

ارزیابی قابلیت استفاده شکل‌های فسفر برای لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) در تعدادی از خاک‌های آهکی

- طاهره رئیسی، دانشجوی دکتری گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد (نویسنده مسئول)
- علیرضا حسین پور، استاد گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد
- فایز رئیسی، استاد گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد

تاریخ دریافت: خرداد ماه ۱۳۹۲ تاریخ پذیرش: اسفند ماه ۱۳۹۲
تلفن تماس نویسنده مسئول: ۰۳۸-۳۲۳۲۴۴۲۸
پست الکترونیک نویسنده مسئول: taraiesi@gmail.com

چکیده

برای مدیریت پایدار خاک اطلاعات جامع در مورد مقدار و شکل‌های مختلف فسفر در خاک مورد نیاز است. این پژوهش با هدف ارزیابی ارتباط بین شکل‌های مختلف فسفر با شاخص‌های گیاه لوبیا در ۱۰ خاک آهکی استان چهارمحال و بختیاری در گلخانه اجرا شد. بدین منظور شکل‌های مختلف فسفر معدنی شامل فسفر پیوند شده به اکسیدهای آهن و آلومینیوم ($[NaOH+CB]-P$)، فسفر مسدود شده در اکسیدهای آهن ($CBD-P$) و فسفر مرتبط با کلسیم ($HCl-P$)، به روش عصاره‌گیری مرحله‌ای اولسن و سامرز تعیین شد. علاوه بر این، مقدار فسفر آلی (OP) نیز در نمونه‌های خاک اندازه‌گیری شد. همچنین شاخص‌های گیاه لوبیا، طی کشت گلدانی در ده خاک و در سه تکرار به مدت هشت هفته تعیین شدند. بعد از برداشت گیاه، عملکرد خشک بخش هوایی، غلظت فسفر و فسفر جذب شده توسط بخش هوایی لوبیا اندازه‌گیری شد. نتایج این آزمایش نشان داد که فراوانی شکل‌های فسفر به صورت زیر کاهش یافت $CBD-P < [NaOH+CB]-P < OP < residual-P > HCl-P$. علاوه بر این، شکل‌های فسفر آلی، $CBD-P$ و $CB-P$ همبستگی معنی‌داری با شاخص‌های گیاه لوبیا داشتند. نتایج این تحقیق نشان داد که روش تعیین شکل مرحله‌ای فسفر می‌تواند ابزار ارزشمندی در تعیین وضعیت فسفر خاک‌ها و قابلیت دسترسی این عنصر برای گیاه لوبیا فراهم کند.

کلمات کلیدی: تعیین شکل فسفر، لوبیا، قابلیت استفاده

Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi) No:107 pp: 143-150

Estimation of The availability of P fractions for bean (*Phaseolus vulgaris*) in some calcareous soils

By:

- T. Raiesi, (Corresponding Author; Tel: 038-32324428), Ph.D. student of Shahrekord University
- A. Hosseinpour, Professor of Shahrekord University
- F. Raiesi, Professor of Shahrekord University

Received: June 2013

Accepted: March 2014

Soil Sustainable management requires comprehensive information about the amount and form of phosphorus (P). The objective of this research was to evaluate the relationship of various P fractions in 10 calcareous soils of Chaharmahal-Va-Bakhtiari province with bean indices growing in the greenhouse. Thus, P fractions, including P absorbed by Al and Fe oxides ([NaOH+CB]-P), occluded P (CBD-P) and P absorbed by Ca (HCl-P), were determined by Olsen and Summers' sequential fractionation procedure. Furthermore, organic P was determined. A pot experiment in 10 soils with three replications was conducted to evaluate the bean plant indices. After the bean plants harvested, plant indices such as dry yield, P concentration and P uptake were determined. The results showed that the amount of P fractions increased in the order of HCl-P>residual-P>PO>[NaOH+CB]-P >CBD-P. The significant correlations were found between CB-P, OP and CBD-P and plant indices. Thus, P fractionation method appears to be a powerful tool to identify the P status and availability in the studied soils.

key Words: phosphorus fractionation, bean plant, availability

Delga- (Mu and Dang, 2010; Samavati and Hosseinpour, 2011 do, Ruiz, Del Campillo, Kassem and Andreu (۲۰۰۰) به تعیین شکل‌های فسفر با استفاده از روش Olsen and Sommers (۱۹۸۲) در سه خاک آهکی و چهار خاک مارن آهکی پرداختند. آنها نشان دادند که در روش تعیین شکل Olsen and Sommers (۱۹۸۲) فسفر قابل استخراج به روش اسید، شکل عمده فسفر در این خاک‌ها را تشکیل می‌داد. Ivarsson (۱۹۹۰) به تعیین شکل مرحله ای فسفر طبق روش هدلی (Hedly) در خاک‌های از سوئد پرداخت. او گزارش کرد که شکل فسفر قابل استخراج با رزین و فسفر محلول در هیدروکسید سدیم احتمالاً مهمترین شکل‌ها در تأمین فسفر مورد نیاز چاودار بودند. همچنین، Gill, Shaikh and Salim Rahmatullah (۱۹۹۴) به بررسی ارتباط بین شکل‌های معدنی فسفر در تعدادی خاک آهکی با شاخص‌های گیاه ذرت و فسفر استخراج شده توسط روش عصاره گیری اولسن پرداختند. نتایج این محققین حاکی از وجود همبستگی معنی دار شکل فسفر معدنی محلول در سیترات- بی‌کربنات سدیم با عملکرد خشک ذرت و فسفر جذب شده توسط این گیاه بود. همچنین این محققین گزارش کردند که ۷۶ درصد تغییرات فسفر عصاره گیری شده با روش اولسن توسط دو شکل فسفر محلول در سیترات- بی‌کربنات سدیم و فسفر محلول در هیدروکسید سدیم قابل توضیح بود. همچنین Ahmad et al (۲۰۰۶) به تعیین شکل‌های فسفر به روش اولسن و سامرز (Olsen and Sommers) در ۲۹ خاک آهکی از پاکستان پرداختند. این

مقدمه

اجزاء مختلف خاک در نگهداری فسفر شرکت می‌کنند. در خاک‌های آهکی، نگهداری فسفات به سطح ویژه کربنات کلسیم ارتباط دارد (Curtin and Cheema, 1985, Ryan). شکل‌های مختلف فسفر خاک اغلب به کمک روش عصاره گیری مرحله ای بررسی و مطالعه می‌شوند (Harrell and Wang, 2006). همه شکل‌های فسفر موجود در خاک از قابلیت دسترسی و تحرک مشابهی برخوردار نیستند. قابلیت دسترسی فسفر برای گیاه به توانایی خاک برای جایگزینی فسفر لبایل^۱ جذب شده توسط گیاه از شکل‌های دیگر فسفر بستگی دارد (Beck and Sanchez, 1994).

روش تعیین شکل مرحله ای فسفر معدنی در سال ۱۹۵۷ توسط چنگ و جکسون به کار گرفته شد. روش Chang and Jackson (۱۹۵۷) به مرور زمان توسط محققین دیگر تصحیح شد. اولسن و سامرز (Olsen and Sommers) در سال ۱۹۸۲ به تصحیح روش چنگ و جکسون (Chang and Jackson) پرداختند و تقریب مناسبی را از شکل‌های فسفر در خاک‌های آهکی فراهم کردند.

طی دهه‌های گذشته در مطالعاتی به بررسی شکل‌های مختلف فسفر در خاک پرداخته شده است (Khanmirzaei, Adhami, Kowsar and Sameni, 2009; Ma, Zhou, Zhang, Zhang and Hu, 2009; Naderi Khorasgani, Shariatmadari and Atarodi, 2009; Wang, Liu,

محققین گزارش کردند که فسفر محلول در اسید کلریدریک (HCl-P) ۹۸ درصد از فسفر کل را در بر می گرفت. Samavati and Hosseinpur (۲۰۱۱) گزارش کردند که شکل‌های مختلف فسفر شامل دی کلسیم فسفات، اکتا کلسیم فسفات، آپاتیت و فسفر پیوند شده با آلومینیوم همبستگی معنی‌داری با فسفر عصاره‌گیری شده با روش اولسن داشتند. همچنین، شاخص‌های گیاه سیر همبستگی معنی‌داری با شکل‌های دی کلسیم فسفات، اکتا کلسیم فسفات و فسفر عصاره‌گیری شده با روش اولسن داشتند. با توجه به مباحث ذکر شده همه شکل‌های فسفر موجود در خاک از قابلیت دسترسی و تحرک مشابهی برخوردار نیستند. بنابراین استفاده از روش عصاره‌گیری مرحله‌ای به منظور تخمین شکل‌هایی از فسفر که برای گیاه قابل دسترس تر می‌باشند، حائز اهمیت است. اطلاعات در مورد ارتباط بین شکل‌های مختلف فسفر با شاخص‌های گیاه لوبیا در خاک‌های استان چهارمحال و بختیاری محدود است. این تحقیق با هدف بررسی مقدار شکل‌های مختلف فسفر، ارزیابی ارتباط شکل‌های مختلف فسفر با فسفر استخراجی به روش اولسن و کالول و همچنین ارتباط شکل‌های مختلف فسفر با شاخص‌های گیاه لوبیا شامل غلظت فسفر در لوبیا، عملکرد ماده خشک و فسفر جذب شده توسط بخش هوایی لوبیا در تعدادی از خاک‌های آهکی استان چهارمحال و بختیاری انجام شد.

مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش ۳۰ نمونه خاک از نقاط مختلف زمین‌های زراعی دشت شهرکرد از عمق صفر تا ۳۰ سانتیمتری جمع آوری شدند. پس از هوا خشک کردن، نمونه‌های خاک از الک ۲ میلی متری عبور داده شدند. سپس ۱۰ نمونه خاک بر اساس مقادیر درصد رس، کربنات کلسیم معادل و مقدار فسفر عصاره‌گیری شده با روش اولسن (Kuo, 1996) انتخاب شدند. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های منتخب به روش‌های معمول آزمایشگاهی تعیین شدند. pH نمونه‌های خاک در سوسپانسیون ۲ به ۱ محلول به خاک (Thomas, 1996)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره‌های صاف شده با نسبت ۲ به ۱ محلول به خاک (Rhoades, 1996)، کربنات کلسیم معادل خاک به روش تیتراسیون برگشتی با اسید کلریدریک یک نرمال

رنگ سنجی (Murphy and Riley, 1962) تعیین شد. به منظور تعیین شاخص‌های گیاه لوبیا یک آزمایش گلدانی در ده نوع خاک و در سه تکرار انجام شد. گلدان‌ها با چهار کیلوگرم خاک‌های عبور داده شده از الک ۲ میلی متری پر شدند. نظر به اینکه خاک گلدان‌ها نباید از لحاظ سایر عناصر غذایی کمبودی داشته باشند، در ابتدای کشت به هر گلدان ۲۰ میلی گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک از منبع اوره، ۱۰۰ میلی گرم پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم و ۵ میلی گرم آهن به صورت Fe-EDDHA در کیلوگرم خاک و ۲ میلی گرم روی در کیلوگرم خاک از منبع سولفات روی اضافه شد. برای کشت گیاه، بذرها لوبیا قرمز رقم صیاد (*Phaseolus vulgaris*)، پس از ضدعفونی با هیپوکلریت سدیم و تلقیح با باکتری ریزوبیوم (*Rhizobium phaseoli*) به تعداد شش بذر در مرکز گلدان‌ها کشت شد. در پایان هفته اول تعداد بذرها در هر گلدان به چهار عدد تقلیل یافت. بخش‌های گیاهان هشت هفته بعد از کاشت برداشت شدند. سپس بخش‌های هوایی گیاهان با آب مقطر شسته شد و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس خشک و وزن خشک اندام هوایی تعیین گردید. نمونه‌های خشک شده در آون به روش خاکستر خشک هضم و مقدار فسفر موجود در نمونه‌های هضم شده به روش Murphy and Riley (۱۹۶۲) تعیین شد. در پایان همبستگی اسپیرمن شکل‌های مختلف فسفر با فسفر استخراجی با روش‌های کالول و اولسن و همچنین همبستگی شکل‌ها فسفر با شاخص‌های لوبیا با نرم افزار استاتیسکا ۱۰ بررسی شد.

جدول ۱- تعیین شکل مرحله‌ای فسفر به روش Olsen and Sommers (۱۹۸۲).

عصاره‌گیر	زمان تعادل	شکل‌های فسفر عصاره‌گیری شده
هیدروکسید سدیم ۰/۱ مولار و کلرید سدیم ۱ مولار (NaOH-P)	۱۷ ساعت تکان دادن	فسفر پیوند شده با اکسیدهای آهن و آلومینیوم
سیترات سدیم ۰/۳ مولار و بی‌کربنات سدیم ۱ مولار (CB-P)	۱۵ دقیقه حرارت در دمای ۸۵ درجه سلسیوس در بن‌ماری	فسفات دوباره جذب سطحی شده به وسیله کربنات در مرحله عصاره‌گیری با هیدروکسید سدیم، همچنین فسفات‌های کلسیم پدوژنیک
سیترات سدیم ۰/۳ مولار، بی‌کربنات سدیم ۱ مولار و ۱ گرم دی‌تیونات سدیم (CBD-P)	بلافاصله بعد از افزودن یک گرم دی‌تیونات سریعاً محتویات لوله را تکان داده، سپس ادامه حرارت دادن در دمای ۸۵ درجه سلسیوس به مدت ۱۵ دقیقه	فسفر مسدود شده در داخل اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن
اسید هیدروکلریک ۰/۵ نرمال (HCl-P)	۱ ساعت تکان دادن	فسفات‌های کلسیم

جدول ۲- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک های مورد مطالعه

شماره خاک	پ-هاش	هدایت الکتریکی	سیلت	رس	کربنات کلسیم معادل	کربن آلی	فسفر اولسن
		دسی زیمنس بر متر	درصد	درصد	گرم بر کیلوگرم		
۱	۸/۰	۰/۳۶	۳۵	۳۷	۴۲۱	۳/۱	۲۴/۷
۲	۸/۰	۰/۳۸	۴۰	۴۸	۱۶۲	۵/۰	۱۵/۹
۳	۸/۰	۰/۴۶	۳۳	۲۵	۴۱۰	۴/۳	۱۷/۵
۴	۸/۰	۰/۴۲	۳۶	۴۹	۴۷۵	۴/۱	۱۹/۱
۵	۸/۰	۰/۴۶	۴۳	۵۲	۳۸۸	۵/۴	۱۸/۱
۶	۷/۹	۰/۵۹	۳۰	۵۵	۲۶۷	۸/۴	۲۲/۴
۷	۸/۱	۰/۳۶	۴۴	۳۷	۳۲۵	۵/۱	۴۰/۱
۸	۸/۱	۰/۵۹	۳۹	۴۹	۲۶۶	۱۳/۹	۳۲/۰
۹	۸/۰	۰/۶۱	۴۷	۳۷	۲۱۰	۱۰/۴	۷۱/۹
۱۰	۸/۰	۰/۲۶	۲۵	۱۳	۱۹۰	۷/۰	۱۶/۸
دامنه	۷/۹-۸/۱	۰/۲۶-۰/۶۱	۴۷-۲۵	۵۵-۱۳	۱۶۲-۴۷۵	۳/۱-۱۳/۹	۱۵/۹-۷۱/۹
ضریب تغییرات (%)	۰/۷۱	۲۶	۱۸	۳۳	۳۵	۵۰	۶۲

میلی گرم بر کیلوگرم خاک بود. بالاترین غلظت HCl-P در خاک شماره ۷ و کمترین آن در خاک شماره ۶ مشاهده شد. این بخش، شکل غالب فسفر در خاک های مطالعه شده بود و ۳۵ (خاک ۹) تا ۶۸ (خاک ۴) درصد از فسفر کل را به خود اختصاص داد (شکل ۱). فراوانی HCl-P به علت غالب بودن یون کلسیم در خاک های قلیایی می باشد. این نتیجه در تطابق با نتایج Solis and Torrent (۱۹۸۹)، Carreira et al. (۲۰۰۶)، Harrell and Wang (۲۰۰۶) و Shaheen et al. (۲۰۰۷) بود. همچنین Yu et al (۲۰۰۶) گزارش کردند که ۴۵ تا ۶۰ درصد از کل فسفر خاک های خنثی تا قلیایی قابل استخراج با اسید کلریدریک است. همچنین، Delgado et al. (۲۰۰۰) نیز گزارش کردند که شکل فسفر قابل استخراج توسط اسید، شکل غالب فسفر در خاک های آهکی مورد مطالعه بود. گزارشات نیز مبنی بر غالب بودن شکل فسفر همراه با کلسیم در خاک های ایران وجود دارد (Moostashari et al., 2008; Samavati and Hosseinpour, 2011).

فسفر باقیمانده عمدتاً دومین شکل غالب فسفر در خاک های مطالعه شده بود (به استثنا خاک شماره ۴). شکل فسفر باقیمانده، از تنوع وسیعی در خاک های مطالعه شده برخوردار بود، بطوریکه دامنه این شکل در خاک های مطالعه شده از ۲۷ (خاک شماره ۴) تا ۴۴۶ (خاک شماره ۷) میلی گرم بر کیلوگرم متغیر بود. سهم نسبی این شکل از فسفر کل از ۵ درصد در خاک شماره ۴ تا ۳۷ درصد در خاک های شماره ۷ و ۹ بود. فراوانی شکل باقیمانده فسفر در خاک های مناطق خشک و خاک های آهکی توسط محققین دیگر نیز گزارش شده است (Araujo Maria et al., 2004; Shaheen et al., 2007). بررسی نتایج نشان داد که مقدار فسفر باقیمانده همبستگی معنی داری با درصد سیلت ($r=0/62$) خاک ها داشت. فسفر آلی (OP)، سومین شکل غالب فسفر در خاک های مطالعه شده به استثنا خاک ۹ بود. در خاک ۹ سومین شکل غالب فسفر، مجموع $[NaOH+CB]-P$ بود. دامنه تغییرات

نتایج و بحث

خصوصیات خاک

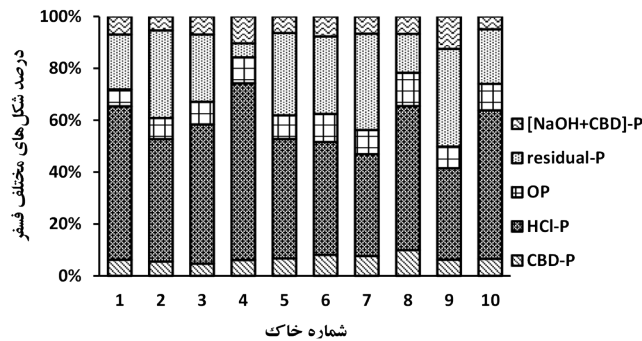
ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک های مطالعه شده در جدول ۲ ارائه شده است. همانگونه که مشاهده می شود، دامنه مقدار رس و سیلت در خاک های مورد مطالعه به ترتیب از ۱۳/۳ تا ۵۵ و از ۲۵ تا ۴۷ درصد، دامنه کربنات کلسیم معادل از ۱۶۲ تا ۴۷۵ گرم بر کیلوگرم خاک و مقدار کربن آلی از ۳/۱ تا ۱۳/۹ گرم بر کیلوگرم خاک می باشد. خاک های مورد مطالعه قلیایی (دامنه پ. هاش از ۷/۹ تا ۸/۱) و غیرشور (دامنه هدایت الکتریکی از ۰/۲۶ تا ۰/۶۱ دسی زیمنس بر متر) بودند. بنابراین، می توان گفت خاک های بررسی شده دارای دامنه وسیعی از نظر فسفر استخراجی با روش اولسن، درصد رس و مقدار کربنات کلسیم معادل می باشند.

تعیین شکل های فسفر

مقادیر شکل های معدنی، شکل آلی و فسفر قابل استفاده در جدول ۳ ارائه شده است. سهم نسبی هر شکل فسفر از فسفر کل نیز در شکل ۱ نشان داده شده است. به طور کلی، مقدار هر شکل فسفر در میان ۱۰ خاک آهکی مورد مطالعه متفاوت بود. مقدار فسفر کل از تنوع بالایی در میان خاک های مطالعه شده برخوردار بود. دامنه مقدار فسفر کل در خاک های مطالعه شده از ۶۰۵ تا ۱۲۰۱/۳ میلی گرم بر کیلوگرم بود. بالاترین مقدار فسفر کل در خاک شماره ۷ و کمترین آن در خاک شماره ۱ مشاهده شد. بررسی نتایج نشان داد که مقدار فسفر کل همبستگی معنی داری با درصد کربن آلی ($r=0/55$) و درصد سیلت ($r=0/73$) خاک ها داشت.

فسفر محلول در اسید کلریدریک (HCl-P)، شکل فسفر حساس به pH های پایین است و فرض می شود عمدتاً شامل آپاتیت و فسفر پیوند شده به کربنات ها است (Wang et al., 2010). دامنه غلظت HCl-P در خاک های مطالعه شده از ۲۹۳ تا ۴۷۱ و متوسط آن ۳۸۴

درصد فسفر کل را شامل می‌شد. به طور کلی، نتایج این آزمایش نشان داد که فراوانی شکل‌های مختلف فسفر به صورت زیر کاهش یافت $\text{Khoras-CBD-P} < [\text{NaOH}+\text{CB}]\text{-P} < \text{PO} < \text{residual-P} < \text{HCl-P}$. Naderi .gani et al (۲۰۰۹) به تعیین شکل فسفر طبق روش جیانگ و گو (Jiang and Gu) در خاک های خراسان جنوبی پرداختند. این محققین گزارش کردند که فراوانی شکل‌های فسفر معدنی از ترتیب $\text{Ca}_{10}\text{-P} > \text{Al-P} > \text{Ca}_8\text{-P} > \text{Ca}_2\text{-P} > \text{OC-P} > \text{Fe-P}$ تبعیت می‌کرد.



شکل ۱- سهم نسبی هر شکل فسفر از فسفر کل

جدول ۲- مقادیر شکل های مختلف فسفر در خاک های مطالعه شده

*Colwell-P	*Olsen-P	*Residual-P	*TP	*OP	*HCl-P	*CBD-P	* [NaOH+CB]-P	*NaOH-P	
۳۳/۹	۲۴/۷	۱۲۸/۲	۶۰۵/۰	۳۹/۴	۳۵۷/۹	۳۷/۵	۴۲/۱	۱۹/۴	۱
۳۷/۳	۱۵/۹	۲۴۸/۵	۷۳۶/۳	۶۰/۰	۳۴۷/۱	۴۱/۰	۳۹/۷	۱۶/۴	۲
۳۹/۸	۱۷/۵	۲۰۷/۷	۸۰۱/۳	۷۰/۰	۴۲۹/۶	۳۸/۰	۵۵/۹	۲۰/۰	۳
۳۹/۲	۱۹/۱	۲۶/۶	۴۹۳/۸	۴۹/۴	۳۳۶/۳	۳۰/۲	۵۱/۳	۱۷/۶	۴
۴۷/۶	۱۸/۱	۲۵۵/۹	۸۰۷/۵	۷۳/۸	۳۷۱/۷	۵۴/۵	۵۱/۷	۱۷/۷	۵
۴۴/۳	۲۲/۴	۲۰۰/۷	۶۷۲/۵	۷۳/۱	۲۹۲/۵	۵۴/۳	۵۱/۹	۲۵/۰	۶
۸۰/۲	۴۰/۱	۴۴۶/۱	۱۲۰۱/۳	۱۱۱/۹	۴۷۰/۸	۹۲/۶	۷۹/۹	۲۴/۴	۷
۷۵/۵	۳۲/۰	۱۲۰/۱	۸۰۲/۵	۱۰۳/۱	۴۴۴/۹	۸۰/۲	۵۴/۲	۱۶/۸	۸
۱۰۶/۰	۷۱/۹	۴۳۵/۳	۱۱۵۶/۳	۹۶/۹	۴۰۷/۲	۷۲/۳	۱۴۴/۶	۳۳/۴	۹
۴۰/۵	۱۵/۸	۱۴۱/۴	۶۷۲/۵	۶۸/۸	۳۸۴/۹	۴۴/۱	۳۳/۵	۱۷/۱	۱۰
۵۴/۴	۲۷/۹	۲۲۱/۰	۷۹۴/۹	۷۴/۶	۳۸۴/۳	۵۴/۵	۶۰/۵	۲۰/۸	میانگین

*NaOH-P: فسفر پیوند شده با اکسیدهای آهن و آلومینیوم؛ [NaOH+CB]-P مجموع فسفر پیوند شده با اکسیدهای آهن و آلومینیوم و فسفر دوباره جذب سطحی شده طی مرحله اول عصاره‌گیری؛ CBD-P: فسفر مسدود شده در اکسیدهای آهن؛ HCl-P: فسفر پیوند شده با کلسیم؛ Residual-P: فسفر باقیمانده؛ TP: فسفر کل؛ OP: فسفر آلی؛ Olsen-P و Colwell-P: به ترتیب فسفر عصاره‌گیری شده با روش اولسن و کالول.

فسفر آلی در خاک های مطالعه شده نسبت به سایر شکل‌های فسفر کمتر بود. بطوریکه کمترین مقدار فسفر آلی در میان ۱۰ خاک مطالعه شده ۴۰ میلی گرم بر کیلوگرم (خاک شماره ۱) و بیشترین مقدار فسفر آلی ۱۱۲ میلی گرم بر کیلوگرم (خاک شماره ۷) بود. سهم نسبی فسفر آلی از فسفر کل در خاک های مطالعه شده از ۷ درصد در خاک شماره ۱ تا ۱۳ درصد در خاک شماره ۸ متغیر بود. بررسی نتایج نشان داد که مقدار فسفر آلی همبستگی معنی داری با درصد کربن آلی ($r=0.72$) خاک ها داشت.

مجموع فسفر در ارتباط با اکسیدهای آهن و آلومینیوم و فسفر دوباره جذب سطحی شده طی مرحله اول عصاره‌گیری (NaOH+CB)-P از تنوع بالایی در خاک های مطالعه شده برخوردار بود. با توجه به اینکه سیترات-بی کربنات عمدتاً فسفات های حاصل از هیدرولیز فسفات های آهن و آلومینیوم را که بر روی سطح کربنات ها در طول مرحله عصاره‌گیری با هیدروکسید سدیم جذب مجدد شده اند (Syers et al., 1972)، استخراج می‌کند، به نظر می‌رسد مجموع این دو بخش تخمین دقیقتری از فسفات های آهن و آلومینیوم ارائه می‌دهد. بنابراین هم شکل NaOH-P و هم مجموع شکل‌های NaOH-P و CB-P در جدول ۲ ارائه شده است. این شکل عمدتاً شامل فسفر پیوند شده به اکسید های آهن و آلومینیوم است که قابل تبادل با هیدروکسیل و آنیون های حاصل از تجزیه لیگاندهای آلی و ترکیبات فسفر محلول در قلیا می باشد (Rydin, 2000). دامنه این شکل در خاک های مطالعه شده از ۳۳ در خاک شماره ۱۰ تا ۱۴۵ میلی گرم بر کیلوگرم در خاک شماره ۹ متغیر بود. سهم نسبی این شکل از فسفر کل ۵ درصد (خاک شماره ۱۰) تا ۱۳ (خاک شماره ۹) بود. فسفر محلول در سیترات-بی کربنات-دیتینوات (CBD-P)، عمدتاً فسفر مسدود شده در اکسیدهای آهن است و کوچکترین شکل فسفر بود و کمتر از ۷

جدول ۶- ضرایب همبستگی بین شاخص‌های لوبیا و شکل‌های مختلف فسفر (n=10)

TP	OP	residual-P	HCl-P	CBD-P	CB-P	NaOH-P	
۰/۶۰	۰/۷۹**	۰/۳۱	۰/۶۳	۰/۸۷**	۰/۳۸	۰/۲۴	غلظت (mg/kg)
۰/۶۳*	۰/۷۳*	۰/۳۵	۰/۴۳	۰/۷۷**	۰/۶۷*	۰/۲۱	عملکرد خشک (g/pot)
۰/۵۵	۰/۷۳**	۰/۳۰	۰/۴۴	۰/۸۱**	۰/۶۳*	۰/۳۵	جذب (mg/pot)

** و * به ترتیب معنی دار در سطح احتمال $p < 0.01$ و $p < 0.05$

پاورقی‌ها

1. labile
2. STATISTICA 10

منابع مورد استفاده

1. Samavati, M. and Hosseinpour, A.R. (2011). Phosphorus fractions and availability in some calcareous soils in Hamedan province. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science*, Vol, 15, pp. 127-138. (In Farsi)
2. Ahmad, W., Rahmatullah Gill, M.A. and Aziz, T. (2006). Bioavailability of inorganic phosphorus fractions in calcareous soils estimated by neubauer technique, iron-impregnated filter paper, and chemical tests. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, Vol, 37, pp. 1185-1193.
3. Araujo Maria, S.B., Schaefer, C.E.R. and Sampaio, E.V.S. (2004). Soil phosphorus fractions from toposequences of semi-arid Latosols and Luvisols in northeastern Brazil. *Geoderma*, Vol, 119, pp. 309-321.
4. Beck, M.A. and Sanchez, P.A. (1994). Soil phosphorus fraction dynamics during 18 years of cultivation on a Typic Paleudult. *Soil Science Society of America Journal*, Vol, 58, pp. 1424-1431.
5. Carreira, J.A., Vinegla, B. and Lajtha, K. (2006). Secondary CaCO_3 and precipitation of P-Ca compounds control the retention of soil P in arid ecosystem. *Journal of Arid Environments*, Vol, 64, pp. 460-473.
6. Chang, S.C. and Jackson, M.L. (1957). Fractionation of soil phosphorus. *Soil Science*, Vol, 84, pp. 133-144.
7. Colwell, J.D. (1963). The estimation of the phosphorus fertilizer requirements of wheat in Southern New South Wales. *Australian Journal Experimental Agriculture and Animal Husbandry*, Vol, 3, pp.190-197.
8. Delgado, A., Ruiz, J.R., Del Campillo, M.D., Kassem, S. and Andreu, L. (2000). Calcium- and iron-related phosphorus in calcareous and calcareous marsh soils, pp. Sequential chemical fractionation and P-31 nuclear magnetic

همبستگی بین شکل‌های مختلف فسفر با شاخص‌های گیاه لوبیا در جدول ۶ ارائه شده است. بررسی نتایج حاکی از وجود همبستگی بالا بین فسفر آلی و شکل CBD-P با کلیه شاخص‌های گیاه لوبیا بود. همچنین شاخص عملکرد خشک بخش هوایی همبستگی معنی داری با شکل CB-P و فسفر کل و شاخص جذب فسفر توسط بخش هوایی لوبیا همبستگی معنی داری با شکل CB-P نشان دادند (جدول ۶). بنابراین، با توجه به نتایج همبستگی شاخص‌های لوبیا با فسفر آلی و شکل‌های CBD-P و CB-P به نظر می‌رسد، نتایج تعیین شکل فسفر می‌تواند ابزار ارزشمندی در تعیین وضعیت فسفر خاک‌ها و قابلیت دسترسی این عنصر برای گیاه باشد. بررسی Morel and Hinsinger (۱۹۹۹) در یک خاک آهکی و غنی از فسفر نشان داد مقدار فسفر جذب شده توسط دانه روغنی کلزا بیشتر از مقداری بود که فسفر اولسن به مقدار نسبتاً زیاد تأمین می‌کرد. این نتیجه نشان می‌دهد که گیاه قادر می‌باشد از بخش‌های کمتر متحرک فسفر خاک نیز استفاده کند. همچنین، نتایج Gill, Shaikh and Salim Rahmatullah (۱۹۹۴) حاکی از وجود همبستگی معنی دار شکل فسفر معدنی محلول در سیترات-بی کربنات سدیم با عملکرد خشک گیاه و فسفر جذب شده توسط ذرت در خاک‌های آهکی بود. Gikonyo et al. (۲۰۰۸) به تعیین شکل فسفر در خاک‌های اسیدی تیمار شده با سنگ فسفات و سوپرفسفات تریپل پرداختند. Khanmirzaei et al. (۲۰۰۹) به تعیین شکل فسفر به روش جیانگ و گو (Jiang and Gu) در خاک‌های آهکی جنوب ایران که زیر کشت اکالیپتوس بودند، پرداختند. بر اساس گزارش آنها شکل فسفر قابل استخراج توسط کربنات سدیم و آمونیوم استات، شکل‌های فسفر قابل دسترس گیاه بودند.

نتیجه گیری

نتایج نشان داد که در خاک‌های مطالعه شده، اجزاء معدنی فسفر و شکل آلی فسفر تغییرات زیادی داشتند. فسفر استخراجی به روش اولسن و کالول همبستگی معنی داری با CB-P و فسفر آلی داشتند. علاوه بر این، فسفر استخراجی با روش کالول همبستگی معنی داری با CBD-P و فسفر کل داشت. بررسی ضرایب همبستگی بین شکل‌های معدنی فسفر با شاخص‌های گیاه لوبیا نشان داد که فسفر آلی و شکل‌های فسفر محلول در سیترات-بی کربنات سدیم (CB-P) و فسفر محلول در سیترات بی کربنات دیتیونایت (CBD-P) همبستگی معنی داری با شاخص‌های گیاه لوبیا داشتند. نتایج این تحقیق نشان داد که روش تعیین شکل مرحله ای فسفر می‌تواند در ارزیابی قابلیت دسترسی فسفر برای لوبیا مفید باشد.

- resonance study. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, Vol, 31, pp. 2483-2499
9. Gee, G.H. and Bauder, J.W. (1986). Particle size analysis. In A. Klute (Ed.), *Methods of Soil Analysis*. Part 2 physical properties. SSSA, Madison, WI, pp. 383-409
 10. Gikonyo, E.W., Zaharah, A.R., Hanafi, M.M. and Anuar, A.R. (2008). Evaluation of phosphorus pools and fractions in an acid tropical soil recapitalized with different phosphorus sources. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, Vol, 39, pp. 1385-1405.
 11. Harrell, D.L. and Wang, J.J. (2006). Fractionation and sorption of inorganic phosphorus in Louisiana calcareous soils. *Journal of Soil Science*, Vol, 171, pp. 39-51.
 12. Herlihy, M. and McCarthy, J. (2006). Association of soil-test phosphorus with phosphorus fractions and adsorption characteristics. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, Vol, 75, pp. 79-90.
 13. Jiang, B.F. and Gu, Y.C. (1989). A suggested fractionation scheme of inorganic phosphorus in calcareous soils. *Fertilizer Research*, Vol, 20, pp. 159-165.
 14. Khanmirzaei, A., Adhami, E., Kowsar, S.A. and Sameni, A.M. (2009). Organic and inorganic forms of phosphorus in a calcareous soil planted with four species of Eucalyptus in southern Iran. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, Vol, 40, pp. 3194-3210.
 15. Kuo, S. (1996). Phosphorus. In D.L. Sparks (Ed.), *Methods of Soil Analysis*. Part 3, chemical methods. SSSA, Madison, WI, pp. 869-920
 16. Loeppert, R.H. and Sparks, D.L. (1996). Carbonate and gypsum. In D.L. Sparks (Ed.), *Methods of Soil Analysis*. Part 3, chemical methods. SSSA, Madison, WI, pp. 437-474
 17. Ma, B., Zhou, Z. Y., Zhang, C. P., Zhang, G. and Hu, Y. J. (2009). Inorganic phosphorus fractions in the rhizosphere of xerophytic shrubs in the Alxa Desert. *Journal of Arid Environments*, Vol, 73, pp. 55-61.
 18. Morel, C. and Hinsinger, P. (1999). Root-induced modifications of the exchange of phosphate ion between soil solution and soil solid phase. *Plant and Soil*, 211, pp. 103-110.
 19. Mostashari, M., Muazardalan, M., Karimian, N., Hosseini, H.M. and Rezai, H. (2008). Phosphorus fractions of selected Calcareous soils of Qazvin province and their relationships with soil characteristics. *American-Eurasian. Journal of Agriculture and Environmental Science*, Vol, 3, pp. 547-553
 20. Murphy, J. and Riley, J.P. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analysis Chemical Acta*, Vol, 27, pp.31-36.
 21. Nelson, D.W. and Sommers, L.E. (1996). Total carbon organic carbon and organic matter. In D.L. Sparks (Ed.), *Methods of Soil Analysis*. Part 3, chemical methods. SSSA, Madison, WI, pp. 961-1011
 22. Naderi Khorasgani, M., Shariatmadari, H. and Atarodi, B. (2009). Interrelation of inorganic phosphorus fractions and sorghum-available phosphorus in calcareous soils of southern Khorasan. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, Vol, 40, pp. 2460-2473.
 23. Olsen, S.R. and Sommers, L.E. (1982). Phosphorus. In A. Klute (Ed.), *Methods of Soil Analysis*. Part 1 chemical and biological properties. SSSA, Madison, WI, pp. 403-427.
 24. Rahmatullah Gill, M.A., Shaikh, B.Z. and Salim, M. (1994). Bioavailability and distribution of phosphorus among inorganic fractions in calcareous soils. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, Vol, 8, pp. 227-234.
 25. Rhoades, J.D. (1996). Salinity Electrical conductivity and total dissolved solids. In D.L. Sparks (Ed.), *Methods of Soil Analysis*. Part 3, chemical methods. SSSA, Madison, WI, pp.417-437
 26. Ryan, J., Curtin, D. and Cheema, M.A. (1985). Significance of iron oxides and calcium carbonate particle size in phosphate sorption by calcareous soils. *Soil Science Society of America Journal*, Vol, 49, pp. 74-76.
 27. Solis, P. and Torrent, J. (1989). Phosphate fractions in calcareous Vertisols and Inceptisols of Spain. *Soil Science Society of America Journal*, Vol, 53, pp.462-466.
 28. Syers, J.K., Smillie, G.W. and Williams, J.D.H. (1972). Calcium fluoride formation during extraction of calcareous soils fluoride, pp. I. Implication to inorganic phosphorus fractionation schemes. *Soil Science Society of America Journal*, Vol, 36, pp.20-24.
 29. Tchienkoua, T. and Zech, W. (2010). Relationship of soil phosphorus pools with Bray 1 phosphorus in some acid soils of central southern Cameroon. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, Vol, 14, pp. 1327-1337.
 30. Thomas, G.W. 1996. Soil pH and soil acidity. In D.L. Sparks (Ed.), *Methods of Soil Analysis*. Part 3, chemical methods. SSSA, Madison, WI, pp. 475-491
 31. Wang, J., Liu, W.Z., Mu, H.F. and Dang, T. H. (2010). Inorganic phosphorus fractions and phosphorus availability in a calcareous soil receiving 21-year superphosphate application. *Pedosphere*, Vol, 20, pp. 304-310.