

## اجزای مختلف فسفر معدنی در برخی از خاکهای استان همدان و ارتباط آنها با فسفر قابل جذب خاک

مهدی سمواتی و علیرضا حسین پور<sup>1\*</sup>

### چکیده

تعیین شکل‌های مختلف فسفر خاک در ارزیابی وضعیت فسفر خاک مهم است. به همین منظور، مقدار و توزیع فسفر در شکل‌های مختلف معدنی و آلی در 53 نمونه خاک استان همدان بررسی شد. خاکها به صورت دنباله‌ای به منظور تعیین اجزای معدنی و آلی فسفر عصاره گیری شدند. فسفات معدنی به شش جزء شامل: دی کلسیم فسفات، اکتا کلسیم فسفات، آپاتیت، فسفات پیوند شده با آلومینیوم، فسفات پیوند شده با آهن و فسفر حبس شده درون اکسیدهای آهن تفکیک شد. نتایج این تحقیق نشان داد که دامنه اجزای مختلف فسفر دارای تغییرات نسبتاً زیادی بود. تغییرات فسفر کل خاکها در دامنه 2686 - 926 با میانگین 1533 میلی گرم در کیلو گرم خاک بود. دامنه تغییرات فسفات‌های کلسیم 1872 - 104 با میانگین 801 میلی گرم در کیلوگرم خاک بود که 78/5 درصد فسفر معدنی و 52/3 درصد از فسفر کل را تشکیل می‌دهد که شکل غالب فسفر خاک است. دامنه تغییرات فسفات پیوند شده با آهن 185 - 1 با میانگین 59 میلی گرم در کیلوگرم خاک که 5/8 درصد از فسفر معدنی و 3/8 درصد از فسفر کل را تشکیل می‌دهد. دامنه تغییرات فسفات پیوند شده با آلومینیوم 523 - 5 با میانگین 128 میلی گرم در کیلوگرم خاک که 12/5 درصد از فسفر معدنی و 8/3 درصد از فسفر کل را تشکیل می‌دهد. فسفر حبس شده درون اکسیدهای آهن 371 - 0/0 با میانگین 33 میلی گرم در کیلو گرم خاک که 3/2 درصد از فسفر معدنی و 2/2 درصد از فسفر کل را تشکیل می‌دهد. دامنه تغییرات فسفر آلی 676 - 75 با میانگین 277 میلی گرم در کیلوگرم خاک بود که 18/1 درصد از فسفر کل را تشکیل می‌دهد. نتایج مطالعات همبستگی نشان داد که فسفر قابل دسترس (فسفر عصاره گیری شده به روش اولسن) همبستگی معنی داری با دی کلسیم فسفات، اکتا کلسیم فسفات، فسفات پیوند شده با آلومینیوم، مجموع فسفات‌های کلسیم و فسفات‌های آهن و آلومینیوم داشت. این نتیجه نشان می‌دهد که احتمالاً این اجزاء می‌توانند به وسیله گیاه استفاده شوند.

واژه های کلیدی: فسفر، تفکیک اجزاء، خاکهای آهکی، همدان

### مقدمه

افزایش یافته است. این امر منجر به عدم پاسخ گیاه به کود فسفره، وارد شدن فسفر به آبهای سطحی، بر هم خوردن تعادل عناصر غذایی در خاکها و آلودگی محیط زیست شده است (ملکوتی، 1378). به طور کلی، مقدار فسفری که بصورت کود مصرف خواهد شد، منهای مقدار فسفری که توسط گیاه جذب می‌شود به عنوان جزء پویای<sup>2</sup> فسفر در خاک به حساب می‌آید (اسچمیت و همکاران، 1997). هنگامی که ترکیبات محلول فسفر به خاک اضافه می‌شوند، به اشکال کم محلول یا غیر محلول تبدیل می‌گردند و لذا غلظت فسفر

فسفر در بین عناصر غذایی بعد از ازت مهمترین عامل محدود کننده تولیدات کشاورزی در بیشتر مناطق جهان و ایران می‌باشد. بر خلاف ازت که از منابع اتمسفری فراهم می‌شود، در مورد فسفر هیچ منبع اتمسفری وجود ندارد. منابع فسفر محدود بوده و امکان تمام آنها وجود دارد (سالار دینی، 1374). درسالهای اخیر به دلیل افزایش جمعیت و تقاضای بیشتر برای تولید محصولات کشاورزی مقدار کاربرد کودهای فسفره افزایش و در نتیجه کاربرد این کودها، مقدار فسفر خاکها

1- به ترتیب، دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و دانشیار گروه خاکشناسی، دانشگاه بوعلی سینا.

\* وصول: 84/4/22 و تصویب: 85/9/1

35 - 20 سانتیمتری هیچ جزئی از فسفر، تحت تأثیر کاربرد کود قرار نگرفت.

صمدی و جیلکز (1998) در مطالعات خود در خاکهای آهکی غرب استرالیا، از روش پیشنهادی جیانگ و گوو (1989) استفاده کردند، که فسفات معدنی خاک، به شش گروه شامل: فسفات کلسیم (Ca-P)، اکتا کلسیم فسفات (Ca<sub>8</sub>-P)، آپاتیت (Ca<sub>10</sub>-P) فسفات آلومینیوم (Al-P)، فسفات آهن (Fe-P) و فسفر محبوس شده درون اکسیدهای آهن (O-P) طبقه بندی می‌شود. آنان علاوه بر تعیین فسفات های آهن و آلومینیوم محبوس شده و محبوس نشده، سه شکل فسفات کلسیم، یعنی دی کلسیم فسفات (فسفر قابل استخراج با NaHCO<sub>3</sub>)، اکتا کلسیم فسفات (فسفر قابل استخراج با NH<sub>4</sub>OAc) و آپاتیت (فسفر قابل استخراج با H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) را، در این خاکها تشخیص دادند.

تکچند و تومار (1993 و 1994) روش اصلاح شده چنگ و جکسون (1957) را در پژوهش های مربوط به سرنوشت فسفر افزوده شده و اثر ویژگیهای خاک در تغییر شکل فسفات، در 28 خاک قلیایی از مناطق هاریانا<sup>3</sup> و اوتار پرادش<sup>4</sup> هند به کار بردند. یافته های آنها نشان داد که تغییر شکل فسفر مصرفی به فسفر آسان رها با افزایش گنجایش تبادل کاتیونی و قابلیت هدایت الکتریکی، آهن فعال، کربن آلی و فسفر قابل استفاده گیاه و قابل عصاره گیری با بی کربنات سدیم به طور لگاریتمی کاهش یافت.

پرات و گابرا (1964) نشان دادند که بین فسفر عصاره گیری شده به کمک بی کربنات سدیم با فسفر عصاره گیری شده به کمک عصاره گیرهای NH<sub>4</sub>F، NH<sub>4</sub>Cl و NaOH رابطه مثبت برقرار است.

با توجه به اینکه فسفر به شکل های مختلفی در خاک وجود دارد که می‌تواند برحاصلخیزی خاک و فسفر قابل جذب تأثیر داشته باشد و با توجه به اینکه در مورد وضعیت فسفر خاکهای استان همدان و ارتباط آنها با ویژگی های خاک اطلاعاتی در دست نیست، پژوهش حاضر جهت تعیین شکل های معدنی فسفر و ارتباط این شکل ها با یکدیگر و با برخی از ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی خاک در 53 نمونه از خاکهای استان همدان انجام شد.

در محلول خاک و همچنین قابلیت جذب آن توسط گیاه کاهش می‌یابد (دهیلون و دوو، 1988). غیر قابل جذب شدن فسفر در خاک شامل دو فرایند جذب سطحی و رسوب است. معمولاً اعتقاد بر این است که در غلظتهای بالای فسفر، رسوب و در غلظتهای پایین جذب سطحی فسفر انجام می‌گیرد. اجزای مختلف خاک که در جذب سطحی فسفر نقش دارند، شامل اکسیدهای آهن و آلومینیوم، مواد آلی، کربنات کلسیم و کانی های سیلیکاته خاک است (اولسن و خازاونه، 1980). بررسی شکل های مختلف فسفر در تعیین روابط میان شکل های فسفر خاک با نتایج آزمونهای فسفر خاک (آدیوژن و همکاران، 1982؛ بخت سعید و داکرمنجی، 1993 و هایلین و کوار، 2000) و ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی خاک (آدیوژن و همکاران، 1982 و چنگ و جکسون، 1957) حائز اهمیت بوده، و یافته های سودمندی در اختیار پژوهندگان قرار می‌دهد.

در مطالعه‌ای که توسط ان ووک و وان لائو (2003) در خاکهای غرب آفریقا انجام شد، فسفر به دو بخش، فسفر قابل جذب<sup>1</sup> به عنوان فسفر معدنی و فسفر آلی که توسط، بی کربنات و رزین قابل عصاره گیری بود، و دوم فسفر نسبتاً قابل جذب<sup>2</sup> که توسط هیدروکسید آمونیوم قابل عصاره گیری بود، تقسیم شد. نتیجه‌ای که بدست آوردند بدین صورت بود که، فسفر عصاره گیری شده به کمک رزین، بیشترین جزء فسفر معدنی قابل دسترس بوده و مقدار آن 14 - 1 میلی گرم در کیلوگرم خاک می‌باشد. فسفر معدنی قابل حل در بی کربنات 11/0 - 3/3 میلی گرم در کیلوگرم خاک و فسفر آلی بین 12/0 - 4/0 میلی گرم در کیلوگرم خاک بود. آنها نتیجه گرفتند که افزایش فسفر قابل دسترس به میزان زیادی با افزایش آهن و آلومینیوم قابل عصاره گیری با اکسالات، کاهش می‌یابد و عملیات مدیریتی ویژه ای برای کاهش فعالیت آهن و آلومینیوم در محلول خاک به منظور افزایش قابلیت فراهمی فسفر نیاز است.

مطالعه‌ای که توسط یائوبینگ و میثائیل (1999) در تعدادی از خاکهای مالی سول در داکوتا انجام شد، اجزای فسفر به 5 جزء شامل محلول در آب، جزء آلی و معدنی فسفر که در بی کربنات سدیم محلول است، جزء آلی و معدنی قابل حل در هیدروکسید سدیم، جزء محلول در اسید کلریدریک و فسفر تنمه، تقسیم شد. شش سال پس از کاربرد کود همه اجزای فسفر در عمق 5 سانتیمتری افزایش معنی داری نشان دادند و بعضی از اجزای فسفر در عمق 20 - 5 سانتیمتری نیز افزایش پیدا کرد، ولی در عمق

## مواد و روشها

## ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی

در این مرحله 53 نمونه خاک از مناطق مختلف اطراف شهر همدان و بخش های مختلف این استان از عمق زراعی 0-30 سانتیمتر طوری انتخاب گردیدند که از نظر جغرافیایی سطح وسیعی را در بر گیرند. بیشتر این نمونه ها از اراضی، زراعی، دیمزار و تحت آیش انتخاب شدند. نمونه ها در آزمایشگاه هوا خشک و پس از کوبیده شدن و گذراندن از الک دو میلیمتری جهت مطالعه آماده شدند.

برخی از ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی خاک مانند بافت خاک به روش پیپت (گی و باوادر، 1986)، پ هاش در عصاره 2 به 1 محلول به خاک [محلول کلرید کلسیم 0/01 مولار]، (توماس، 1996)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره 2 به 1 آب به خاک (رودز، 1996)، ماده آلی به روش اکسایش تر (نلسون و سامرز، 1996)، کربنات کلسیم معادل به روش خشتی سازی با اسید (لئوپرت و سائورز، 1996)، و گنجایش تبادل کاتیونی خاک به روش استات سدیم در پ هاش 7 اندازه گیری شد (سامنر و میلر، 1996).

## جدا سازی شکل های شیمیایی فسفر معدنی و اندازه گیری

## فسفر آلی

برای جداسازی و تعیین شکل های مختلف فسفر معدنی از روش جیانگ و گوو (1989) استفاده شد. در این روش عصاره گیری، فسفر معدنی به شش شکل تفکیک شد: 1- دی کلسیم فسفات با استفاده از محلول 0/25 مولار  $\text{NaHCO}_3$  در پ هاش 2.7- اکتا کلسیم فسفات با استفاده از محلول 0/5 مولار  $\text{NH}_4\text{OAc}$  در پ هاش 4/2-3- فسفات پیوند شده با آلومینیوم با استفاده از محلول 0/5 مولار  $\text{NH}_4\text{F}$  در پ هاش 8/2-4- فسفات پیوند شده با آهن با استفاده از محلول 0/1 مولار  $\text{NaOH}$  و  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  5- فسفر حبس شده درون اکسیدهای آهن با استفاده از محلول 0/3 مولار سدیم سترات ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{Na}_3\text{O}_7 \cdot 5.5\text{H}_2\text{O}$ ) و سدیم دی تیونات ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ ) و هضم با سه اسید پرکلریک، سولفوریک و نیتریک. 6- فسفات موجود در آپاتیت با استفاده از محلول نیم مولار اسید سولفوریک، فسفر کل به روش هضم دو اسید (سامرز و نلسون، 1997)، فسفر آلی به روش کوئو (1996)، فسفر قابل جذب خاکها به روش اولسن ( اولسن و همکاران، 1954) و فسفر موجود در عصاره ها به روش رنگ سنجی تعیین شد (مورفی و رلی، 1962). در پایان بین اجزای مختلف فسفر و همچنین بین این اجزاء و ویژگیهای خاک، معادلات رگرسیونی برازش گردید. محاسبات و تجزیه های آماری با استفاده از برنامه Minitab انجام شد.

## نتایج و بحث

## ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی خاکها

ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی خاکها در جدول 1 آورده شده است. بر اساس نتایج این جدول، واکنش خاکها در محدوده خشتی و کمی بالاتر در دامنه 8/1-7/0. دامنه تغییرات قابلیت هدایت الکتریکی، 0/41 - 0/14 دسی زمینس بر متر، دامنه تغییرات کربنات کلسیم معادل 34/3 - 0/5 درصد، دامنه تغییرات مقدار رس 53/1 - 13/0 درصد و کربن آلی خاکها 1/76 - 0/29 درصد و دامنه تغییرات گنجایش تبادل کاتیونی 30/1 - 11/0 سانتی مول بار بر کیلوگرم بود.

## اجزای مختلف فسفر

در این تحقیق با توجه به عصاره گیریهایی که نام برده شد، فسفر به شش شکل تفکیک شد. نتایج مربوط به شکل های مختلف فسفر در جدول 2 آورده شده است. میزان فسفر کل در این نمونه ها دامنه وسیعی داشت. تغییرات فسفر کل خاکها در دامنه 2686 - 926 با میانگین 1533 میلی گرم در کیلوگرم خاک بود، خاک شماره 11 بیشترین مقدار فسفر و خاک شماره 53 کمترین مقدار را به خود اختصاص داد.

نتایج مندرج در جدول 2 نشان می دهد که فسفات های کلسیم شامل دی کلسیم فسفات، اکتا کلسیم فسفات و آپاتیت، دارای دامنه گسترده ای می باشند. دامنه تغییرات دی کلسیم فسفات 166-20 با میانگین 69 میلی گرم در کیلوگرم بود که 4/5 درصد از فسفر کل و 8/6 درصد از فسفات های کلسیم را تشکیل می دهد. بیشترین مقدار دی کلسیم فسفات در خاک شماره 2 و کمترین مقدار آن در خاک شماره 23 وجود داشت. دامنه تغییرات اکتا کلسیم فسفات 750-31 با میانگین 325 میلی گرم در کیلوگرم بود که 21/2 درصد از فسفر کل و 40/6 درصد از فسفات های کلسیم را تشکیل می دهد. بیشترین مقدار اکتا کلسیم فسفات در خاک شماره 11 و کمترین مقدار آن در خاک شماره 48 وجود داشت. دامنه تغییرات آپاتیت 1038-34 با میانگین 407 میلی گرم در کیلوگرم بود که 26/6 درصد از فسفر کل و 50/8 درصد از فسفات های کلسیم را تشکیل می دهد. بیشترین مقدار آپاتیت در خاک شماره 3 و کمترین مقدار آن در خاک شماره 48 وجود داشت. دامنه تغییرات فسفات پیوند شده با آلومینیوم و آهن نیز گسترده بود. دامنه تغییرات فسفات پیوند شده با آلومینیوم 523-5 با میانگین 128 میلی گرم در کیلوگرم بود که 8/3 درصد از فسفر کل و 68/5 درصد از فسفات های پیوند شده با آهن و آلومینیوم را تشکیل می دهد. بیشترین مقدار فسفات پیوند شده با آلومینیوم در خاک شماره 1 و

شکل های محلول به شکل های با حلالیت کمتر می تواند از دلایل وجود مقادیر متفاوت شکل های معدنی فسفر در خاک باشد. در این ارتباط نیاز به تحقیقات بیشتری است. رابطه شکل های مختلف فسفر با یکدیگر و با خصوصیات خاک

ضرایب همبستگی بین اجزای مختلف فسفر و ویژگیهای خاکهای مطالعه شده در جدول 3 نشان داده شده است. نتایج مندرج در این جدول نشان می دهد که ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی خاک، شامل: درصد رس، گنجایش تبادل کاتیونی، کربنات کلسیم معادل، کربن آلی، pH و قابلیت هدایت الکتریکی خاک، اثر معنی داری با شکل های مختلف فسفر معدنی و فسفر آلی داشتند. هر چند به دلیل تفاوت زیاد در ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی خاک ضرایب همبستگی ممکن است پایین باشد. نتایج این همبستگی نشان داد که: دی کلسیم فسفات با درصد رس، گنجایش تبادل کاتیونی، پ هاش و قابلیت هدایت الکتریکی همبستگی معنی داری داشت. اکتا کلسیم فسفات با درصد رس، گنجایش تبادل کاتیونی، پ هاش و کربنات کلسیم معادل همبستگی معنی داری داشت. آپاتیت با گنجایش تبادل کاتیونی، پ هاش، قابلیت هدایت الکتریکی و کربن آلی همبستگی معنی داری داشت. فسفات پیوند شده با آلومینیوم با کربنات کلسیم معادل همبستگی معنی داری داشت. فسفات پیوند شده با آهن با پ هاش، قابلیت هدایت الکتریکی و کربن آلی همبستگی معنی داری داشت. فسفات حبس شده در درون اکسیدهای آهن با درصد رس، پ هاش، قابلیت هدایت الکتریکی و کربن آلی همبستگی معنی داری داشت. فسفات های کلسیم با گنجایش تبادل کاتیونی، کربنات کلسیم معادل، پ هاش و قابلیت هدایت الکتریکی همبستگی معنی داری داشت. فسفر قابل جذب با پ هاش، قابلیت هدایت الکتریکی، کربنات کلسیم معادل، و کربن آلی همبستگی معنی داری داشت.

تأثیر ویژگیهای خاک مانند پ هاش، درصد رس و گنجایش تبادل کاتیونی بر جذب فسفات، به وسیله پژوهشگران مختلفی گزارش شده است (آدپوزن و همکاران، 1982؛ الخطیب و همکاران، 1991 و ریان و همکاران، 1985).

بخیت سعید و داکر منجی (1993) نشان دادند که بین جذب فسفر و میزان کربنات کلسیم همبستگی معنی دار وجود ندارد. ریان و همکاران (1985) دریافتند که میان اکسیدهای آهن و جذب فسفر رابطه معنی داری بر قرار است در حالیکه، کربنات کلسیم هیچ تأثیری بر جذب فسفر نداشته است. هالفورد و متینگلی (1975) گزارش

کمترین مقدار آن در خاک شماره 30 وجود داشت. دامنه تغییرات فسفات پیوند شده با آهن 1-185 با میانگین 59 میلی گرم در کیلوگرم بود که 3/8 درصد از فسفر کل و 31/5 درصد از فسفات های پیوند شده با آهن و آلومینیوم را تشکیل می دهد. بیشترین مقدار فسفات پیوند شده با آهن در خاک شماره 22 و کمترین مقدار آن در خاک شماره 8 وجود داشت. دامنه تغییرات فسفر حبس شده در درون اکسید های آهن نیز متفاوت بود، البته باید بیان نمود که در بعضی از خاکها مقدار این بخش از فسفر بسیار کم، ولی در بعضی دیگر از خاکها مقدار قابل ملاحظه ای داشت. دامنه تغییرات این بخش 0/0-371 با میانگین 33 میلی گرم در کیلوگرم فسفر بود که 2/2 درصد از فسفر کل را تشکیل می داد. بیشترین مقدار فسفر حبس شده در درون اکسید های آهن در خاک شماره 26 وجود داشت.

در بخش دیگر این تحقیق فسفر تمه<sup>1</sup> که از کم کردن اجزای مختلف فسفر از فسفر کل بدست آمد، تعیین شد. دامنه این شکل از فسفر 11-812 با میانگین 235 میلی گرم در کیلوگرم خاک بود که 15/3 درصد از فسفر کل را تشکیل می داد. بیشترین مقدار فسفر تمه در خاک شماره 45 و کمترین مقدار آن در خاک شماره 14 وجود داشت. در این تحقیق مقدار فسفر آلی هم به روش هضم سه اسید (کوئو، 1996) تعیین شد. دامنه تغییرات فسفر آلی 676-75 با میانگین 277 میلی گرم در کیلوگرم بود که 18/1 درصد از فسفر کل را تشکیل می داد. بیشترین مقدار آن در خاک شماره 36 و کمترین مقدار آن در خاک شماره 50 وجود داشت.

فسفر قابل جذب یا فسفر عصاره گیری شده به روش اولسن نیز دارای تغییرات وسیعی بود. دامنه تغییرات این شکل از فسفر 67 - 8 با میانگین 32 میلی گرم در کیلوگرم بود. بیشترین مقدار در خاک شماره 11 و کمترین مقدار آن در خاک شماره 41 وجود داشت. علت بالا بودن فسفر کل در خاکهای مطالعه شده را می توان مواد مادری و ویژگیهایی از آن که باعث بالا رفتن مقدار فسفر کل در این مناطق می شود، دانست. همچنین استفاده بی رویه از کودهای فسفره و فعالیت های انسانی از دیگر عوامل موثر در بالا رفتن مقدار فسفر کل در این خاکها است. هر چند به عقیده کوئو (1996) مقدار فسفر کل در خاکهای مناطق خشک می تواند به 5000 میلی گرم در کیلوگرم هم برسد و تغییرات شدید در یک منطقه محدود دور از انتظار نیست. در این خاکها احتمالاً به دلیل مصرف متفاوت کودهای فسفره و همچنین به دلیل سرعت متفاوت تبدیل

است. به عنوان مثال دو متغیر pH و گنجایش تبادل کاتیونی ارتباط معنی داری با اکتا کلسیم فسفات داشتند. موقعی که این دو پارامتر وارد مدل شدند ضریب همبستگی به 0/57 افزایش یافت. این ضریب از زمانی که این دو پارامتر به تنهایی وارد مدل شوند بیشتر است. این نتیجه نشان می‌دهد که دو متغیر فوق 57 درصد تغییرات اکتا کلسیم فسفات را توضیح می‌دهند. همچنین لازم به ذکر است که ویژگی‌های خاک نتوانستند ضریب همبستگی فسفات پیوند شده با آلومینیوم را افزایش دهند. باید بیان نمود که پایین بودن ضریب همبستگی (r) در این معادلات احتمالاً به علت تعداد بالای نمونه‌های مورد بررسی، پراکندگی مقادیر اجزای مختلف فسفر و تفاوت ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاکهای مورد مطالعه می‌باشد. با توجه به نتایج ارائه شده در جدول 4 مشاهده می‌شود که گنجایش تبادل کاتیونی، pH و کربنات کلسیم معادل نسبت به سایر ویژگی‌های خاک تأثیر بیشتری بر افزایش ضرایب همبستگی دارند و این نتیجه نشان می‌دهد که این سه ویژگی تأثیر بیشتری در قابلیت فراهمی فسفر در خاکهای مطالعه شده دارند. پژوهندگان بسیاری از جمله صمدی و جیلکز (1998) و تکچند و تومار (1994) تأثیر مهم رس، گنجایش تبادل کاتیونی و کربنات کلسیم معادل را بر قابلیت فراهمی فسفر در خاکهای آهکی بیان کرده‌اند.

محمود سلطانی و صمدی (1382) در تعدادی از خاکهای آهکی استان فارس به منظور یافتن بهترین مدل رگرسیونی گزارش کردند که برای فسفر آلی و فسفات های کلسیم فقط درصد رس و برای فسفات های آهن و آلومینیوم، درصد رس و کربنات کلسیم معادل از نظر آماری معنی دار بودند. آنها عوامل مهم در قابلیت استفاده فسفر در این خاکها را میزان رس آنها بیان کردند.

پژوهشگران بسیاری تأثیر کم و یا عدم تأثیر مقدار کربنات کلسیم معادل را در جذب فسفر بوسیله خاک گزارش کرده‌اند. ریان و همکاران (1985) اهمیت اکسیدهای آهن و اندازه ذرات کربنات کلسیم را در جذب فسفر به وسیله خاکهای آهکی، با استفاده از ضرایب همبستگی و رگرسیونی بررسی کردند. نتایج آنان نشان داد که مقدار کربنات کلسیم تأثیر چندانی بر جذب فسفر ندارد. همچنین پنا و تورنت (1990) گزارش کردند واکنش پذیری کربنات کلسیم به سطح ویژه کربنات کلسیم، که نشانه توزیع اندازه ذرات کربنات کلسیم خاک است، بستگی دارد، نه به مقدار کل کربنات کلسیم در بخش دیگر این تحقیق رابطه بین شکل های مختلف فسفر با یکدیگر بررسی شد (جدول 5). نتایج نشان داد که: دی کلسیم فسفات: با اکتا کلسیم فسفات، فسفات پیوند شده با

کردند واکنش پذیری کربنات کلسیم به کربنات کلسیم کل بستگی نداشته بلکه به سطح ویژه کربنات کلسیم، که در ارتباط با توزیع اندازه ذره کربنات کلسیم است بستگی دارد. در پژوهشی دیگر شاریلی و اسمیت (1985) رابطه منفی و معنی داری بین قابلیت استفاده فسفر با میزان کربنات کلسیم برای گروهی از خاکهای آهکی ایالات متحده آمریکا به دست آوردند.

از سایر خصوصیات که در جذب فسفر در خاک مهم می‌باشد، pH خاک است. کاهش جذب فسفر در خاک با افزایش pH توسط ان ووک و وان لائو (2003) نشان داده شد که علت آن افزایش بار منفی یا بار متغیر کلوئید های خاک می‌باشد، که سبب دفع الکترواستاتیک یونهای ارتو فسفات می‌شود در برابر آن آگنین و همکاران (1996) در شماری از خاکهای غرب آفریقا گزارش کردند که با افزایش pH میزان جذب نیز افزایش می‌یابد و علت این امر را وجود کلسیم که کاتیون غالب در آن منطقه است، می‌دانند.

در مطالعه‌ای که توسط تی لر (2002) در خاکهای غیر حاصلخیز شرق سوئد صورت گرفت نشان داده شد که، اجزای فسفر معدنی پیوند شده با آهن، آلومینیوم و کلسیم رابطه نزدیکی با pH خاک دارند. بین یونهای ارتو فسفات پیوند شده با آهن و pH رابطه خطی و منفی وجود دارد. این جزء از فسفر حدوداً 50% از مقدار کل فسفر معدنی را در این خاکها تشکیل می‌دهد، اما مقدار آن در خاکهای آهکی کمتر از 1% است. رابطه نمایی و مثبتی هم بین یونهای ارتو فسفات پیوند شده با کلسیم و pH وجود دارد و یک کاهش ناگهانی در این جزء در pH کمتر از 4/5 مشاهده می‌شود. این جزء از فسفر حدوداً 90% از کل فسفر را در خاکهایی با pH بالا، در خاکهایی با pH متوسط 70 - 60% و در خاکهایی با pH اسیدی 40 - 10% را تشکیل می‌دهد. رابطه بین یونهای ارتو فسفات پیوند شده با آلومینیوم و pH خاک خطی و منفی است و این جزء از فسفر حدوداً 30% از کل مقدار فسفر را تشکیل می‌دهد و مقدار آن در خاکهایی با pH بالاتر 50 - 10% از کل مقدار فسفر خاک می‌باشد.

به منظور ارزیابی تأثیر متقابل ویژگیهای خاک با مقدار فسفر استخراج شده به وسیله عصاره‌گیرهای مختلف و یافتن بهترین مدل رگرسیونی چند متغیره برای تعریف ارتباط هر یک از شکل‌های مختلف فسفر با ویژگیهای خاک از برنامه رگرسیونی گام به گام استفاده شد. نتایج تجزیه این آزمون نشان داد هنگامی که برخی از ویژگیهای خاک با هم وارد مدل شوند، ضرایب همبستگی افزایش خواهد یافت. نتایج این مطالعات در جدول 4 آورده شده

فسفر کل داشت. ضرایب این همبستگی به ترتیب 0/95، 0/79، 0/89 و 0/93 بود.

لوپز و گارسیا ناوارو (2001) در خاکهای اسپانیا گزارش کردند که فسفر قابل دسترس (عصاره گیری شده با کلرید آمونیوم یک مولار) همبستگی معنی داری با فسفات پیوند شده با آلومینیوم و فسفر عصاره گیری شده به روش اولسن داشت. ضرایب این همبستگی به ترتیب 0/69 و 0/47 بود. همچنین همبستگی معنی داری بین فسفر آلی با فسفر کل و فسفات پیوند شده با آلومینیوم با ضریب همبستگی 0/47 و 0/40 و همبستگی معنی داری نیز بین فسفات پیوند شده با آلومینیوم با فسفات پیوند شده با آهن و فسفر حبس شده در درون اکسیدهای آهن با ضریب همبستگی 0/56 و 0/41 وجود داشت.

### نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که دامنه تغییرات فسفر کل و همچنین اجزاء فسفر در خاکهای همدان زیاد بوده و با برخی از ویژگیهای خاک همبستگی معنی داری دارند. فسفر عصاره گیری شده به روش اولسن با دی کلسیم فسفات، اکتا کلسیم فسفات و فسفات پیوند شده با آلومینیوم، همبستگی معنی داری دارد که نشان می دهد این اجزاء احتمالاً می توانند در تأمین فسفر قابل استفاده گیاه نقش داشته باشند. پیشنهاد می شود، در مورد ارتباط اجزای مختلف فسفر با شاخص های گیاهی و فسفر عصاره گیری شده با سایر عصاره گیری هایی که برای تعیین فسفر قابل استفاده گیاه به کار می روند مطالعه ای انجام شود.

آلومینیوم، مجموع فسفات های کلسیم، فسفر قابل جذب و فسفر کل همبستگی معنی داری داشت. اکتا کلسیم فسفات: با دی کلسیم فسفات، آپاتیت، فسفات پیوند شده با آهن، فسفات پیوند شده با آلومینیوم، مجموع فسفات های کلسیم، فسفات های آهن و آلومینیوم، فسفر قابل جذب و فسفر کل همبستگی معنی داری داشت. آپاتیت: با اکتا کلسیم فسفات، فسفات پیوند شده با آلومینیوم، مجموع فسفات های کلسیم، فسفات های آهن و فسفر کل همبستگی معنی داری داشت. فسفات پیوند شده با آهن: با اکتا کلسیم فسفات، مجموع فسفات های کلسیم، فسفات های آهن و آلومینیوم، فسفر آلی همبستگی معنی داری داشت. فسفات پیوند شده با آلومینیوم: با دی کلسیم فسفات، اکتا کلسیم فسفات، آپاتیت، مجموع فسفات های کلسیم، فسفات های آهن و آلومینیوم، فسفر قابل جذب و فسفر کل همبستگی معنی داری داشت. فسفات حبس شده در درون اکسیدهای آهن: فقط با فسفر آلی همبستگی معنی داری داشت. فسفر قابل جذب: با دی کلسیم فسفات، اکتا کلسیم فسفات، فسفات پیوند شده با آلومینیوم، مجموع فسفات های کلسیم، فسفات های آهن و آلومینیوم و فسفر کل همبستگی معنی داری داشت. فسفر آلی: با آپاتیت، فسفات پیوند شده با آهن و فسفات حبس شده در درون اکسیدهای آهن همبستگی معنی داری داشت. صمدی و جیلکز (1998) در خاکهای استرالیا گزارش کردند که فسفر عصاره گیری شده به روش اولسن همبستگی معنی داری با فسفات پیوند شده با آلومینیوم، فسفات پیوند شده با آهن، آپاتیت، دی کلسیم فسفات و

جدول 1- برخی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاکهای مطالعه شده

شماره خاک	پ هاش	قابلیت هدایت الکتریکی	کربن آلی	رس	شن	کربنات کلسیم معادل	گنجایش تبادل کاتیونی
		$dS m^{-1}$		درصد		$cmol_c kg^{-1}$	
1	7/1	0/14	0/73	37/7	41/1	1/5	15/9
2	7/5	0/29	0/79	28/3	50/5	9/5	19/9
3	7/3	0/16	0/45	16/0	67/8	2/7	11/5
4	7/7	0/30	1/00	49/3	14/4	15/5	26/1
5	7/5	0/15	0/38	31/2	42/5	6/5	19/9
6	7/5	0/17	0/48	31/4	27/3	10/0	19/0
7	7/7	0/34	0/59	44/8	18/9	20/0	22/0
8	7/7	0/24	0/52	53/1	15/6	22/2	24/0
9	7/4	0/39	0/37	13/0	75/7	1/3	11/0
10	7/3	0/16	0/84	27/3	53/9	0/8	18/2
11	7/2	0/16	1/21	30/6	45/6	0/5	23/5
12	7/4	0/17	0/88	31/2	50/0	3/8	18/3
13	7/3	0/32	0/78	43/7	35/0	8/7	23/3

21/7	16/3	32/2	41/5	0/63	0/23	7/6	14
22/6	0/8	63/5	22/7	0/1	0/100	7/0	15
22/7	9/0	32/7	36/0	0/66	0/18	7/4	16
21/4	5/0	46/5	34/7	0/41	0/16	7/4	17
14/5	9/8	52/9	28/3	0/70	0/26	7/5	18
19/9	6/0	46/0	35/2	0/59	0/21	7/5	19
15/5	7/0	59/8	21/4	0/56	0/22	7/5	20
16/8	9/8	49/9	31/3	0/68	0/21	7/5	21
16/0	3/0	61/3	19/9	0/54	0/17	7/4	22
22/7	8/5	33/9	34/8	0/61	0/18	7/5	23
16/8	10/2	58/5	25/2	0/59	0/28	7/4	24
24/3	12/8	29/3	36/9	0/74	0/21	7/6	25
29/0	2/5	31/1	50/1	0/37	0/15	7/4	26
20/3	2/5	50/1	35/1	0/39	0/14	7/3	27
17/3	7/8	54/1	24/6	0/75	0/19	7/5	28
20/0	4/3	55/3	25/9	0/67	0/18	7/5	29
20/4	1/3	72/1	16/5	1/16	0/33	7/3	30
21/9	2/3	64/6	21/8	1/47	0/39	7/3	31
20/3	3/8	74/6	21/8	1/27	0/27	7/2	32
20/9	2/8	62/1	21/8	0/87	0/28	7/4	33
22/8	5/3	64/6	21/8	1/59	0/27	7/4	34
18/8	3/8	69/6	21/8	1/45	0/19	7/6	35
18/8	1/3	64/6	16/8	1/76	0/33	7/7	36
15/3	1/3	64/6	21/8	1/39	0/24	7/6	37
20/4	11/8	64/6	26/8	0/87	0/29	7/9	38
25/6	5/8	59/6	26/8	0/64	0/31	7/9	39
21/9	0/8	58/7	23/6	0/52	0/22	7/5	40
20/7	3/8	59/6	21/8	0/35	0/24	7/6	41
16/4	7/8	51/6	26/8	1/50	0/25	8/0	42
30/1	4/8	39/6	31/8	1/33	0/24	8/0	43
22/6	11/8	39/6	31/8	0/64	0/41	7/5	44
21/1	15/3	43/7	23/6	1/39	0/36	7/9	45
19/7	2/8	64/6	21/8	1/39	0/23	8/1	46
21/9	6/3	48/7	33/6	1/10	0/31	7/9	47
24/9	34/3	43/7	28/6	0/87	0/21	7/6	48
24/9	23/8	49/6	31/8	0/64	0/28	7/8	49
21/9	10/8	8/7	38/6	0/29	0/17	7/9	50
28/7	8/3	43/7	38/6	1/04	0/26	7/8	51
18/1	8/8	58/7	28/6	0/92	0/27	7/9	52
22/6	21/3	48/7	28/6	1/21	0/23	8/0	53
20/7	7/9	49/4	29/9	0/84	0/24	7/6	میانگین
11/0-30/1	0/5-34/3	8/7-75/7	13/0-53/1	0/29-1/76	0/14-0/41	7/0-8/1	دامنه

جدول 2- فسفر کل، اجزای مختلف فسفر معدنی، فسفر آلی، فسفر تتمه و فسفر قابل جذب (میلی گرم در کیلو گرم) در خاکهای مطالعه شده

شماره خاک	فسفر کل	دی کلسیم فسفات	اکتا کلسیم فسفات	آپاتیت	فسفات پیوند شده با آلومینیوم	فسفات پیوند شده با آهن	فسفر حبس شده درون اکسیدهای آهن	فسفر آلی	فسفر قابل جذب	فسفر تتمه
1	2204	1159	423	941	523	42	*-	135	45	25
2	2459	166	660	730	389	6	-	400	59	108
3	2377	100	690	1038	334	23	-	114	56	78
4	1766	66	312	581	103	3	-	370	24	332
5	1438	40	227	692	87	11	-	173	29	208
6	1362	42	164	594	71	15	-	196	28	280
7	1164	53	238	523	39	4	-	90	30	217
8	1055	443	87	471	26	1	-	285	23	139
9	1598	76	555	330	405	17	-	192	14	23
10	1798	52	344	872	215	35	-	256	19	24
11	2686	122	750	1000	446	34	-	270	67	65
12	1567	64	291	438	58	143	188	287	28	98
13	1336	36	278	470	74	143	12	200	10	123
14	1376	96	342	399	98	135	149	148	25	11
15	1918	102	477	566	105	167	147	287	47	68
16	1448	38	466	489	64	152	7	207	13	524
17	1266	23	208	308	114	151	120	116	16	227
18	1992	125	606	535	122	174	146	228	61	56
19	1878	69	589	581	152	142	55	197	60	92
20	1936	47	490	558	88	153	60	292	66	248
21	1798	73	572	577	98	170	51	200	38	58
22	1685	40	513	644	85	185	18	141	49	59
23	1493	20	466	491	85	131	8	219	13	74
24	1766	157	626	470	106	58	40	204	64	78
25	1584	57	469	508	95	66	13	313	29	63
26	1078	45	57	327	74	88	371	99	15	17
27	1119	36	112	319	91	74	287	119	13	82
28	1222	44	154	526	38	39	-	306	34	115
29	1754	61	671	565	112	70	-	186	21	90
30	1736	104	42	234	5	8	-	581	43	762
31	1074	105	345	264	6	21	-	225	47	108
32	939	57	239	275	71	31	-	192	54	72
33	1022	107	333	267	140	22	-	138	39	15
34	1372	96	446	260	152	23	-	225	48	171
35	1610	117	332	255	68	42	30	640	42	126
36	1696	94	553	199	8	33	-	676	38	134
37	1693	91	419	244	119	35	-	405	51	380
38	1818	43	442	163	169	28	-	448	31	525
39	1644	63	315	243	121	49	27	387	22	439
40	1928	39	422	316	/0	39	-	196	61	744
41	1732	39	202	151	119	47	-	419	8	754
42	1504	48	357	302	177	13	-	476	9	133
43	948	57	102	158	166	38	-	166	19	263

693	55	297	-	38	138	120	116	163	1564	44
812	23	501	-	12	113	180	131	54	1803	45
217	12	386	-	40	125	170	96	33	1067	46
788	16	371	-	26	109	36	53	44	1427	47
545	15	297	-	36	89	34	31	39	1070	48
598	12	362	7	46	118	150	47	38	1366	49
642	22	75	-	14	74	60	44	31	941	50
212	19	492	7	49	164	137	143	30	1233	51
111	19	221	-	6	39	437	118	105	1036	52
146	22	279	-	7	38	324	74	59	926	53
11-812	8-67	75-676	0/0-371	1-185	5-523	34-1038	31-750	20-166	926-2686	دامنه تغییرات
235	32	277	33	59	128	407	325	69	1533	میانگین

جدول 3- همبستگی بین شکل های مختلف فسفر با ویژگیهای خاکهای مطالعه شده

فسفر قابل	فسفات های جذب	فسفر حبس شده در کلسیم	فسفات پیوند درون اکسید های آهن	فسفات پیوند شده با آلومینیوم	آپاتیت شده با آهن	اکتا کلسیم	دی کلسیم فسفات	فسفر فسفات	ویژگی های خاک آلی
-0,15 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	0,30 <sup>*</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	0,1 <sup>ns</sup>	0,1 <sup>ns</sup>	0,31 <sup>*</sup>	0,27 <sup>*</sup>	-0,31 <sup>*</sup>	درصد رس
0,22 <sup>ns</sup>	0,48 <sup>**</sup>	-0,11 <sup>ns</sup>	0,27 <sup>ns</sup>	-0,1 <sup>ns</sup>	0,38 <sup>*</sup>	0,47 <sup>**</sup>	0,27 <sup>*</sup>	-0,1 <sup>ns</sup>	گنجایش تبادل کاتیونی
0,41 <sup>**</sup>	0,32 <sup>*</sup>	-0,16 <sup>ns</sup>	0,27 <sup>*</sup>	0,14 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>ns</sup>	0,36 <sup>*</sup>	0,5 <sup>ns</sup>	-0,1 <sup>ns</sup>	کربنات کلسیم معادل
0,33 <sup>*</sup>	0,15 <sup>ns</sup>	0,29 <sup>*</sup>	0,1 <sup>ns</sup>	-0,30 <sup>*</sup>	0,28 <sup>**</sup>	0,1 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>	0,50 <sup>**</sup>	کربن آلی
0,48 <sup>**</sup>	0,55 <sup>**</sup>	-0,28 <sup>*</sup>	0,26 <sup>ns</sup>	-0,36 <sup>*</sup>	0,54 <sup>**</sup>	0,42 <sup>**</sup>	0,31 <sup>*</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	پ. هاش
0,33 <sup>*</sup>	-0,30 <sup>*</sup>	-0,36 <sup>*</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	-0,36 <sup>*</sup>	-0,46 <sup>**</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	0,31 <sup>*</sup>	0,36 <sup>*</sup>	قابلیت هدایت الکتریکی

CCE = کربنات کلسیم معادل

CEC = گنجایش تبادل کاتیونی

\* و \*\* به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول 4 - رگرسیون چند متغیره بین شکل های مختلف فسفر و ویژگیهای خاکهای مطالعه شده

$Ca_2-P = -55,41 + 152 EC + 27 OC$	$r = 0,65^*$
$Ca_8-P = -2864 + 369 pH + 19,8 CEC$	$r = 0,57^*$
$Ca_{10}-P = 47,49 + 8,2 pH - 780 EC + 15,1 CEC$	$r = 0,68^*$
$Fe-P = 96,69 - 264 EC - 3,9 pH$	$r = 0,47^*$
$O-P = 51,26 + 6,3 Clay - 780 EC$	$r = 0,64^*$
$Ca-P = 71/540 + 21/1 CCE + 29 CEC$	$r = 0,55^*$
$Org-P = 258/8 + 152 + OC - 3/7 Clay$	$r = 0,59^*$

واحد اجزای مختلف فسفر  $mg\ kg^{-1}$  می باشد.

واحد گنجایش تبادل کاتیونی  $cmol_c\ kg^{-1}$ ، رس، کربنات کلسیم معادل و کربن آلی، درصد و قابلیت هدایت الکتریکی  $dS\ m^{-1}$  می باشد.

Ca-P بیانگر فسفاتهای کلسیم است.

Org-P بیانگر فسفر آلی است.

\* معنی دار در سطح احتمال پنج درصد

جدول 5 - نتایج همبستگی بین شکل های مختلف فسفر در خاکهای مطالعه شده

شکل های مختلف فسفر	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
دی کلسیم فسفات	0,43**	0,25 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	0,34*	0,1 <sup>ns</sup>	0,45**	0,26 <sup>ns</sup>	0,69**	0,12 <sup>ns</sup>	0,45**
اکتا کلسیم فسفات	-	0,61**	0,34*	0,46**	0,39 <sup>ns</sup>	0,88**	0,60**	0,54**	0,08 <sup>ns</sup>	0,74**
آپاتیت	-	-	0,20 <sup>ns</sup>	0,48**	0,1 <sup>ns</sup>	0,90**	0,55**	0,22 <sup>ns</sup>	0,36*	0,61**
فسفات پیوند شده با آهن	-	-	-	0,15 <sup>ns</sup>	0,1 <sup>ns</sup>	0,27*	0,35*	0,03 <sup>ns</sup>	0,28*	0,16 <sup>ns</sup>
فسفات پیوند شده با آلومینیوم	-	-	-	-	0,22 <sup>ns</sup>	0,54**	0,87**	0,27*	0,13 <sup>ns</sup>	0,61**
فسفر حبس شده در اکسیدهای آهن	-	-	-	-	-	0,25 <sup>ns</sup>	0,1 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>	0,28*	0,9 <sup>ns</sup>
مجموع فسفات های کلسیم	-	-	-	-	-	-	0,64**	0,45**	0,24 <sup>ns</sup>	0,07**
فسفات های آهن و آلومینیوم	-	-	-	-	-	-	-	0,27*	0,26 <sup>ns</sup>	0,67**
فسفر قابل جذب	-	-	-	-	-	-	-	-	0,19 <sup>ns</sup>	0,46**
فسفر آلی	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,20 <sup>ns</sup>
فسفر کل	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

\* و \*\* به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

### فهرست منابع:

1. سالاردینی، علی اکبر. 1374. حاصلخیزی خاک. انتشارات دانشگاه تهران.
2. محمود سلطانی، شهرام و عباس صمدی. 1382. شکل های مختلف فسفر در برخی خاکهای آهکی استان فارس و روابط آنها با ویژگیهای فیزیکی شیمیایی خاک. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی 7 (3): 119-128
3. ملکوئی، محمد جعفر. 1378. کشاورزی پایدار و افزایش عملکرد با بهینه سازی مصرف کود در ایران. چاپ دوم. انتشارات آموزش کشاورزی، سازمان تات، وزارت کشاورزی، کرج، ایران.

4. Adepojn, A., Parth, T. P. F., and Maghigod, S. V. 1982. Availability and extractability of phosphorus from soils having high residual phosphorus. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46: 583-588.
5. Agbenin, J. O., 1996. Phosphorus sorption by three savanna Alfisols as influenced by pH. *Fertil Res.* 44: 107 - 112.
6. Bakheit-Said, M., and Dakermanji, H. 1993. Phosphate adsorption and desorption by calcareous soils of Syria. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 24: 197-210.
7. Chang, S. C., and Jackson, M. L. 1957. Fractionation of soil phosphorus. *Soil Sci.* 84: 133-144.
8. Dhillon, N. S., and Dev, G. 1988. Transformation of soil inorganic phosphorus reactions under various crop rotations. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 39: 709-713.
9. Elkhatab, E. A. Thabet, A. G., and El-Haris, M. K. 1991. Prediction of phosphorus fractionation in soils. *Arid Soil Res. Rehab.* 5: 1-8.
10. Gee, G. W., and Bauder, J. W. 1986. Particle size analysis. *In: Methods of Soil Analysis.* (Ed.), Klute, A. Part 2. 383-409. Physical and mineralogical methods. ASA, Madison, WI.
11. Hailin, Z., and Kovar, J. L. 2000. Phosphorus fractionation. *In: Methods of P Analysis.* (Ed.), Pierzynski, G. M. 50-59. USDA / ARS. Ames, IA.
12. Holford, I. C. R., and Mattingly, G. E. G. 1975. The high- and low-energy phosphate adsorption surfaces in calcareous soils. *J. Soil Sci.* 26: 407 - 417.
13. Jiang, B., and Gu, Y. 1989. A suggested fractionation scheme of inorganic phosphorus in calcareous soils. *Fertil Res.*, 20: 159-165.
14. Kou, S. 1996. Total organic phosphorus. *In: Methods of Soil Analysis.* (Ed.), Sparks, D. L. Part 3. 869-919. Chemical Methods. SSSA. Madison, WI.
15. Loeppert, R. H., and D. L. Suarez. 1996. Carbonate and gypsum. *In: Methods of Soil Analysis.* (Ed.), Sparks, D. L. Part 3. 437-474. Chemical Methods. SSSA. Madison, WI.
16. Lopez-Pinerio, A., and Garcia-Navarro, A. 2001. Phosphate fractions and availability in vertisols of South-Western Spain. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 166: 548-556.
17. Murphy, I. C. R., and Riley, J. P. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta.* 27: 31-143.
18. Nelson, D. W., and Sommers, L. E. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter *In: Methods of Soil Analysis.* (Ed.), Sparks, D. L. Part 3. 961-1010. Chemical Methods. SSSA. Madison, WI.
19. Nwoke, O. C., and Vanlauwe, B. 2003. Assessment of labile phosphorus fractions and adsorption characteristics in relation to soil properties of West Africa savanna soils. *Agriculture, Ecosystems and Environment.* 100: 285-294.
20. Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanabe, F. S., and Dean, L. A. 1954. Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. USDA. Circ. 939. U.S. GOV. Print Office, Washington, DC.
21. Olsen, S. R., and Khasawneh, F. E. 1980. Use and limitation of physical-chemical criteria for assessing the state of phosphorus in soils. *In: The Role of Phosphorus in Agriculture.* (Eds.), Khasawneh, F. E., Sample, E. C., and Kamprath, E. J. 361-404. pub SSSA. Madison, WI.
22. Pena, F., and Torrent, J. 1990. Predicting phosphate sorption in soils of Mediterranean regions. *Fertil Res.* 23: 173-179.
23. Pratt, P. F., and Gabber, M. J. 1964. Correlation of phosphorus availability by chemical tests with inorganic phosphorus fractions. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 28: 23-26.
24. Rhodes, J. D. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. *In: Methods of Soil Analysis.* (Ed.), Sparks, D. L. Part 3. 417-435. Chemical Methods. SSSA. Madison, WI.

25. 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 Sci. Soc. Am. J.* 48: 74-76.
26. Samadi, A., and Gilkes, R. J. 1998. Forms of phosphorus in virgin and fertilized calcareous soils of Western Australia. *Austral. J. Soil Res.* 36: 585-601.
27. Schmidt, J. P. Buol, S. W., and Kamprath, E. J. 1997. Soil phosphorus dynamics during 17 years of continuous cultivation: A method to estimate long-term P availability. *Geoderma.* 78: 59-70.
28. Sharply, A. N., and Smith, S. J. 1985. Fractionation of inorganic phosphorus in virgin and cultivated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49: 127-130.
29. Sommers, L. E., and Nelson, D. W. 1997. Determination of total phosphorus in soils: A rapid perchloric acid digestion procedure. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 36: 902 – 904.
30. Sumner, M. E., and Miller, W. P. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficient. *In: Methods of Soil Analysis.* (Ed.), Sparks, D. L. Part 3. 1201-1230. Chemical Methods. SSSA. Madison, WI.
31. TekChand., and Tomar, N. K. 1994. Correlation of soil properties on with phosphate fixation in some alkaline calcareous soils of North-Western India. *Arid Soil Res. Rehab.* 8: 77-91.
32. TekChand., and Tomar, N. K. 1993. Effect of soil properties with phosphate fixation in some alkaline calcareous soils. *J. Indian. Soc. Soil Sci.* 41: 56-61.
33. Thomas, G. W. 1996. Soil pH and soil acidity. *In: Sparks, D. L. (Ed.), Methods of Soil Analysis.* Part 3. 475-490. Chemical Methods. SSSA. Madison, WI.
34. Tyler, G. 2002. Phosphorus fractions in grassland soils. *Chemosphere.* 48: 343-349.
35. Yaobing, S., and Michael, L. 1999. Fractionation of phosphorus in a Mollisol amended with biosolids. *Soil Sci.* 63: 1174-1180.