

تعیین حد بحرانی فسفر خاک برای لوبیا

محمدعلی خودشناس¹، جواد قدبیک لو و مسعود دادپور

عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی: khodshenasm@gmail.com

عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اراک، ایران:

ghadbykloo@gmail.com

عضو هیأت علمی بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و

ترویج کشاورزی، مشهد، ایران: dadivarm@yahoo.com

دریافت: 97/6/13 و پذیرش: 97/12/18

چکیده

آزمون خاک نقش بسیار مهمی در مدیریت عناصر غذایی در فرایند تولید محصولات کشاورزی دارد. تفسیر نتایج آزمون خاک نیازمند تعیین حدود بحرانی عناصر غذایی در خاک‌های یک منطقه بوده و برای مناطق کشاورزی دیگر قابل استفاده نیست یا از دقت پائینی برخوردار است، لذا حد بحرانی بایستی در شرایط خاک‌های منطقه مورد نظر تعیین و منظور شود تا آزمون خاک برای هر عنصر بتواند مبنای توصیه کودی قرار گیرد. لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) با دارا بودن پروتئین بالا از محصولات مهم کشاورزی است که در استان مرکزی کشت می‌شود. با توجه به ضرورت تعیین معیار منطقه‌ای حد بحرانی، برای تفسیر نتایج آزمون فسفر در خاک‌های تحت کشت لوبیا و کمبود اطلاعات در این زمینه در استان مرکزی، این تحقیق انجام شد. 23 نمونه خاک سطحی (0-30 سانتیمتر) با دامنه وسیع از نظر غلظت فسفر قابل استفاده و همچنین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی از میان تعدادی از خاک‌های نمونه برداری شده مزارع استان انتخاب و پس از آماده‌سازی در گلخانه، لوبیا در آن‌ها کشت گردید. برای بررسی واکنش گیاه لوبیا نسبت به مصرف کود فسفر از دو سطح صفر و 50 میلی‌گرم فسفر خالص در کیلوگرم خاک از منبع منو کلسیم فسفات در این آزمایش استفاده گردید. آزمایش گلخانه‌ای در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار به اجرا درآمد. پس از اتمام دوره رویشی، گیاهان برداشت شد و پاسخ‌های گیاهی شامل، وزن ماده خشک، غلظت و جذب کل فسفر و رشد نسبی تعیین شد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی و بر همکنش خاک و کود فسفر، در سطح احتمال یک درصد بر روی وزن ماده خشک، غلظت و جذب کل فسفر معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین مصرف کود اثر معنی‌داری بر پاسخ های گیاهی نشان داد. با استفاده از روش تصویری کیت و نلسون حد بحرانی فسفر (با روش اولسن) 13 میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک به دست آمد. وزن ماده خشک با مقدار فسفر قابل استفاده و کربن آلی خاک همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. جذب کل فسفر گیاه با فسفر قابل استفاده ($r = 0/554^{**}$)، قابلیت هدایت الکتریکی ($r = 0/505^{**}$)، شن ($r = 0/413^{**}$) و کربن آلی خاک ($r = 0/620^{**}$) همبستگی مثبت و معنی‌دار و با رس همبستگی منفی و معنی‌داری ($r = -0/448^{**}$) داشت.

واژه‌های کلیدی: آزمون خاک، واسنجی، توصیه کود

¹ نویسنده مسئول، آدرس: مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اراک، ایران.

مقدمه

آزمون خاک در مورد هر عنصر (عناصر کم‌تحرک در خاک) قبل از اینکه یک تجزیه شیمیایی ساده در نظر گرفته شود می‌بایست مبتنی بر اصول صحیح تهیه و جمع‌آوری نمونه‌های خاک، تجزیه دقیق آزمایشگاهی، و تفسیر نتایج تجزیه باشد تا بتواند در ارائه و توصیه‌های مناسب با توجه به عوامل اقلیمی، اقتصادی و مدیریت مزرعه مورد استفاده قرار گیرد. گام اول در این راستا تقسیم نمودن جامعه خاک‌ها به بخش پاسخ‌دهنده یا بی‌پاسخ به مصرف کود است که همان هدف اصلی واسنجی محسوب می‌شود و بر پایه تعیین حد بحرانی غلظت عنصر در خاک استوار است، بنابراین قبل از هرگونه توصیه کودی می‌بایست از مقدار حد بحرانی عناصر در هر منطقه اطلاع کافی داشت (خودشناس و همکاران، 1396؛ موسسه تحقیقات خاک و آب، 1379).

گسترش اقتصادی سطح زیر کشت محصولات می‌بایست بر اساس برنامه صحیح کود دهی مبتنی بر آزمون خاک استوار باشد. معمولاً حد بحرانی، غلظتی از عنصر در خاک در نظر گرفته می‌شود که در مقادیر کمتر از آن احتمال پاسخ گیاه به مصرف کود افزایش می‌یابد. غلظت عناصر به عوامل مختلفی در خاک بستگی دارد چنانچه در مورد فسفر می‌توان گفت که در اکوسیستم‌های طبیعی قابلیت استفاده فسفر توسط مکانیزم‌های جذب، واجذب، رسوب فسفر آزادشده در طی مراحل هوازگی و حلالیت سنگ‌ها و کانی‌های با حلالیت پائین کنترل می‌شود (سیمز، 2000؛ تیسدل و همکاران، 1985).

غلظت فسفر با نوع مواد مادری، فرایندهای پدو ژنتیکی، بافت خاک، عوامل مدیریتی نظیر سطح و نوع فسفر بکار برده شده و نیز مدیریت زراعی و عوامل دیگر تغییر می‌یابد؛ بنابراین به‌واسطه وجود تنوع در خاک‌ها و اقلیم مناطق مختلف، ضرورت منطقه‌ای بودن آزمون خاک آشکار می‌گردد (شارپلی، 2000؛ رشید و همکاران، 1999).

بقولات مهم‌ترین منبع پروتئین‌ها هستند. حدود 50 درصد بقولات دانه‌ای در سطح جهان، که مستقیم مورد استفاده انسان قرار می‌گیرد لوبیای معمولی است (بارگاز و همکاران، 2012).

توانایی جذب فسفر از محیط‌های با کمبود فسفر بسته به ژنوتیپ گیاه لوبیا متفاوت است. افزایش رشد ریشه، اصلاح ساختار، تغییر در زاویه رشد ریشه و تولید ریشه نابجا از صفاتی هستند که برای سازگاری در شرایط محدودیت فسفر ضروری است (عبدی و همکاران،

2014؛ حمصی و همکاران، 2015؛ کوکی و همکاران، 2016؛ موریس و تیفون، 2012).

بهبود تغذیه فسفر برای بقولات در شرایط کمبود فسفر معمولاً از مکانیسم‌های، افزایش جذب فسفر توسط ریشه و افزایش مصرف فسفر از طریق مکانیسم‌های داخلی همراه باقابلیت نگهداری فسفر جذب‌شده در سطح سلولی پیروی می‌کند (بارگاز و همکاران، 2012).

در مطالعه‌ای در خاک‌های ایالت داکوتای شمالی و در مناطق مختلف آن، حد بحرانی فسفر از 8 تا 11 میلی‌گرم در کیلوگرم با روش عصاره‌گیری اولسن جهت رقم‌های لوبیای خوراکی گزارش شد (فرانزن و مورگان، 1995).

در مورد تعیین حد بحرانی فسفر در خاک‌های زیر کشت لوبیا در کشور تاکنون مطالعه‌ای صورت نگرفته است، اما مقادیر متفاوتی از حدود بحرانی عناصر غذایی در خاک‌های لوبیا کاری در مناطق مختلف دنیا گزارش شده است که ناشی از تفاوت در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها و نوع عصاره گیر بکار رفته می‌باشد (واتام و همکاران، 2018؛ برمن و همکاران، 2001؛ چانکوئین و همکاران، 1997؛ فاگریا، 2001؛ لینزی و نورول، 1978؛ ملکوتی و غیبی، 1379؛ مکنزی و همکاران، 2001؛ رهم و همکاران، 1997).

آتوکایام و همکاران (2018) با مطالعه بر روی 20 نمونه خاک اسیدی در هند نشان دادند که حد بحرانی فسفر به روش عصاره‌گیری شیمیایی بستگی دارد همچنین آنان عنوان نمودند که روش بری بیشترین همبستگی را با پاسخ‌های گیاهی نشان داد. ایودل و آگولا (1982) در مطالعه تعدادی از خاک‌های زیر کشت لوبیا در نیجریه، حد بحرانی فسفر با روش بری را 12/7 میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک گزارش نمودند. مطالعات رشید و همکاران (1999) در خاک‌های قلیایی پاکستان با ماده آلی پائین نشان داد که مصرف فسفر سبب افزایش غلظت این عنصر در اندام هوایی گیاه لوبیا گردید. همچنین آنان حد بحرانی فسفر را با عصاره‌گیرهای اولسن، سلطانپور و مهلیچ 3 به ترتیب 9، 7 و 23 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک گزارش نمودند. بلای لاک (1995) در مطالعه‌ای که در خاک‌های آهکی با ماده آلی پائین زیر کشت لوبیا انجام داد، حد بحرانی فسفر را در خاک‌های بافت شنی 6، بافت متوسط 14 و بافت سنگین 22 میلی‌گرم در کیلوگرم با روش عصاره‌گیری اولسن تعیین نمود. مارکس و همکاران (1999) در تحقیقی نشان داد عوامل دما، فشردگی خاک، رطوبت، تهویه، پ-هاش، نوع و مقدار کانی‌های رسی و وضعیت سایر عناصر غذایی بر قابلیت استفاده فسفر خاک مؤثر است. او همچنین نشان داد که روش عصاره‌گیری

تعداد 6 عدد بذر لوبیاچیتی رقم محلی خمین در گلدان‌ها کشت شد. در پایان هفته دوم 3 دانه رست یکنواخت نگهداری گردید. رطوبت گلدان‌ها در طول آزمایش در حد ظرفیت زراعی نگهداری شد. پس از اتمام مرحله رویشی و آغاز ورود گیاهان به فاز زایشی قسمت هوایی لوبیا برداشت و به آزمایشگاه منتقل شد؛ و پس از شستشوی نمونه‌های گیاهی با آب مقطر، در آون 70 درجه سلسیوس خشک گردید. پس از تعیین وزن ماده خشک، نمونه‌ها آسیاب و پس از هضم خشک (Dry Ashing) غلظت فسفر نمونه‌های گیاه با روش رنگ سنجی آمونیوم وانادات (کمپیل و پلانک، 1998) و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر ویزیل مدل فارمسیا (Pharmecia) اندازه‌گیری شد. سپس جذب کل فسفر (حاصل‌ضرب وزن ماده خشک در غلظت فسفر) در هر گلدان و عملکرد نسبی (نسبت وزن ماده خشک تولیدی در تیمار شاهد به وزن ماده خشک تولیدی در تیمار کود خورده) در هر خاک و حد بحرانی فسفر با استفاده از روش تصویری کیت نلسون (کیت و نلسون، 1971) تعیین شد. همچنین پاسخ گیاه لوبیا نسبت به مصرف فسفر و نیز در ارتباط با خصوصیات خاک‌ها توسط نرم‌افزارهای Mstatc و Excel مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

نتایج و بحث

خصوصیات خاک‌های مورد استفاده

خصوصیات خاک‌های مورد مطالعه در این آزمایش در جدول 2 نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که دامنه تغییرات میزان فسفر قابل استفاده در خاک از 1/8 تا 36/7 با میانگین 12/4 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک متغیر است. دامنه تغییرات برای کربنات کلسیم معادل از 7/5 تا 47 درصد، ظرفیت تبادل کاتیونی از 11/2 تا 27/6 درصد، قابلیت هدایت الکتریکی از 0/38 تا 1/19 دسی‌زیمنس بر متر، پ-هاش از 7/7 تا 8/1، مقدار رس از 14/3 تا 50/3 درصد و مقدار کربن آلی از 0/32 تا 1/56 درصد در نوسان بوده است. خودشناس و دادیور (1384) در مطالعه پراکنش وضعیت عناصر غذایی در خاک‌های زیر کشت لوبیا در استان مرکزی (250 مزرعه) نشان دادند که 52/2 درصد خاک‌ها دارای غلظت فسفر قابل استفاده به روش اولسن کمتر از 10، 32 درصد بین 10 تا 20 و 15 درصد بیش از 20 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک فسفر دارند. آنان میانگین فسفر قابل استفاده را 12/9 میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک گزارش نمودند.

اولسن در دامنه وسیعی از خاک‌ها کاربرد داشته و حد بحرانی با این روش حداقل 10 میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک می‌باشد.

مواد و روش

نمونه‌برداری اولیه از تعداد زیادی خاک‌های مزارع تحت کشت لوبیا و از عمق 0-30 سانتیمتری صورت گرفت. پس از خشک نمودن نمونه‌ها در معرض هوا و عبور از الک 2 میلی‌متری، مقدار فسفر قابل استفاده در خاک‌ها بر اساس روش اولسن (اولسن و همکاران، 1954) تعیین و از بین آن‌ها تعداد 23 نمونه جهت مطالعه حد بحرانی فسفر که حاوی مقادیر مختلف عنصر مورد مطالعه بودند انتخاب گردید. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های انتخابی از قبیل بافت به روش هیدرومتر (بایکوس، 1962)، پ-هاش گل اشباع با الکتروود شیشه‌ای (پیچ، 1965)، درصد کربنات کلسیم معادل با استفاده از اسید هیدروکلریک (آلیسون و مود، 1965)، درصد ماده آلی به روش تیتراسیون (واکلی و بلاک، 1934)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش استات سدیم (چاپمن، 1965)، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع (رودز، 1996) تعیین و در جدول 1 منعکس گردیده است.

جهت انجام آزمایش گلخانه‌ای، مقدار دو کیلوگرم از خاک‌های انتخاب شده داخل کیسه‌های پلاستیکی ریخته شد جهت بررسی تأثیر فسفر بر وزن ماده خشک، غلظت و جذب کل فسفر و رشد نسبی لوبیا از دو سطح 0 و 50 میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک از منبع منو کلسیم فسفات استفاده شد. در این آزمایش نیتروژن به میزان 150 میلی‌گرم در کیلوگرم به صورت اوره در دو نوبت (75 میلی‌گرم قبل از کاشت و 75 میلی‌گرم دو هفته بعد از کاشت) در تمام خاک‌ها مصرف گردید. پتاسیم، منگنز، آهن، مس و روی به ترتیب به مقدار 100، 5، 5 و 5 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک اضافه گردید. پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم (K_2SO_4)، منگنز از منبع سولفات منگنز ($MnSO_4 \cdot H_2O$)، آهن از منبع سولفات آهن ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$)، مس از منبع سولفات مس ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) و روی از منبع سولفات روی ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$) تهیه و به گلدان‌ها اضافه شد (قنبری و همکاران، 1378؛ میرزاوند و مفتون، 1378). تمام عناصر غذایی به صورت محلول به خاک اضافه گردید. پس از رساندن رطوبت خاک به حدود 70-80 درصد ظرفیت مزرعه‌ای، خاک درون هر کیسه پلاستیکی کاملاً مخلوط شده به داخل گلدان ریخته شد. آزمایش‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار به اجرا درآمد.

جدول 1- ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

شماره خاک	فسفر قابل استفاده (میلی گرم بر کیلوگرم)	کربنات کلسیم معادل (%)	ظرفیت تبادل کاتیونی (سانتی مول بر کیلوگرم)	قابلیت هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	پ-هانش	رس (%)	سیلت (%)	شن (%)	بافت	کربن آلی (%)
1	1/8	18/5	18/1	0/51	7/9	42/3	25/4	28/3	رسی	0/54
2	4/1	29	20/5	0/55	7/9	36/3	27/4	36/3	لوم رسی	0/57
3	4/5	37	13/5	0/68	7/9	32/3	33/4	34/3	لوم رسی	0/45
4	5/7	19	27/6	0/43	7/8	44/3	31/4	24/3	رسی	0/61
5	6/5	24	19/2	0/38	7/9	50/3	25/4	24/3	رسی	0/32
6	6/9	27	25	0/38	7/8	44/3	29/4	26/3	رسی	0/75
7	7/8	7/5	24/2	0/50	7/7	38/3	33/4	28/3	لوم رسی	0/68
8	8/2	28	20	0/53	7/7	30/3	43/4	26/3	لوم رسی	0/55
9	8/6	32	21/6	0/56	8/0	48/3	29/4	22/3	رسی	0/47
10	9/2	34	27/5	0/47	7/9	48/3	31/4	20/3	رسی	0/52
11	9/4	26/5	25/1	0/52	7/9	50/3	11/4	38/3	رسی	0/63
12	9/7	18	24/9	0/88	8/0	36/3	25/4	38/3	لوم رسی	0/72
13	10	46/5	18/6	0/45	8/1	42/3	31/4	26/3	رسی	0/66
14	10/8	31/5	19/9	0/51	7/9	40/3	31/4	28/3	لوم رسی	0/54
15	11/6	32	23	0/46	7/9	38/3	37/4	24/3	لوم رسی	0/68
16	11/8	31/5	19/9	0/51	7/9	40/3	31/4	28/3	لوم رسی	0/54
17	12/1	15/5	22/7	0/47	7/9	36/3	31/4	32/3	لوم رسی	0/88
18	13/3	31/5	17/9	0/55	8/0	32/3	39/4	28/3	لوم رسی	0/75
19	15/8	33/5	11/2	1/19	7/8	14/3	45/4	40/3	لوم	1/09
20	20	47	23/5	0/53	7/8	44/3	33/4	22/3	رسی	0/84
21	24/5	35	24/4	0/45	7/9	44/3	35/4	20/3	رسی	0/75
22	36/4	36/5	13/5	0/88	8/0	26/3	39/4	34/3	لوم	1/09
23	36/7	38	15/1	1/03	7/7	32/3	39/4	28/3	لوم رسی	1/56

جدول 2 - شاخص‌های آمار توصیفی ویژگی‌های خاک‌های مورد مطالعه

شاخص‌های آماری	فسفر قابل استفاده (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	کربنات کلسیم معادل (%)	ظرفیت تبادل کاتیونی (سانتی مول بر کیلوگرم)	قابلیت هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	پ-هانس	رس (%)	سیلت (%)	شن (%)	کربن آلی (%)
میانگین	12/4	29/5	20/7	0/58	7/9	38/8	32/3	28/7	0/70
نما	9/7	31/5	20/5	0/51	7/9	40/3	31/4	28/3	0/66
انحراف استاندارد	9/1	9/4	4/5	0/21	0/10	8/4	7/1	5/8	0/26
حدود اطمینان %5	3/7	3/8	1/8	0/08	0/04	3/4	2/9	2/3	0/10
حدود اطمینان %1	4/8	5/0	2/4	0/11	0/05	4/5	3/8	3/1	0/14
ماکزیمم	36/7	47/0	27/6	1/19	8/1	50/3	45/4	40/3	1/56
مینیمم	1/8	7/5	11/2	0/38	7/7	14/3	11/4	20/3	0/32

نشان می‌دهد که اثر اصلی و برهمکنش خاک و فسفر بر پارامترهای وزن ماده خشک، غلظت و جذب کل فسفر در سطح یک درصد معنی‌دار است.

تأثیر مصرف فسفر بر پاسخ‌های گیاه لوبیا نتایج تجزیه واریانس تأثیر مصرف فسفر بر پاسخ‌های گیاهی در جدول 3 منعکس گردیده است. نتایج

جدول 3 - تجزیه واریانس اثر فسفر بر پارامترهای مورد مطالعه

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		وزن ماده خشک	غلظت	جذب کل
خاک	22	1/28**	0/011**	29/52**
فسفر	1	26/65**	0/178**	769/30**
خاک × کود	22	0/82**	0/004**	16/66**
خطا	92	0/25	0/001	3/61
ضریب تغییرات	-	12/0	16/6	22/9

*، ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح 5 درصد، 1 درصد و عدم معنی‌داری است.

درصد به ترتیب در خاک‌های 2 و 22 با مقدار فسفر بومی 4/1 و 36/4 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بوده است. این حالت نشان‌دهنده کاهشی بودن رشد گیاه بر اثر مصرف فسفر در سطوح بالای فسفر بومی خاک (حلاج نیا و همکاران، 1383) و افزایشی بودن رشد در مقادیر پائین فسفر بومی خاک است (قنبری و همکاران، 1378).

در جدول 4 نتایج تأثیر مصرف فسفر بر روی صفات اندازه‌گیری شده گیاه در هر خاک به‌طور جداگانه نشان داده شده است. میانگین نتایج تأثیر فسفر بر روی وزن ماده خشک، غلظت و جذب کل فسفر نشان می‌دهد که مصرف 50 میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک تفاوت آماری معنی‌داری را نسبت به تیمار شاهد به وجود آورده است دامنه تغییرات رشد نسبی از 57/67 تا 116/52

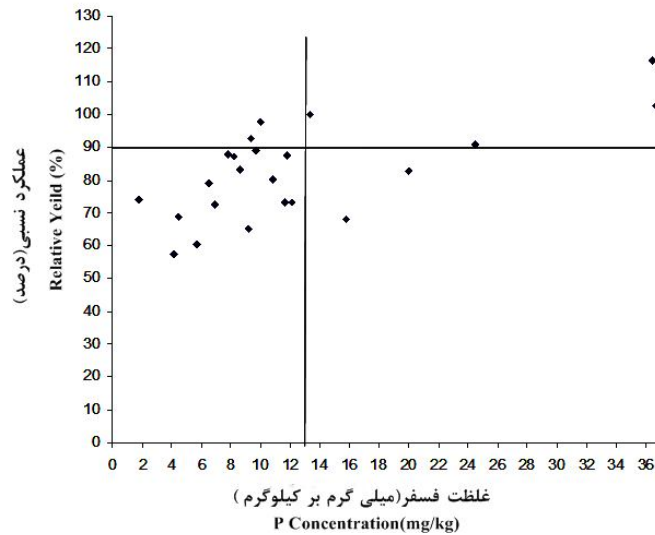
جدول 4- تأثیر مصرف کود فسفر بر پارامترهای اندازه‌گیری شده

خاک	عملکرد نسبی (درصد)	غلظت فسفر کل در ماده خشک گیاه (میلی‌گرم بر کیلوگرم)				جذب کل فسفر (میلی‌گرم بر گلدان)	
		ماده خشک (گرم در گلدان)		سطوح کود فسفر			
		0	50	0	50	0	50
1	73/91	2/95	3/99	0/14	0/21	4/08	8/08
2	57/67	3/12	5/41	0/13	0/23	4/05	12/58
3	68/72	3/61	4/25	0/20	0/21	7/20	11/27
4	60/55	3/21	5/31	0/14	0/21	4/61	11/37
5	79/25	3/37	4/26	0/14	0/21	4/77	8/93
6	72/38	3/50	4/84	0/15	0/25	5/23	11/90
7	87/78	3/76	4/28	0/18	0/18	6/63	7/87
8	87/06	3/59	4/12	0/12	0/18	4/19	7/50
9	83/23	3/21	3/56	0/10	0/17	3/10	6/51
10	65/02	3/60	5/54	0/13	0/21	4/70	11/70
11	92/48	3/24	3/50	0/20	0/29	6/48	10/12
12	88/94	4/77	5/37	0/18	0/17	8/60	8/86
13	97/62	4/38	4/49	0/12	0/19	5/13	8/65
14	80/24	3/75	4/67	0/10	0/17	3/84	8/05
15	73/41	4/19	5/70	0/15	0/34	6/30	49/49
16	87/48	3/98	4/55	0/13	0/18	5/16	8/23
17	73/40	3/68	5/01	0/22	0/43	8/28	21/70
18	99/81	3/44	3/44	0/20	0/25	7/01	8/58
19	68/17	3/38	4/95	0/21	0/22	7/28	11/23
20	82/94	3/26	3/93	0/20	0/26	6/51	10/44
21	90/65	4/10	4/53	0/19	0/24	7/72	10/79
22	116/52	4/11	3/53	0/19	0/26	7/81	9/08
23	102/50	4/64	4/53	0/17	0/27	7/69	12/11
میانگین	-	3/69 ^b	4/57 ^a	0/16 ^b	0/23 ^a	5/93 ^b	10/65 ^{a*}

* میانگین‌های که دارای حرف مشترک هستند بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال 5 درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

گزارش گردیده توسط فرانزن و مورگان (1995) و رشید و همکاران (1999) بالاتر می‌باشد. این تفاوت عمدتاً به دلیل تفاوت در خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک‌ها و رقم مورد استفاده می‌باشد (سیمز، 2000).

با استفاده از روش تصویری کیت- نلسون (شکل 1) میزان حد بحرانی فسفر در خاک‌های مورد مطالعه 13 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک به دست آمد. این میزان از مقادیر گزارش شده توسط بلالی لاک (1995) در خاک‌های با بافت متوسط پائین تر بوده اما از مقادیر



شکل 1- حد بحرانی فسفر در خاک‌های مورد مطالعه

ارتباط پاسخ‌های گیاهی و خصوصیات خاک
 ضریب همبستگی پاسخ‌های گیاهی و خصوصیات خاک در جدول 5 نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که عملکرد ماده خشک با فسفر قابل استفاده ($r = 0/522^*$) و کربن آلی ($r = 0/449^*$) همبستگی مثبت و معنی‌دار دارد. خصوصیات خاک با ماده خشک گیاه توسط معادله رگرسیون چند متغیره برازش داده شد که از بین خصوصیات خاک، فسفر قابل استفاده ارتباط معنی‌داری (در سطح 5 درصد) با ماده خشک گیاه نشان داد (معادله 1). ضریب تبیین معادله 0/273 بوده که در سطح 5 درصد معنی‌دار است و گویای این واقعیت می‌باشد که تنها حدود 27/3 درصد از تغییرات ماده خشک گیاه لوبیا توسط مقدار فسفر قابل استفاده قابل پیش‌بینی است.
 معادله 1

$$[Eq.1] DM = 334 + 0.028 * P_{ava} R^2 = 0.273^*$$

غلظت فسفر گیاه با خصوصیات درصد شن و کربن آلی همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد ($r = 0/448^*$ و $r = 0/490^*$). فعالیت‌های میکروبی که بر اثر وجود مواد آلی خاک تشدید می‌شود از طریق واکنش‌های اسیدزایی و کلاته کردن سبب حل فسفر معدنی می‌گردند که با توجه به محدودیت حل فسفر معدنی این فرایند از اهمیت زیادی برخوردار است (گرمیدا و سی سی دیانو، 2000).

شارپلی و همکاران (1987) در تحقیقی در 41 خاک آهکی نشان دادند که 11 درصد از فسفر، به شکل

نتایج نشان داد که میزان فسفر قابل استفاده 74 درصد از خاک‌های مورد مطالعه کمتر و 26 درصد بیشتر از حد بحرانی تعیین شده بوده است.

به جز در خاک‌های 22 و 23 که مقدار فسفر بومی آن‌ها بالا می‌باشد در سایر خاک‌ها وزن ماده خشک لوبیا به طور محسوسی افزایش یافته است. میانگین وزن ماده خشک در تیمارهای شاهد و مصرف کود فسفر به ترتیب 3/69 و 4/57 گرم در گلدان بوده است که تفاوت آماری آن‌ها با آزمون دانکن در سطح 5 درصد معنی‌دار است.

میانگین غلظت فسفر گیاه در تیمار شاهد 0/16 و در تیمار کود خورده 0/23 درصد می‌باشد که این تفاوت از لحاظ آماری معنی‌دار است. تأثیر افزایش غلظت فسفر گیاه بر اثر مصرف کود فسفر توسط میرزاوند و مفتون (1378)، قنبری و همکاران (1378) و رشید و همکاران (1999) نیز گزارش شده است.

میانگین جذب کل فسفر از 5/93 میلی‌گرم در گلدان در تیمار شاهد به 10/65 میلی‌گرم در گلدان در تیمار کود خورده رسیده است که از لحاظ آماری در سطح 5 درصد معنی‌دار است. جذب کل فسفر در تمام خاک‌های مورد مطالعه بر اثر مصرف فسفر افزایش نشان داد. تأثیر افزایش مصرف فسفر بر روی جذب کل غلظت این عنصر در گیاهان لوبیا، عدس، ذرت و برنج توسط سایر محققین گزارش شده است (قنبری و همکاران، 1378؛ موریس و تیفون، 2012؛ رشید و همکاران، 1999؛ رضایی و همکاران، 1384).

آلی و به صورت فسفولیبیدها، فولویک اسید و هومیک اسید وجود دارد. همچنین معدنی شدن فسفر آلی از اهمیت بسزایی در تأمین فسفر قابل استفاده برخوردار است (استوارت و شارپلی، 1987).

جدول 5 - ضریب همبستگی پاسخ‌های گیاهی و خصوصیات خاک (آزمایش فسفر)

پاسخ‌های گیاه	فسفر قابل استفاده (میلی گرم در کیلوگرم)	ظرفیت تبادل کاتیونی (سانتی مول بر کیلوگرم)	کربنات کلسیم معادل (درصد)	قابلیت هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه		سیلت (%)	شن (%)	کربن آلی (%)
					پ-هانس	رس (%)			
ماده خشک (گرم در گلدان)	0/522*	-0/088 ^{ns}	0/0186 ^{ns}	0/341 ^{ns}	ns	-0/221 ^{ns}	0/258 ^{ns}	0/053 ^{ns}	0/449*
غلظت فسفر در ماده خشک گیاه (میلی گرم بر کیلوگرم)	0/369 ^{ns}	-0/0182 ^{ns}	-0/055 ^{ns}	0/393 ^{ns}	ns	-0/399 ^{ns}	0/117 ^{ns}	0/448*	0/490*
جذب کل فسفر (میلی گرم بر گلدان)	0/554**	-0/0185 ^{ns}	-0/002 ^{ns}	0/505*	ns	-0/448*	0/220 ^{ns}	0/413*	0/620*

ns و ** و * به ترتیب معنی دار در سطح 5 درصد، 1 درصد و عدم معنی داری است.

طول دوره آزمایش تنها با کربن آلی خاک همبستگی مثبت و معنی داری دارد.

رس خاک تأثیر منفی در جذب کل فسفر گیاه داشت به طوری که با افزایش رس خاک‌ها و افزایش تثبیت، جذب کل فسفر کاهش یافته، بنابر این مصرف کود فسفر افزایش می‌یابد (شارپلی، 2000).

خصوصیات خاک با میزان جذب فسفر گیاه توسط معادله رگرسیون چند متغیره برازش داده شد که از بین خصوصیات خاک، کربن آلی ارتباط معنی داری (در سطح یک درصد) با جذب کل فسفر گیاه نشان داد (معادله 3). در این معادله پس از تعیین کربن آلی خاک، جذب کل فسفر توسط گیاه با ضریب تبیین 0/384 محاسبه می‌گردد.

معادله 3

$$[Eq.3] P_{Up} = 30263 + 30788 * OCR^2 = 0.384^{**}$$

کیان و همکاران (1992) ضریب همبستگی بین جذب کل فسفر گیاه کلزا با فسفر قابل استفاده با روش اولسن را 0/78 گزارش نمودند.

نتیجه گیری

دامنه تغییرات مقدار فسفر قابل استفاده در خاک‌های مورد مطالعه از 1/8 تا 36/7 با میانگین 12/4 میلی گرم بر کیلوگرم بود و مقدار فسفر قابل جذب اغلب خاک‌ها (74 درصد) از حد بحرانی فسفر به دست آمده در این تحقیق

ادهمی و مفتون (1384) در مطالعه بر روی شش خاک آهکی استان فارس نشان دادند که اضافه کردن ماده آلی کمپوست و ورمی کمپوست به خاک سبب افزایش میانگین غلظت فسفر قابل استفاده از 16/4 به 21/2 و 51/5 میلی گرم در کیلوگرم خاک گردید.

خصوصیات خاک با میزان غلظت فسفر گیاه توسط معادله رگرسیون چند متغیره برازش داده شد که از بین خصوصیات خاک، کربن آلی ارتباط معنی داری (در سطح 5 درصد) با غلظت فسفر گیاه نشان داد (معادله 2). در این معادله کربن آلی به عنوان متغیر مستقل توانست 24 درصد از تغییرات غلظت فسفر گیاه را به صورت معنی داری پیش بینی نماید.

معادله 2

$$[Eq.2] P_{Conc} = 0.112 + 0.068 * OCR^2 = 0.240^{**}$$

جذب کل فسفر با پارامترهای فسفر قابل استفاده (** $r = 0/554$), قابلیت هدایت الکتریکی (* $r = 0/505$), رس (* $r = 0/448$), شن (* $r = 0/413$) و کربن آلی (* $r = 0/620$) همبستگی معنی داری نشان می‌دهد. حکیم زاده و مفتون (1378) نیز بین هدایت الکتریکی و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک و پاسخ گیاه برنج همبستگی معنی داری مشاهده نمودند. حلاج نیا و همکاران (1383) نشان دادند که در خاک‌های آهکی مشهد میانگین مقدار فسفر قابل دسترس در تیمار شاهد در

شاخص واکنش‌پذیری لوبیا استفاده‌شده با مقدار فسفر بومی خاک، مقدار کربن آلی و درصد شن، همبستگی مثبت و معنی‌دار و با میزان رس خاک همبستگی منفی و معنی‌دار داشته است. افزایش مقدار ماده آلی خاک سبب افزایش جذب کل فسفر شده و منجر به افزایش رشد و تولید می‌گردد.

13) میلی‌گرم فسفر قابل‌استفاده بر کیلوگرم خاک) پائین تر است. نتایج این بررسی در صورت تأیید در آزمایش‌های مزرعه‌ای می‌تواند در خاک‌های تحت کشت لوبیا در مناطق مورد مطالعه مورد استفاده قرار گیرد. بر این اساس پس از انجام آزمون خاک لازم است فسفر خاک در نواحی دچار کمبود با کود دهی مناسب اصلاح شوند. نتایج نشان داد که جذب کل فسفر توسط اندام‌های هوایی در مرحله رشد رویشی گیاه که در این تحقیق به‌عنوان

فهرست منابع:

1. ادهمی، ا. و م. مفتون. 1384. اثر ماده آلی بر قابلیت جذب و شکل‌های مختلف شیمیایی فسفر معدنی در خاک‌های آهکی تحت دو رژیم رطوبتی ماندابی و غیر ماندابی، ششمین کنگره علوم خاک ایران. تهران.
2. حکیم زاده اردکانی، م. و م. مفتون. 1378. ارزیابی روش‌های شیمیایی مختلف جهت تعیین فسفر قابل استفاده در خاک-های آهکی ماندابی استان‌های فارس و اصفهان. ششمین کنگره علوم خاک ایران. مشهد.
3. حلاج نیا، ا. غ. حق نیا، ا. فتوت، و ر. خراسانی. 1383. بررسی رفتار فسفر در برخی خاک‌های آهکی دشت مشهد. مجموعه مقالات نهمین کنگره علوم خاک ایران. تهران.
4. خودشناس، م. ع. ج. قدبیک لو، و م. دادپور. 1396. حد بحرانی آهن برای لوبیا در استان مرکزی. مجله آب و خاک: 31(4): 1148-1158.
5. خودشناس، م. ع. و م. دادپور. 1384. بررسی پراکنش وضعیت عناصر غذایی در خاک‌های زیر کشت لوبیا استان مرکزی. مقالات اولین همایش ملی حبوبات. دانشگاه فردوسی مشهد.
6. رضایی، ع. ف. نواب، و ح. قرائی. 1384. اثر مقادیر مختلف کود فسفاتی و بذر بر عملکرد عدس دیم، نهمین کنگره علوم خاک ایران. تهران.
7. قنبری، ع. م. مفتون، و ن. ع. کریمیان. 1378. تأثیر فسفر بر رشد و ترکیب شیمیایی ذرت در تعدادی از خاک‌های آهکی استان فارس. ششمین کنگره علوم خاک ایران. دانشگاه فردوسی مشهد.
8. ملکوتی، م. ج. و م. ن. غیبی. 1379. تعیین حد بحرانی عناصر غذایی مؤثر در خاک، گیاه و میوه. نشر آموزش کشاورزی. 92 صفحه.
9. موسسه تحقیقات خاک و آب. 1379. راهنمای کالیبراسیون آزمون خاک جهت توصیه کودی. نشریه فنی شماره 1104.
10. میرزاوند، ج. و م. مفتون. 1378. ارزیابی گلخانه‌ایی بر همکنش فسفر و روی بر رشد و ترکیب شیمیایی برنج در سه خاک آهکی و ماندابی در فارس. ششمین کنگره علوم خاک ایران. دانشگاه فردوسی مشهد.
11. Abdi, N., B. L'taief, I. Hemissi, M. Bouraoui, H. Maazaoui, B. Sifi. 2014. Nitrogen and Phosphorus fertilization effect on Rhizobia-common bean symbiosis. *Annales de l'INRAT*, 2014, 87.
12. Allison, L.E., and C.D. Moodie. 1965. Carbonate. p. 1379-1396. In C.A. Black (ed), *Methods of Soil Analysis. Part 2*. Am. Soc. Agron, Inc., Madison, Wis, USA.
13. Anderson, J.M., and J.S.I. Ingram. 1989. a handbook of methods of analysis. CAB International, p39.
14. Athokpam, H., K. Rabichandra, C. Nandini, S. Naorem, S. Athokpam, N. Gopimohan Singh, and P.T. Sharma. 2018. Critical Limits of Phosphorus in Relation to the Growth

- and Dry Matter Yield of French Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Acid Soils of Thoubal District, Manipur (India). *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci.* 7: 1435-1444.
15. Ayodele, O., and A. Agboola. 1982. An attempt to evaluate phosphorus fertilizer requirements of western Nigerian savannah soils. *Fertilizer Res.* 3: 293- 302.
 16. Bargaz, A., M. Faghire, N. Abdi, M. Farissi, B. Sifi, J. Drevon, M. Ikkal and C. Ghoulam. 2012. Low soil phosphorus availability increase acid phosphatases activities and affects P partitioning in nodules, seeds and rhizosphere of *Phaseolus vulgaris*. *Agriculture*. 2, 139-153. Doi:10.3390/agriculture2020139.
 17. Blaylock, A.D. 1995. Nutrient management for dry bean production. University of Wyoming. Cooperative Extension Service. B-1016.
 18. Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agronomy Journal*, 54, 464-465.
 19. Brennan, R.F., M.D.A. Bolland, and K.H.M. Siddique. 2001. Response of cool-season grain legumes and wheat to soil applied zinc. *Plant Nutr.* 24: 727-741.
 20. Campbell, C.R., and C.O. Plank. 1998. Preparation of plant tissue for laboratory analysis. P. 37-49. In Kalra, Y. P. (ed), *Handbook of reference methods for plant analysis*, Boca Raton FL: CRC Press.
 21. Cate, R.B.Jr, and L.A. Nelson. 1971. A simple statistical procedure for partitioning soil test correlation data into two classes. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 35: 658-660.
 22. Chapman, H.D. 1965. Cation- exchange capacity. p. 891-901. In C.A. Black (ed), *Methods of Soil Analysis. Part 2.* Am. Soc. Agron, Inc., Madison, Wis, USA.
 23. Chungqin, Z., F. Zhang, M. Daru, C. Zou, F. Zhang, and D. Mao. 1997. Effect of iron, nitrogen forms and shading on uptake and distribution of other nutrient elements in bean plant. *J.Chian Agric. Univer.* 2: 37-43.
 24. Fageria, N.K. 2001. Adequate and toxic levels of copper and manganese in upland rice, common bean, corn, soybean, and wheat grown on an Oxisol. *Commun. Soil Sci. Plant anal.* 32: 1659-1676.
 25. Franzen, D.W., and J. Morghan. 1995. Fertilizing pinto Navy and other dry edible bean. [online] Available: <http://www.ext.nodak.edu/extpubs/plantsci/soilfert/sf720.htm>.
 26. Germida, J.J., and S.D. Siciliano. 2000. Phosphorus, Sulfur and metal transformations. P. C95-C106. In M.E. Summer (ed.) *Handbook of soil science.* CRC. Press llc.
 27. Hmissi, I., N. Abdi, A. Bargaz, M. Bouraoui, Y. Mabrouk, M. Saidi, B. Sifi. 2015. Inoculation with Phosphate solubilizing *Mezorhizobium* strains improves the Performance of chickpea (*Cicer aritenium* L.) under Phosphorus deficiency. *Journal of Plant Nutrition*, 38, 1656-1671.
 28. Kouki, S., N. Abdi, I. Hemissi, M. Bouraoui, and B. Sifi. 2016. Phosphorus fertilization effect on common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Rhizobia Symbiosis. Journal of New Sciences.* 25(1). 1130- 1137.
 29. 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.
 30. Malakouti M.J and Gheibi, M.N. 2000. Determining the critical limit for nutrients effective upon the soil, plants and fruits. Education and Human Resources Equipment Deputy, Karaj, Iran.
 31. Marx, E.S., J. Hart, and R.G. Stevens. 1999. Soil test interpretation guide. Oregon State University Service. Ec 1478.
 32. McKenzie, R.H., A.B. Middleton, K.W. Seward, R. Gaudiel, C. Wildschut, and E. Breme. 2001. Fertilizer responses of dry bean in southern Alberta. *Can.j. Plant Sci.* 81: 343- 350.
 33. Mourice S.K and Tryphone G.M. 2012. Evaluation of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes for adaptation to low phosphorus. International scholarly research network. *ISRN Agronomy.* DOI: 10.5402/2012/309614.

34. Olsen, S. R., C.V. Cole, F.S. Watanabe, and L.A. Dean. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. Circular, Vol 939 (p. 19). Washington, DC US Department of Agriculture.
35. Peech, M. 1965. Hydrogen ion activity. p. 914-925. In C.A. Black (ed), Methods of Soil Analysis. Part 2. Am. Soc. Agron, Inc., Madison, Wis, USA.
36. Qian, P., J.J. Schoenau, and W.Z. Huang. 1992. Use of ion exchange membranes in routine soil testing. Commun. Soil Sci. plant Anal. 23: 1791-1804.
37. Rashid, A., j. Din, and M. Bashir. 1999. Phosphorus deficiency diagnosis and fertilization in mungbean grown in rainfed calcareous soils of pakistan. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 30: 2045-2060.
38. Rehm, G., M. Schmitt, and R. Eliason. 1997. Fertilizer recommendation for edible beans in Minnesota. University of Minnesota Extension Service. Fo-6572-Goo.
39. Rhoades, J. D. 1996. Electrical Conductivity and Total Dissolved Solids. P.417-436. In J. M. Bigham(ed.). Methods of Soil Analysis. Madison, Wisconsin, USA.
40. Sharpley, A. 2000. Phosphorus availability . P. D18-D38. In M.E. Sumner (ed.) Handbook of science. CRC press llc.
41. Sharpley, A.N., H. Tiessen , and C.V. Cole. 1987. Soil phosphorus forms extracted by soil tests as a function of red agenesis . Soil Sci. Soc. Am.J. 51 : 362-365.
42. Stewart, J.W.B., A.N.Sharpley. 1987. Controls on dynamics of soil and fertilizer phosphorus and sulfur. P. 101-121. In R.F. Follett, J.W.B.Stewart, and C.V cole (eds.) Soil fertility and organic mater as critical components of production systems. Soil Sci. Soc. Am. Spec. Pub. 19, soil science society of America, Madison, WI.
43. Sims, T.J. 2000. Soil fertility evaluation. P.D113-D153. In M.E. Sumner (ed.) Handbook of soil science. CRC press llc.
44. Tisdal, S.L., W.L. Nelson, and J.D. Beaton. 1985. Soil fertility and fertilizers. 4 th.ed., Mc Millan Publishing co., New York, NY.
45. Walkley, A. and I.A. Black. 1934. An Examination of Degtjareff Method for Determining Soil Organic Matter and a Proposed Modification of the Chromic Acid Titration Method. Soil Sci. 37:29-37.
46. Watham, L., H. Athokpam, N. Chongtham, K. Devi, N. Brajendra Singh, N. Gopimohan Singh, P.T. Sharma, and P. Heisnam. 2018. Phosphorus Status in the Soils of Imphal West District, Manipur (India).Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci 7: 3871-3877.

Determination of Critical Level of Soil Phosphorus for Bean

M. A. Khodshenas¹, J. Ghadbeiklou, and M. Dadivar

Academic Member, Markazi Agricultural and Natural Resources Research and Training Center;
E-mail: khodshenasm@gmail.com

Academic Member, Markazi Agricultural and Natural Resources Research and Training Center,
AREEO, Arak, Iran; E-mail: ghadbykloo@gmail.com

Academic Member, Soil and Water Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources
Research and Training Center, AREEO, Mashhd, Iran; E-mail: dadivarm@yahoo.com

Received: September, 2018 and Accepted: March, 2019

Abstract

Soil tests play a very important role in management of nutrients in the field. Critical level of soil nutrient elements in a region is the basis of interpretation of the soil test for the same region. Therefore, these tests should be carried out in the soils of the target areas, so that the soil test could be used for fertilizer recommendation. Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) with high protein content are an important crop that is cultivated in Markazi province. Due to the lack of information on phosphorus critical level and regional calibration, this study was conducted on soil under bean cultivation in Markazi province. Twenty-three soil surface samples (0-30 cm) were selected with wide range of soil properties and phosphorus concentration (extracted with Olsen method) from the different locations of the province and were prepared for greenhouse cultivation. Bean plant responses were investigated by application of two levels of phosphorus (0 and 50 mg kg⁻¹ soil as mono calcium phosphate) in greenhouse experiment. The study was conducted in factorial experiment as complete randomized design with three replications. At the end of vegetative period, the aboveground parts of plants were cut, and plant responses including, dry matter weight, phosphorus concentration, total phosphorus uptake, and relative yield were determined. Analysis of variance showed that the main effects and interaction of soil and phosphorus fertilizer were significant at 1% probability level for dry matter weight, phosphorus concentration and phosphorus uptake. The mean comparison of plant responses was significant as affected by phosphorus fertilizer consumption. By using Cate-Nelson graphic method, the critical level of phosphorus in soils was determined to be 13 mg kg⁻¹. Dry matter showed positive significant correlation with available phosphorus and organic carbon. The total phosphorous uptake showed a positive significant correlation with available phosphorous concentration, electrical conductivity, sand and organic carbon content, and a negative significant correlation with clay content.

Keywords: Soil test, Calibration, Fertilizer recommendation

¹ Corresponding author: Agricultural and Resources Research and Training Center of Markazi province, AREEO, Arak, Iran.