در گرم خاک)			
	۰	۵	۱۰	میانگین
		آهن		
۰	٤۸/۷^{c}	۵۱/۸^{bc}	٦۵/۸^{abc}	۵۵/۵^{B}
۲۵	٤٦/۵^{c}	۵۱/۳^{bc}	٦٦/۵^{abc}	۵٤/۷^{B}
۵۰	٦۷/۲^{abc}	٦٦/۸^{abc}	۷۵/۵^{ab}	٦۹/۸^{A}
۱۰۰	٦٦/۳^{abc}	۷۲/۸^{abc}	۷۹/۷^{a}	۷۲/۹^{A}
۲۰۰	۷۰/٤^{abc}	۵٤/۵^{abc}	٦٤/۸^{abc}	٦۳/۳^{AB}
میانگین	۵۹/۸^{B}	۵۹/٤^{B}	۷۰/۵^{A}	
		منگنز		
۰	۳۳/٤^{abc}	٤۱/۱^{a}	۳۸/۵^{ab}	۳۷/۸^{A}
۲۵	۳۵/٤^{cde}	۲۹^{bcde}	۲۸^{bcde}	۲۷/۵^{B}
۵۰	۳۲/۲^{abcd}	۲۵/۵^{cde}	۲۵/٤^{cde}	۲۷/۷^{B}
۱۰۰	۲۹/۵^{bcde}	۲۰/۵^{de}	۱۸/٤^{e}	۲۲/۸^{B}
۲۰۰	۳٤/۷^{abc}	۱۸/۳^{e}	۱۸/٤^{e}	۲۳/۸^{B}
میانگین	۳۱/۰^{A}	۲٦/۹^{AB}	۲۵/۷^{B}	
		مس		
۰	٤/۱^{bcd}	٤/٤^{abcd}	٤/٦^{abcd}	٤/۳^{A}
۲۵	٤/۹^{abcd}	۳/۹^{cd}	۵/۳^{abc}	٤/۷^{A}
۵۰	۵/۸^{ab}	۳/۸^{cd}	٤/٤^{abcd}	٤/۷^{A}
۱۰۰	٦/۰^{a}	٤/٦^{cd}	۵/۰^{bcd}	۵/۲^{A}
۲۰۰	۵/۱^{abcd}	۳/٤^{abcd}	٤/۷^{abcd}	٤/٤^{A}
میانگین	۵/۲^{A}	٤/۰^{B}	٤/۸^{A}	

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

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-10-14]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.1.2.9]

نشان داد که مصرف روی همراه با کاربرد ۷۵ میکروگرم فسفر در گرم خاک، سبب جذب بیشتر آهن در مقایسه با مصرف تنهای فسفر در ذرت گردید، و علت را به رشد بهتر ریشه نسبت داد. در حالی که چاکرالحسینی (۱) کاهش غلظت آهن در ذرت و سویا را با افزایش مصرف فسفر گزارش می‌کند. این کاهش غلظت می‌تواند معلول غیر فعال شدن آهن در گیاه توسط فسفر باشد (۱۱). لونراگان و همکاران (۲۸) گزارش کردند که مصرف فسفر و روی تأثیری بر غلظت آهن در گندم نداشته است.

در پژوهش حاضر کاربرد ۱۰ میکروگرم روی در گرم خاک باعث افزایش معنی‌دار میانگین غلظت آهن در ذرت نسبت به شاهد شد (جدول ٦). برخی گزارش‌ها نشان می‌دهد که در حالت کمبود روی فعالیت آنزیم کاهنده برون سلولی (Extracellular reductase activity) در دولپه‌ای‌ها افزایش می‌یابد و سبب افزایش غلظت و جذب آهن می‌شود (۲۹ و ۳۸). پارکر (۳۸) بیان می‌کند که افزایش غلظت آهن در سویا، گوجه‌فرنگی و یونجه در حالت کمبود روی، می‌تواند تأییدی بر افزایش فعالیت آنزیم کاهنده برون سلولی در گیاهان دولپه‌ای باشد. ولی پاسخ به این پرسش که آیا کمبود روی می‌تواند سبب افزایش ترشح فیتوسیدروفورها (Phytosiderophores) توسط گراس‌ها شود هنوز مورد توافق همگان نیست. هم‌چنین، پارکر (۳۸) گزارش کرده است که از سه گیاه گندم، مرغ خزنده (Wheat grass) و ذرت، تنها غلظت آهن در گندم در حالت کمبود روی افزایش یافت.

کاربرد ۲۵ میکروگرم فسفر در گرم خاک میانگین غلظت منگنز را در ذرت به گونهٔ معنی‌داری نسبت به شاهد کاهش داد، ولی مصرف بیشتر فسفر تأثیری نداشت (جدول ٦). ولی چاکرالحسینی (۱) افزایش غلظت منگنز را در ذرت با افزایش مصرف فسفر گزارش کرده است. با این حال، تومار و گوپتا (٦۰) افزایش غلظت منگنز در گندم را با مصرف ۲۵ میکروگرم فسفر در گرم خاک، و کاهش آن را با ۵۰ یا ۱۰۰ میکروگرم فسفر در گرم خاک گزارش نموده‌اند. مصرف ۱۰ میکروگرم روی در گرم خاک سبب کاهش معنی‌دار غلظت منگنز در گیاه شده است. پارکر (۳۸) دریافت که کمبود روی سبب افزایش غلظت منگنز در ذرت و سویا شده است. هم‌چنین، لونراگان و همکاران (۲۸) افزایش غلظت منگنز در بامیه را تحت کمبود روی گزارش کرده‌اند. نورول و ولچ (۳۵) نیز نشان دادند که با افزایش میزان روی در محلول غذایی، غلظت منگنز در جو افزایش یافت. نتایج مشابهی توسط ولچ و نورول (٦٦) گزارش شده است.

مصرف فسفر تأثیری بر میانگین غلظت مس در ذرت نداشت (جدول ٦). چاکرالحسینی (۱) کاهش غلظت مس در سویا و ذرت را با افزایش کاربرد فسفر گزارش نمود. والاس و همکاران (٦۳) ملاحظه کردند که در pH بیشتر از ۷، افزایش فسفر سبب کاهش غلظت مس در برگ، ساقه و ریشه سویا شده است. مصرف پنج میکروگرم روی در گرم خاک باعث کاهش معنی‌دار غلظت مس در ذرت نسبت به شاهد گردید. نورول و ولچ (۳۵) گزارش کردند که در سطح ۰/۱ میکرومولار روی در محلول غذایی، غلظت مس در جو ۱۵ میکروگرم درگرم بوده، که با افزایش سطح روی به یک میکرومولار، به ۲۰ میکروگرم در گرم افزایش یافته است.

نتیجه‌گیری

نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان می‌دهد که مصرف فسفر بیشتر از ۱۰۰ میکروگرم در گرم خاک تأثیری بر افزایش وزن خشک ذرت نداشت. کاربرد پنج میکروگرم روی در گرم خاک سبب افزایش وزن خشک ذرت گردید. با توجه به این که میزان فسفر و روی قابل استفاده خاک به ترتیب کمتر از حد بحرانی و در حد حاشیه‌ای بود، پاسخ گیاه به مصرف این عناصر دور از انتظار نبود. مصرف فسفر باعث افزایش غلظت و جذب کل فسفر در گیاه مورد بررسی شد، ولی مصرف روی غلظت فسفر را کاهش داد، هرچند که مصرف روی باعث افزایش جذب کل فسفر در ذرت شد. کاربرد فسفر، به ویژه در سطوح ۲۵ و ۵۰ میکروگرم در گرم خاک باعث کاهش غلظت

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-10-14]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.1.2.9]

روی در ذرت گردید، ولی مصرف فسفر بر جذب کل روی گیاه تأثیری نداشت. کاربرد روی باعث افزایش غلظت و جذب کل روی در گیاه شد. نسبت فسفر به روی در گیاه مورد بررسی با مصرف فسفر افزایش و با مصرف روی کاهش یافت.

مصرف فسفر با کاربرد ۱۰ میکروگرم روی در گرم خاک سبب افزایش غلظت آهن در ذرت شد. مصرف ۲۵ یا ۵۰ میکروگرم فسفر در گرم خاک یا کاربرد ۱۰ میکروگرم روی در گرم خاک سبب کاهش غلظت منگنز در گیاه گردید. مصرف فسفر تأثیری بر غلظت مس در ذرت نداشت، ولی کاربرد پنج میکروگرم روی در گرم خاک سبب کاهش آن شد. حداکثر عملکرد ماده خشک ذرت در نسبت برابر ۱۰۱ فسفر به روی به دست آمد، ولی چون تغییرات این نسبت در پژوهش حاضر زیاد بود، به نظر نمی‌رسد که استفاده از این نسبت معیار مناسبی برای پیش‌بینی حداکثر عملکرد یا ارزیابی کمبود روی در گیاه باشد. استفاده از نسبت فسفر به روی، چنانچه تنها به نسبت آنها اشاره شود، کافی نیست، زیرا امکان دارد غلظت هر دو عنصر در گستره کمبود باشد ولی نسبت آنها کمبود را نشان ندهد.

به طور کلی مصرف فسفر و روی سبب افزایش غلظت آهن در گیاه شد، ولی غلظت منگنز را کاهش داد و تأثیری برغلظت مس نداشت. بیش از هر گونه توصیه کودی، به پژوهش‌های بیشتری در شرایط مزرعه‌ای، برای ارزیابی دقیق پاسخ رشد به مصرف فسفر و روی، و نیز تأئید نتایج به دست آمده از این پژوهش نیاز می‌باشد.

منابع مورد استفاده

۱. چاکرالحسینی، م. ر. ۱۳۷۸. تأثیر فسفر و آهن بر رشد و ترکیب شیمیایی ذرت و سویا. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

۲. چراتی‌آرایی، 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.

۳. درجه، ز. ۱۳٦۸. ارزیابی وضعیت روی قابل استفاده گیاهی به روش‌های آزمایشگاهی و گلخانه‌ای در خاک‌های آهکی زیر سد درودزن استان فارس. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

٤. قنبری، ع.، ن. کریمیان و م. مفتون. ۱۳۷۸. ارزیابی گلخانه‌ای و آزمایشگاهی چند عصاره‌گیر جهت تعیین فسفر قابل استفاده ذرت در بعضی از خاک‌های آهکی استان فارس. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ٤: ٤١-٥٦.

5. Adriano, D. C., G. M. Paulsen and L. S. Murphy. 1971. Phosphorus-iron and phosphorus-zinc relationships in corn (*Zea mays* L.) seedlings as affected by mineral nutrition. Agron. J. 63: 36-39.

6. 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.

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

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

9. Bowen, G. D. 1968. Phosphate uptake by mycorrhizaes and uninfected roots of *Pinus radiata* in relation to root distribution. Transactions 9th International Congress of Soil Science, Adelaide 2: 293-298.

10. Bowen, G. D., M. F. Skinner and D. J. Bevege. 1974. Zinc uptake by mycorrhizaes and uninfected roots of *Pinus radiata* and *Araucaria cunninghamii*. Soil Biol. Biochem. 6: 141-144.

11. Brown, J. C., R. S. Holmes, R. E. Shapiro and A. W. Specht. 1955. Effects of phosphorus and copper salts on iron chlorosis of rice in flooded and nonflooded soils and the associated enzymatic activity. Soil Sci. 79: 363-372.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-10-14]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.1.2.9]

12. Bugbee, G. J. and C. R. Frink. 1995. Phosphorus and zinc fertilization of corn grown in a Connecticut soil. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 26: 269-276.
13. Chapman, H. D. 1965. Cation exchange capacity. PP. 891-900. *In*: C. A. Black et al. (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part II. Am. Soc. Agron., Madison, WI.
14. Christensen, N. W. and T. L. Jackson. 1981. Potential for phosphorus toxicity in zinc-stressed corn and potato. Soil Sci. Soc. Am. J. 45: 904-909.
15. Giordano, P. M. and J. J. Mortvedt. 1969. Response of several corn hybrids to levels of water-soluble zinc in fertilizers. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 33: 145-148.
16. Grant, C. A. and L. D. Bailey. 1989. The influence of Zn and P fertilizers on the dry matter yield and nutrient content of flax (*Linum usitatissimum* L.) on soils varying in Ca and Mg level. Can. J. Soil Sci. 69: 461-472.
17. Gries, D., S. Brunn, D. E. Crowley and D. R. Parker. 1995. Phytosiderophore production in relation to micronutrient metal deficiencies in barley. Plant Soil 172: 299-308.
18. Gupta, P. K. and K. K. Vyas. 1994. Effect of phosphorus, zinc and molybdenum on the yield and quality of soybean. Legume Res. 17: 5-7.
19. Hamilton, M. A., D. T. Westermann and D. W. James. 1993. Factors affecting zinc uptake in cropping system. Soil Sci. Soc. Am. J. 57: 1310-1315.
20. Ibrikcie, H. and J. T. Moraghan. 1993. Differential response of soybean and drybean to zinc deficiency. J. Plant Nutr. 16: 1791-1795.
21. Iorio, A. F., L. Gorgoschide, A. Rendina and M. J. Barros. 1996. Phosphorus, copper and zinc addition on the phosphorus/copper and phosphorus/zinc interaction in lettuce. J. Plant Nutr. 19: 481-491.
22. Jackson, T. L., J. Hay and D. P. Moore. 1967. The effect of Zn on yield and chemical composition of sweet corn in willamtte valley. Am. Soc. Hort. Sci. J. 91: 462-471.
23. Karimian, N. 1995. Effect of nitrogen and phosphorus on zinc nutrition of corn in a calcareous soil. J. Plant Nutr. 18: 2261-2271.
24. Karimian, N. and A. Ghanbari. 1990. Evaluation of different extractants for prediction of plant response to applied P fertilizer in highly calcareous soils. 10th World Fertilizer Congress, Abstract, P. 25.
25. Khan, Z. and S. Ahmad. 1992. Biological and intercrop studies on yield and nitrogen fixation of soybean and maize. Sarhad J. Agric. 8: 613-622.
26. 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.
27. Lindsay, W. L. and W. A. Norvell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 421-428.
28. Loneragan, J. F., D. L. Grunes, R. M. Welch, E. A. Aduayi, A. Tengah, V. A. Lazar and E. E. Cary. 1982. Phosphorus accumulation and toxicity in leaves in relation to zinc supply. Soil Sci. Soc. Am. J. 46: 345-352.
29. Loneragan, J. F. and M. J. Webb. 1993. Interactions between zinc and other nutrients affecting the growth of plants. PP. 119-134. *In*: A. D. Robson (Ed.), Zinc in Soil and Plants. Kluwer Acad. Publ., Dordrecht, the Netherlands.
30. Maftoun, M. and N. Karimian. 1989. Relative efficiency of two zinc sources for maize (*Zea mays* L.) in two calcareous soils from an arid area of Iran. Agronomie 9: 771-775.
31. Marschner, H. 1988. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, London.
32. Marschner, H. and I. Cakmak. 1986. Mechanism of phosphorus-induced zinc deficiency in cotton. I. Zinc deficiency-enhanced uptake rate of phosphorus. Physiol. Plantarum 68: 483-490.
33. Moraghan, J. T. 1994. Accumulation of zinc, phosphorus and magnesium by navy bean seed. J. Plant Nutr. 17: 1111-1125.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-10-14]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.1.2.9]

34. Murphy, J. and J. P. Riley. 1982. A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. Anal. Chem. Acta 27: 31-36.
35. Norvell, W. A. and R. M. Welch. 1993. Growth and nutrient uptake by barley (*Hordeum vulgare* L. cv Herta): Studies using an N-(2-hydroxyethyl) ethylene-dinitrolotriacetic acid-buffered nutrient solution technique. I. Zinc ion requirements. Plant Physiol. 101: 619-625.
36. 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 Circ. 939, U. S. Gover., Prin. Office, Washington, DC.
37. Orabi, A. A, T. El-Kobbia and A. I. Fathi. 1985. Zinc-phosphorus in the nutrition of corn plants (*Zea mays* L.) as affected by the total carbonate content of the soil. Plant Soil 83: 317-321.
38. Parker, D. R. 1997. Response of six crop species to solution $zinc^{2+}$ activities buffered with HEDTA. Soil Sci. Soc. Am. J. 61: 161-167.
39. Parker, R., J. J. Aguilera and D. N. Thomson. 1992. Zinc phosphorus interactions in two cultivars of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) grown in chelator buffered nutrient solutions. Plant Soil 143: 163-177.
40. Prasad, B., I. Sarangthem and K. C. Choudhary. 1995. Transformation and availability of applied zinc to maize in calcareous soil. J. Indian. Soc. Soil Sci. 43: 84-89.
41. Prasad, B. and S. M. Umar. 1993. Direct and residual effect of soil application of zinc sulfate on yield and zinc uptake in a rice-wheat rotation. J. Indian Soc. Soil Sci. 41: 192-194.
42. Prask, A. J. and D. J. Plocke. 1971. A role for zinc in the structural integrity of *Euglena gracilis*. Plant Physiol. 48: 150-155.
43. Rashid, A. and R. L. Fox. 1992. Evaluating internal zinc requirements of grain crops by seed analysis. Agron. J. 84: 469-474.
44. Rashid, A., E. Rafique, N. Baghio and M. Yasin. 1997. Micronutrient deficiencies in rainfed calcareous soils of Pakistan. IV. Zinc nutrition of sorghum. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 28: 455-467.
45. Rathore, V. P. and H. P. Singh. 1995. Influence of Vesicular Arbuscular Mycorrhizal fungi and phosphate on maize. J. Indian Soc. Soil Sci. 43: 207-210.
46. Safaya, N. M. 1976. Phosphorus zinc interaction in relation to absorption rates of phosphorus, zinc, copper, manganese and iron in corn. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 40: 719-722.
47. Sakal, R., B. P. Singh and A. P. Singh. 1982. Determination of critical limit of zinc in soil and plant for predicting response of rice to zinc application in calcareous soil. Plant Soil 66: 129-132.
48. Sharma, K. C., B. A. Krantz, A. L. Brown and J. Quick. 1968. Interaction of Zn and P in top and root of corn and tomato. Agron. J. 60: 453-456.
49. Sharma, K. C., B. A. Krantz, A. L. Brown and J. Quick. 1968. Interaction of Zn and P with soil temperatures in rice. Agron. J. 60: 625-655.
50. Sharma, S. K. and F. Lal. 1993. Estimation of critical limit of DTPA zinc for wheat in Pellusterts of southern Rajasthan. J. Indian. Soc. Soil Sci. 41: 197-198.
51. Singh, J. P., R. E. Karamanos and J. W. B. Stewart. 1986. Phosphorus-induced zinc deficiency in wheat on residual phosphorus plots. Agron. J. 78: 668-675.
52. Singh, J. P., R. E. Karamanos and J. W. B. Stewart. 1988. The mechanism of phosphorus-induced zinc deficiency in bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Can. J. Soil Sci. 68: 345-358.
53. Sinha, R. B., R. Sakal and S. Kumar. 1995. Sulfur and phosphorus nutrition of winter maize in calcareous soil. J. Indian Soc. Soil Sci. 43: 413-418.
54. Skkiner, M. F. and G. D. Bowen. 1974. The uptake and translocation of phosphate by mycelial strands of pine mycorrhizae. Soil Boil. Biochem. 6: 53-56.
55. Soil Survey Staff. 1998. Key to Soil Taxonomy. Soil Conservation Service. United State Dept. of Agric., US.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-10-14]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.1.2.9]

56. Stukenholtz, D. D., R. J. Olsen, G. Gogan and R. A. Olson. 1966. On the mechanism of phosphorus zinc interaction in corn nutrition. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 30: 759-763.

57. Takkar, P. N., M. S. Mann, R. L. Bansal, N. S. Randhawa and H. Singh. 1976. Yield and nutrient uptake response of corn to zinc as influenced by phosphorus fertilization. Agron. J. 68: 942-946.

58. Terman, G. L., P. M. Giordano and S. E. Allen. 1972. Relationships between dry matter yields and concentrations of Zn and P in young corn plants. Agron. J. 64: 684-687.

59. Tisdale, S. L, W. L. Nelson and J. D. Beaton. 1985. Soil Fertility and Fertilizers. 4th ed. Macmillan Pub. C., New York.

60. Tomar, N. K. and V. K. Gupta. 1992. Effect of organic matter and phosphate source on the availability of manganese to wheat. J. Indian Soc. Soil Sci. 40: 395-398.

61. Trehan, S. P. and J. S. Grewal. 1995. Response to zinc, copper and iron, and their critical levels for potato. J. Indian. Soc. Soil Sci. 43: 89-91.

62. Walkley, A. and T. A. Black. 1934. An examination of the deligaref method for determining organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37: 29-38.

63. 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.

64. Warnock, R. E. 1970. Micronutrients uptake and mobility within corn plants (*Zea mays* L.) in relation to phosphorus-induced zinc deficiency. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 34: 765-769.

65. Watanabe, F. S., W. L. Lindsay and S. R. Olsen. 1965. Nutrient balance involving phosphorus, iron and zinc. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 29: 562-565.

66. Welch, R. M. and W. A. Norvell. 1993. Growth and nutrient uptake by barley (*Hordeum vulgare* L. cv Herta): Studies using an N-(2-hydroxyethyl) ethylene-dinitrilotriacetic acid-buffered nutrient solution technique. II. Role of zinc in the uptake and root leakage of mineral nutrients. Plant Physiol. 101: 627-631.

67. Youngdahl, L. J., L. V. Svec, W. C. Liebhardt and M. R. Teel. 1977. Change in the zinc-65 distribution in corn root tissue with a phosphorus variable. Crop Sci. 17: 66-69.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-10-14]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.1.2.9]