

توزیع شکل‌های معدنی فسفر و ارتباط آن با ویژگی‌های خاک در برخی خاک‌های آهکی استان قزوین

مهرزاد مستشاری^{۱*}، محمد معز اردلان، نجفعلی کریمیان، حامد رضایی و حسین میر حسینی

دانشجوی دکتری دانشگاه تهران و عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی قزوین؛

mm_mohasses@yahoo.com

دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران؛ ardalan39762@yahoo.com

استاد دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز؛ nkarimian@yahoo.com

استادیار پژوهش موسسه تحقیقات خاک و آب؛ rezaei_h@yahoo.com

استادیار دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران؛ hmirseyed@yahoo.com

چکیده

تعیین شکل‌های معدنی فسفر خاک و ارتباط آنها با یکدیگر و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های آهکی اطلاعات مفیدی را برای ارزیابی وضعیت فسفر و نیز حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه در اختیار می‌گذارد به منظور کسب چنین اطلاعاتی، فسفر کل و توزیع آن در شکل‌های مختلف در ۲۰ نمونه خاک استان قزوین به روش عصاره‌گیری متوالی تعیین و رابطه این شکل‌ها با یکدیگر و با ویژگی‌های خاک مطالعه شد. میزان فسفر کل ۷۰۰ تا ۱۰۴۰ میلی گرم بر کیلوگرم خاک به دست آمد. شکل‌های معدنی فسفر شامل دی کلسیم فسفات با میانگین ۹/۷ میلی گرم بر کیلوگرم، اکتا کلسیم فسفات با میانگین ۱۷۳ میلی گرم بر کیلوگرم، فسفات آلومینیوم با میانگین ۳۳ میلی گرم بر کیلوگرم، فسفات آهن با میانگین ۲۱ میلی گرم بر کیلوگرم، فسفر محبوس با میانگین ۲۰ میلی گرم بر کیلوگرم، آپاتیت با میانگین ۳۸۱ میلی گرم بر کیلوگرم، ظرفیت تبادل کاتیونی با میانگین ۲۳ میلی اکی والان بر صد گرم خاک، آهک فعال با میانگین ۹/۵ درصد، رس خاک با میانگین ۳۲ درصد بدست آمد. شکل‌های معدنی مختلف فسفر شامل فسفر محلول، دی کلسیم فسفات، فسفات آهن و فسفر محبوس با فسفر قابل جذب به روش اولسن روابط معنی دار و مثبتی را نشان دادند. همچنین بین شکل‌های مختلف فسفر هم بستگی معنی داری به دست آمد که احتمالاً بیانگر وجود یک رابطه پویا بین آنها در خاک می‌باشد. بین درصد رس با فسفات‌های آهن و بین فسفر کل با اکتا کلسیم فسفات و فسفات‌های آلومینیوم و آپاتیت، بین ظرفیت تبادل کاتیونی با فسفات‌های آلومینیوم و فسفر محبوس روابط مثبت و معنی داری بدست آمد و بین میزان هدایت الکتریکی و اکتاکلسیم فسفات و فسفات آلومینیوم، بین درصد کربن آلی با آپاتیت و بین درصد آهک فعال با آپاتیت همبستگی معنی دار و منفی بدست آمد. در نهایت مشخص شد که دامنه تغییرات اجزای فسفر در خاک‌های دشت قزوین زیاد می‌باشد. ضمناً با بدست آوردن همبستگی ویژگی‌های خاک با فسفر عصاره‌گیری شده به روش اولسن که شاخصی برای فسفر قابل استفاده گیاه است، می‌توان در مدیریت توصیه‌های کودی بر نامه ریزی دقیق تری انجام داد.

واژه‌های کلیدی: شکل‌های فسفر، خاک‌های آهکی، عصاره‌گیری متوالی

۱- نویسنده مسئول، آدرس: قزوین، بلوار شهید بهشتی پلاک ۱۱۸ صندوق پستی ۶۱۸-۳۴۱۸۵ مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع

طبیعی قزوین

* دریافت: ۸۶/۶/۱ و پذیرش: ۸۷/۵/۳

مقدمه:

آهکی همبستگی منفی بدست آوردند. لیکن در مور کربنات کلسیم فعال این همبستگی مثبت بود.

Jiang و Gu (۱۹۸۹) جداسازی شکلهای فسفر بر پایه حلالیت کانیهای حاوی فسفات نظیر آپاتایت، واریسایت و استرینگایت در برخی عصاره گیرها استوار است. اشکال معدنی فسفر به شکلهای مختلف فسفاتهای کلسیمی یعنی دی کلسیم فسفات، اکتا کلسیم فسفات، آپاتایت، فسفاتهای آهن و آلومینیوم و فسفاتهای محبوس در اکسیدهای آهن و آلومینیوم بطور جداگانه قابل اندازه گیری است.

Samadi و Gilkes (۱۹۹۹) گزارش دادند که بین فسفر آلی، فسفاتهای کلسیم و فسفاتهای آهن - آلومینیوم با درصد رس رابطه مثبت و معنی داری برقرار است. فسفاتهای آهن - آلومینیوم علاوه بر میزان رس با گنجایش تبادل کاتیونی نیز رابطه مثبت و معنی داری نشان دادند. کاهش فراهمی فسفر در خاک تابع پیچیده ای از نوع و مقدار ترکیبهای خاک بویژه، مقدار و واکنش پذیری رسهای سیلیکاته، کربنات کلسیم، اکسیدهای آهن و آلومینیوم، زمان و مقدار فسفر افزوده شده است.

Samadi و Gilkes (۱۹۹۸) روش جیانگ و گو را برای خاکهای آهکی و دارای pH بالاتر از ۸ مورد استفاده قرار دادند و دریافتند که فراوانی شکلهای فسفر معدنی در خاکهای غیرزراعی بصورت زیر می باشد.

اکتاکلسیم فسفات > فسفات آهن > آپاتایت > دی کلسیم فسفات > اکتاکلسیم فسفات > فسفاتهای آلومینیوم منظور از فسفاتهای محبوس، فسفاتهای آهن و آلومینیومی هستند که در داخل اکسیدهای این فلزات قرار گرفته اند، Page (۱۹۸۲) نیز نتایج مشابهی را بدست آورد. محمود سلطانی و صمدی (۱۳۸۲) در بررسی شکل های مختلف برخی خاکهای آهکی استان فارس و رابطه آنها با ویژگی های فیزیکوشیمیایی خاک گزارش دادند که در خاک های مورد مطالعه فسفر معدنی ۷۳ درصد و فسفر آلی ۲۷ درصد از فسفر کل را شامل می شد، میزان فسفر کل در خاک های بافت سبک با میانگین ۴۸۲ میلی گرم در کیلوگرم کمتر از خاک های بافت سنگین با میانگین ۶۹۰ میلی گرم در کیلوگرم بود. روابط مثبت و معنی داری میان فسفر آلی، فسفات های کلسیم و فسفات های آهن - آلومینیوم با درصد رس و گنجایش تبادل کاتیونی خاک برقرار است.

دهقانی و همکاران (۱۳۸۲) اشکال مختلف فسفر معدنی پنج نمونه از خاکهای منطقه اصفهان را بررسی نمودند و از میان اجزای مختلف فسفر معدنی آپاتایت (P-Ca₁₀) با متوسط ۳۸/۴ درصد بیشترین بخش فسفر

Samadi و Gilkes (۱۹۹۹) گزارش دادند که آگاهی از شکلهای شیمیایی فسفر معدنی در فهم شیمی فسفر خاک، و همچنین در درک جنبه های پیدایش و حاصلخیزی خاک اهمیت دارد. برای شناسایی شکلهای مختلف فسفر پژوهش های زیادی انجام شده است، تا بدین وسیله ارتباط میان جذب فسفر به وسیله گیاه با فسفر خاک مشخص شود. با توجه به حلالیت متفاوت شکلهای مختلف فسفر، تعیین فراوانی و توزیع آنان ممکن است ما را با قابلیت های گیاهان در استفاده از فسفر خاک بیشتر آشنا کند. بررسی شکلهای مختلف فسفر در تعیین روابط میان شکلهای فسفر خاک با نتایج آزمونهای فسفر خاک و نیز ویژگیهای فیزیکوشیمیایی خاک حائز اهمیت بوده و یافته های سودمندی در اختیار پژوهندگان گذاشته است.

Javiad و Rowl (۲۰۰۲) در مطالعه آنکوباسیون فسفر گزارش کردند که بعد از گذشت ۹۰ روز ۴۵ تا ۸۰ درصد از فسفر مصرفی بصورت غیر قابل جذب در آمده و قابل عصاره گیری به روش اولسن نبوده است. بیشترین مقدار فسفر غیر قابل جذب مربوط به خاکهای آهکی بود. آنان اظهار داشتند با مصرف کود فسفوری در مزرعه، بخش قابل توجهی از آن به سرعت به صورت غیر قابل جذب تبدیل می شود. Kuczak و همکاران (۲۰۰۶) به نتایج مشابهی دست یافته بودند.

Carreira و همکاران (۲۰۰۶) گزارش دادند که کربنات خاکها نقش موثری در رسوب فسفر بصورت فسفاتهای کلسیم دارد، همچنین اکسی تیدروکسیهای آهن نیز نقش تثبیت کنندگی فسفر را همانند کربناتها داشته است، در بررسی شکلهای فسفر این خاکها فسفر پیوند شده توسط کلسیم (قابل عصاره گیری با HCl) بیشترین مقدار را به خود اختصاص داد و سطح ویژه کربنات کلسیم مهمترین عامل در جذب و نگهداری فسفر می باشد.

Sharpley و همکاران (۱۹۸۹) در مطالعاتشان نشان دادند که جذب فسفر در خاکهای آهکی تابعی از مقدار کربنات کلسیم در خاک است اگرچه به نظر می رسد که اکسیدهای آهن و آلومینیوم در خاکهای آهکی در تثبیت فسفر کمتر اهمیت داشته باشند، Olsen و همکاران (۱۹۸۲) به نقش فعال و موثر اکسیدهای آهن و آلومینیوم اشاره کرده اند.

Samadi و Gilkes (۱۹۹۹) بین فسفر اولسن و خواص مربوط به رس، مقدار رس، آهن و آلومینیوم قابل استخراج با دی تیونات، آهن قابل استخراج با اگزالات آمونیوم و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک در مورد ۱۴ خاک

خاکورزی تفاوت معنی داری ندارد و در عمق ریشه مقدار آن کاهش یافته و فسفر عصاره گیری شده به روش اولسن در شرایط بدون عملیات زراعی افزایش نشان داد.

Zhang و همکاران (۲۰۰۴) در بررسی شکل‌های فسفر در خاکهایی که در طولانی مدت با افزایش و تخلیه فسفر مواجه بوده و تحت کشت ذرت قرار داشتند گزارش کردند که با تخلیه فسفر میزان فسفر به روش مهلیچ ۳ کاهش یافت و طی کشت های متوالی میزان فسفر لبایل (قابل دسترس گیاه) نیز کاهش یافته و تبدیل شکل‌های فسفر به فسفر عصاره گیری به روش اولسن طی یک پروسه کند صورت گرفته و باید در مدیریت کوددهی خاکها در مدنظر قرار گیرد.

Delgado و Torrent (۲۰۰۰) گزارش دادند که فسفات‌های کلسیم در خاکهای آهکی و فسفات‌های آلومینیوم و آهن در خاکهای اسیدی آهک خورده غالب بودند. البته خاک اسیدی آهک خورده مقادیر قابل ملاحظه ای فسفات‌های کلسیم داشت. آنان همچنین مشاهده کردند که قابلیت جذب فسفر برای گیاه در خاکهای آهکی کمتر از خاکهای اسیدی آهک خورده بود.

Delgado و همکاران (۲۰۰۰) با استفاده از داده های طیف $^{31}\text{P-NMR}$ نشان دادند که هیدروکسی آپاتیت شکل غالب فسفر در خاکهای آهکی مورد مطالعه بود. این مسئله با داده های عصاره گیری متوالی نیز مطابقت داشت، به طوری که فسفر قابل استخراج با اسید، شکل غالب فسفر بود.

Cross و Schlesinger (۲۰۰۱) گزارش دادند بخش زیادی از فسفر کل خاکهای مورد مطالعه را فسفر قابل استخراج با HCl تشکیل می دادند که بیانگر این بود که قابلیت جذب فسفر به وسیله CaCO_3 کنترل می شد. در مقابل قسمت عمده فسفر آلی خاک با کانیهای آهن و آلومینیوم ارتباط داشت.

Schmidt و همکاران (۱۹۹۷) بین شکل‌های مختلف فسفر همبستگی های معنی داری مشاهده کردند که بیانگر وجود رابطه تعادلی بین این شکلها بود.

Samadi و Gilkes (۱۹۹۱) بین شکل‌های مختلف فسفر همبستگی های معنی دار مشاهده کردند، دی کلسیم فسفات با اکتاکلسیم فسفاتها همبستگی مثبت، دی کلسیم فسفاتها با فسفات‌های آلومینیوم، دی کلسیم فسفاتها با فسفات‌های آهن، و اکتاکلسیم فسفات با فسفات آهن همبستگی منفی و معنی داری داشتند.

همچنین Samadi (۲۰۰۳) با انجام رگرسیون چند متغیره گام به گام نشان داد که ۹۰٪ تغییرات فسفر

معدنی را تشکیل داد و بعد از آن به ترتیب اکتاکلسیم فسفات (Ca₈-P) با ۲۱/۵ درصد، فسفات های آلومینیوم (Al-P) با ۱۴/۹ درصد، فسفات‌های محبوس در اکسید های آهن (O-P) با ۱۱/۷ درصد، فسفات های آهن (Fe-P) با ۱۱/۶ درصد و دی کلسیم فسفات (Ca₂-P) با ۱/۹ درصد قرار داشتند، به علت آهکی بودن خاکهای منطقه یون کلسیم اصلی ترین عامل محدود کننده حلالیت فسفر محسوب می شود.

Cassagne و همکاران (۲۰۰۰) گزارش دادند، مقدار فسفر کل در اعماق مختلف خاکها متفاوت است. در این تحقیق بین ۷۰۰ تا ۱۱۰۰ میکروگرم بر گرم در اینسیتی سلها و از ۲۱۰ تا ۹۵۵ میکروگرم در گرم در اسپودوسلها بدست آوردند.

Yu و همکاران (۲۰۰۶) گزارش دادند که میزان فسفر پیوند شده توسط Ca (عصاره گیری شده با HCl) ۴۵-۶۰ درصد از کل فسفر را در خاکهای قلیایی مورد مطالعه تشکیل می دهد.

Ghani و همکاران (۱۹۹۴) عنوان کردند که از عوامل موثر بر شکل‌های فسفر خاک، آب و هوا و توپوگرافی می باشند که از مهمترین و موثرترین فاکتورهای موثر در حرکت و انتقال و پراکنش فسفر در خاک می باشند، توپوگرافی از طریق تأثیر بر رژیم های رطوبتی و خصوصیات خاک از قبیل خصوصیات شیمیایی، فیزیکی، مینرالوژیکی و فرسایش خاک بر شکل‌های فسفر خاکها تأثیر می گذارند.

Shuai و همکاران (۲۰۰۴) در مدلسازی شکل‌های فسفر خاک و نقش آن در جذب توسط گیاه و نقش کودهای شیمیایی بر روی شکل‌های فسفر مشخص کردند که هر جزء فسفر می تواند به طور مستقیم و یا از طریق تأثیر بر شکل‌های دیگر فسفر خاک بر جذب فسفر توسط گیاه موثر باشد.

Buchler و همکاران (۲۰۰۲) در عصاره گیری دنباله ای فسفر تحت شرایط خاکهای اکسی سول با سیستمهای مختلف کشت در طولانی مدت، پس از نمونه برداری و اعمال تیمارهای کودی فسفره و انکوباسیون پس از ۴ ساعت ۱ و ۲ هفته، شکل‌های فسفر خاک را اندازه گیری کردند و گزارش دادند که سیستمهای مختلف کشت و تیمارهای کودی بر شکل‌های فسفر خاک و روابط بین آنها تأثیر معنی داری داشته است.

Selles و همکاران (۱۹۹۷) در بررسی شکل‌های فسفر در سیستمهای مختلف زراعی در خاکهای اکسی سل در برزیل گزارش دادند که میزان فسفر کل در شرایط بدون مصرف کود و سیستمهای بدون عملیات زراعی و کم

برای جداسازی و تعیین شکلهای معدنی فسفر در خاک از روش Gu و Jiang (۱۹۸۹) استفاده شد. این روش فسفر را به شکلهای دی کلسیم فسفات ($\text{Ca}_2\text{-P}$)، اکتاکلسیم فسفات (Ca_8P)، فسفاتهای آلومینیوم (Al-P)، فسفاتهای آهن (Fe-P)، فسفاتهای محبوس (O-P) و آپاتیت ($\text{Ca}_{10}\text{-P}$) جدا می کند. خلاصه مراحل عصاره گیری به روشی که در این تحقیق بکار رفته در جدول (۱) نشان داده شده است. در هر مرحله غلظت فسفر به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه گیری گردید. مشخصات رده بندی خاکهای مورد بررسی در جدول (۲) آمده است.

مطالعات آماری شامل ضرایب همبستگی خطی و رگرسیون چند متغیره گام به گام (Stepwise) با استفاده از نرم افزار SPSS صورت گرفت.

نتایج و بحث

اندازه گیری برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاکها (جداول ۳ و ۴) نشان می دهد که واکنش خاکهای مورد مطالعه در محدوده ۷/۳ تا ۸/۱، با میانگین ۷/۹، درصد رس خاک در محدوده ۱۸ تا ۵۲ با میانگین ۳۲، میزان شوری در محدوده ۰/۷۷ تا ۸/۳ دسی زیمنس بر متر با میانگین ۲/۴، درصد کربنات کلسیم معادل (TNV) ۵ تا ۳۵ با میانگین ۱۸ و درصد آهک فعال در محدوده ۲/۹ تا ۱۹ با میانگین ۹/۵، درصد کربن آلی در محدوده ۰/۲۸ تا ۱/۳ با میانگین ۰/۹۲، میزان SAR در محدوده ۱/۸ تا ۱۲ با میانگین ۸/۸، میزان فسفر قابل جذب در محدوده ۲/۹ تا ۴۲ با میانگین ۸/۸، میزان CEC در محدوده ۱۵ تا ۳۴ با میانگین ۲۳ میلی اکی والان درصد گرم خاک و براساس (جدول ۳) میزان Ca_2P در محدوده ۱/۶ تا ۴۲ با میانگین ۹/۷ میلی گرم بر کیلوگرم ۱/۴ درصد فسفر معدنی، Ca_8P در محدوده ۷۲ تا ۳۱۴ با میانگین ۱۷۴ میلی گرم بر کیلوگرم ۲۷ درصد فسفر معدنی، Al-P در محدوده ۲۱ میلی گرم بر کیلوگرم ۳/۳ درصد فسفر معدنی، Ca_{10}P در محدوده ۲۶۲ تا ۶۹۷ با میانگین ۳۸۱ میلی گرم بر کیلوگرم ۶۰ درصد فسفر معدنی، O-P در محدوده ۵/۹ تا ۳۳ میلی گرم بر کیلوگرم با میانگین ۲۰ میلی گرم بر کیلوگرم ۳ درصد فسفر معدنی، فسفر کل خاکها بین ۷۰۰ تا ۱۰۴۰ میلی گرم بر کیلوگرم خاک بدست آمد. فراوانی شکلهای معدنی فسفر به صورت زیر بدست آمد:

آپاتیت < اکتاکلسیم فسفات > فسفات آلومینیوم < فسفات آهن > فسفر محبوس شده < دی کلسیم فسفات Samrit و همکاران (۲۰۰۲) نتایج مشابهی بدست آوردند با این تفاوت که آنان شکلهای آپاتیت، اکتاکلسیم فسفات و دی کلسیم فسفات را بصورت فسفات کلسیم گزارش کرده و مجموعاً اندازه گیری نموده اند. نتایج

عصاره گیری شده با روش اولسن در خاکهای آهکی به شکل دی کلسیم فسفات مربوط می شود.

Guo و همکاران (۲۰۰۰) شکلهای مختلف فسفر را با روش هدلی و همکاران تعیین و مشاهده کردند که شکلهای مختلف فسفر قابلیت جذب متفاوتی برای گیاهان در خاکهای مورد مطالعه داشتند. فسفر تمه در خاکهای جزیبی هوا دیده، در زمان نسبتاً کوتاهی قابل جذب گیاه بود و شکلهای فسفر آلی نقش معنی داری در فسفر قابل جذب این خاکها نداشتند.

Yang و Jacobsen (۱۹۹۰) همبستگی بسیار معنی داری بین فسفر قابل استخراج با رزین و فسفر عصاره گیری به روش اولسن مشاهده کردند.

Samrit و همکاران (۲۰۰۲) گزارش دادند که شکلهای فسفر معدنی در خاکهای آهکی به ترتیب مقدار فراوانی به شرح زیر می باشند:

فسفات کلسیم << فسفات آلومینیوم ~ فسفات آهن >
فسفر محلول در احیاء کننده

فسفر به شکلهای مختلفی در خاک وجود دارد که می تواند بر حاصلخیزی خاک تأثیر داشته باشد، همچنین با توجه به حلالیت متفاوت شکلهای مختلف فسفر، تعیین فراوانی و توزیع آنان ممکن است ما را با قابلیت های گیاهان در استفاده از فسفر خاک بیشتر آشنا کند، و با عنایت به اینکه چنین اطلاعاتی از خاکهای استان قزوین در دست نیست لذا هدف از این تحقیق اندازه گیری شکلهای معدنی فسفر و تعیین ارتباط آنها با یکدیگر و ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی خاکهای آهکی مورد بررسی بوده، تا بدین ترتیب نقش شکلهای معدنی فسفر بر حاصلخیزی خاک و فسفر قابل جذب گیاه بدست آید.

مواد و روشها

بیست نمونه خاک از افق سطحی (۰ تا ۳۰ سانتیمتری) نقاط مختلف استان قزوین که دارای دامنه نسبتاً وسیعی از نظر ویژگیهای خاکی بودند، انتخاب و پس از خشک کردن در هوا و عبور از الک ۲ میلی متری، بافت به روش هیدرومتری (Bouyococ, 1962)، pH در گل اشباع (Thomas, 1996)، ماده آلی به روش هضم (Miller, 1996)، ظرفیت تبادل کاتیونی (Summer and Rhoades, 1996)، کربنات کلسیم معادل به روش تیترومتری (Loeppert and Suarez, 1996)، هدایت الکتریکی (Rhoades, 1996)، آهک فعال (Loeppert and Suarez, 1996)، فسفر کل (Kuo, 1996)، فسفر محلول (Watanabe and Olsen, 1965) و فسفر قابل استخراج به روش اولسن (Olsen and Sommers, 1982) اندازه گیری شد.

جدول (۶) همبستگی معنی دار و مثبتی بین دی کلسیم فسفات با فسفات آلومینیوم، فسفات آهن، فسفر محبوس و فسفر قابل جذب به روش اولسن و فسفر محلول وجود دارد.

همچنین بین اکتاکلسیم فسفات با اشکال فسفات آلومینیوم، فسفات آهن، فسفر محبوس و فسفر کل همبستگی معنی دار و مثبتی دیده می شود. بین فسفات آلومینیوم با فسفات آهن، فسفر محبوس، فسفر کل و فسفر محلول همبستگی مثبت و معنی دار وجود داشته و بین فسفات آهن با فسفر محبوس و فسفر عصاره گیری شده به روش اولسن و فسفر محلول و بین فسفر محبوس با فسفر قابل جذب به روش اولسن و فسفر محلول و بین آپاتیت و فسفر کل و بین فسفر عصاره گیری شده به روش اولسن و فسفر محلول رابطه مثبت و معنی داری مشاهده می گردد.

Rayan و همکاران (۱۹۸۵) دریافته اند که میان اکسیدهای آهن و فسفر عصاره گیری شده به روش اولسن رابطه معنی داری برقرار می باشد.

با توجه به جدول (۷) در معادلات رگرسیونی همبستگی بین فسفر عصاره گیری شده به روش اولسن با درصد رس، درصد سیلت، اکتاکلسیم فسفات منفی بوده و از طرفی این همبستگی با کربن آلی، فسفات آهن، فسفات آلومینیوم، فسفر کل و فسفر محلول مثبت می باشد.

Tekchand و Tomar (۱۹۹۴) نیز بر تأثیر مهم رس، گنجایش تبادل کاتیونی و کربنات کلسیم معادل بر فسفر قابل جذب گیاه در خاکهای آهکی تأکید کرده اند.

با مقایسه ضرایب همبستگی ساده بین شکل‌های مختلف فسفر جدول (۶) مشخص می شود که تنها دی کلسیم فسفات، فسفات آهن، فسفر محبوس و فسفر محلول رابطه مثبت و معنی داری با فسفر عصاره گیری شده به روش اولسن دارند که نشان دهنده تأثیر این اشکال بر افزایش فسفر قابل جذب گیاه در خاک است.

با بررسی روابط رگرسیونی بین برخی ویژگی‌های خاک‌های مورد مطالعه مشخص گردید که بین فسفر اندازه گیری شده به روش اولسن و دی کلسیم فسفات (شکل ۱) رابطه خطی معنی داری وجود دارد به طوری که با افزایش میزان دی کلسیم فسفات میزان فسفر اولسن نیز افزایش می یابد که نشانگر تبدیل این اشکال فسفر به یکدیگر در خاک می باشد.

به عقیده Sui و همکاران (۱۹۹۹) آگاهی از شکل‌های فسفر می تواند برای پیش بینی مقدار فسفر قابل جذب مورد استفاده قرار گیرد و شکل‌های فسفر می تواند به عنوان تأمین کننده فسفر قابل جذب گیاه عمل نمایند به این ترتیب شکل دی کلسیم فسفات رابطه بسیار نزدیکی با

بدست آمده با نتایج Gilkes و Samadi (۱۹۹۸) به غیر از میزان آپاتیت مطابقت داشته بطوریکه این محققین گزارش دادند مقدار آپاتیت و دی کلسیم فسفات تقریباً برابرند.

در جدول (۵ و ۶) همبستگی شکل‌های مختلف فسفر با ویژگی‌های خاک و با یکدیگر ارائه گردیده است. با عنایت به نتایج مشخص می شود که همبستگی مثبت و معنی داری بین درصد رس و شکل‌های معدنی فسفات آهن و فسفر محبوس وجود دارد و بین درصد سیلت و آپاتیت و فسفر کل همبستگی معنی دار و منفی، بین کربن آلی و آپاتیت و فسفر کل همبستگی معنی دار و منفی، بین آهنک فعال و آپاتیت همبستگی معنی دار و منفی و بین ظرفیت تبادل کاتیونی، فسفات آلومینیوم، فسفر محبوس و فسفر کل همبستگی معنی دار و مثبت و بین شوری، اکتاکلسیم فسفات و فسفات آلومینیوم همبستگی معنی دار و منفی وجود دارد.

برای شرح علامتهای اختصاری به جدول (۱) مراجعه شود. P_t فسفر کل، P_{av} فسفر عصاره گیری شده به روش اولسن، P_{so} فسفر محلول

در معادلات رگرسیونی خطی و چند متغیره (جدول ۷) نیز همین روابط مشاهده می گردد. این که ظرفیت تبادل کاتیونی، در معادلات رگرسیونی، دی کلسیم فسفات، آپاتیت و کربن آلی در معادلات رگرسیونی اکتاکلسیم فسفات وارد شده است و از طرفی وارد نشدن ظرفیت تبادل کاتیونی در معادلات رگرسیونی فسفر محبوس، فسفات آلومینیوم و فسفر کل احتمالاً بیانگر این نکته است که این همبستگی‌ها تحت تأثیر همبستگی سایر شکل‌های فسفر بوجود آمده است. رابطه بین سیلت و آپاتیت و فسفر کل و رابطه بین رس با فسفات آهن و فسفر محبوس شاید بدلیل این است که عمدتاً در کانی های هم اندازه رس و سیلت موجود می باشند. براساس جدول (۷) بین فسفر عصاره گیری شده به روش اولسن و درصد رس همبستگی منفی وجود دارد که Samadi و Gilkes (۱۹۹۹) نیز به نتیجه مشابهی دست یافتند.

با توجه به جداول ذکر شده بین آهنک فعال و آپاتیت همبستگی منفی وجود دارد که این رابطه در معادلات رگرسیونی مربوطه نیز مشخص است. Bakhieit-Said و Dakermanji (۱۹۹۳) نشان دادند که بین فسفر عصاره گیری شده به روش اولسن و میزان کربنات کلسیم همبستگی معنی داری وجود ندارد. Rayan و همکاران (۱۹۸۵) و Pena و Torrent (۱۹۹۰) گزارش کردند که مقدار کل کربنات کلسیم تأثیر کمی بر میزان فسفر در ترکیب با مواد آهکی دارد و اندازه ذرات کربنات کلسیم در این مورد از اهمیت بیشتری برخوردار است. با عنایت به

معنی داری بین کربنات کلسیم فعال و کربنات کلسیم معادل وجود دارد. یعنی با افزایش کربنات کلسیم معادل مقدار کربنات کلسیم فعال افزایش می یابد.

CEC ظرفیت تبادل کاتیونی $\text{Clay (cmol}_{(c)} \text{ kg}^{-1})$

درصد رس، Silt درصد سیلت، ACC درصد کربنات کلسیم فعال، P_t فسفر کل mg kg^{-1} ، P_{so} فسفر محلول mg kg^{-1} EC، dS m^{-1} ، P_{av} فسفر عصاره گیری شده به روش اولسن mg kg^{-1}

نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که دامنه تغییرات اجزای فسفر در خاکهای دشت قزوین زیاد بوده و بین شکلهای معدنی فسفر و برخی از ویژگیهای خاک همبستگی معنی داری وجود دارد. بین فسفر عصاره گیری شده به روش اولسن با دی کلسیم فسفات، فسفات آهن، فسفر محبوس و فسفر محلول رابطه مثبت و معنی داری وجود دارد و رابطه فسفر عصاره گیری شده به روش اولسن و درصد رس، درصد سیلت، کربن آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی نیز به اثبات رسید. به این ترتیب ویژگیهای مذکور می توانند در تأمین فسفر عصاره گیری شده به روش اولسن که شاخصی برای فسفر قابل استفاده گیاه است نقش داشته باشند.

فسفر قابل جذب که مجموعه ای از شکلهای فسفات معدنی است دارد. در شکل (۲) نیز رابطه فسفر اولسن خاک با فسفات آلومینیوم نشان داده شده است بطوریکه با افزایش فسفات آلومینیوم میزان فسفر اولسن نیز افزایش می یابد که احتمالاً نشانگر تبدیل این شکلهای فسفر به یکدیگر است. Chang و Juo (۱۹۶۳) گزارش کردند که فسفر اولسن در خاکهای که در آنها فسفات کلسیم غالب باشد با فسفاتهای آلومینیوم همبستگی معنی داری دارد.

در شکل (۳) رابطه بین فسفر اولسن و فسفاتهای آهن در خاکهای مورد مطالعه نشان داده شده است به طوری که با افزایش فسفات آهن میزان فسفر اولسن نیز افزایش می یابد که احتمالاً نشانگر تبدیل این شکل از فسفر به فرم قابل جذب می باشد. براساس نظر Schmit و همکاران (۱۹۹۶) منبع فسفر قابل جذب خاک، شکل های فسفاتهای کلسیم، آلومینیوم و آهن می باشد.

همچنین بین فسفاتهای آلومینیوم و فسفاتهای آهن رابطه معنی داری مشاهده می شود شکل (۴) که احتمالاً نشان دهنده پویایی و تبدیل این اشکال فسفر به یکدیگر است.

همچنین در پی بررسی تأثیر کربنات کلسیم معادل بر فسفر خاک، رابطه کربنات کلسیم فعال و کربنات کلسیم معادل تعیین گردید. در نمودار (۵) رابطه خطی و

جدول ۱- خلاصه روش عصاره گیری دنباله ای و مشخصات اشکال معدنی فسفر در روش جیانگ و گو (۱۹۸۹)

عصاره گیر	علامت	شکل معدنی فسفر
۰/۲۵M NaHCO ₃ و pH ۷/۵	Ca ₂ -P	دی کلسیم فسفات
۰/۵M NH ₄ AC و pH ۴/۲	Ca ₈ -P	اکتا کلسیم فسفات
۰/۵M NH ₄ F و pH ۸/۲	Al-P	فسفات آلومینیوم
۰/۱M NaOH و ۰/۱ M Na ₂ CO ₃	Fe-P	فسفات آهن
۰/۳M Na ₃ Cit-Na ₂ S ₂ O ₄ -NaOH	O-P	فسفر محبوس
۰/۵M H ₂ SO ₄	Ca ₁₀ -P	آپاتیت

جدول ۲- رده بندی خاکهای مورد بررسی

شماره خاک	رده بندی
۱،۱۳	M-Coarse loamy, mixed, Thermic, Typic xerofluvents
۲	L-Coarse loamy, mixed, Thermic, Typic xerofluvents
۳،۴،۵،۱۵،۱۶،۲۰	H-Fine, mixed, Thermic, Typic calcixerepts
۶،۷	H-Fine, mixed, Thermic, Typic Haplocambids
۸	Fine, mixed, Thermic, Typic calcixerepts
۹	M-Fineloamy, mixed, Thermic, Typic calcixerepts
۱۰	Fineloamy, mixed, Thermic, Typic calcixerepts
۱۱	H- Fineloamy, mixed, Thermic, Typic calcixerepts
۱۲	H- Fineloamy, mixed, Thermic, Typic Haplocambids
۱۴	M-Fine, mixed, Thermic, Typic calcixerepts
۱۷	Fineloamy, mixed, Thermic, Typic Haplocambids
۱۸	Fineloamy, mixed, Thermic, Typic xerofluvents
۱۹	V-Fine, mixed, Thermic, Typic calcixerepts

جدول ۳- خصوصیات شیمیایی خاکهای آهکی مورد بررسی

شماره نمونه	CEC $\text{cmol}_{(c)} \text{kg}^{-1}$	OC %	کربنات کلسیم معادل (CCE) %	آهک فعال (ACC) %	SP %	EC dS/m	pH	Clay %	Slit %	Sand %
۱	۳۴	۰/۸۵	۵	۳	۵۸	۱/۶	۷/۷	۳۸	۳۹	۲۳
۲	۲۳	۰/۲۸	۵	۳/۴	۳۲	۱/۱	۷/۸	۲۲	۳۴	۴۳/۶
۳	۳۱	۰/۶۷	۱۲	۶/۴	۴۸	۱/۲	۸	۳۴	۴۴	۲۲
۴	۳۲	۰/۹۲	۷/۵	۴/۱	۴۵	۱/۱	۷/۶	۳۳	۴۵	۲۲
۵	۲۲	۰/۹۸	۱۷	۸	۴۶	۲/۴	۷/۹	۳۰	۵۷	۱۳
۶	۱۸	۰/۸۲	۲۳	۱۰	۴۰	۸/۳	۷/۸	۳۴	۵۹	۷
۷	۲۴	۱/۱	۲۲	۱۰	۴۷	۲/۸	۸	۳۷	۵۲	۱۱
۸	۲۲	۰/۸۳	۳۵	۱۹	۳۲	۱/۱	۸/۱	۳۰	۵۸	۱۲
۹	۱۶	۱/۱	۲۴	۱۱	۳۹	۱/۱	۸	۲۵	۴۷	۲۸
۱۰	۲۳	۱	۲۲	۱۴	۳۴	۱/۸	۸	۴۱	۳۸	۲۱
۱۱	۲۲	۱/۱	۱۷	۸/۴	۴۱	۱/۷	۷/۹	۳۲	۴۹	۱۹
۱۲	۲۹	۱/۲	۱۲	۱۵	۴۷	۲	۷/۷	۲۸	۵۶	۱۶
۱۳	۲۱	۰/۷	۱۰	۲/۹	۳۳	۵/۳	۷/۳	۲۰	۴۴	۳۶
۱۴	۱۵	۱/۲	۲۹	۱۵	۳۶	۲/۲	۷/۷	۱۸	۵۲	۳۰
۱۵	۱۶	۱	۲۶	۱۳	۴۴	۴/۸	۷/۸	۳۲	۴۸	۲۰
۱۶	۲۳	۱/۲	۲۱	۸/۷	۴۵	۲/۳	۷/۹	۳۶	۵۳	۱۱
۱۷	۳۱	۰/۵۵	۷/۶	۳/۲	۳۱	۰/۷۷	۷/۹	۲۶	۳۶	۳۸
۱۸	۲۹	۰/۷۵	۲۰	۱۴	۳۷	۱/۲	۸/۱	۵۲	۴۶	۲
۱۹	۲۲	۰/۹۷	۲۱	۱۳	۵۰	۳/۱	۷/۹	۴۵	۴۸	۷
۲۰	۱۶	۱/۳	۲۴	۹/۴	۴۳	۲/۸	۸/۱	۳۴	۵۲	۱۴
۲۳	۲۳	۰/۹۲	۱۸	۹/۶	۴۱	۲/۴	۷/۶	۳۲	۴۸	۲۰
۱۵	۱۵	۰/۲۸	۵	۲/۹	۳۱	۰/۷۷	۷/۳	۱۸	۳۴	۲
۳۴	۳۴	۱/۳	۳۵	۱۹	۵۸	۸/۳	۸/۱	۵۲	۵۹	۴۴

میانگین
حداقل
حداکثر

جدول ۴- شکلهای معدنی فسفر خاکهای آهکی مورد بررسی

شماره نمونه	Ca ₁₀ -P	O-P	Fe-P	Al-P	Ca ₈ -P	Ca ₂ -P	فسفر کل	فسفر اولسن	فسفر محلول
	mgkg ⁻¹								
۱	۵۹۷	۲۲	۲۳	۴۱	۱۸۷	۶/۲	۹۷۰	۵/۳	۲/۵
۲	۵۶۹	۱۶	۱۶	۳۹	۱۷۱	۸/۲	۱۰۳۲	۴/۲	۱/۱
۳	۴۹۹	۲۳	۲۶	۴۷	۲۱۰	۱۲	۱۰۴۰	۱۲	۳/۹
۴	۳۳۶	۳۱	۲۸	۵۵	۲۱۵	۴/۷	۹۵۰	۵/۲	۲/۱
۵	۲۶۲	۳۱	۳۵	۴۱	۲۰۹	۱۲	۸۷۰	۱۰/۷	۲/۷
۶	۳۴۴	۱۹	۲۰	۱۹	۱۱۱	۵/۵	۷۰۸	۵/۱	۱
۷	۳۲۹	۱۳	۱۵	۲۲	۷۲	۸/۱	۷۱۸	۶/۲	-/۹۱
۸	۲۹۳	۱۵	۱۶	۲۸	۱۸۵	۵/۲	۷۹۰	۵/۱	-/۴۷
۹	۳۲۲	۱۵	۱۸	۴۸	۲۳۱	۷/۱	۸۳۸	۷/۹	۱/۵
۱۰	۲۸۴	۲۶	۲۸	۳۹	۳۱۴	۹/۶	۱۰۲۸	۱۰/۷	۱/۴
۱۱	۲۷۸	۲۳	۲۷	۲۹	۲۰۵	۶/۵	۷۷۸	۵/۵	۲/۱
۱۲	۳۰۸	۲۵	۲۹	۴۵	۲۴۹	۱۴/۴	۸۴۰	۱۶	۳/۲
۱۳	۵۱۷	۱۱	۱۴	۱۵	۱۱۳	۱/۶	۹۰۰	۲/۹	-/۶۵
۱۴	۳۱۵	۵/۹	۸/۴	۱۸	۱۵۳	۵/۳	۷۲۰	۶/۵	-/۶۵
۱۵	۳۱۹	۱۳	۱۵/۷	۲۱	۱۴۹	۳	۷۲۳	۴/۲	-/۴۹
۱۶	۳۷۰	۱۶	۱۵/۲	۱۷	۹۶	۳	۷۳۰	۳/۵	۱/۶
۱۷	۶۹۷	۱۴	۱۵/۳	۳۴	۲۱۲	۹/۲	۱۰۱۸	۸/۸	۳/۴
۱۸	۳۱۱	۲۵	۲۷	۳۵	۱۱۸	۶/۳	۷۰۰	۶/۷	۲/۳
۱۹	۳۳۰	۳۳	۳۴	۴۶	۱۷۱	۴۲	۸۵۵	۴۲	۱۳
۲۰	۳۵۹	۱۳	۱۵	۱۸	۱۰۳	۶/۸	۷۰۲/۵	۷/۲	-/۷۸
میانگین	۳۸۱	۲۰	۲۱	۳۳	۱۷۴	۹/۲	۸۴۵	۸/۸	۲/۳
حداقل	۲۶۲	۵/۹	۸/۴	۱۵	۷۲	۱/۶	۷۰۰	۲/۹	-/۴۷
حداکثر	۶۹۷	۳۳	۳۵	۵۵	۳۱۴	۴۲	۱۰۴۰	۴۲	۱۳

جدول ۵- ضریبهای همبستگی (r) ساده بین شکلهای مختلف فسفر و ویژگیهای خاک^۱

شکلهای فسفر	Ca ₂ -P	Ca ₈ -P	Al-P	Fe-P	O-P	Ca ₁₀ -P	P _t	P _{av}	P _{so}
رس	۰/۳۰	-/۱۰	۰/۲	۰/۵۷**	۰/۵۹**	-/۳۲	-/۱۹	۰/۳۶	۰/۳۹
سیلت	-/۰۶	-/۳۴	-/۳۴	-/۰۴	-/۰۱	-/۶۸**	-/۷۵**	۰/۰۴	-/۰۷
کربن آلی	۰/۰۷	-/۰۹	-/۲۳	-/۰۲	-/۰۲	-/۶۹**	-/۶۱**	۰/۱۱	-/۰۳
آهک فعال	۰/۱۲	۰/۰۹	-/۱۳	-/۰۴	-/۰۳	-/۷۳**	-/۵۳**	۰/۲۳	۰/۰۲
ظرفیت تبادل کاتیونی	۰/۰۸	۰/۳	۰/۵۷**	-/۴۴	-/۵۱*	۰/۳۸	-/۵۴*	۰/۰۵	۰/۲۱
هدایت الکتریکی	-/۰۹	-/۴۸*	-/۵۷**	-/۱۶	-/۱۹	-/۱۳	۰/۴۲	-/۰۳	-/۰۸

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

جدول ۶- ضریبهای همبستگی (r) ساده بین شکلهای مختلف فسفر در خاکهای مورد مطالعه^۱

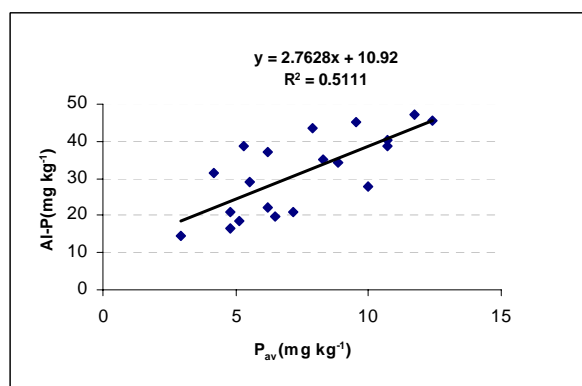
شکلهای فسفر	Ca ₂ -P	Ca ₈ -P	Al-P	Fe-P	O-P	Ca ₁₀ -P	P _t	P _{av}	P _{so}
Ca ₂ -P	۱	۰/۲	۰/۴۶*	۰/۵۴*	۰/۵۴*	-/۰۳	-/۲۲	۰/۹۶**	-/۹۳**
Ca ₈ -P	۱	۰/۷۱**	۰/۵*	۰/۵*	۰/۴۶*	-/۰۴	۰/۶۶**	۰/۲۲	۰/۱۷
Al-P	۱	۰/۶۹**	۰/۷۲**	۰/۶۹**	۰/۶۲**	-/۰۵	۰/۶۲**	۰/۴۲	۰/۴۷*
Fe-P	۱	۰/۹۸**	۰/۵۹**	۰/۵۹**	۰/۵۹**	-/۳۱	-/۲۸	-/۵۶*	-/۵۹**
O-P	۱	۰/۲۵	۰/۳۲	۰/۳۲	۰/۳۲	-/۲۵	-/۲۵	۰/۵۵*	۰/۶۱**
Ca ₁₀ -P	۱	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۱	۰/۶	-/۱۴	۰/۰۳
P _t	۱	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۱	۱	۰/۱۳	۰/۲۱
P _{av}	۱	۰/۹۵**	۰/۹۵**	۰/۹۵**	۰/۹۵**	۰/۹۵**	۰/۹۵**	۱	۰/۹۵**
P _{so}	۱	۰/۹۵**	۰/۹۵**	۰/۹۵**	۰/۹۵**	۰/۹۵**	۰/۹۵**	۰/۹۵**	۱

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

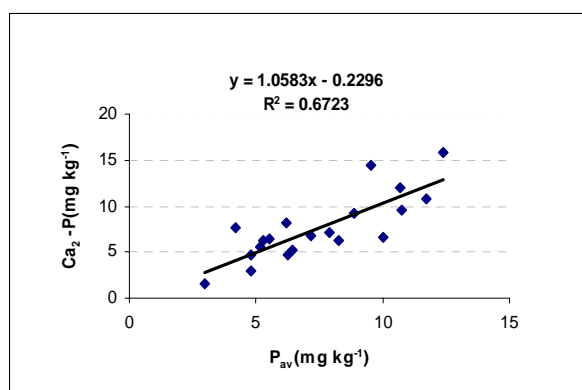
جدول ۷- معادلات رگرسیون چندمتغیره بین شکلهای معدنی فسفر و برخی ویژگیهای خاک^۱

	R ²
Ca ₂ -P= $1/299 + 0/993 P_{av} - 6/622 OC - 0/075 CEC$	0/951 ^{**}
Ca ₈ -P= $-472/138 + 0/586 P_t - 0/739 P_{av} + 7/069 ACC + 96/485 OC$	0/785 ^{**}
Al-P= $-90/368 + 0/087 P_t + 0/519 Clay + 8/23 Silt - 2/697 EC$	0/68 ^{**}
Fe-P= $-76/119 + 0/052 P_t + 0/169 P_{av} + 0/565 Clay + 0/705 Silt$	0/742 ^{**}
O-P= $-50/721 + 0/059 P_t + 0/711 Clay + 4/986 pH + 0/765 Silt$	0/761 ^{**}
Ca ₁₀ -P= $852/539 - 3/728 Clay - 10/568 ACC - 6/971 Silt - 3/622 CEC$	0/712 ^{**}
P _t = $-229/7pH - 38/9EC - 28/2 ACC + 13/5Silt - 416/2OC + 2/6 Ca_8-P - 3/2 Al-P - 13/5 Fe-P - 69/1 P_{so}$	0/973 ^{**}
P _{so} = $2187/9 + 27/3 P_{av} + 13/3 Clay$	
P _{av} = $24/116 + 0/37 P_{av} + 0/16 Clay - 2/8pH - 0/49EC - 0/33 ACC + 0/17Silt - 4/8OC$	0/98 ^{**}
P _{av} = $-65/971 - 0/46 Clay + 7/7pH + 1/3EC + 0/91 ACC - 0/48Silt + 13/168 OC + 0/11 Al-P + 0/44 Fe-P + 2/62 P_{so}$	0/982 ^{**}

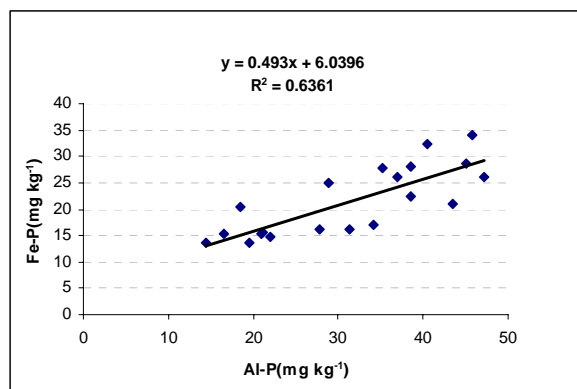
^{**} معنی دار در سطح احتمال یک درصد



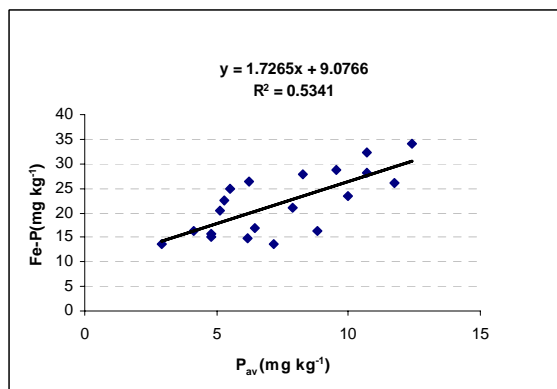
شکل ۲- رابطه فسفات آلومینیم (Al-P) و فسفر اولسن (P_{av}) در خاک



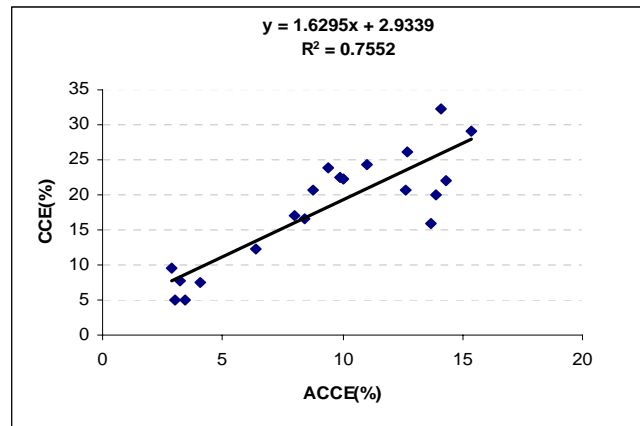
شکل ۱- رابطه دی کلسیم فسفات (Ca₂-P) و فسفر اولسن (P_{av}) در خاک



شکل ۴- رابطه فسفات آلومینیم (Al-P) و فسفات آهن (Fe-P) در خاک



شکل ۳- رابطه فسفات آهن (Fe-P) و فسفر اولسن (P_{av}) در خاک



شکل ۵ - رابطه کربنات کلسیم معادل (CCE) با کربنات کلسیم فعال (ACCE) در خاک

فهرست منابع:

- دهقانی، رمضانعلی، حسین شریعتمداری و حسین خادمی. ۱۳۸۲. اشکال مختلف فسفر معدنی خاک و تغییرات آنها در دو ردیف اراضی در منطقه اصفهان. مجموعه مقالات نهمین کنگره علوم خاک ایران. صفحه ۶۰۱ تا ۶۰۴.
- محمود سلطانی، شهرام و عباس صمدی. ۱۳۸۲. شکل های مختلف فسفر در برخی خاک های آهکی استان فارس و رابطه آنها با ویژگی های فیزیکوشیمیائی خاک. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. سال هفتم. شماره سوم. صفحه ۱۱۹ تا ۱۲۷.
- Bakhieit-Said, M., and Dakermanji, H. 1993 . Phosphate adsorption and desorption by calcareous soils of Syria. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* Volume 24 pages 197-210.
- Bouyoucos, C.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle-size analysis of Soils. *Agron. J.* Volume 45 pages 464-465.
- Buchler, S., A. Oberson, I.M. Rao, D.K. Friesen. E. Frossard. 2002. Sequential phosphorus extraction of a (33) P-labeled Oxisol under contrasting agricultural systems. *Soil Sci. Am. J.* Volume 66, pages 868.
- Carreira, J.A., B. Vinegla, and K. Lajtha. 2006. Secondary CaCO₃ and precipitation of P-Ca compounds control the retention of soil P in and ecosystems. *Journal of Arid Environments.* Volume 64, pages 460-473.
- Cassagne, N., M. Remaury, T. Gauquelin and A. Fabre. 2000. Forms and Profile distribution of soil phosphorus in alpine Inceptisols and spodosols (Pyrenees, France). *Geoderma.* Volume 95, pages 161-172.
- Chang, S.C., and S.R. Juo. 1963. Available phosphorus in relation to forms of phosphorus in soils. *Soils Sci.* Volume 95, pages 91-96.
- Cross, A.F., and W.H. Schlesinger. 2001. Biogeochemical and geochemical controls on phosphorus fractions in semiarid soils. *Biogeochem.* Volume 52, pages 155-172.
- Delgado, A. and J. Torrent. 2000. Phosphorus forms and desorption patterns in heavily fertilized calcareous and limed acid soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* Volume 64, pages 2031-2037.
- Delgado, A., J.R. Ruiz, M.C. Campillo, S. Kassem, And L. Andreeu. 2000, Calcium and iron-related phosphorus in calcareous and calcareous marsh soil: sequential chemical fractionation and ³¹P nuclear magnetic resonance study. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* Volume 31, pages 2483-2499.

12. Fabre, A., T. Gauquelin, F. Vilasante, A. Ortega and H. Puig. 2006. Phosphorus content in five representative landscape units of the lomas de Arequipa (Atacama Desert Pera). *Catena*, volume 65, pages 80-86.
13. Ghani, A., S.S.S. Rajan and A. Lee. 1994. Enhancement of Phosphate rock Solubility through biological process, *soil Biology and Biochemistry*, Volume 26, pages 127-136.
14. Guo, F., R.S. Yost, N.V. Hue, C.I. Evensen, and J.A. Silva. 2000. Changes in phosphorus fractions in soils under intensive plant growth. *Soil Sci. Soc. Am. J.* Volume 64, pages 1681-1689.
15. Hedley, M.J., G.J.D. Kirk, & M.B. Santos. 1994. Phosphorus efficiency and the forms of phosphorus utilized by upland rice cultivars. *Plant Soil*, Volume 158, pages 53-62.
16. Javid, S., and D.L. Rowell. 2002. A Laboratory study of the effect of time and temperature on the decline in Olsen P following phosphate addition to calcareous soils. *Soil use management*. Volume 18, pages 127-134.
17. Jiang Baifan and Yichu Gu. 1989. A suggested fractionation scheme of inorganic phosphorus in calcareous soils. *Fertilizer Res.* Volume 20, pages 159-165.
18. Kuo, S. 1996. Phosphorus. In "Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods". (Ed. D.L. Sparks) pages 551-574. (Soil Science Society of America: Madison, WI).
19. Kuczak, C.N., E.C.M. Fernandes, J. Lehmann, M.A. Rondon and F.J. Luozao. 2006. Inorganic and organic phosphorus pools in earth worm casts (*Glossos-colecidue*) and a Brazilian rainforest oxisol. *Soil Biology and Biochemistry*. Volume 38, pages 553-560.
20. Loeppert R.H., L. Suarez. 1996. Carbonate and gypsum. In "Methods of soil analysis. Part 3. chemical methods". (Ed. D.L. Sparks) pages 437-474. (Soil Science Society of America : Madison, WI).
21. Nelson D.W., and L.E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. In "Methods of soil analysis. Part 3. chemical methods". (Ed. D.L. Sparks) pages 961-1010. (Soil Science Society of America : Madison, WI).
22. Olsen, S.R., and L.E. Sommer. 1982. Phosphorus. In *Methods of soil Analysis: Chemical and microbiological Properties*, part 2. 2nd Ed. Agron. Monogr. No. 9. A. Klute (ed). ASA and SSSA, Madison WI, pages 403-430.
23. Page. A.L. 1982. *Methods of soil Analysis. Part 2. chemical and microbiological properties*. Second edition. Madison. Wisconsin USA.
24. Pena, F. and J. Torrent. 1990. Predicting phosphate sorption in soils of Mediterranean regions. *Ferti. Res.* Volume 23, pages 173-179.
25. Rayan, J., D. Curtin and M.A. Cheema. 1985. Significance of iron oxides and calcium carbonate particle size in phosphate sorption by calcareous soils. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* Volume 48, pages 74-76.
26. Rhoades J.D. 1996. Salinity. Electrical conductivity and total dissolved solids In "Methods of soil analysis. part 3. Chemical methods". (Ed. D.L. Sparks). pages 417-435. (Soil Science Society of America : Madison, WI).
27. Samadi, A. and R.J. Gilkes. 1998. Forms of phosphorus in virgin and fertilized calcareous soils of Western Australia. *Aust. J. Soil Res.* Volume 36, pages 585-601.
28. Samadi, A. and R.J. Gilkes. 1999. Phosphorus transformations and their relationships with calcareous soil properties of south Western Australia. *Soil Sci. Soc. Am. J.* Volume 69, pages 809-815.
29. Samadi, A. 2003. A study on distribution of forms of phosphorus in calcareous soils of western Australia. *J. Agric. Sci. Technol.* Volume 5, pages 39-49.
30. Samrit, P., C. Jongruk. S. Chairerk. & T. Nipon. 2002. Changes of some chemical properties, inorganic phosphate fraction and available P in some paddy soils in Thailand. 17th WCSS, 14-21 Aug., Bangkok, Thailand.

31. Schmidt, H.P., S.W. Buol, and J. Kamprath. 1996. Soil phosphorus dynamics during seventeen years of continuous cultivation: fractionation analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.* Volume 60, pages 1168-1172.
32. Schmidt, J.P., S.W. Buol, and J. Kamprath. 1997. Soil phosphorus dynamics during 17 years of continuous cultivation: A method to estimate long-term P availability *Geoderma*, Volume 78 ,pages 59-70.
33. Selles, F., R.A. Hochham, J.E. Denardin, R.P. Zentner, and A. Faganelli. 1997. Distribution of phosphorus fractions in a Brazilian oxisol under different tillage systems. Volume 44, Pages 23-24.
34. Sharpley, A.N., U. Singh. G. Uehara, and J. Kimble. 1989. Modeling soil and plant phosphorus dynamics in calcareous soils. And highly weathered soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* Volume 53, pages 153-158.
35. Shuai, X., R.S. Yost. 2004. State-Space modeling to simplify soil phosphorus fractionation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* Volume 68, pages 1437.
36. Summer, M.E. and W.P. Miller. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficients. In "Methods of soil analysis. part 3. Chemical methods" (Ed. D.L. Sparks). pages 1201-1229. (Soil Science Society of America : Madison, WI).
37. Sui, Y., M.L. Thompson, and C. Shang. 1999. Fractionation of phosphorus in a Mollisol amended with biosolids. *Soil Sci. Soc. Am. J.* Volume 63, pages 1174-1180.
38. Tekchand and N.K. Tomar. 1994. Correlation of soil properties with phosphate fixation in some alkaline calcareous soils of north west India. *Arid soil Res. Rehab.* Volume 8, pages 77-91.
39. Thomas G.W. 1996. Soil pH and soil acidity . In " Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods" (Ed. D.L. Sparks). pages 475-490. (Soil Science Society of America : Madison, WI).
40. Watanabe, F.S., and S.R. Olsen .1965. Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO_3 extracts from soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* Volume 29, pages 677-678.
41. Yang, J., & J.S. Jacobsen. 1990. Soil inorganic phosphorus fractions and their uptake relationships in calcareous soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* Volume 54, pages 1666-1669.
42. Yu, S., Z.L. He, P.J. Stoffella, D.V. Calvert, X.E. Yang, D.J. Banks and V.C. 2006. Surface run off phosphorus (p) loss in relation to phosphates activity and soil P fractions in Florida sandy soils under citrus production. *Soil Biology and Biochemistry.* Volume 38, pages 619-628.
43. Zhang, T.Q., A.F. Machenzie, B.C. Laing, C.F. Drury. 2004. Soil test phosphorus and phosphorus fractions with long-term phosphorus addition and depletion. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Volume 68, pages 519-529.