اثر مصرف کود فسفری در خاک‌های آهکی با مقادیر متفاوت فسفر بومی بر عملکرد و جذب عناصر کم‌مصرف گیاه خیار

سعیده حاجب[۱]، ناصر برومند[۱] و صالح سنجری[۱*]

(تاریخ دریافت:۱۳۹۳/۱۲/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۵/۲۲)
DOI: 10.18869/acadpub.ejgcst.7.4.1

چکیده

فسفر از عناصر ضروری برای رشد گیاهان است و وظایف متعددی در گیاه به عهده دارد و به عنوان کلید زندگی گیاه لقب گرفته است. اما مصرف بیش از حد آن سبب اختلالاتی در جذب عناصر کم‌مصرف شده و همچنین سبب کاهش عملکرد گیاهان می‌شود. به منظور بررسی اثر مصرف کود فسفره در خاک‌های آهکی با مقادیر متفاوت فسفر بومی بر رشد و جذب عناصر کم‌مصرف گیاه خیار، آزمایشی گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه دانشگاه جیرفت انجام گرفت. تیمارها عبارت بودند از فسفر بومی در پنج سطح (۱۱، ۲۸، ۵۱، ۷۸ و ۹۷/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و مصرف کود فسفره در دو سطح (صفر و ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم از منبع کود سوپرفسفات تریپل). شش هفته پس از رشد، وزن خشک، غلظت فسفر، آهن، روی و مس و جذب کل این عناصر در برگ گیاه اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که بیشترین میزان وزن خشک مربوط به مصرف کود فسفری است که افزایشی برابر ۱۴/۶۱ درصد نسبت به عدم مصرف کود فسفری دارد. همچنین، مقایسه میانگین تیمار کود فسفری نشان داد که بیشترین غلظت فسفر گیاه مربوط به زمانی است که کود فسفری مصرف شده بود، از طرفی، بیشترین میزان عناصر کم‌مصرف آهن، روی و مس در تیمار کود فسفری مربوط به تیمار عدم مصرف کود فسفری بود، بدین صورت که با مصرف کود فسفری به ترتیب غلظت این عناصر در گیاه کاهشی برابر با ۲۵، ۱۶ و ۳۰/۴۱ درصد را نشان می‌دهد.

کلمات کلیدی: خیار گلخانه‌ای، تغذیه متعادل، عناصر پرمصرف، عناصر کم‌مصرف

مقدمه

تغذیه صحیح گیاه یکی از عوامل مهم در بهبود کمی و کیفی محصول به شمار می‌رود. در تغذیه صحیح گیاه، نه تنها باید هر عنصر غذایی به اندازه کافی در دسترس گیاه قرار گیرد، بلکه ایجاد تعادل و رعایت نسبت میان همه عناصر غذایی از اهمیت خاصی برخوردار است، زیرا در حالت عدم تعادل تغذیه‌ای نه تنها افزایش عملکردی رخ نمی‌دهد، بلکه حتی ممکن است اختلال در رشد گیاه، افت و کاهش عملکرد نیز مشاهده شود (۱۲).

فسفر از عناصر غذایی پُرمصرف در گیاهان است و حد بهینه آن در خیار ۰/۳۴ تا ۱/۲۵ درصد مادهٔ خشک می‌باشد (۱۴). فسفر از جمله عناصر کلیدی در گیاه به شمار می‌رود که

۱. گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت
*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: sanjari@ujiroft.ac.ir

وظایف مهمی را به عهده دارد. این عنصر در نقل و انتقالات انرژی، فرایندهای متابولیسمی گیاه، رشد و تکامل ریشه‌های فرعی و مویین و همچنین در تشکیل و انتقال موادی همانند قندها و نشاسته در گیاه شرکت می‌کند (۱۵، ۱۷ و ۲۵).

خیار (*Cucumis sativus*) یکی از مهم‌ترین محصولات گلخانه‌ای است که توسعهٔ روش‌های نوین پرورش آن می‌تواند نقش مهمی در افزایش بهره‌وری و تولید این محصول داشته باشد (۲۹). بعد از گوجه‌فرنگی، کلم و پیاز، میزان تولید جهانی خیار در مقام چهارم قرار دارد و ایران بعد از چین دومین تولید کننده خیار در جهان است (۲۰). منطقه جیرفت از جمله مناطق بسیار مهم سطح زیر کشت خیار گلخانه‌ای در جنوب استان کرمان می‌باشد که سطحی بالغ بر ۱۱۵۹ هکتار را در بر گرفته و با تولید بیش از ۲۰۶ هزار تن خیار در سال، مقام اول از نظر سطح زیر کشت و تولید در کشور را به خود اختصاص داده است (۱).

از جمله کودهای پُرمصرف می‌توان به کود فسفره اشاره کرد که مصرف بیش از حد آن نه تنها تأثیری در افزایش عملکرد ندارد، بلکه به علت ایجاد اختلال در تغذیه گیاه و مختل کردن برخی فرایندهای متابولیسمی آن، موجبات کاهش عملکرد را نیز فراهم می‌نماید. از جمله آثار زیان‌بار مصرف فراوان فسفر می‌توان به تثبیت و جذب فسفر توسط ذرات کلوئیدی خاک و افزایش ذرات فسفاتی در خاک، که باعث جلوگیری از جذب دیگر مواد غذایی توسط ریشه گیاه می‌شود، اشاره کرد. مسمومیت فسفری ناشی از جذب بیش از حد فسفر معدنی، ازدیاد غلظت آن در بافت‌های گیاهی و به هم خوردن تعادل عناصر غذایی، منجر به کاهش عملکرد محصول، کاهش جذب مس، غیر متحرک شدن آهن در گیاه، ممانعت از جذب آهن توسط ریشه، تشدید کمبود عنصر روی و مختل شدن متابولیسم روی درون گیاه، کاهش میکوریزایی شدن ریشه، آلودگی خاک به کادمیوم که مشکلاتی برای سلامتی انسان به همراه دارد، تنزل کیفیت محصول از جمله کاهش پروتئین گندم، ازدیاد بار منفی خاک، تخریب ساختمان خاک و آلودگی آب‌ها به فسفر و بروز پدیدهٔ به‌پروری (Eutrification) می‌گردد (۷، ۱۱ و ۳۲).

طبق تحقیقی که توسط حاجب و همکاران (۲) در دشت جیرفت انجام پذیرفت، مشاهده شد که مقدار فسفر در ۸۰٪ از اراضی این دشت بیش از حد مجاز و بیشتر از ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک است. معمولاً این نتیجه در کشت‌های گلخانه‌ای مشاهده و که به دلیل عدم انجام آزمون خاک قبل از کشت و عدم آگاهی از میزان عناصر در خاک و مصرف بیش از حد از کودهای فسفره است. با توجه به اهمیت تغذیه فسفر و همچنین اهمیت کشت خیار گلخانه‌ای در جیرفت، این پژوهش اجرا گردید تا حد بهینه فسفر در خاک برای این گیاه تعیین و به مصرف متعادل کود فسفره کمک شود و از اختلالات جذب سایر عناصر غذایی و آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه‌ی کود جلوگیری شود.

مواد و روش‌ها

دشت‌های جنوب استان کرمان، از جمله دشت جیرفت، از حاصلخیزترین دشت‌های ایران محسوب می‌شوند. منطقه جیرفت به علت مناسب بودن شرایط آب و هوایی و کشت وسیع محصولات گلخانه‌ای، به عنوان شهر گلخانه‌ای ایران محسوب می‌گردد. به منظور تشخیص وضعیت خاک‌های منطقه از نظر میزان فسفر قابل دسترس، ۱۰۰ نمونه خاک از عمق ۳۰-صفر سانتی‌متری به صورت مرکب از کاربری‌های مختلف تهیه شد. موقعیت جغرافیایی هر یک از نقاط نمونه برداری توسط دستگاه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) برای تعیین نقاط جهت بازگشت به منطقه مورد نظر برای تهیهٔ خاک کافی برای کشت و همچنین تعیین نوع کاربری و وضعیت کشت و کار اراضی نیز ثبت شد. نمونه‌های خاک پس از هواخشک شدن و عبور از الک دو میلی‌متری، به آزمایشگاه خاک‌شناسی دانشگاه جیرفت منتقل و میزان فسفر قابل دسترس با استفاده از بی‌کربنات سدیم ۰/۵ نرمال در pH برابر ۸/۵ (۲۶) عصاره‌گیری و میزان فسفر در عصاره با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل $T80^+$ تعیین

جدول ۱. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های استفاده شده برای کشت خیار

تیمار (mg/kg)	pH	EC (dS/m)	بافت	کربنات کلسیم معادل (٪)	کربن آلی (٪)	فسفر	آهن	مس	روی
						(mg/kg)			
۰-۲۰	۷/۷۵	۲/۶۶	لوم شنی	۱۵	۰/۵۷	۱۱	۴/۸۶	۱/۶۶	۳/۰۲
۲۰-۴۰	۷/۶۵	۲/۵۱	لوم	۱۲/۵	۰/۴۹	۲۸	۸/۸۸	۱/۴	۴/۴
۴۰-۶۰	۷/۵	۲/۴۶	لوم سیلتی	۱۴/۷۵	۰/۵	۵۱	۴/۹	۱/۶۶	۱۰/۴
۶۰-۸۰	۷/۲۲	۲/۷۵	لوم شنی	۱۱	۰/۵۴	۷۸	۶/۳۴	۱/۸۸	۱۲/۷
>۸۰	۷/۴۳	۲/۷۵	لوم شنی	۱۶/۷	۰/۵۶	۹۷/۱	۵/۵۴	۳/۰۸	۵/۴

گردید. سپس، پنج سطح مختلف فسفر [L1 (۰-۲۰)، L2 (۲۰-۴۰)، L3 (۴۰-۶۰)، L4 (۶۰-۸۰) و L5 (>۸۰) میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک] انتخاب و نمونه‌برداری مجدد از خاک‌های مورد نظر صورت پذیرفت.

تجزیه‌های معمول فیزیکی و شیمیایی خاک انجام گرفت که نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است. بافت خاک به روش هیدرومتری (۱۸)، مادهٔ آلی به روش والکلی و بلک (۳۱)، pH خاک در گل اشباع (۲۴)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع با هدایت‌سنج (۲۸) و کربنات کلسیم معادل به روش خنثی‌سازی با اسید (۱۳) اندازه‌گیری شد. همچنین آهن، روی و مس خاک با استفاده از DTPA-TEA استخراج (۲۱) و غلظت آن‌ها در عصاره توسط دستگاه طیف‌سنج جذب اتمی مدل Perkin Elmer, analyst 400 اندازه‌گیری شد.

آزمایش گلخانه‌ای، به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار، در گلخانه دانشگاه جیرفت اجرا گردید. تیمارهای مورد استفاده در این پژوهش، پنج سطح فسفر بومی خاک‌های منطقه [L1 (۰-۲۰)، L2 (۲۰-۴۰)، L3 (۴۰-۶۰)، L4 (۶۰-۸۰) و L5 (>۸۰) میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک] و نیز مصرف کود فسفری با دو سطح [P0 (عدم مصرف کود فسفره) و P1 (مصرف کود فسفره به میزان ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم از منبع سوپرفسفات تریپل)] بودند. سپس مقدار ۳ کیلوگرم خاک با فسفر بومی در گلدان‌های پلاستیکی ریخته شد و در هر سطح برای نیمی از گلدان‌ها کود فسفری (P1) اضافه گردید. سه عدد بذر خیار رقم رویال، که رقم رایج کشت در منطقه است، در عمق ۳ سانتی‌متری کشت شد. بر اساس نتایج آزمون خاک و جلوگیری از کمبود احتمالی عناصر ضروری مورد نیاز رشد، عناصر منگنز، مس، روی، آهن، پتاسیم و نیتروژن محاسبه و به تمامی گلدان‌ها اضافه گردید. در طول دورهٔ رشد، رطوبت خاک با آب مقطر در حد گنجایش زراعی حفظ گردید. پس از اتمام مرحله رشد، نمونه‌های گیاهی برداشت و به منظور تعیین وزن خشک و انجام سایر آزمایش‌ها نمونه‌های گیاهی پس از شست و شو با آب مقطر، در دمای ۷۰ درجه سلسیوس تا ثابت شدن وزن خشک قرار گرفتند. نمونه‌ها آسیاب و جهت هضم خشک یک گرم پودر گیاهی (برگ) به مدت ۴ ساعت در کوره الکتریکی قرار داده شد و به وسیله اسید کلریک ۲ نرمال عصاره‌گیری انجام گرفت. غلظت فسفر در گیاه به روش آمونیوم مولیبدات وانادات (۲۱) با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر و غلظت آهن، روی و مس در عصاره‌ی حاصل از هضم خشک به وسیله دستگاه طیف‌سنج جذب اتمی اندازه‌گیری شد. همچنین، جذب کل عناصر (ماده‌ی خشک × غلظت عنصر) نیز محاسبه و مورد تجزیهٔ آماری قرار گرفت.

برای انجام محاسبات آماری از نرم‌افزار MSTAT-C و SAS و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۱٪ صورت گرفت.

نتایج و بحث

وزن خشک

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که سطوح فسفر بومی و

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای آزمایشی بر ماده خشک و غلظت عناصر غذایی خیار

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		وزن خشک	فسفر	آهن	روی	مس
فسفر بومی	۴	۱۴۳/۲۸**	۰/۰۵۸۷**	۱۳۵۹۲/۲۲**	۱۹۸۸۹/۶۷**	۲۹۴/۰۳**
مصرف کود فسفری	۱	۱۶/۱۱**	۰/۰۰۴۵**	۲۷۲۰۴/۳۸**	۲۰۶۹/۵۲**	۵۰۳/۴۸**
فسفر بومی × مصرف کود	۴	۲۲/۰۵**	۰/۰۰۰۱۲ns	۲۲۹۵/۵۶**	۱۹۴/۵**	۲۲۰/۲۴**
CV (٪)		۱۲/۷۳	۳/۷۷	۵/۵۳	۳/۶۶	۷/۶۴

** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطوح ۱٪ و ۵٪ و بدون اختلاف معنی‌دار

جدول ۳. مقایسه میانگین اثرهای اصلی سطوح فسفر بومی و مصرف کود فسفره بر ماده‌ی خشک خیار و غلظت و جذب عناصر فسفر، آهن، روی و مس

صفت	کود فسفره		تیمار سطح فسفر				
	P0	P1	L1	L2	L3	L4	L5
وزن خشک (g/pot)	۹/۵۱b	۱۰/۹۵a	۵/۱۹ d	۸/۵۵ c	۱۸/۱۵a	۱۳/۲۳b	۵/۹۷ d
غلظت فسفر (g/kg)	۵/۹b	٦/۲a	۴/۷e	۵/۶d	٦c	٦/۷b	۷/۵a
غلظت آهن (µg/g)	۲۵۱a	۱۸۸b	۲۴۸a	۲۶۲a	۲۴۶a	۱۸۴b	۱۴۰c
غلظت روی (µg/g)	۹٦a	۸۰b	۱۸۰a	۹۶b	۸۴c	۴۹d	۳۱e
غلظت مس (µg/g)	۲٦/۹۳a	۱۸/۷۴b	۳۴/۸۵a	۲۳/۰۸b	۱۸/٦٦c	۱۷/۹۱c	۱۵/٦٦c
جذب فسفر (mg/pot)	۵۸/۴٦b	٦۸/۰٦a	۲۴/۸۲d	۴۸/۷۵c	۱۰۹/۹۳a	۸۹/۴۴b	۴۳/۵۴c
جذب آهن (mg/pot)	۲/۳۴a	۲/۱۹a	۱/۲۶c	۲/۲۲b	۴/۳۸a	۲/۱۳b	۱/۳۲c
جذب روی (mg/pot)	۰/۷۸a	۰/۸۴a	۰/۹۳b	۰/۸۱b	۱/۵a	۰/۵۷c	۰/۲۷d
جذب مس (mg/pot)	۰/۲۱a	۰/۱۸a	۰/۱۵b	۰/۱۸b	۰/۳۳a	۰/۱۸b	۰/۱۵b

میانگین‌های مربوط به هر صفت که حداقل دارای یک حرف لاتین مشترک هستند فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ می‌باشند.

مصرف کود فسفره تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ بر وزن خشک گیاه داشته و اثر متقابل سطوح فسفر و مصرف کود فسفره بر وزن خشک گیاه خیار نیز معنی‌دار گردید (جدول ۲). از طرفی، مقایسه میانگین سطوح فسفر نشان داد که بیشترین وزن خشک گیاه مربوط به سطح سه و کمترین آن مربوط به سطح یک بود. در مورد تیمار کود فسفره، بیشترین میزان وزن خشک گیاه مربوط به مصرف کود فسفره بود. به عبارتی، با مصرف کود فسفره، ۱۴/۶۱ درصد نسبت به عدم مصرف آن، افزایش وزن خشک اندازه‌گیری شد (جدول ۳). همچنین، در مورد اثر متقابل، بیشترین وزن خشک مربوط به سطح سه همراه با مصرف کود فسفره و کمترین آن مربوط به سطح یک و بدون مصرف کود بود (جدول ۴). با مصرف کود فسفره در سطوح متفاوت (از سطح یک تا سه) به ترتیب افزایشی برابر ۲۱/۶۵، ۶۱/۹۲ و ۴۳/۹۵ درصد و در سطوح چهار و پنج کاهشی برابر با ۱۵/۶۲ و ۲۴/۵۲ درصد در میزان وزن خشک مشاهده شد (جدول ۴). افزایش میزان فسفر بومی خاک تا سطح مشخصی سبب افزایش در میزان وزن خشک شد که به علت اهمیت تغذیه فسفر در خیار است. اما در مقادیر بیشتر، کاهش وزن خشک را به دنبال داشت. تحقیقات نشان داده که کاربرد فسفر در سطوح ۲۰۰ و ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار و آهن تا سطح ۲۰ کیلوگرم در هکتار، وزن خشک شاخساره را افزایش داده، اما کاربرد مقدار بیشتر فسفر، وزن خشک شاخساره را کاهش

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارها بر ماده‌ی خشک و غلظت و جذب عناصر فسفر، آهن، روی و مس

صفت	کود فسفره	سطح فسفر				
		L1	L2	L3	L4	L5
غلظت آهن (mg/kg)	P0	۲۹۷/۳a	۲۷۱/۷a	۲۷۷/۲a	۱۹۶c	۲۰۳c
	P1	۱۹۸/۷c	۲۵۳/۲ab	۲۱۶/۷bc	۱۷۲/۳c	۱۰۳d
غلظت روی (mg/kg)	P0	۱۹۷/۶۴a	۱۰۰/۸c	۸۱/۱۶cd	۴۴/۲۳e	۴۲/۶۶e
	P1	۱۶۳/۲b	۹۱/۲۶cd	۵۴/۵d	۴۲/۶۶e	۲۱/۱۰f
غلظت مس (mg/kg)	P0	۴۰/۶۶a	۲۵/۳۳b	۱۷b	۱۸b	۱۷/۸۳b
	P1	۲۰/۰۳b	۲۰/۸۳b	۱۷/۸۳b	۲۱/۵b	۱۷/۸۳b
وزن خشک (g/pot)	P0	۴/۷۱e	۶/۵۴de	۱۴/۸۸b	۱۲/۴۸bc	۹/۵۴cde
	P1	۵/۷۳de	۱۰/۵۹bcd	۲۱/۴۲a	۱۰/۵۳bcd	۷/۲de
جذب فسفر (mg/pot)	P0	۲۱/۴۸g	۳۵/۹۷fg	۸۹/۱۹bc	۹۹/۵۲b	۴۶/۱۳ef
	P1	۲۸/۱۶fg	۶۱/۱۷de	۱۳۰/۷a	۷۹/۳۶cd	۴۰/۹۶fg
جذب آهن (mg/pot)	P0	۱/۳۸de	۱/۷۷cd	۴/۱۴a	۲/۴۳bc	۱/۹۲bcd
	P1	۱/۱۴de	۲/۶۷b	۴/۶۲a	۱/۸cd	۰/۷۲d
جذب روی (mg/pot)	P0	۰/۹۳c	۰/۶۳d	۱/۲۹b	۰/۶۶d	۰/۳۹e
	P1	۰/۹۳c	۰/۹۶c	۱/۷۱a	۰/۴۵e	۰/۱۵f
جذب مس (mg/pot)	P0	۰/۲۳b	۰/۱۵cde	۰/۳a	۰/۲۱bc	۰/۲۰bc
	P1	۰/۰۹e	۰/۲۱bc	۰/۳۶a	۰/۱۸bcd	۰/۱۲de

میانگین‌های مربوط به هر صفت که دارای حداقل یک حرف مشترک لاتین هستند فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ ٪ هستند.

می‌دهد (۹). بیشنوی و همکاران (۱۶) گزارش کردند که کاربرد ۹۰ کیلوگرم فسفر در هکتار به طور معنی‌داری باعث افزایش عملکرد دانه و تعداد نیام در گیاه سویا شده است. رحیمی و رونقی (۳) طی بررسی خود روی اسفناج به این نتیجه رسیدند که کاربرد ۲۰، ۴۰ و ۸۰ میلی‌گرم فسفر، میانگین وزن خشک نسبت به شاهد به ترتیب ۱۰/۷، ۱۳/۸ و ۱۵/۴ برابر شده است. قنبری و کریمیان (۱۰) دریافتند 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.

غلظت و جذب عناصر

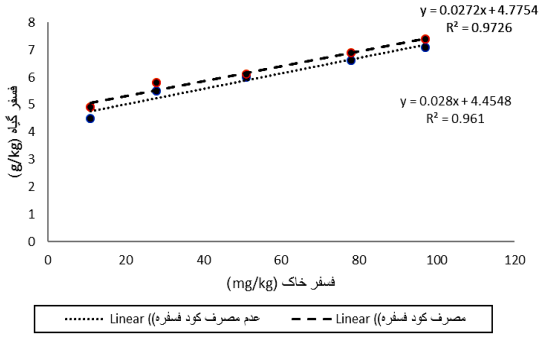
فسفر: نتایج تجزیه واریانس غلظت فسفر در برگ گیاه نشان داد که بین سطوح مختلف فسفر بومی و مصرف کود فسفره در سطح ۱٪ تفاوت معنی‌دار وجود داشت. اما اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار نگردید (جدول ۲). نتایج تجزیه واریانس جذب کل فسفر در گیاه خیار نشان داد که اثر سطوح فسفر بومی خاک و مصرف کود فسفره در سطح ۱٪ معنی‌دار بوده و اثر متقابل تیمارها نیز معنی‌دار گردید (جدول ۵). مقایسه میانگین غلظت فسفر در گیاه نشان داد که با افزایش سطح فسفر خاک، غلظت فسفر در گیاه روند افزایشی داشت، به طوری که بیشترین غلظت این عنصر مربوط به سطح پنج بود. همچنین، مقایسه میانگین تیمار کود فسفره نشان داد که بیشترین غلظت فسفر مربوط به زمانی است که کود فسفره مصرف شده است (جدول ۳).

شکل ۱، همبستگی سطح فسفر خاک و غلظت فسفر در گیاه را نشان می‌دهد که این دو عامل دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری می‌باشند. مقایسه میانگین سطوح فسفر حاکی از آن

جدول ۵. نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای آزمایشی بر جذب عناصر در برگ خیار

تیمار	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		فسفر	آهن	روی	مس
فسفر بومی	۴	۶۱۲۶/۳۹**	۹/۵۴۹**	۱/۲۹۶**	۰/۰۲۷**
مصرف کود فسفری	۱	۶۹۱/۸۳**	۰/۱۴۴ns	۰/۰۱۸ns	۰/۰۰۱ns
فسفر بومی×مصرف کود	۴	۸۵۲/۷۵**	۱/۰۶۲**	۰/۱۳۵**	۰/۰۰۹**
CV (٪)		۱۱/۹۳	۱۶/۲۴	۱۵/۹۸	۱۵/۸۱

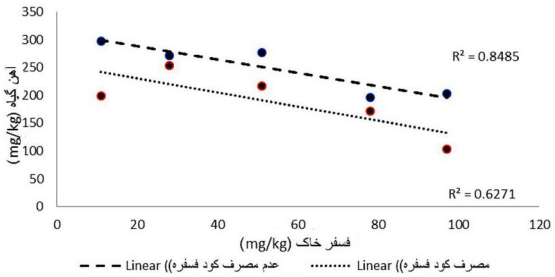
** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح ۱٪ و بدون اختلاف معنی‌دار



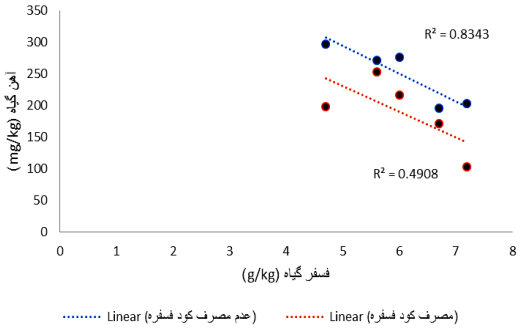
شکل ۱. همبستگی بین سطوح مختلف فسفر خاک و غلظت فسفر در گیاه

بود که با افزایش فسفر تا سطح سه، میزان جذب فسفر افزایش، و در سطوح چهار و پنج روندی کاهشی داشت. بیشترین جذب فسفر، مربوط به سطح سه بود که به نظر می‌رسد به علت تولید وزن خشک بیشتر در این سطح بوده است. تیمار کود فسفره، جذب فسفر را تحت تأثیر قرار داد و بیشترین جذب مربوط به تیمار مصرف کود فسفره بود (جدول ۳). با مصرف کود فسفره، جذب فسفر تا سطح سه به ترتیب ۳۱، ۷۰ و ۴۶ درصد افزایش و در سطوح چهار و پنج به ترتیب ۲۰ و ۱۱ درصد کاهش را در مقایسه با تیمار عدم مصرف کود نشان داد (جدول ۴). همسو با این نتایج، پتیپاس (۲۷) نیز نشان داد که با افزایش غلظت فسفر خاک، غلظت فسفر درگیاه هویج در دو مرحله ۴ و ۱۲ هفتگی بعد از سبز شدن افزایش داشته است. زاهدی‌فر و همکاران (۵) طی پژوهشی، تأثیر فسفر و روی را بررسی کردند. در پژوهش آنها، فسفر شامل سه سطح صفر، ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بود. آنها مشاهده کردند که بیشترین غلظت فسفر در سطح ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک به دست آمد. رحیمی و رونقی (۳) در آزمایش خود به این نتیجه رسیدند که با افزایش فسفر مصرفی، میانگین غلظت آن در اندام هوایی اسفناج زیاد شده است، به طوری که غلظت فسفر، از تیمار شاهد به سطح ۸۰ میلی‌گرم فسفر، از ۱۲۱۷/۲ به ۴۰۱۷/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم معادل ۲۳۰٪ افزایش داشته است.

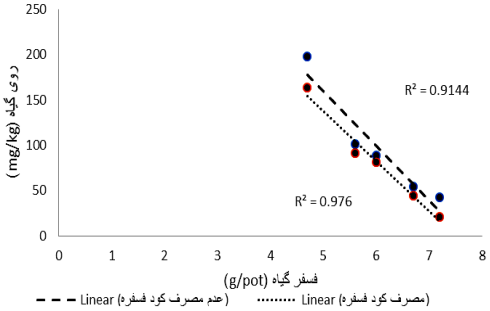
آهن: نتایج تجزیه واریانس غلظت آهن در برگ خیار نشان می‌دهد که اثرهای اصلی سطوح مختلف فسفر و مصرف کود فسفره بر غلظت آهن در گیاه در سطح ۱٪ معنی‌دار و همچنین اثر متقابل آن‌ها نیز معنی‌دار است (جدول ۲). نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد که اثر سطوح مختلف فسفر بومی در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار است. اما با مصرف کود فسفره، جذب آهن معنی‌دار نگردید. اثر متقابل تیمارها نیز در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار گردید (جدول ۵). از طرفی، مقایسه میانگین سطوح مختلف فسفر حاکی از آن بود که با افزایش سطح فسفر خاک، غلظت آهن در برگ روند کاهشی داشت، به طوری که کمترین غلظت آهن مربوط به سطح پنج بود. در مورد تیمار کود فسفره، بیشترین غلظت آهن مربوط به تیمار عدم مصرف کود فسفره بود و با مصرف کود فسفره غلظت آهن در گیاه نسبت به عدم مصرف آن ۲۵٪ کاهش نشان داد (جدول ۳). با افزایش سطح فسفر تا سطح سه، میزان جذب آهن افزایش، و در سطوح چهار و پنج روندی کاهشی را در پی داشت که این تغییرات احتمالاً به علت تغییراتی است که در میزان ماده خشک گیاه ایجاد شده است (جدول ۳). مصرف کود فسفره تا سطح سه، افزایش جذب و در سطوح چهار و پنج کاهش جذب آهن را در پی داشت (جدول ۴).



شکل ۲. همبستگی غلظت فسفر خاک و غلظت آهن در گیاه



شکل ۳. همبستگی غلظت فسفر و آهن در گیاه

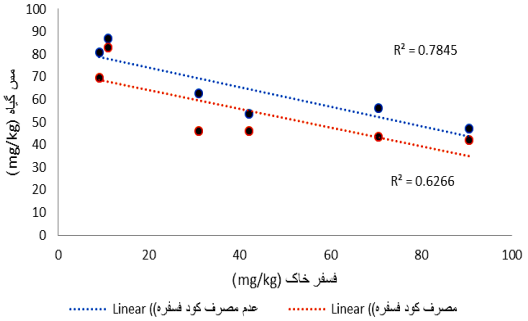


شکل ۵. همبستگی غلظت فسفر گیاه و غلظت روی در گیاه

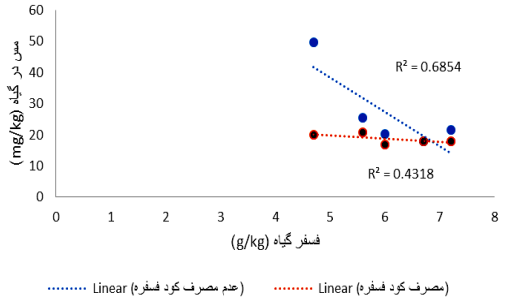
شکل ۲، همبستگی غلظت فسفر خاک و غلظت آهن گیاه و شکل ۳ همبستگی غلظت فسفر گیاه و غلظت آهن گیاه را نشان می‌دهند. هم‌راستا با این نتایج، قرشی و همکاران (۹) گزارش کردند که کاربرد فسفر به گونه‌ای معنی‌دار سبب کاهش غلظت آهن در ذرت شده است که می‌تواند نتیجه کاهش انتقال آهن از ریشه به شاخساره گیاه باشد. کاهش غلظت آهن در سورگوم، در اثر کاربرد فسفر، به دلیل تأثیر منفی فسفر بر مکانیسم جذب آهن توسط گیاه می‌باشد (۱۶). چاند و همکاران (۱۹) گزارش کردند که کاربرد ۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم فسفر، جذب آهن در سورگوم علوفه‌ای را کاهش داد. میل ترکیبی زیاد Fe^{3+} و $H_2PO_4^-$ به خوبی شناخته شده است و از این رو رسوب فسفات آهن در شرایط مساعد رخ می‌دهد. بنابراین، فسفات در جذب آهن و در انتقال درونی آهن دخالت می‌کند (۳۰).

روی: نتایج تجزیه واریانس غلظت روی در برگ نشان داد که اثرهای سطوح فسفر بومی و مصرف کود فسفره بر غلظت روی در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار است. همچنین، اثر متقابل تیمارها نیز در سطح ۱٪ معنی‌دار می‌باشد (جدول ۲). اثر سطوح مختلف فسفر بومی بر جذب روی در گیاه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار گردید. اما اثر مصرف کود فسفره معنی‌دار نگردید. از طرفی، اثر متقابل تیمارها معنی‌دار گردید (جدول ۵). اثر سطوح مختلف فسفر بر غلظت روی در برگ روندی کاهش داشت. مقایسه میانگین سطوح حاکی از آن بود که بیشترین غلظت روی مربوط به سطح یک بود. از طرفی، در تیمار کود فسفره، بیشترین غلظت مربوط به عدم مصرف کود فسفره بود. به صورتی که با مصرف کود فسفره، غلظت روی نسبت به عدم مصرف آن ۱۶٪ کاهش نشان داد (جدول ۳). شکل ۴، همبستگی منفی سطوح فسفر خاک و غلظت روی را در گیاه خیار و شکل ۵، همبستگی منفی غلظت فسفر و روی در گیاه را نشان می‌دهند. در صورت استفاده بیش از حد از کودهای فسفاته، مشخص شده که فسفر به همراه آهن و روی در خاک ایجاد ترکیبات نامحلول می‌کند و باعث کاهش غلظت قابل دسترس این عناصر در خاک می‌شود (۲۲). لی و همکاران (۲۳) گزارش کردند که در گیاه جو، با افزایش فسفر مصرفی، غلظت روی به طور معنی‌داری کاهش یافت.

مس: نتایج تجزیه واریانس غلظت مس در برگ نشان داد که اثرهای اصلی سطوح مختلف فسفر و مصرف کود فسفره بر غلظت مس در برگ گیاه در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. همچنین، اثر متقابل تیمارهای مذکور نیز معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج تجزیه واریانس جذب مس، معنی‌دار بودن اثر سطوح فسفر بومی را بر جذب مس در سطح احتمال ۱٪ نشان داد. اما اثر



شکل ۶. همبستگی غلظت فسفر خاک و غلظت مس در گیاه



شکل ۷. همبستگی غلظت فسفر و مس در گیاه

مصرف کود فسفره بر جذب مس معنی‌دار نگردید. از طرفی، اثر متقابل تیمارها معنی‌دار گردید (جدول ۵). مقایسه میانگین سطوح فسفر نشان داد که کمترین غلظت مس در برگ مربوط به سطح پنج و بیشترین آن مربوط به سطح یک بود. در مورد مصرف کود فسفره، بیشترین غلظت مس مربوط به تیمار عدم مصرف کود فسفره بود و با مصرف کود فسفره، غلظت مس در گیاه ۳۰/۴۱ درصد کاهش نشان داد (جدول ۳). در رابطه با اثر متقابل دو تیمار، کمترین غلظت مس در برگ مربوط به سطح پنج و همراه با مصرف کود فسفر بود (جدول ۴). با مصرف کود فسفره، تا سطح سه افزایش جذب مس مشاهده شد، اما در سطوح بیشتر جذب مس روندی کاهشی داشت. با مصرف کود فسفره، جذب مس ۱۴٪ کاهش را نشان داد (جدول ۳). با مصرف کود فسفره در سطوح ابتدایی، صرف‌نظر از سطح یک، جذب مس افزایش و در سطوح چهار و پنج کاهش جذب مس را به دنبال داشت (جدول ۴). شکل ۶، همبستگی غلظت فسفر خاک و غلظت مس گیاه و شکل ۷، همبستگی غلظت فسفر گیاه و غلظت مس گیاه را نشان می‌دهند. مصرف بی‌رویه‌ی کودهای فسفردار موجب کاهش جذب، انتقال و متابولیسم بعضی از عناصر کم‌مصرف، از جمله آهن، می‌شود و در نهایت اثر نامطلوبی روی رشد گیاه دارد (۱۱). سنایی و همکاران (۶) طی پژوهش خود روی خیار گلخانه‌ای، مهمترین دلیل کمبود عناصر کم‌مصرف در خیار را مدیریت تغذیه‌ای نامناسب و کاربرد زیاد کودهای فسفاته دانسته‌اند. مصرف بیش از حد کود فسفره، بر هم خوردن تعادل عناصر غذایی، ایجاد اختلال در جذب عناصر کم‌مصرف و حتی آلودگی‌های زیست‌محیطی و کاهش کیفیت تغذیه‌ای محصول را به دنبال دارد (۸). رونقی و همکاران (۴) گزارش کردند که مصرف فسفر تأثیری بر غلظت مس در گیاه ندارد.

نتیجه‌گیری

نتایج این آزمایش نشان داد که افزایش فسفر در خاک سبب افزایش غلظت فسفر در گیاه می‌گردد که این افزایش غلظت تا سطح سه (۵۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) فسفر سبب افزایش در میزان ماده‌ی خشک گردید و سطح دو (۲۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بیشترین پاسخ را به مصرف کود فسفره نشان داد که از لحاظ اقتصادی مصرف کود در این سطح به صرفه‌تر است. اما در سطوح بیشتر باعث کاهش در میزان مادهٔ خشک گردید. سطوح متفاوت فسفر و مصرف کود فسفره در هر سطح، غلظت آهن، روی و مس را تحت تأثیر قرار داده و افزایش سطح فسفر و مصرف کود فسفره در اکثر سطوح سبب کاهش غلظت عناصر مذکور گردید. با توجه به نتایج این آزمایش، مشاهده گردید که مصرف کود فسفره تنها در خاک‌هایی که فسفر قابل استفاده کمی دارند سبب افزایش وزن خشک می‌شود. اما در خاک‌هایی که فسفر بومی آن‌ها زیاد است نه تنها افزایش عملکردی حاصل نمی‌شود، بلکه به علت اختلالاتی که در جذب عناصر کم‌مصرف ایجاد می‌کند سبب کاهش عملکرد می‌گردد. بنابراین، پیشنهاد می‌شود برای مصرف بهینه کود و

کارایی مناسب استفاده از آن، قبل از مصرف هر گونه کود در خاک، آزمایش خاک صورت گیرد و برنامه کوددهی مطابق با نیاز گیاه و طبق توصیه متخصصین انجام گیرد. با توجه به تفاوت شرایط مزرعه و گلخانه، پیشنهاد می‌گردد قبل از هر گونه توصیه کودی، این آزمایش در شرایط مزرعه نیز انجام پذیرد.

منابع مورد استفاده

۱. بی‌نام، ۱۳۸۸–۱۳۸۹. آمارنامه کشاورزی. جلد اول، محصولات زراعی، دفتر آمار و فن‌آوری اطلاعات، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصاد، وزارت جهاد کشاورزی.

۲. حاجب، س.، ن. برومند و ص. سنجری. ۱۳۹۳. پایش تغییرات فسفر در کاربری‌های مختلف واقع در دشت جیرفت. اولین همایش ملی مباحث نوین در کشاورزی.

۳. رحیمی، ط. و ع. رونقی. ۱۳۹۱. اثر کاربرد فسفر بر کاهش سمیت کادمیم در گیاه اسفناج در یک خاک آهکی. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی (علوم آب و خاک) ۱۶(۵۹): ۷۵–۸۵.

۴. رونقی، ع.، ا. ادهمی و ن. کریمیان. ۱۳۸۱. تأثیر فسفر و روی بر رشد و ترکیب شیمیایی ذرت. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۶(۱): ۱۰۵–۱۱۸.

۵. زاهدی‌فر، م.، ن. کریمیان، ع. رونقی، ج. یثربی و ی. امام. ۱۳۹۰. توزیع فسفر و روی در اندام‌ها و در مراحل مختلف رشد گندم در مزرعه. نشریه آب و خاک ۲۵(۳): ۴۳۶–۴۴۵.

۶. سنایی استوار، آ.، ا. ح. خوش‌گفتارمنش و م. ه. میرزاپور. ۱۳۸۹. برخی ویژگی‌های کیفی و وضعیت تغذیه‌ای خیار گلخانه‌ای در استان قم. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی (علوم آب و خاک) ۱۴(۵۴): ۱۲۳–۱۳۳.

۷. طهرانی، م. م. و م. سینگ ساچدیو. ۱۳۸۴. تأثیر روی، نیتروژن و فسفر در جذب عناصر غذایی در تناوب گندم- ذرت. مجموعه مقالات نهمین کنگره علوم خاک ایران. کرج، ایران.

۸. عقیلی، ف.، ا. ح. خوش‌گفتارمنش، م. افیونی، م. مبلی، م. پیرزاده و آ. استوار. ۱۳۸۹. وضعیت تغذیه‌ای خیار و فلفل دلمه‌ای گلخانه‌ای در استان اصفهان. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ۱(۴): ۳۵–۴۲.

۹. قرشی، ل.، غ. ح. حق‌نیا، ا. لکزیان و ر. خراسانی. ۱۳۹۱. تأثیر فسفر و ماده‌ی آلی بر فراهمی و جذب آهن توسط ذرت. نشریه بوم‌شناسی کشاورزی ۴(۱): ۱۲–۱۹.

۱۰. قنبری، ع. و ن. کریمیان. 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 ۳(۴): ۴۱–۵۶.

۱۱. کریمیان، ن. ۱۳۷۷. پیامدهای زیاده‌روی در مصرف کودهای شیمیایی فسفری. مجله خاک و آب ۱۲(۴): ۱–۱۵.

۱۲. ملکوتی، م. ج. و م .م. طهرانی. ۱۳۷۸. نقش کم‌مصرف‌ها در افزایش عملکرد در بهبود کیفیت محصولات کشاورزی، عناصر خرد با تأثیر کلان. انتشارت دانشگاه تربیت مدرس.

13. Allison, L.E. and C.D. Moodie. 1965. Carbonate. PP. 1379-1396. *In:* Black, C.A. (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 2, Monograph No. 9, ASA, Madison, WI.
14. Barker, A. and D. Pilbeam. 2007. Plant Nutrition. CRC Press, New York.
15. Bennett, W.F. 1996. Plant nutrient utilization and diagnostic plant symptoms. PP. 1-7. *In:* Bennett, W.F. (Ed.), Nutrient Deficiencies and Toxicities in Crop Plants, APS Press.
16. Bishnoi, U.R., G. Kaur and M.H. Khan. 2007. Calcium, phosphorus, and harvest stages effects soybean seed production and quality. J. Plant Nutr. 30: 2119-2127.

17. Biswas, T.D. and S.K. Mukherjee. 1991. Textbook of Soil Science. Tata McGraw-Hill Publishing, Co., Ltd., New Delhi.
18. Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil. Agron. J. 54: 464-465.
19. Chand, K., M.L. Dixit and V.K. Gupta. 1995. Influence of phosphorus fertilization on Fe and Zn in forage sorghum. J. Ann. Arid Zone 34(4): 313-315.
20. FAOSTAT data. 2010. Agricultural Production. Last updated February 2010, FAO, Rome, Italy.
21. 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.
22. Lindsay, W.L. 1991. Inorganic equilibria affecting micronutrients in soils. PP. 89-112. *In:* Mortvedt, J.J., F.R. Cox, I.M. Schuman and R.M. Welch (Eds.), Micronutrients in Agriculture, SSSA, Madison, WI.
23. Li, H.Y., Y.G. Zhu, S.E. Smith and F.A. Smith. 2003. Phosphorus-zinc interactions in two barley cultivars differing in phosphorus and zinc efficiencies. J. Plant Nutr. 26: 1085-1099.
24. Mclean, E.O. 1982. Soil pH and lime requirement. PP. 199-223. *In:* Page, A.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties, 2nd Ed., ASA and SSSA, Madison, WI.
25. Marschner, H. 2002. Mineral Nutrition of Higher Plants. Elsevier Science Ltd., pp.158-164.
26. Olsen, S.R., V. Cloe, F.S. Watanabe and L.A. Pean. 1954. Estimation of available phosphorous in soil by extraction with sodium bicarbonate. USDA.
27. Pettipas, F.C. 2004. Soil and plant nutrient relationships in processing carrots. MSc. Thesis, Nova Scotia Agricultural College, Truro, Nova Scotia.
28. Roades, J.D. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. PP. 417-435. *In:* Sparks, R.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Methods, SSSA, Madison, WI.
29. üzel, Y., A. Gül, M.K. Meric, O. Yavuz, R.Z. Eltez and I.H. Tüzel. 2000. Comparison of open and closed systems on yield, water and nutrient consumption and their environmental impact. Acta Hort. 554: 221-228.
30. USEPA. 2003. Ecological soil screening level for iron. Washington, DC, Available at: http://www.epa.gov/ecotox/ecossl.
31. Walkley, A. and T.A. Black. 1934. An examination of Deglijareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the choromic acid titration method. Soil Sci. 37: 29-38.
32. Welch, M. 2003. Farming for nutritious foods: Agricultural technologies for improved human health. IFA-FAO Agricultural Conference, Rome, Italy.