پژوهش‌های خاک / الف / جلد ۳۸ / شماره۲ تابستان/ ۱۴۰۳/ ۱۴۶-۱۲۵
https://doi.org/10.22092/IJSR.2024.365017.738

تاثیر کشت طولانی‌مدت پسته بر شکل‌های فسفر و برخی از ویژگی‌های خاک

فاطمه عباس زاده*، مجید حجازی مهریزی، ناصر برومند و هرمزد نقوی

دانشجوی دکتری علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان؛ f.abbaszadeh@agr.uk.ac.ir

دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان؛ mhejazi@uk.ac.ir

دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان؛ nboroomand@uk.ac.ir

دانشیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان، کرمان، ایران ؛ h.naghavi@areeo.ac.ir

« مقاله پژوهشی»

دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۲۹ و پذیرش:۱۴۰۳/۵/۲۴

چکیده

هدف این پژوهش بررسی تاثیر کشت طولانی مدت پسته بر شکل های فسفر معدنی خاک بود. ویژگی‌های خاک و نیز وضعیت فسفر از لحاظ شکل‌های فسفر معدنی به ویژه فسفر باقیمانده در عمق‌های مختلف در خاک های زیر کشت پسته در کرمان با اراضی بکر کنار آن مقایسه شد. برای این منظور نمونه‌برداری در سه تکرار از ۴ عمق خاک (۱۰-۰، ۲۰-۱۰، ۳۰-۲۰ و ۵۰-۳۰ سانتی متر) از اراضی زیر کشت پسته و بکر (منطقه فاقد کشت) به روش تصادفی- سیستماتیک انجام شد. برخی از ویژگی-های فیزیکی و شیمیایی خاک و شکل‌های فسفر در خاک اندازه‌گیری گردید و تجزیه داده‌ها با استفاده از آزمون واریانس یکطرفه انجام شد. نتایج نشان داد که به غیر از وزن مخصوص ظاهری، دیگر ویژگی‌های خاک در دو کاربری با هم تفاوت معنی‌داری داشتند. هدایت الکتریکی (EC) خاک در اراضی پسته کمتر از زمین بکر بود ولی مقدار کربنات کلسیم و ماده آلی خاک در زمین کشت پسته بیشتر از زمین بکر بود. بررسی عمقی هر دو اراضی نشان داد که بیش‌ترین میزان کربنات کلسیم (۲۶/۲٪) و ماده آلی (۰/۹٪) در عمق ۲۰-۱۰ سانتی متری بود. بین دو کاربری از لحاظ شکل‌های فسفر معدنی نیز تفاوت معنی‌دار مشاهده شد. مقدار فسفر کل و فسفر قابل جذب خاک در اراضی پسته به ترتیب ۳٪ و ۳۷٪ بیشتر از زمین بکر بود. میزان فسفر باقیمانده خاک نیز در زمین کشت پسته(۱۴۶/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) نسبت به زمین بکر (۱۲۹/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بیشتر بود. با بررسی روند تغییرات عمقی مقدار فسفر باقیمانده، مشخص شد که مقدار آن در اعماق مختلف از روند ثابتی پیروی نمی‌کند. بیشترین مقدار فسفر باقیمانده در عمق ۲۰-۱۰ سانتی متری با مقدار ۱۵۴ میلی گرم بر کیلوگرم و کمترین مقدار آن در عمق ۱۰-۰ سانتی متری با مقدار ۱۱۷ میلی گرم بر کیلوگرم مشاهده شد. طبق نتایج به دست آمده، فسفر قابل استخراج با اسید در هر دو کاربری، شکل غالب فسفر معدنی بود. نتایج نشان داد که به منظور مدیریت صحیح فسفر در اراضی زیر کشت پسته، آگاهی از میزان شکل های فسفر از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشد.

واژه‌های کلیدی: خاک های شور، شکل های فسفر، فسفر باقیمانده، کاربری اراضی، مدیریت فسفر

* . آدرس ایمیل نویسنده مسئول:f.abbaszadeh@agr.uk.ac.ir

مقدمه

مطالعه تاثیر کاربری اراضی بر شاخص‌های کیفیت خاک از جمله وضعیت عناصر غذایی امکان شناسایی مدیریت‌های پایدار و به تبع آن پیشگیری از تخریب فزاینده خاک را فراهم می‌سازد. داشتن اطلاعات دقیق و کافی از وضعیت فسفر در مناطق خشک و نیمه-خشک جهت توسعه پایدار کشاورزی اهمیت ویژه‌ای دارد. فسفر از جمله عناصر ضروری گیاه می‌باشد که در خاک به شکل‌های آلی و معدنی وجود دارد. اگر چه شواهدی مبنی بر جذب شکل آلی فسفر نیز وجود دارد، اما عمده جذب فسفر توسط گیاه به شکل معدنی صورت می‌پذیرد(السن و سامرز، ۱۹۸۲). بر همین اساس آگاهی از وضعیت فسفر معدنی به ویژه شکل‌های آن در خاک می‌تواند حایز اهمیت باشد. بیش از ۶۰ درصد از اراضی تحت کشت ایران در زمره خاک‌های آهکی قرار می‌گیرند. در خاک‌های آهکی بخش عمده‌ای از فسفر محلول به وسیله جذب سطحی توسط کربنات‌ها در مدت کوتاهی به شکل‌های غیر قابل دسترس‌تر نظیر فسفات‌های کلسیم تبدیل می‌شود.

کشت طولانی‌مدت و فشرده سبب تغییر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک می‌شود(رضا پور و همکاران، ۲۰۱۳). در شناسایی مدیریت‌های پایدار و جلوگیری از تخریب روزافزون خاک، مطالعه تغییرات ویژگی‌های شیمیایی خاک در اثر کشت طولانی با هدف بهبود و حفظ کیفیت منابع اراضی می‌تواند بسیار موثر باشد(تقی‌پور و همکاران، ۱۳۹۴). صادقی‌میانرودی و همکاران(۱۴۰۰) در بررسی ویژگی‌های فیزیکی و عناصر غذایی دو کاربری نیشکر و بکر در شمال خوزستان، گزارش کردند که وزن مخصوص ظاهری خاک و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در زمین کشت نیشکر نسبت به زمین کشت نشده به ترتیب ۱۶ و ۶۷ درصد افزایش یافت. همچنین بیان داشتند که فسفر قابل جذب و ماده آلی در زمین نیشکر افزایش و نسبت کربن به نیتروژن و مقدار پتاسیم قابل جذب کاهش یافته است. کاربری اراضی با تأثیر بر برخی ویژگی‌های خاک مانند pH، ماده آلی، ساختمان و بافت می تواند سبب تغییرات در قابلیت استفاده عناصری مانند فسفر، نیتروژن، پتاسیم، منگنز، مس، آهن و روی گردد (جیانگ و همکاران، ۲۰۰۹). نتایج مطالعه مارانگویت و همکاران(۲۰۱۷) در خاک‌های مناطق استوایی، که با هدف بررسی اثرات کاربری اراضی بر بخش‌های فسفر غیرآلی و آلی خاک با در نظر گرفتن نقش ماده آلی در نگهداری فسفر انجام شد، نشان داد مقدار فسفر قابل دسترس و فسفر آلی با مقدار کربن آلی همبستگی مثبت دارند که نشان از نقش کلیدی ماده آلی در افزایش فسفر قابل دسترس خاک دارد. در مطالعه خاک‌های برزیل که توسط سلطان قیسی و همکاران(۲۰۱۹) صورت گرفت، نشان داده شد که فعالیت آنزیم فسفاتاز خاک می‌تواند به عنوان شاخصی جهت ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای فسفر خاک مورد استفاده قرار بگیرد اما محدوده آن با توجه به کاربری اراضی تغییر می-کند.

مقدار فسفر کل، اطلاعات بسیار اندکی در ارتباط با رفتار شیمیایی فسفر در خاک ارائه می‌دهد در حالی‌که شکل‌های مختلف فسفر به شکل بهتری می‌توانند انتقال و سرنوشت فسفر در خاک را نشان دهند. جزءبندی اشکال فسفر می‌تواند پتانسیل جذب و رها سازی فسفر از خاک را به طور دقیق‌تری توصیف کند(وانگ و همکاران، ۲۰۰۶). با شناخت شکل‌های مختلف فسفر و تعیین مقدار آن‌ها، می-توان در ارزیابی حاصلخیزی خاک از آنان کمک گرفت(مکسنر و همکاران، ۱۹۸۵). مطالعات نشان می‌دهد که تعدادی از فرآیندهای غیرزیستی و زیستی توزیع شکل-های فسفر را در خاک کنترل می‌کنند و به همین دلیل تنوع قابل‌توجهی در مقدار شکل‌های فسفر در اراضی با کاربری مختلف دیده می‌شود(استاتر و همکاران، ۲۰۱۵). در مطالعه انجام شده توسط عبدالجلیل(۲۰۰۵) بیان شده است که شکل‌های مختلف فسفر خاک توسط هیدرولوژی، منابع ذاتی و رفتار ژئوشیمیایی خاک کنترل می‌شود. همچنین نتایج آن‌ها نشان داد که در خاک‌های مورد مطالعه فسفر متصل به آلومینیم و آهن و فسفر قابل استفاده به راحتی جذب گیاه می‌شوند در حالی‌که فسفر باقیمانده و فسفر

متصل به کلسیم قابلیت دسترسی کمتری برای گیاه دارند. مومنی و همکاران(۱۳۸۷) اثر چرای مفرط در کاربری‌های مختلف را بر میزان هدر رفت برخی از شکل‌های فسفر خاک بررسی کردند. نتایج آنان نشان داد که تخریب پوشش گیاهی تأثیر قابل توجهی بر مقدار ذخایر فسفر خاک دارد. آن‌ها بیان داشتند که در اثر تخریب مراتع شکل‌های آلی فسفر نسبت به شکل های معدنی تغییر بیشتری داشتند، به طوری‌که در کاربری دیمزار نسبت به مرتع با پوشش گیاهی نسبتاً خوب شکل های آلی لبایل، نسبتاً لبایل و غیر لبایل فسفر به ترتیب ۷۲/۳، ۲۴/۳ و ۷/۱ درصد کاهش یافت. تجری و همکاران(۱۳۹۴) بیان کردند که مقادیر فسفر کل و کل فسفر آلی در اراضی جنگل نسبت به اراضی کشاورزی کاهش و در مقابل کل فسفر معدنی و شکل‌های مختلف فسفر معدنی افزایش یافت.

با وجود آن که سطح بسیار زیادی از اراضی بخش شمال غربی استان کرمان تحت کشت پسته می‌باشد اما تاکنون مطالعات مدونی در ارتباط با وضعیت شکل‌های فسفر در اراضی پسته‌کاری وجود ندارد. در این پژوهش فرض شده که اراضی پسته‌کاری در مقایسه با اراضی بکر تغییرات قابل توجهی درخصوصیات خاک و به دنبال آن وضعیت فسفر به ویژه شکل‌های فسفر معدنی در خاک دارند. آگاهی از تغییر شکل‌های فسفر در خاک به ویژه فسفر باقی‌مانده می‌تواند در راستای مدیریت بهینه مصرف کودهای فسفری راهگشا باشد. بنابراین این پژوهش با هدف بررسی تاثیر کشت طولانی مدت پسته بر برخی ویژگی‌های خاک و نیز شکل های فسفر خاک در اعماق مختلف انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

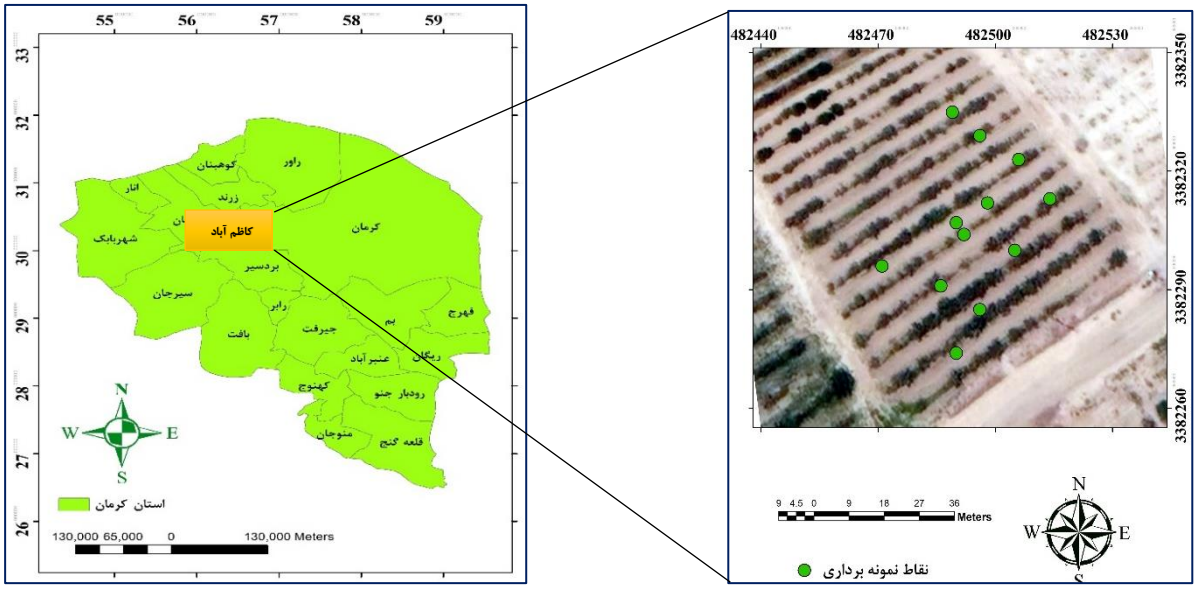
منطقه مورد مطالعاتی

منطقه مورد مطالعه در بخش کاظم‌آباد در ۳۹ کیلومتری شمال غربی استان کرمان با مختصات جغرافیایی ۳۰ درجه و ۳۴ دقیقه و ۲۳ ثانیه عرض شمالی و ۵۶ درجه و ۴۹ دقیقه و ۴ ثانیه طول شرقی واقع شده است. متوسط ارتفاع از سطح دریا ۱۷۱۰متر و اقلیم آن معتدل و خشک می‌باشد. مواد مادری منطقه مورد مطالعه، غالبا آهکی است. منطقه تحت کشت پسته می‌باشد و رقم غالب پسته در این منطقه، اوحدی با سن متوسط ۳۰ سال می‌باشد(شکل ۱، الف).

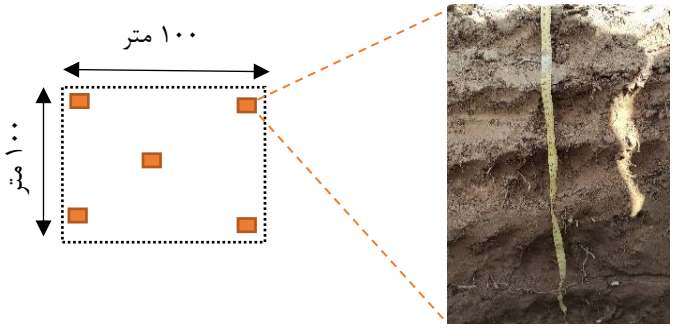
نمونه‌برداری

نمونه‌های خاک از چهار عمق (۱۰-۰، ۲۰-۱۰، ۳۰-۲۰ و ۵۰-۳۰ سانتی متری) از زمین تحت کشت پسته و زمین بکر مجاور آن (به عنوان نمونه شاهد که طی سالیان متمادی به صورت دست نخورده باقی‌مانده است) برداشت گردید. در زمین تحت کشت پسته نمونه‌برداری به صورت سیستماتیک و در سه تکرار از درختان پسته که در حد امکان یک دست باشند (از نظر رقم، سن، و شرایط رشدی) انجام شد (شکل ۱، الف). برای نمونه برداری از زمین بکر، ۵ سایت انتخاب و در هر سایت، یک قطعه مربع به ابعاد ۱۰۰×۱۰۰ متر (۱ هکتار) ایجاد و پنج نقطه نمونه برداری در این مربع انتخاب شد. در هر نقطه، یک پروفیل به عمق ۵۰ سانتی متر (۵۰×۵۰ سانتی متر) حفر شد و نمونه های خاک در سه تکرار و از اعماق ذکر شده جمع آوری شدند (شکل ۱، ب). نمونه‌های برداشت شده هوا خشک و پس از عبور از الک ۲ میلی‌متری به آزمایشگاه انتقال یافتند.

الف



ب



شکل۱- الف) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و پراکنش نقاط نمونه برداری در زمین تحت کشت پسته ب) منطقه بکر مجاور و نحوه نمونه برداری

تجزیه فیزیک و شیمیایی خاک

برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه-های خاک از جمله pH و EC در تعلیق ۱ به ۵ خاک به آب به ترتیب به وسیله pH متر و هدایت‌سنج، کربنات کلسیم معادل خاک به روش تیتراسیون برگشتی با اسید کلریدریک ۲ نرمال(اسمیت، ۱۹۹۱)، جرم مخصوص ظاهری با روش‌های کلوخه و پارافین(رینچ و گراسمن، ۲۰۰۲)، بافت خاک به روش هیدرومتر(بایوکاس، ۱۹۶۲)، کربن آلی به روش اکسایش تر(والکی و بلاک، ۱۹۳۴) و مقدار فسفر قابل جذب خاک از طریق استخراج با بیکربنات سدیم(السن، ۱۹۵۴) اندازه گیری شد. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه در دو منطقه در عمق ۵۰-۰ سانتی متری در جدول (۱) آمده است.

جدول۱- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه در عمق ۵۰-۰ سانتی‌متری

بافت خاک	جرم مخصوص ظاهری (g/cm^3)	ماده آلی (٪)	کربنات کلسیم معادل (٪)	EC (dS/m)	pH	کاربری اراضی
Loam	۱/۶۲	۰/۶۲	۲۹/۰۴	۵/۵۶	۷/۹۰	زمین پسته
Sandy loam	۱/۶۴	۰/۳۸	۲۴/۱۱	۹/۹۷	۷/۱۵	زمین بکر (شاهد)

تعیین ذخایر فسفر کل و شکل‌های فسفر غیرآلی

جهت اندازه گیری فسفر کل از روش ساندرز و ویلیام اصلاح شده توسط والکر و آدامز(۱۹۵۸) استفاده شد. برای این منظور مقدار یک گرم از نمونه‌های خاک برداشت و پس از انتقال به کروزه‌های چینی در کوره حرارتی الکتریکی در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت دو ساعت قرار گرفت. پس از سرد شدن، نمونه خاک حرارت دیده شده با اسید سولفوریک یک نرمال به مدت ۱۶ ساعت تکان داده شد و مقدار فسفر در عصاره پس از سانتریفیوژ و عبور از کاغذ صافی به روش رنگ‌سنجی مورفی و رایلی(۱۹۶۵) تعیین شد. برای اندازه‌گیری کل فسفر معدنی، نمونه خاک با اسید سولفوریک ۱ نرمال به مدت ۱۶ ساعت تکان داده شد و مقدار فسفر در عصاره به روش رنگ سنجی تعیین شد. کل فسفر آلی نیز از تفاضل فسفر کل از کل فسفر غیرآلی محاسبه گردید.

برای جداسازی و تعیین شکل‌های فسفر معدنی خاک از روش استخراج متوالی هدلی و همکاران(۱۹۸۲) اصلاح شده توسط سویی و همکاران(۱۹۹۹) استفاده شد(جدول ۲). برای این منظور عصاره‌گیری متوالی از خاک با ۳۰ میلی‌لیتر آب مقطر[۱]، بیکربنات سدیم نیم مولار تنظیم شده در pH=8.2[۲]، سود ۰/۱ مولار[۳] برای استخراج فسفر پیوند یافته با آهن و آلومینیوم، اسید کلریدریک یک مولار[۴] برای استخراج فسفر پیوند یافته با کلسیم و اسید سولفوریک و آب اکسیژنه (۳۰٪)[۵]جهت استخراج مقدار فسفر باقیمانده انجام و پس از سانتریفیوژ و عبور از کاغذ صافی، فسفر موجود در عصاره‌ها بر اساس روش رنگ‌سنجی مورفی و رایلی(۱۹۶۵) و با کمک دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج ۸۸۰ نانومتر قرائت شد. ذخایر فسفر[۶] بر حسب کیلوگرم در هکتار برای هر عمق با استفاده از رابطه زیر

$$s = x \times \rho \times z$$ رابطه (۱)

محاسبه شد(مارانگویت و همکاران، ۲۰۱۷):

که در آن S مقدار ذخایر فسفر برای اعماق ثابت و (x) محتوای فسفر خاک در عمق تعیین شده (z) و ρ چگالی ظاهری خاک است.

جدول ۲- مراحل و شرایط تعیین شکل‌های فسفرمعدنی در خاک(هدلی و همکاران، ۱۹۸۲)

مرحله	محلول عصاره‌گیر	زمان تعادل	شکل شیمیایی فسفر
۱	آب مقطر	۱۶ ساعت	فسفر محلول
۲	بیکربنات سدیم ۰/۵ مولار	۱۶ ساعت	فسفر قابل دسترس
۳	سدیم هیدروکسید ۰/۱ مولار	۱۶ ساعت	فسفات‌های آهن و آلومینیم
۴	اسیدکلریدریک ۱ مولار	۱۶ ساعت	فسفات‌های کلسیم و کربناتی
۵	اسیدسولفوریک + آب اکسیژنه	۲ ساعت	فسفر باقیمانده

[۱] - H_2O-P

[۲] $NaHCO_3$-P

[۳] -NaOH-P

[۴]- HCl-P

[۵] -H_2O_2-H_2SO_4-P

[۶] - P-stocks

تجزیه و تحلیل آماری

قبل از تجزیه واریانس داده‌ها، همگنی و نرمال بودن هر یک از پارامترها با استفاده از آزمون کولموگراف–اسمیرنوف بررسی شد. سپس با استفاده از مدل ANOVA یک‌طرفه تاثیر کاربری اراضی بر گونه‌های فسفر و برخی از خصوصیات خاک در چهار عمق مورد بررسی قرار گرفت. همبستگی ساده بین خصوصیات خاک و شکل‌های فسفر توسط نرم افزارSPSS v.26 مورد بررسی قرار گرفت. تجزیه‌های آماری در سطح یک درصد به وسیله نرم افزار SAS v.26 انجام و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد بهره گرفته شد.

نتایج و بحث

اثر نوع کاربری اراضی بر خصوصیات خاک

pH خاک

نتایج نشان داد که اختلاف بین دو کاربری پسته و زمین بکر مجاور از لحاظ pH معنی‌دار نمی‌باشد(جدول ۳). همچنین با افزایش عمق نیز تغییر معنی‌داری در pH خاک مشاهده نشد(جدول ۴) و از یک روند ثابتی پیروی کرد(شکل ۲). به نظر می‌رسد آهکی بودن خاک و بالابودن ظرفیت بافری خاک منطقه مورد مطالعه سبب شده که تغییرات pH بین کاربری‌های مورد مطالعه معنی‌دار نباشد. در ارتباط با تأثیر کاربری اراضی بر pH نتایج ضد و نقیضی وجود دارد. کرمی و همکاران(۱۳۹۹) نشان دادند که میزان pH خاک در اراضی زراعی نسبت به مرتع بیشتر است. لیزاگا و همکاران (۲۰۱۹) بیان کردند pH خاک‌های کشاورزی نسبت به مرتع بالاتر است. در مقابل لندی و همکاران(۱۳۹۷) گزارش کردند که کشت مستمر نیشکر بر میزان pH خاک‌های کشت و صنعت شده نیشکر اثر معنی-داری ندارد.

جدول ۳- ویژگی های فیزیکوشیمیایی خاک های مورد مطالعه در دو کاربری مورد مطالعه

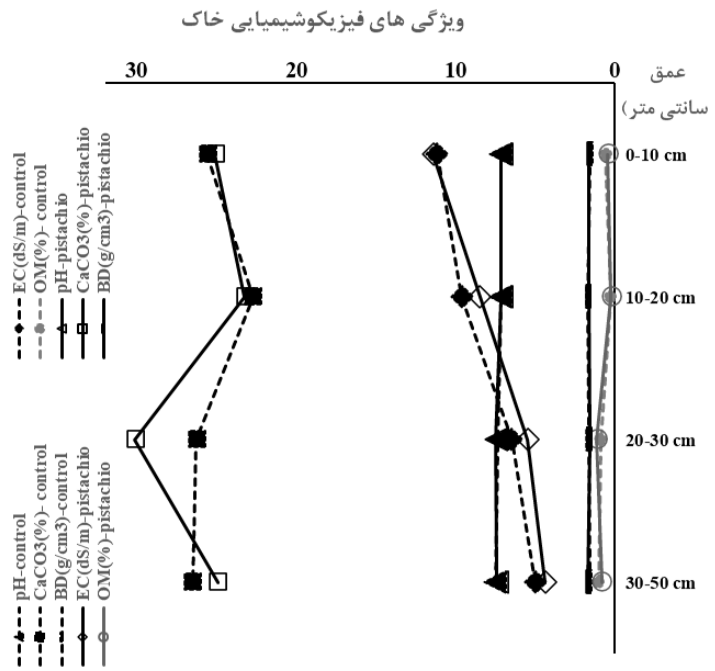
کاربری اراضی	ویژگی های شیمیایی و فیزیکی خاک				
	pH	EC	کربنات کلسیم معادل	ماده آلی	جرم مخصوص ظاهری
زمین پسته	۷/۴۶[a]	۴/۹۹[b]	۲۷/۱۵[a]	۰/۹۶[a]	۱/۶۳[a]
زمین بکر	۷/۱۴ [b]	۹/۹۶[a]	۲۴/۱۰[b]	۰/۳۸[b]	۱/۶۴[a]

***در هر ستون میانگین های دارای حروف متفاوت بر اساس آزمون Duncan در سطح ۵٪ دارای اختلاف معنی داری می‌باشند.**

جدول ۴- ویژگی های فیزیکوشیمیایی خاک های مورد مطالعه در اعماق مختلف نمونه برداری

عمق	pH	EC	کربنات کلسیم معادل	ماده آلی	جرم مخصوص ظاهری
۱۰-۰	۷/۲۱ [a]	۹/۷۸ [a]	۲۵/۹۲ [a]	۰/۵۴ [b]	۱/۵۵ [c]
۲۰-۱۰	۷/۲۹ [a]	۸/۷۵ [b]	۲۶/۲۱ [a]	۰/۷۹ [a]	۱/۶۴ [b]
۳۰-۲۰	۷/۳۱ [a]	۷/۲۳ [c]	۲۵/۲۱ [a]	۰/۵۹ [ab]	۱/۶۵ [b]
۵۰-۳۰	۷/۲۵ [a]	۶/۴۹ [d]	۲۴/۱۷ [a]	۰/۵۱ [b]	۱/۷۱ [a]

***در هر ستون میانگین های دارای حروف متفاوت بر اساس آزمون Duncan در سطح ۵٪ دارای اختلاف معنی داری می‌باشند.**



شکل ۲-تغییرات عمقی ویژگی های خاک در دو کاربری مورد مطالعه

EC خاک

بین کاربری اراضی پسته کاری و بکر از لحاظ قابلیت هدایت الکتریکی خاک تفاوت معنی‌دار($P<0.05$) مشاهده شد(جدول ۳). میزان EC در زمین بکر(۹/۹۶ دسی زیمنس بر متر) بیشتر از زمین تحت کشت پسته(۴/۹۹ دسی زیمنس بر متر) بود. لازم به ذکر است که به طور کلی در مناطق کویری به دلیل تبخیر زیاد میزان شوری خاک بالا بوده و به همین دلیل بالا بودن هدایت الکتریکی در کاربری مرتع دور از انتظار نیست. عواملی مانند آبیاری، آبشویی اولیه، ایجاد شبکه زهکشی می‌توانند از جمله دلایل کاهش شوری در زمین‌های زیر کشت پسته نسبت به زمین بکر باشد. این نتایج با یافته های رئیسی(۲۰۱۷) که میزان هدایت الکتریکی را در زمین‌های کشاورزی کمتر از مراتع بکر گزارش کرد مطابقت دارد. بین عمق‌های مختلف از نظر میزان EC تفاوت معنی‌دار مشاهده شد(جدول۴) و روند تغییرات آن با عمق به صورت کاهشی بود(شکل ۲). با افزایش عمق EC خاک از ۹/۷۸ در عمق ۱۰-۰ سانتی متری به ۶/۴۹ دسی زیمنس بر متر در عمق ۵۰-۳۰ سانتی متری کاهش یافت. این نتایج می‌تواند بیانگر حرکت املاح از پایین به سمت سطح خاک باشد. نورمندی‌پور و همکاران(۱۳۹۲) در پژوهش خود به افزایش عمقی EC در اراضی تحت کشت پسته اشاره کردند و دلیل آن را شستشوی نمک‌های محلول از افق‌های بالایی و تجمع آن در افق‌های پایینی دانستند. آن‌ها همچنین مشاهده کردند که در اراضی بکر مجاور، تغییرات عمقی EC به صورت کاهشی بود که دلیل آن را عدم آبیاری و حرکت رو به بالای املاح ذکر کردند.

کربنات کلسیم معادل خاک

نتایج نشان داد که میزان کربنات کلسیم معادل به طور معنی‌داری از ۲۴/۱۰ درصد در اراضی بکر به ۲۷/۱۵ درصد در خاک‌های تحت کشت پسته افزایش یافته است(جدول ۳). دلیل این روند افزایشی در خاک های تحت کشت پسته می‌تواند ناشی از شستشوی کربنات کلسیم از لایه بالایی به لایه زیرین بوده و یا احتمالا به دلیل بالاتر بودن میزان آهک در خاک های تحت کشت پسته نسبت به اراضی بکر، فرسایش شدید خاک سطحی حاوی مقادیر بالای مواد آلی و انتقال این مواد، سبب قرار گرفتن لایه زیرین غنی از کربنات کلسیم(جنس مواد مادری منطقه) در سطح شده باشد(وفایی زاده و همکاران، ۱۳۹۵). بررسی تغییرات عمقی کربنات کلسیم معادل معنی دار نبود(جدول

۴) اما روند تغییرات آن با افزایش عمق روند کاهشی داشته است به طوریکه مقدار این ویژگی در افق سطح برابر با۲۶/۲۱ درصد اندازه‌گیری شد و با افزایش عمق به ۵۰-۳۰ سانتی مقدار کربنات کلسیم به ۲۴/۱۷ درصد رسید(شکل۲). مظفری و همکاران(۱۳۹۷) نیز بیان کردند که میزان کربنات کلسیم در اراضی یونجه نسبت به اراضی معمولی بیشتر است و دلیل آن را چنین توصیف کردند که با توجه به نزدیکی فاصله نقاط نمونه‌برداری، نقاط دارای ماده مادری یکسانی بوده، و بنابراین تغییر در میزان کربنات کلسیم را به تغییر کاربری اراضی مرتبط دانستند.

ماده‌آلی

نتایج مقایسه میانگین درصد ماده آلی، در دو کاربری کشت پسته و زمین بکر مجاور نشان داد که بین دو منطقه اختلاف معنی‌داری از نظر آماری وجود دارد(جدول ۳). همچنین تغییر معنی داری با افزایش عمق مشاهده شد(جدول۴) و با بررسی روند تغییرات عمقی، روند کاهشی مشاهده شد(شکل ۲). درصد ماده آلی در زمین کشت پسته (۰/۹۶ درصد) بیشتر از زمین بکر (۰/۳۸ درصد) بود. دلیل این افزایش می‌تواند نتیجه اعمال مدیریت کشت در این منطقه باشد. به طور کلی در مناطق خشک و نیمه خشک و در خاک‌های بکر، به دلیل فقر ماده‌آلی، کشت و کار همراه با آبیاری می‌تواند از دلایل افزایش مقدار ماده آلی خاک باشد(جعفری و همکاران، ۱۳۹۵). بیشترین درصد ماده آلی در عمق ۲۰-۱۰ سانتی متری(۰/۷۹ درصد) مشاهده شد. حضور ریشه پسته و ترشحات آن در مراحل مختلف رشد، می‌تواند سبب افزایش کربن آلی در خاک شود. کمترین میزان ماده آلی در عمق ۵۰-۳۰ سانتی متری با ۰/۵۱ درصد مشاهده شد که بین این عمق و سایر اعماق(۱۰-۰ و ۳۰-۲۰ سانتی متری) تفاوت معنی داری مشاهده نشد. چیبسا و همکاران(۲۰۰۹) در مطالعات خود بیان داشتند که از نظر درصد ماده‌آلی خاک لایه‌های سطحی شرایط مناسب‌تری در مقایسه با لایه‌های تحتانی دارند. کشت و کار موجب افزایش تجزیه مواد آلی خاک طی عملیات شخم می‌شود که این امر مهمترین عامل در تسریع کاهش ماده آلی در خاک است(سیکس و همکاران، ۲۰۰۰). همچنین شکسته شدن خاکدانه ها و قرار گرفتن مواد آلی در معرض حمله میکروبی در اثر عملیات کشت و کار، یکی دیگر از دلایل کاهش مقدار ماده آلی می باشد.

جرم مخصوص ظاهری

بین دو کاربری کشت پسته و زمین بکر از لحاظ جرم مخصوص ظاهری خاک تفاوت معنی دار مشاهده نشد(جدول ۳). اما تغییرات عمقی جرم مخصوص ظاهری تفاوت معنی داری در سطح ۵ درصد نشان داد(جدول ۴). همچنین روند تغییرات عمقی نشان داد که با افزایش عمق، مقدار جرم مخصوص ظاهری به طور منظم افزایش می یابد. به طوریکه بیشترین مقدار جرم مخصوص ظاهری در عمق ۵۰-۳۰(۱/۷۱) و کمترین مقدار آن در عمق ۱۰-۰ سانتی متری(۱/۵۵) مشاهده شد(شکل ۲). دلیل این امر می‌تواند ناشی از کمتر بودن ماده آلی در افق‌های پایینی نسبت به افق‌های سطحی باشد. کلیک و همکاران(۲۰۰۵) در مطالعات خود بیان کردند خاکدانه‌ها در اثر کاهش ماده آلی به راحتی شکسته و در طی فرسایش آبی ذرات ریز خاک حمل شده و در خلل و فرج خاک قرار می‌گیرند، در نتیجه خلل و فرج خاک در اثر تخریب ساختمان کاهش یافته و جرم مخصوص ظاهری افزایش می‌یابد. حاج عباسی و همکاران(۱۳۸۶) نیز در مطالعات خود تغییر معنی‌داری در جرم مخصوص ظاهری خاک در کاربری های مختلف مشاهده نکردند.

تاثیر کاربری اراضی بر فسفر معدنی، فسفر آلی و فسفر کل خاک

فسفر معدنی کل

نتایج نشان داد که کل فسفر معدنی خاک تحت تاثیر نوع کاربری قرار نگرفت(جدول ۵). اما مقدار کل فسفر معدنی در خاک های تحت کشت پسته(۳۳۳/۳۹ میلی‌گرم

بر کیلوگرم) بیشتر از خاک های بکر(۳۲۹/۴۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد. تجری و همکاران(۱۳۹۴) نیز دلیل افزایش فسفر معدنی کل را معدنی‌شدن فسفر آلی در طی کشت و کار بیان کردند. در بین عمق‌های مورد بررسی، به غیر از عمق ۱۰ تا ۲۰ و۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متر از لحاظ فسفر معدنی تفاوت معنی‌دار مشاهده شد(جدول ۶). همچنین روند تغییرات عمقی کل فسفر معدنی به صورت افزایشی بود(شکل۳). بیش ترین مقدار کل فسفر معدنی(۳۶۶/۵۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در عمق ۵۰-۳۰ سانتی متری و کمترین مقدار آن(۳۰۵/۶۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در عمق ۱۰-۰ سانتی متری مشاهده شد. به نظر می‌رسد در سطح خاک به دلیل حضور ماده آلی، فسفر بیشتر به شکل فسفر آلی تجمع یافته باشد(بریدی و همکاران، ۲۰۰۸). با ارزیابی اکوسیستم‌های کشاورزی یکساله و چندساله که توسط دی اسیس و همکاران(۲۰۱۰) انجام شده است، مشخص شد که عملیات کشت و کار از طریق افزایش فسفر معدنی، دینامیک فسفر را تحت تاثیر قرار می‌دهد. آنان بیان داشتند که در خاک‌های زیر کشت اختلاط بقایای گیاهی با خاک می‌تواند فسفر آلی و سپس فسفر معدنی از طریق معدنی شدن افزایش دهد. آنان عوامل موثر در معدنی شدن فسفر آلی را رطوبت، شخم و درجه حرارت برشمردند.

جدول ۵- میزان فسفر کل معدنی و آلی و فسفر کل در دو کاربری مورد مطالعه

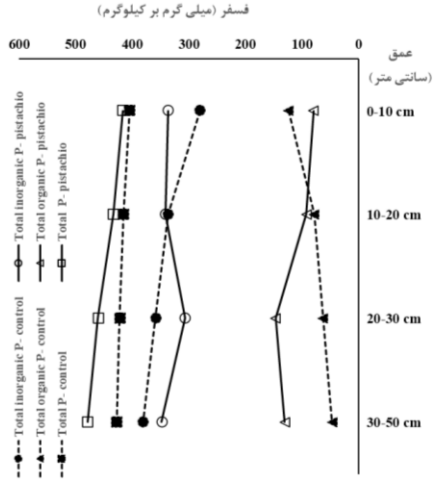
کاربری اراضی	فسفر معدنی کل	فسفر آلی کل	فسفر کل
زمین پسته	۳۳۳/۳۹ a	۱۱۴/۱۲ a	۴۳۸/۰۸ a
زمین بکر(شاهد)	۳۲۹/۴۱ a	۷۸/۲۷ b	۴۲۵/۲۲ b

***در هر ستون میانگین های دارای حروف متفاوت بر اساس آزمون Duncan در سطح ۵٪ دارای اختلاف معنی داری می‌باشند.**

جدول ۶- میزان فسفر کل معدنی و آلی و فسفر کل در اعماق مختلف نمونه برداری

عمق (سانتی متر)	فسفر معدنی کل	فسفر آلی کل	فسفر کل
۱۰-۰	۳۰۵/۶۴ c	۱۰۴/۵۸ a	۴۰۹/۵۶ c
۲۰-۱۰	۳۳۸/۹۱ b	۸۴/۷۳ b	۴۲۳/۷۶ b
۳۰-۲۰	۳۳۵/۸۷ b	۱۰۳/۵۶ a	۴۲۵/۴۹ b
۵۰-۳۰	۳۶۶/۵۲ a	۸۳/۹۳ b	۴۶۴/۹۲ a

*در هر ستون میانگین های دارای حروف متفاوت بر اساس آزمون Duncan در سطح ۵٪ دارای اختلاف معنی داری می‌باشند.



شکل ۳- تغییرات عمقی فسفر کل معدنی، کل آلی و فسفر کل در دو کاربری مورد مطالعه
(Total inorganic- P: فسفر معدنی کل، Total organic -P: فسفر آلی کل، Total -P: فسفر کل)

فسفر آلی کل

مقدار کل فسفر آلی تحت تاثیر کاربری اراضی تغییر معنی‌داری داشت به طوری‌که مقدار فسفر آلی خاک از ۷۸/۲۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم در زمین بکر به ۱۱۴/۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم در کاربری پسته رسید(جدول ۵). افزایش فسفر آلی در زمین کشت پسته می‌تواند در اثر اضافه شدن بقایای گیاهی به خاک باشد(سالمون و همکاران، ۲۰۰۰). در ارتباط با تأثیر کاربری اراضی بر مقدار فسفر آلی خاک، پژوهش های مختلفی انجام شده است. شکل آبادی و همکاران(۲۰۱۴) بیان کردند که میزان کل فسفر آلی در خاکدانه‌های با اندازه کوچکتر از ۲ میلی‌متر، از کاربری بکر به اراضی کشت شده از ۳۱ به ۵۴/۳ درصد افزایش یافته است. در مطالعه دهقان و همکاران(۱۳۸۶) نیز بیان شد که مقدار فسفر کل آلی، در اراضی زیر کشت نسبت به اکوسیستم‌های طبیعی افزایش یافته است. تجری و همکاران(۱۳۹۴) بیان داشتند که میزان فسفر کل آلی از جنگل طبیعی به مرتع کاهش یافته است. یکی دیگر از دلایل کاهش فسفر آلی کل در عمق سطحی ۲۰-۱۰ سانتی متری می تواند تخریب و اکسیداسیون سریع مواد آلی باشد(لیتور و همکاران، ۲۰۰۴). مقدار فسفر آلی کل در دو عمق ۱۰-۰ و ۳۰-۲۰ سانتی متری با دو عمق ۲۰-۱۰ و ۵۰-۳۰ سانتی متری تفاوت معنی داری را نشان دادند(جدول ۶). فسفر آلی کل با عمق از روند مشخصی پیروی نکرد و در دو عمق ۱۰-۰ و ۳۰-۲۰ سانتی متری افزایش و دو عمق ۲۰-۱۰ و ۵۰-۳۰ کاهش یافت(شکل ۵). کاهش فسفر آلی در عمق ۱۰-۲۰ می‌تواند به دلیل افزایش فعالیت میکروبی و افزایش فرایند معدنی شدن فسفر آلی در این عمق باشد. در عمق ۳۰-۵۰ سانتی‌متر فسفر آلی نسبت به سایر عمق‌ها کاهش یافت که می‌توان به کمبود ماده آلی در این عمق و عدم بازگشت بقایای گیاهی به این عمق نسبت داد(مومنی و همکاران، ۱۳۸۷).

فسفر کل خاک

بین کاربری پسته با اراضی بکر از لحاظ فسفر کل تفاوت معنی دار($P<0.05$) در سطح ۵ درصد مشاهده شد(جدول ۵). همچنین با افزایش عمق نیز تفاوت معنی داری بین دو کاربری مشاهده شد(جدول۶) و روند تغییرات آن با عمق افزایشی بود(شکل ۳). در عمق ۱۰-۰ سانتی-متری مقدار فسفر کل از ۴۰۵ میلی‌گرم در کیلوگرم به ۴۲۵/۷۴ میلی‌گرم در کیلوگرم در عمق ۵۰-۳۰ سانتی متری افزایش یافت. دلیل این افزایش احتمالا به دلیل کوددهی و عملیات کشاورزی بوده است. چروبین و همکاران(۲۰۱۶) گزارش کردند که درکشت نیشکر، افزایش مقدار فسفر کل در تمام سطوح، برابر یا بیشتر از مقادیر آن در پوشش گیاهی بومی منطقه بوده و علت آن را کانی‌های موجود در خاک و یا ورود کودهای آلی بیان کردند. دهقان و همکاران(۱۳۸۶) نیز در خاک‌های شهرکرد افزایش مقدار فسفر کل را در زمین‌های کشاورزی گزارش کردند. آنان دلیل آن را کوددهی گسترده و عملیات کشاورزی در زمین زراعی بیان کردند.

مقایسه شکل‌های مختلف فسفر معدنی خاک در دو کاربری مورد مطالعه

فسفر قابل استخراج با آب

بین دو کاربری پسته و زمین مجاور آن از لحاظ فسفر قابل استخراج با آب تفاوت معنی‌داری مشاهد نشد(جدول ۷)، اما با افزایش عمق مقدار فسفر قابل استخراج با آب کاهش یافت(جدول ۸). بررسی تغییرات عمقی فسفر قابل استخراج با آب نشان داد که تا عمق ۳۰ سانتی‌متری از یک روند ثابتی پیروی کرده ولی با افزایش عمق به ۵۰ سانتی‌متر، فسفر قابل استخراج با آب کاهش یافت(شکل۴). از آنجا که این شکل از فسفر معدنی قابلیت دسترسی بالایی برای گیاهان دارد(ردی و همکاران، ۲۰۰۵)، به نظر می‌رسد تجمع ریشه پسته در عمق ۳۰ تا ۵۰ سانتی-متری و افزایش جذب فسفر قابل استخراج با آب سبب کاهش این بخش از فسفر معدنی شده باشد. مومنی و همکاران(۱۳۸۷)، کاهش فسفر قابل استخراج با آب در اراضی کشاورزی را ناشی از برداشت محصول طی سالیان متمادی و جذب فسفر توسط گیاهان ذکر کردند که سبب تخلیه خاک از این شکل فسفر معدنی شده است. فسفر قابل

استخراج با آب به راحتی از طریق فرایندهای جذب سطحی و رسوب به شکل‌های پایدارتر فسفر تبدیل‌شود که این تبدیلات در شرایط کمبود مواد آلی شدیدتر می‌باشد(عطاردی و همکاران، ۱۳۸۴). بنابراین کاهش فسفر قابل استخراج با آب در عمق‌های پایینی را می‌توان ناشی از کمبود مواد آلی در این عمق‌ها و افزایش سرعت تبدیل فسفر قابل استخراج با آب به سایر شکل‌های پایدارتر دانست.

جدول ۷- مقادیر گونه های فسفر در دو کاربری مورد مطالعه

کاربری اراضی	گونه های فسفر معدنی خاک				
	H_2O-P	$NaHCO_3$-P	NaOH-P	HCl-P	Residual-P
زمین پسته	۲/۱۵ [a]	۲۲/۱۹ [a]	۱۷/۳۳ [b]	۱۵۵/۲۶ [a]	۱۴۶/۲۳ [a]
زمین بکر(شاهد)	۲/۲۷ [a]	۱۸/۳۴ [b]	۱۹/۸۵ [a]	۱۶۱/۲۶ [a]	۱۲۹/۸۴ [b]

***در هر ستون میانگین های دارای حروف متفاوت بر اساس آزمون Duncan در سطح ۵٪ دارای اختلاف معنی داری می‌باشند.**

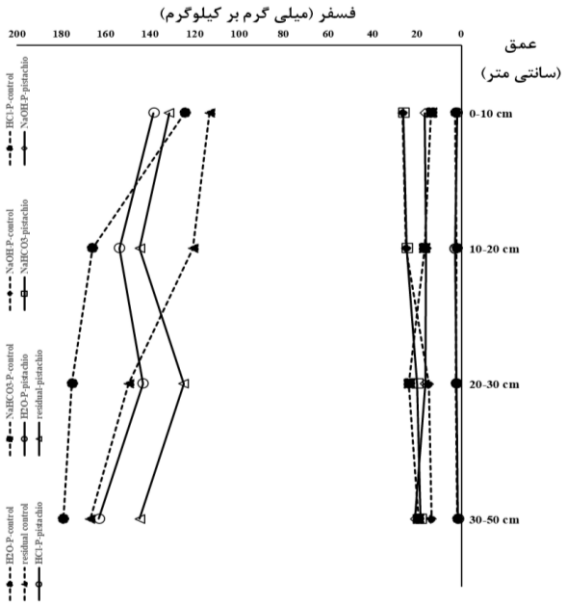
H_2o-P: فسفر قابل استخراج با آب، $NaHCO_3$-P: فسفر قابل استخراج با بیکربنات سدیم، NaOH-P: فسفر قابل استخراج با سود، HCl-P: فسفر قابل استخراج با اسید کلریدریک، Residual-P: فسفر باقیمانده

جدول ۸- مقادیر گونه های فسفر در عمق های مختلف نمونه برداری

عمق	گونه های فسفر معدنی خاک				
	H_2O-P	$NaHCO_3$-P	NaOH-P	HCl-P	Residual-P
۱۰-۰	۲/۴۱ [b]	۱۹/۲۰ [a]	۲۲/۰۰ [a]	۱۴۰/۶۵ [c]	۱۱۷/۰۴ [b]
۲۰-۱۰	۲/۴۱ [b]	۲۰/۱۳ [a]	۲۰/۷۸ [a]	۱۶۰/۶۵ [b]	۱۵۴/۰۹ [a]
۳۰-۲۰	۲/۳۵ [b]	۲۱/۹۱ [a]	۱۵/۳۴ [b]	۱۶۱/۰۸ [b]	۱۴۷/۲۳ [a]
۵۰-۳۰	۱/۷۰ [a]	۱۸/۹۶ [a]	۱۶/۷۹ [b]	۱۷۲/۰۰ [a]	۱۳۰/۱۴ [b]

***در هر ستون میانگین های دارای حروف متفاوت بر اساس آزمون Duncan در سطح ۵٪ دارای اختلاف معنی داری می‌باشند.**

H_2o-P: فسفر قابل استخراج با آب، $NaHCO_3$-P: فسفر قابل استخراج با بیکربنات سدیم، NaOH-P: فسفر قابل استخراج با سود، HCl-P: فسفر قابل استخراج با اسید کلریدریک، Residual-P: فسفر باقیمانده



شکل ۴- تغییرات عمقی شکل های مختلف فسفر معدنی

فسفر قابل استخراج با بیکربنات سدیم

مقایسه میانگین در سطح پنج درصد، مقدار فسفر قابل استخراج با بیکربنات سدیم را با تفاوت معنی‌دار نشان داد(جدول ۷). مقدار این بخش از فسفر معدنی در زمین تحت کشت پسته(۲۲/۱۹ میلی گرم در کیلوگرم) بیشتر از زمین بکر(۱۸/۳۴میلی گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد. نتایج نشان داد که فسفر قابل استخراج با بیکربنات سدیم در کاربری پسته ۱۷ درصد بیشتر از کاربری بکر می-باشد(جدول ۷). در بررسی چهار ردیف از اراضی اصفهان و شهرکرد که توسط دهقان و همکاران(۱۳۸۶) انجام شد، مقدار این شکل از فسفر در اراضی زراعی از خاک بکر بیش‌تر اندازه‌گیری شد. این بخش از فسفر معدنی با افزایش عمق روند نامنظمی داشت و با افزایش عمق مقدار فسفر قابل استخراج با بیکربنات سدیم به طور نامنظم کاهش یافت(شکل ۴). بیشتر بودن مقدار فسفر قابل استخراج با بیکربنات سدیم در افق‌های سطحی را می‌توان ناشی از مصرف کود شیمیایی دانست. کاهش مقدار فسفر قابل استخراج با بیکربنات سدیم در عمق ۵۰-۳۰ سانتی متری را می توان به جذب سطحی توسط کربنات ها و رسوب فسفر در شکل های پایدار دانست.

فسفر قابل استخراج با سود

بین دو کاربری پسته و زمین بکر از لحاظ فسفر قابل استخراج با سود تفاوت معنی‌دار($P<0.05$) مشاهده گردید. مقدار فسفر قابل استخراج با سود در زمین بکر ۱۳درصد بیشتر از کاربری پسته بود(جدول ۶). فسفر قابل استخراج با سود بیانگر بخشی از فسفر معدنی است که به آهن متصل شده است(حجازی مهریزی و همکاران، ۱۳۹۴). کاهش جزیی فسفر قابل استخراج با سود در کاربری پسته را شاید بتوان ناشی از جذب آهن توسط گیاه و ناپایدار شدن فسفات‌های آهن در خاک دانست. همچنین تبدیل فسفر قابل استخراج با سود به کانی‌های پایدارتر به ویژه فسفات‌های کلسیم را می‌توان به عنوان دلیلی دیگر در کاهش فسفر قابل استخراج با سود دانست. بر اساس نتایج به دست آمده، میزان کربنات کلسیم در کاربری پسته از زمین بکر بیشتر بود که می‌تواند شرایط را برای تبدیل بیشتر فسفر قابل استخراج با سود به فسفات‌های کلسیم را تسهیل نماید. در مطالعه‌ای که توسط سولمون و همکاران(۲۰۰۲) در تانزانیا با هدف بررسی شکل‌های مختلف فسفر در نتیجه کشت و کار انجام شد، نتایج نشان داد که با تداوم کشت و کار فسفر قابل استخراج با سود در خاک کاهش یافت. دو عمق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی متری تفاوت معنی داری با دو عمق ۳۰-۰ و ۵۰-۳۰ سانتی متری از لحاظ فسفر قابل استخراج با سود نشان دادند(جدول ۸). بررسی روند این بخش از فسفر معدنی با عمق نیز نشان داد که با افزایش عمق مقدار فسفر قابل استخراج با سود کاهش یافت و کمترین مقادیر در عمق ۳۰-۲۰ سانتی متری و ۳۰ تا ۵۰ سانتی‌متری خاک مشاهده شد. این بخش از فسفر معدنی، میزان فسفری است که بوسیله اکسیدهای آهن و آلومینیوم جذب شده و در مقایسه با دو جزء قبلی به سرعت کمتری در اختیار گیاه قرار می‌گیرد(حجازی مهریزی و همکاران، ۱۳۹۵). در مطالعات هارل و وانگ(۲۰۰۶) آمده است که این بخش از فسفر معدنی توسط اکسیدها و هیدروکسید-های آهن و آلومینیوم، مواد آلی و همچنین کانی‌های سیلیکاتی موجود در خاک تثبیت و با افزایش عمق مقدار آن کاهش می‌یابد. در مطالعات ورما و همکاران(۲۰۰۵) آمده است که این بخش از فسفر معدنی به عنوان فسفر قابل دسترس شناخته می‌شود و لذا افزایش مقدار آن در خاک می‌تواند در طولانی‌مدت به تغذیه فسفر گیاه کمک کند.

فسفرقابل استخراج با اسید کلریدریک

فسفر قابل استخراج با اسید کلریدریک در دو کاربری پسته و زمین بکر مجاور آن تفاوت معنی‌داری نداشت(جدول ۷). این امر می‌تواند ناشی از پایداری بالای فسفات‌های کلسیم در خاک‌های آهکی باشد که سبب شده تا این شکل از فسفر معدنی به راحتی تحت تأثیر کاربری اراضی قرار نگیرد. این نتایج با یافته های شارپلی و همکاران(۱۹۸۵) همخوانی ندارد. آن‌ها بیان داشتند که

کشت و کار مقدار فسفر پیوند یافته با کلسیم(فسفر قابل استخراج با اسید) را افزایش می‌دهد. بررسی تغییرات عمقی فسفر قابل استخراج با اسید کلریدریک روند افزایشی را نشان داد بطوریکه مقدار آن از ۱۴۰/۶۵ میلی گرم بر کیلوگرم در عمق ۱۰-۰ سانتی متری به ۱۷۲ میلی گرم بر کیلوگرم در عمق ۵۰-۳۰ سانتی متری رسید(شکل ۴). کمتر بودن میزان فسفر قابل استخراج با اسید کلریدریک در بخش سطحی خاک را شاید بتوان به حضور بیشتر ماده آلی در این عمق نسبت داد که از تشکیل شکل‌های پایدار فسفر نظیر آپاتیت ممانعت می‌کند. لارسن و همکاران(۱۹۷۰) در مطالعات خود بیان داشتند که حضور ماده آلی تشکیل آپاتیت را به میزان ۱۰ درصد کاهش داده و امکان جداسازی فسفر از بلورهای تازه تشکیل شده آپاتیت را فراهم می سازد. این بخش از فسفر معدنی شامل بخشی از فسفر است که توسط کربنات کلسیم جذب شده و به صورت آپاتیت رسوب می‌کند لذا قابلیت جذب پایینی برای گیاه دارد(وانگ و همکاران، ۲۰۱۰). فسفر قابل استخراج با اسید کلریدریک در هر دو کاربری ۴۰-۵۰ درصد از فسفر معدنی را به خود اختصاص داده است. این بخش از فسفر معدنی، به عنوان بخش غالب فسفات‌های کلسیمی در تعدادی از خاک‌های آهکی ایران نیز گزارش شده است(ادهمی و همکاران، ۲۰۰۶). در خاک‌هایی که pH های پایین دارند حلالیت فسفر بیشتر بوده و در خاک‌های با pH بالا، بخش-های کمی از فسفر در شکل‌های به راحتی قابل استخراج آلی و معدنی وجود دارد، در نتیجه در این خاک‌ها فسفر قابل حل در اسید نسبتا غالب است(تایسن و همکاران، ۱۹۸۳).

فسفر باقیمانده

فسفر باقی‌مانده خاک در کاربری پسته (۱۴۶/۲۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) به طور معنی‌داری بیشتر از زمین بکر (۱۲۹/۸۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود(جدول۶). این روند افزایشی در سطح زمین کشت پسته می‌تواند به دلیل کود-دهی منطقه باشد. کاربرد مداوم کودهای فسفری بیش از نیاز گیاه در خاک منجر به تجمع بیش‌تر فسفر باقیمانده در خاک می‌شود(گاتیبونی و همکاران،۲۰۲۰). از آنجایی که هر ساله مقادیر زیادی کود فسفره وارد خاک می‌شود و بخش اعظمی از این کودها به عنوان فسفر باقیمانده در خاک باقی می‌ماند، بنابراین اطلاع از میزان فسفر باقیمانده خاک می-تواند در مدیریت مصرف بهینه کود و در نتیجه آن کاهش آلودگی محیط زیست موثر و ضروری باشد. تغییرات عمقی فسفر باقیمانده روند منظمی را نشان نداد به طوری‌که با افزایش عمق تا ۳۰ سانتی‌متر فسفر باقی‌مانده افزایش و سپس در عمق ۳۰ تا ۵۰ سانتیمتر کاهش یافت(شکل۳). سلطان قیسی و همکاران (۲۰۱۹) بیان کردند که میزان فسفر باقیمانده در دو کاربری جنگل و مرتع در دو خاک با بافت متفاوت در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری، تفاوت معنی‌داری نداشتند. چن و همکاران(۲۰۰۰) بیان داشتند که مقدار فسفر باقیمانده در خاک‌های جنگلی نسبت به علفزار مجاور کمتر است. همچنین گارسیا و همکاران(۲۰۰۰) مقدار فسفر باقیمانده را در اراضی مراتع ۲۰ ساله نسبت به اراضی جنگلی کمتر گزارش کردند.

فسفر قابل جذب خاک

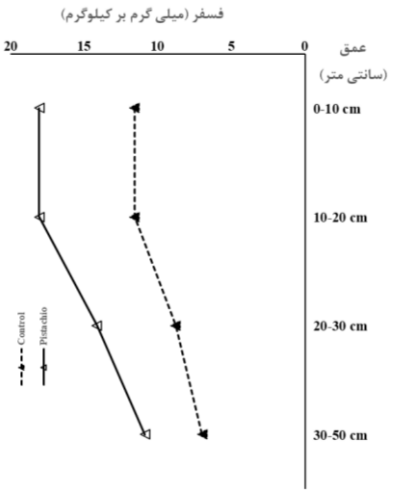
مقدار فسفر قابل جذب خاک بین دو کاربری متفاوت بود به طوری‌که مقدار آن از ۸/۷۹ میلی گرم بر کیلوگرم در زمین بکر به ۱۴/۱۴ میلی گرم بر کیلوگرم در کاربری پسته رسید(جدول۹). دلیل این امر در زمین تحت کشت پسته می‌تواند استفاده از کود فسفری در طول دوره کشت باشد. نتایج این پژوهش با یافته‌های رضایی‌نژاد و همکاران(۱۳۹۰) مطابقت دارد، که بیان کردند مقدار فسفر قابل جذب در خاک‌های تحت کشت پسته بیشتر از زمین-های مرتعی است. همچنین ابراهیمی و همکاران(۱۳۹۵) بیان داشتند که میزان فسفر قابل جذب در خاک‌های زراعی از خاک‌های مرتعی بیش‌تر است. مقدار فسفر قابل جذب خاک بین عمق‌های نمونه‌برداری متفاوت بود و با افزایش عمق مقدار آن به طور نامنظم نسبت به سطح افزایش یافت(شکل ۵). کمترین مقدار فسفر قابل دسترس در لایه

۲۰-۱۰ سانتی متری(۸/۴۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد که شاید بتوان ناشی از تمرکز ریشه در این عمق و جذب این بخش از فسفر توسط ریشه دانست.

جدول ۹- میزان فسفر قابل جذب در دو کاربری مورد مطالعه (الف) و اعماق مختلف نمونه برداری (ب)

(ب)			(الف)	
فسفر قابل جذب (میلی گرم در کیلوگرم)	عمق (سانتی متر)		فسفر قابل جذب (میلی گرم در کیلوگرم)	کاربری اراضی
۱۱/۶ c	۱۰-۰		۱۴/۱۴ a	زمین پسته
۸/۴۳ d	۲۰-۱۰			
۱۵/۵۵ a	۳۰-۲۰		۸/۷۹ b	زمین بکر (شاهد)
۱۳/۱۷ b	۵۰-۳۰			

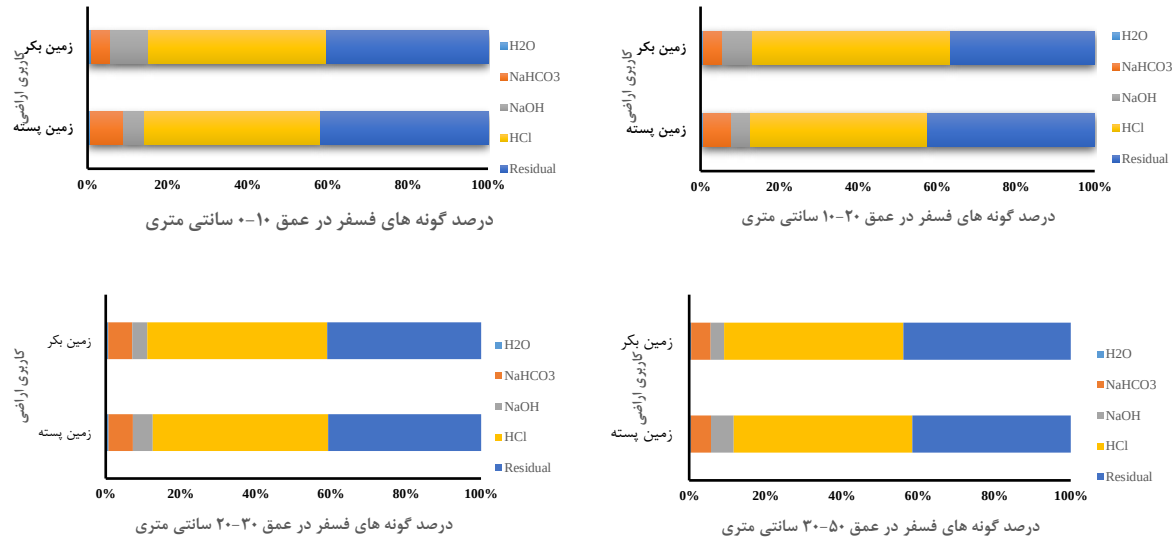
***در هر ستون میانگین های دارای حروف متفاوت بر اساس آزمون Duncan در سطح ۵٪ دارای اختلاف معنی داری می‌باشند.**



شکل ۵- تغییرات عمقی فسفر قابل جذب خاک

توزیع اجزای فسفر

توزیع شکل‌های فسفر معدنی در دو کاربری پسته و بکر به تفکیک عمق در شکل(۶) نشان داده شده است. به دلیل ماهیت آهکی خاک‌های مورد مطالعه، فسفر قابل استخراج با اسید کلریدریک، که بیانگر فسفات‌های کلسیم می‌باشند، بیشترین سهم از فسفر معدنی را به خود اختصاص داده، بعد از آن فسفر باقیمانده در تمامی اعماق و در دو کاربری بیش ترین سهم را داشته است، در مقابل کمترین سهم از فسفر معدنی در دو کاربری پسته و بکر و در تمامی اعماق به فسفر قابل استخرج با آب اختصاص یافت. سهم سایر شکل‌های فسفر معدنی در دو کاربری و در اعماق مختلف متفاوت بود. در اعماق ۱۰-۰، ۲۰-۱۰ و ۳۰-۲۰ سانتی متری زمین کشت پسته سهم گونه های فسفر قابل استخراج با بیکربنات سدیم بیشتر از فسفر قابل استخراج با سود بود اما این روند برای عمق ۵۰-۳۰ سانتی متری برعکس بود و در این عمق مقدار فسفر قابل استخراج با سود بیشتر از فسفر قابل استخراج با بیکربنات سدیم مشاهده شد(شکل ۶). در زمین بکر در دو عمق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی متری مقدار فسفر قابل استخراج سود بیش تر از فسفر قابل استخراج با بیکربنات سدیم بود در حالیکه در دو عمق ۳۰-۲۰ و ۵۰-۳۰ سانتی متری این روند بر عکس بود(فسفر قابل استخراج با اسید کلریدریک> فسفر باقیمانده> فسفر قابل استخراج با بیکربنات سدیم> فسفر قابل استخراج با سود> فسفر قابل استخراج با آب.).

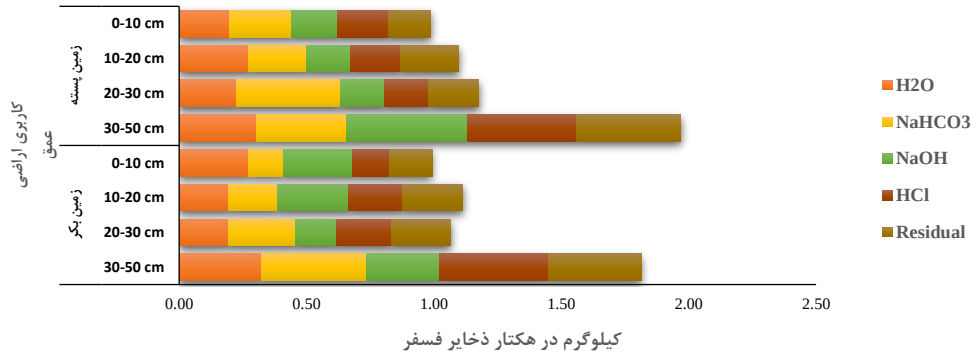


شکل ۶- درصد گونه های فسفر در اعماق مختلف در اراضی کشت پسته و بکر

ذخایر فسفر[۷]

اطلاع از وضعیت ذخیره اشکال مختلف فسفر در شرایط مختلف شیمیایی و در کاربری های مختلف، کمک شایانی در رابطه با در دسترس بودن این عنصر، به منظور ایجاد وضعیت حاصل خیزی مطلوب فراهم می کند. میزان شکل های ذخیره شده فسفر(کیلوگرم در هکتار) به تفکیک عمق در دو زمین پسته و بکر در شکل(۷) نشان داده شده است. به طور کلی فسفر قابل استخراج با اسید کلریدریک بیشترین جزء ذخیره فسفر(تقریبا ۴۴ درصد) را در هر دو کاربری به خود اختصاص داده است و بعد از آن فسفر باقیمانده بیشترین سهم را دارا می‌باشد که به دلیل pH خاک‌های مورد مطالعه و حضور مقادیر قابل توجه کربنات کلسیم در خاک چنین نتایجی قابل انتظار بود. فسفر قابل استخراج با آب، قابل استخراج با بیکربنات سدیم و قابل استخراج با سود در مرتبه های بعدی قرار می‌گیرند که سهم تقریبا یکسانی دارند. در عمق سطحی خاک (۱۰-۰ سانتی-متری) برای زمین بکر بیشترین سهم مربوط به فسفر قابل استخراج با آب و سود بوده و فسفر باقیمانده در مرتبه بعدی قرار می‌گیرد. در زمین پسته در این عمق فسفر قابل استخراج با بیکربنات سدیم بیش‌ترین و فسفر باقیمانده کمترین سهم را به خود اختصاص داده است. در عمق‌های سطحی خاک به دلیل وجود ریشه گیاهان، و بالاتر بودن مقدار ماده آلی، مقادیر بیشتری از فسفر به شکل‌های قابل دسترس‌تر حضور دارند. با افزایش عمق در هر دو کاربری، میزان ذخیره اشکال فسفر بیشتر از نوع پایدار مانند فسفر قابل استخراج با اسید کلریدریک و فسفر باقیمانده بوده که میزان آن ها به طور نامنظم افزایش یافت(شکل ۷).

[۷] P stocks



شکل ۷- ذخایر فسفر در دو کاربری مورد مطالعه و در اعماق مختلف نمونه برداری

همبستگی بین شکل‌های فسفر و خصوصیات خاک

جداول ۱۰ و ۱۱ همبستگی بین شکل‌های فسفر و خصوصیات خاک در دو کاربری را نشان می‌دهد. همانطور که در جدول مشاهده می کنید بغیر از هدایت الکتریکی و ماده آلی، بین سایر خصوصیات خاک و گونه های فسفر همبستگی قوی مشاهده نشد. در هر دو کاربری بین هدایت الکتریکی و برخی از گونه های فسفر همبستگی قوی مشاهده شد. در زمین بکر نیز درصد ماده آلی با برخی از گونه های فسفر از جمله فسفر باقیمانده(۰/۶۸-) و فسفر کل(۰/۷۳-) همبستگی قوی منفی و با فسفر قابل دسترس(۰/۵۸+) همبستگی مثبت نشان داد. این امر نشان می دهد که این خصوصیات را می توان به شدت با همدیگر مرتبط دانست. یکی از منابع مهم فسفر خاک، ماده آلی می باشد(ملکوتی و همکاران،۱۳۸۲). به طور کلی دلیل افزایش جذب فسفر در اثر ماده آلی مربوط به تولید دی اکسید کربن حاصل از تجزیه ماده آلی، کاهش تماس فسفر با سطوح ذرات اکسیدهای آهن و آلومینیوم، تشکیل ترکیبات آلی فسفر، رس و کربنات کلسیم، و در نتیجه کاهش تثبیت آن می باشد(ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۳). pH با هیچ یک از اشکال فسفر در هر دو کاربری همبستگی نداشت. دلیل این امر می تواند احتمالا به دلیل نزدیک بودن مقایر pH خاک ها به همدیگر و قرار داشتن آن ها در محدوده خنثی تا کمی قلیایی باشد. در زمین کشت پسته یک همبستگی منفی بین درصد کربنات کلسیم معادل و فسفر باقیمانده(۰/۴۲-) مشاهده شد که همبستگی مشابهی برای خاک های باتلاقی آهکی در اسپانیا مشاهده شد(جیمنز و همکاران، ۲۰۰۸). در هر دو کاربری کشت پسته و بکر فسفر قابل استخراج با اسید کلریدریک با فسفر کل معدنی همبستگی مثبت قوی(به ترتیب ۰/۷۶+ و ۰/۷۳+) و با فسفر کل آلی همبستگی منفی قوی(به ترتیب ۰/۷۸- و ۰/۷۰-) نشان داد. این جزء از فسفر ۵۰ درصد فسفر معدنی کل را تشکیل می دهد که رابطه مثبت و قوی این مطلب را تایید می کند. فسفر قابل دسترس در دو کاربری کشت پسته و زمین بکر با فسفر کل(به ترتیب ۰/۸۷- و ۰/۸۳-) و در زمین بکر با فسفر باقیمانده(۰/۸۴-) همبستگی منفی و قوی نشان داد.

جدول ۱۰- ارتباط بین گونه‌های فسفر و برخی از ویژگی‌های خاک در زمین کشت پسته

	H_2O-P	$NaHCO_3$-P	NaOH-P	HCl-P	Residual-P	Inorganic-P	Organic-P	Total-P	Available-P
pH	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
EC	۰/۳۲*	ns	−۰/۶۴**	ns	ns	ns	ns	−۰/۷۳**	۰/۶۴**
BD	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
$CaCO_3$	ns	−۰/۳۲*	ns	ns	−۰/۴۲**	ns	ns	ns	ns
OM	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
H_2O-P	۱	۰/۳۸**	ns	ns	ns	ns	ns	−۰/۴۲**	۰/۴۴**
$NaHCO_3$-P	۰/۳۸**	۱	ns	۰/۳۵*	ns	ns	ns	−۰/۴۸**	۰/۵۷**
NaOH-P	ns	ns	۱	−۰/۳۶*	ns	−۰/۳۹**	۰/۵۸**	۰/۴۳**	−۰/۵۰**
HCl-P	ns	۰/۳۵*	−۰/۳۶*	۱	ns	۰/۷۶**	−۰/۷۸**	ns	ns
Residual-P	ns	ns	ns	ns	۱	ns	۰/۳۱*	ns	ns
Inorganic-P	ns	ns	−۰/۳۹**	۰/۷۶**	ns	۱	−۰/۹۰**	۰/۳۰*	ns
Organic-P	ns	ns	۰/۵۸**	−۰/۷۸**	۰/۳۱*	−/۹۰**	۱	ns	ns
Total-P	−۰/۴۲**	−۰/۴۸**	۰/۴۳**	ns	ns	۰/۳۰*	ns	۱	−۰/۸۷**
Available-P	۰/۴۴**	۰/۵۷**	−۰/۵۰**	ns	ns	ns	ns	−۰/۸۷**	۱

* و ** به ترتیب معنی داری در سطح یک و پنج درصد، ns: عدم معنی داری

H_2O-P: فسفر قابل استخراج با آب، $NaHCO_3$-P: فسفر قابل استخراج با بیکربنات سدیم، NaOH-P: فسفر قابل استخراج با سود، Residual-P: فسفر باقیمانده، Available-P: فسفر قابل دسترس، Total inorganic-P: فسفر معدنی کل، Total organic-P: فسفر آلی کل و Total-P: فسفر کل.

جدول ۱۱- همبستگی بین گونه‌های فسفر و برخی از ویژگی‌های خاک در زمین بکر

	H_2O-P	$NaHCO_3$-P	NaOH-P	HCl-P	Residual-P	Inorganic-P	Organic-P	Total-P	Available-P
pH	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
EC	ns	ns	۰/۳۵**	ns	−۰/۸۶**	−۰/۳۲*	ns	−۰/۸۳**	/۸۹**
BD	ns	۰/۲۶*	−۰/۲۵*	۰/۳۱*	۰/۳۴**	ns	ns	۰/۵۵**	−۰/۵۰**
$CaCO_3$	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	−۰/۳۸**	۰/۳۸**
OM	ns	ns	ns	−۰/۴۵**	−۰/۶۸**	−۰/۶۶**	۰/۵۶**	−۰/۷۳**	۰/۵۸**
H_2O-P	۱	ns	ns	−۰/۴۰**	ns	ns	۰/۲۹*	ns	ns
$NaHCO_3$-P	ns	۱	−۰/۷۴**	۰/۳۲*	۰/۳۹**	ns	ns	۰/۴۶**	−۰/۳۰*
NaOH-P	ns	−۰/۷۴**	۱	−۰/۳۹**	−۰/۵۲**	ns	ns	−۰/۵۵**	۰/۴۱**
HCl-P	−۰/۴۰**	۰/۳۲*	−۰/۳۹**	۱	۰/۳۹**	۰/۷۳**	−۰/۷۰**	۰/۴۷**	ns
Residual-P	ns	۰/۳۹**	−۰/۵۲**	۰/۳۹**	۱	۰/۳۴**	ns	۰/۸۲**	−۰/۸۴**
Inorganic-P	ns	ns	ns	۰/۷۳**	۰/۳۴**	۱	−۰/۹۷**	۰/۵۴**	ns
Organic-P	۰/۲۹*	ns	ns	−۰/۷۰**	ns	−۰/۹۷**	۱	−۰/۳۸**	ns
Total-P	ns	۰/۴۶**	−۰/۵۵**	۰/۴۷**	۰/۸۲**	۰/۵۴**	−۰/۳۸**	۱	−۰/۸۳**
Available-P	ns	−۰/۳۰*	۰/۴۱**	ns	−۰/۸۴**	ns	ns	−۰/۸۳**	۱

* و ** به ترتیب معنی داری در سطح یک و پنج درصد، ns: عدم معنی داری

H_2O-P: فسفر قابل استخراج با آب، $NaHCO_3$-P: فسفر قابل استخراج با بیکربنات سدیم، NaOH-P: فسفر قابل استخراج با سود، Residual-P: فسفر باقیمانده، Available-P: فسفر قابل دسترس، Total inorganic-P: فسفر معدنی کل، Total organic-P: فسفر آلی کل و Total-P: فسفر کل.

نتیجه‌گیری

به طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد، در خاک های آهکی مطالعه شده در دو کاربری، فراوانی اشکال مختلف فسفر معدنی به ترتیب فسفر قابل استخراج با اسید کلریدریک> فسفر باقیمانده> فسفر قابل استخراج با بیکربنات سدیم> فسفر قابل استخراج با سود> فسفر قابل استخراج با آب بوده است. این نتایج نشان می دهد به دلیل شرایط شیمیایی خاک های مورد مطالعه، قسمت اعظم فسفر قابل استفاده در اراضی پسته کاری به حالت رسوب و پایدار (فسفر در پیوند با کلسیم و فسفر باقیمانده) درآمده که برای گیاه قابل استفاده نیستند. به نظر می‌رسد روش هایی مانند استفاده از مواد آلی می تواند بخشی از فسفر را از حالت پایدار و رسوب در خاک به فرم قابل دسترس برای گیاه تبدیل کند. از طرفی افزایش میزان فسفر باقیمانده در اراضی کشت پسته نشان از مصرف زیاد کودهای فسفره و غیر قابل جذب شدن آن ها برای گیاه و رسوب در شکل نامحلول دارد، لذا کاربرد غلظت های کمتر کود شیمیایی و به صورت چند باره و استفاده ترکیبی از کودهای شیمیایی و آلی با هدف افزایش راندمان کودهای مصرفی توصیه می‌شود.

فهرست منابع

۱. ابراهیمی، م، روحی مقدم، ع و کاشانی، س. ۱۳۹۵. تاثیر تغییر کاربری مرتع به کشاورزی بر حاصلخیزی خاک در منطقه تفتان. نشریه دانش آب و خاک. شماره ۱، صفحه ۳۱-۴۴.

۲. تجری، س، بارانی مطلق، م، خرمالی، ف و کیانی، ف. ۱۳۹۴. اثر تغییر کاربری اراضی بر شکل های فسفر معدنی در خاک های لسی منطقه توشن استان گلستان. نشریه آب و خاک(علوم و صنایع کشاورزی). جلد ۲۹، شماره ۲، صفحه ۴۵۳-۴۶۵.

۳. تقی‌پور، آ، رضاپور،س، دولتی، ب و حمزه‌نژاد تقلید آباد، ر. ۱۳۹۴. بررسی تاثیر کاربری اراضی بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک در خوی، استان آذربایجان غربی. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد ۲۹، شماره ۲، صفحه ۴۱۸-۴۳۱.

۴. جعفری، س. ۱۳۸۴ . مطالعه تحول ساختمانی، مینرالوژیکی، فیزیکوشیمیایی و تثبیت پتاسیم در خاک‌ها و کانی‌های رسی اراضی تحت کشت تناوبی، نیشکری و بکر خوزستان. پایان نامه دکترا بخش خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

۵. جعفری، س، گلچین، ا و طولابی‌فرد، ا. ۱۳۹۵. تاثیر تغییر کاربری اراضی بر خصوصیات اجزاء فیزیکی ماده آلی، میزان رس قابل انتشار و پایداری خاکدانه‌ها در برخی از اراضی استان خوزستان. تحقیقات آب و خاک ایران. جلد ۴۷، شماره ۳، صفحه ۵۳۹-۶۰۳.

۶. حاج عباسی، م، ع، بسالت پور، ا و مللی، ا. ۱۳۸۶. اثر تبدیل مراتع به اراضی کشاورزی بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک های جنوب و جنوب غربی اصفهان. نشریه علوم آب و خاک.۱۱ جلد ۱۱، شماره ۴۲، صفحه ۵۲۵-۵۳۴.

۷. حجازی مهریزی، م، آیینه حیدری، م و عباس‌زاده، ف. ۱۳۹۵، بررسی پویایی فسفر در یک خاک آهکی تیمار شده با سطوح مختلف کود مرغی و کود شیمیایی،https://civilica.com/doc/1587582

۸. حجازی مهریزی، م، آیینه حیدری، م و عباس‌زاده، ف. ۱۳۹۴. توزیع اجزای فسفر معدنی در خاک آهکی تیمار شده با کود مرغی و فسفر در زمان‌های مختلف خواباندن. پژوهش های خاک، جلد ۲۹، شماره ۳، صفحه ۲۹۷-۳۰۸.

۹. دهقان، ر، شریعتمداری، ح و خادمی، ح. ۱۳۸۶. شکل‌های فسفر خاک در چهار ردیف اراضی از مناطق اصفهان و شهرکرد. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. جلد ۱۱، شماره ۴۲، صفحه ۴۶۳-۴۷۲.

۱۰. رضایی‌نژاد، ر، ابطحی، ع، زین‌الدینی، ع، زارع، س و شاهنظری‌کرباسرایی، س. ۱۳۹۰. تاثیر تغییر کاربری اراضی بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک. دوازدهمین کنگره علوم خاک ایران، تبریز. ۳ص.

۱۱. صادقی میانرودی، م، معزی، ع، غلامی، ع، بابائی نژاد، ت و پناهپور، ا. ۱۴۰۰. تاثیر تغییر کاربری اراضی بر ویژگی‌های فیزیکی و عناصر غذایی خاک در منطقه شمال خوزستان. مهندسی زراعی (مجله علمی کشاورزی). جلد ۴۴، شماره ۴، صفحه ۳۸۳-۳۹۷.

۱۲. کرمی، ز و شریفی، ز. ۱۳۹۹. ارزیابی اثر تغییر کاربری اراضی از مرتع به گندم دیم بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک با استفاده از شاخص کیفیت خاک. تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۸ شماره ۲، صفحه ۲۰۱-۲۱۳.

۱۳. لندی، ا، پورکیهان، س، چرم، م، حجتی، س و جعفری، س. ۱۳۹۷. مطالعه اثرات تغییر کاربری اراضی و احداث مزارع نیشکر برخصوصیات فیزیکوشیمیایی، کانی‌شناسی و میکرومورفولوژیکی خاک در منطقه جنوب خوزستان. مجله مدیریت خاک و تولید پایدار. جلد ۸، شماره ۲، صفحه ۴۳-۶۱.

۱۴. مظفری، ح و موسوی، ع، ا.۱۳۹۷. اثر تغییر کاربری اراضی بر تغییرات واکنش و میزان آهک در خاک های باجگاه استان فارس. نهمین همایش سراسری کشاورزی و منابع طبیعی پایدار. تهران. https://civilica.com/doc/918868

۱۵. ملکوتی، م، ج. همایی، م. ۱۳۸۳. حاصلخیزی خاک های مناطق خشک و نیمه خشک " مشکلات و راه حل ها". ناشر دانشگاه تربیت مدرس، دفتر نشر آثار علمی. چاپ دوم. ۵۱۸ صفحه.

۱۶. ملکوتی، م، ج. ۱۳۸۲. تغذیه گیاهان در شرایط شور. انتشارات سنا .تهران. ۲۴۶ صفحه.

۱۷. مومنی، م، کلباسی، م، جلالیان، ا و خادمی، ح. ۱۳۸۷. اثر تغییر کاربری و چرای مفرط بر هدررفت برخی از شکل‌های فسفر خاک در دو منطقه از زیر حوطه آبخیز ونک. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. جلد ۱۲، شماره ۴۶، صفحه ۵۹۵-۶۰۶.

۱۸. نورمندی‌پور، ف، فرپور، م، ه، سرچشمه‌پور، م. ۱۳۹۲. مقایسه خصوصیات فیزیکی شیمیایی و میکرومورفولوژی خاک‌های تحت کشت پسته و کشت نشده مجاور آن در منطقه بیاض. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد ۲۷، شماره ۱، صفحه ۱۶۹-۱۷۹.

۱۹. وفایی‌زاده، ر، ایوبی، ش، ا، مصدقی، م،ر و یوسفی فرد، م. ۱۳۹۵. تأثیر موقعیت شیب و تغییر کاربری اراضی بر ویژگی های خاک و پذیرفتاری مغناطیسی در اراضی تپه ماهوری یاسوج. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد ۳۰، شماره ۲، صفحه ۶۳۲-۶۴۲.

20. Abd El-Galil, A., and Adly, A.M.O. 2005. Spatial variability of phosphorus fractions in surfacial sediments along the river Nile, Egypt. Environmental inmact assessment. Ass. Univ. Bull. Environ. Res. 8: 2. 41-57.
21. Adhami, E., M. Maftoun, A. Ronaghi, N. Karimian, J. Yasrebi, and M. T. Assad. 2006. Inorganic phosphorus fractionation of highly calcareous soils. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 37:1877-1888.
22. Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. Agron. J. 54: 464-465.
23. Brady N.C., and Weil R.R. 2008. Nature and Properties of Soils, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall USA, 13: 662-710.
24. Celik, I. 2005. Land -use effects on organic matter and physical properties of soil in a southern Mediterranean highland of Turkey. Soil Tillage Res. 83: 270-277.
25. Chen, C.R., Condron, L.M., Davis, M.R., and Sherlock, R.R., 2000. Effects of afforestation on phosphorus dynamics and biological properties in a New Zealand grassland soil. Plant Soil. 220 (1-2):151–163.
26. Cherubin, M. R., Franco, A. L., Cerri, C. E., Karlen, D. L., Pavinato, P. S., Rodrigues, M., and Cerri, C. C. 2016. Phosphorus pools responses to land-use change for sugarcane expansion in weathered Brazilian soils. Geoderma. 265: 27-38.
27. Chibsa, T. and A. Ta'a. 2009. Assessment of soil organic matter under four land use systems, in Bale Highlands, Southeast Ethiopia A. (Soil Organic Matter Contents in Four Land Use Systems: Forestland, Grassland, Fallow Land and Cultivated Land). World Appl. Sci. J. 6(9): 1231-1246.
28. Garcia-Montiel, D.C., Neill, C., Melillo, J., Thomas, S., Steudler, P.A., and Cerri, C.C., 2000. Soil phosphorus transformations following forest clearing for pasture in the Brazilian Amazon. Soil Sci. Soc. Am. J. 64:1792–1804.
29. Grossman, R.B., and T.G. Reinsch. 2002. Bulk density and linear extensibility. p. 202-228. In J.H. Dane and G.C. Topp (eds.) Methods of Soil Analysis, Part 4. Physical Methods. Soil Sci. Soc. Am. J. Book Series No. 5. ASA and SSSA, Madison, WI.
30. Harrell, D. L., and Wang, J. J. 2006. Fractionation and sorption of inorganic phosphorus in Louisiana calcareous soils. Soil Sci, 171(1):39-51.
31. Hedley, M. J., Stewart, J. W. B. and Chauhan, B. S., 1982. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation and by laboratory incubations", Soil Sci. Soc. Am. J. 46: 970-976.
32. Jiang Y., Zhang Y.G., Zhou D., Qin Y., and Liang W.J. 2009. Profile distribution of micronutrients in an aquic brown soil as affected by land use. Plant, Soil and Environ. 55(11): 468-476.
33. Jimenez-Carceles, F. J., and Alvarez-Rogel, J. 2008. Phosphorus fractionation and distribution in salt marsh soils affected by mine wastes and eutrophicated water: a case study in SE Spain. Geoderma. 144: 299–309
34. Larsen, S. and A. E. Widdowon. 1970. Evidence of dicalcium phosphate precipitation in a calcareous soil. J. Soil Sci. 21(2): 364 – 367

35. Litaor M.L., Reichmann O., Auerswald K., Haim A., and Shenker M. 2004. The geochemistry of phosphorus in peat soils of a semiarid altered wetland. Soil Sci. Soc. Am. J. 68: 2078‑2085.
36. Lizaga I., Quijano L., Gaspar L., Ramos M.C. and Navas A. 2019. Linking land use changes to variation in soil properties in a Mediterranean mountain agroecosystem. Catena. 172: 516-527.
37. Maranguit, D., Guillaume, T., and Kuzyakov, Y. 2017. Land-use change affects phosphorus fractions in highly weathered tropical soils. Catena. 149: 385-393.
38. Meixner, R. E. and M. J. Singer. 1985. Phosphorus fractions from a chornosequence of alluvial soils, Sanjonquin Valley, California. Soil Sci. 139: 37-46.
39. Murphy, J., and J.P. Riley.1962. A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. Anal Chim Acta. 27:31-36.
40. Olsen S.R., Kole C.W., Wantanabe F.S., and Dean L.A. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. Circular. US Dept of Agriculture, pp. 939.
41. Raiesi F. 2017. A minimum data set and soil quality index to quantify the effect of land use conversion on soil quality and degradation in native rangelands of upland arid and semiarid regions. Ecol. Indic. 75: 307-320.
42. Reddy, K. R., Wetzel, R. G., and Kadlec, R. H. 2005. Biogeochemistry of phosphorus in wetlands. Phosphorus: Agric. Environ. 46: 263-316.
43. Rezapour, S., Taghipour, A., and Samadi, A. 2013. Modifications in selected soil attributes as influenced by long-term continuous cropping in a calcareous semiarid environment. Nat Hazards (Dordr). 69(3): 1951-1966.
44. Sharpley A.N., and Smith S. J.1985. Fractionation of inorganic and organic phosphorus in virgin and cultivate soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 49:127-130.
45. Sheklabadi, M., Mahmoudzadeh, H., Mahboubi, A. A., Gharabaghi, B., and Ahrens, B. 2014. Land use effects on phosphorus sequestration in soil aggregates in western Iran. Environ. Monit. Assess. 186: 6493-6503.
46. Six, J., K. Paustian, E.T. Elliott and C. Combrink. 2000. Soil structure and organic matter, I. distribution of aggregate-size classes and aggregate-associated carbon. Soil Sci. Soc. Am. J. l (64): 681-689.
47. Solomon, D., Lehmann, J., Mamo, T., Fritzsche, F., and Zech, W. 2002. Phosphorus forms and dynamics as influenced by land use changes in the sub-humid Ethiopian highlands. Geoderma.105(1-2): 21-48.
48. Soltangheisi, A., de Moraes, M. T., Cherubin, M. R., Alvarez, D. O., de Souza, L. F., Bieluczyk, W., and de Camargo, P. B. 2019. Forest conversion to pasture affects soil phosphorus dynamics and nutritional status in Brazilian Amazon. Soil Tillage Res.194: 104-330.
49. Stutter, Marc I., Charles A. Shand, Timothy S. George, Martin SA Blackwell, Liz Dixon, Roland Bol, Regina L. MacKay, Alan E. Richardson, Leo M. Condron, and Philip M. 2015. Land use and soil factors affecting accumulation of phosphorus species in temperate soils. Geoderma. 257: 29-39.
50. Sui, Y., Thompson, M. L., Shang, C. 1999. Fractionation of phosphorus in a Mollisol amended with biosolids. Soil Sci. Soc. Am. J. 63: 1174–1180.
51. Tiessen H., Stewart J.W.B., and Moir J.O. 1983. Changes in organic and inorganic phosphorus composition of two grassland soils and their

particle size fractions during 60-90 years of cultivation. Soil Sci. 34: 815- 823.

52. Walker, T. W. and A. F. R. Adams. 1958. Studies on soil organic matter: I. Influence of phosphorus content of parent material on accumulation of carbon, nitrogen, sulfur and organic phosphorus in grassland soils. Soil Sci. 85:307-318.

53. Walky, A. and Black, I. A. 1934. An examination of detjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the choromic acid in soil analysis. Exprimental. Soil Sci. 79: 459-465.

54. Wang G.P., Liu J.Sh., Wang J.D., and Yu J.B. 2006. Soil phosphorus forms and their variations in depressional and riparian freshwater wetlands (Sanjiang Plain, Northeast China). Geoderma. 132(1-2): 59-74.

55. Wang, X., Yan, X., and Liao, H. 2010. Genetic improvement for phosphorus efficiency in soybean: a radical approach. Ann. Bot. 106(1):215-222.

The effect of Long-Term Pistachio Cultivation on Phosphorus Fractions and Some Soil Characteristics

F. Abbaszadeh[1*], M. Hejazi–Mehrizi [2], N. Boroomand[2], and H. Naghavi[3]

1-Ph.D. Student, Shahid Bahonar University of Kerman; E-mail: f.abbaszadeh@agr.uk.ac.ir
2-Associate Prof., Dept. of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman; E-mail: mhejazi@uk.ac.ir
2-Associate Prof., Dept. of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman; E-mail: nboroomand@uk.ac.ir
3-Associate Prof., Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education center; E-mail: h.naghavi@areeo.ac.ir

«Research Article»

Received: February 18, 2024 and Accepted: August 14, 2024

Abstract

This research examined the impact of long-term pistachio cultivation on soil inorganic phosphorus (P) fractions. Soil properties and phosphorus fractions, particularly residual-P, were compared at different depths in pistachio cultivated and the adjacent uncultivated lands in Kerman Province. Soil samples were collected from four different depths (0-10, 10-20, 20-30, and 30-50 cm) in triplicates from both pistachio-cultivated and the adjacent uncultivated lands, using a randomized systematic method. The physical and chemical properties of soil samples were measured, along with soil P fractions, and the data were analyzed using the one-way ANOVA. The findings indicated that, with the exception of bulk density, other soil properties exhibited significant differences between the two land uses. The electrical conductivity (EC) of soil in pistachio-cultivated land was lower than that in uncultivated land, whereas the amounts of calcium carbonate and soil organic matter were greater in the pistachio-cultivated land. The highest content of calcium carbonate (26.2%) and organic matter (0.9%) was found at 10-20 cm depth. There was a significant difference between the two lands regarding inorganic phosphorus fractions. The results showed that soil total and available P concentration were higher in pistachio land compared to uncultivated land by 3% and 37%, respectively. Pistachio land had a higher amount of soil residual-P (146.2 mg/kg) as compared to the uncultivated land (129.8 mg/kg). Additionally, it was observed that the concentration of residual-P fluctuated at different depths. The amount of residual-P was lowest at a depth of 0-10 cm (117 mg/kg) and highest at a depth of 10-20 cm (154 mg/kg). Based on the results obtained, it was found that HCl-P was the most prevalent fraction of inorganic phosphorus in both lands. The findings indicated that understanding phosphorus fractions is crucial for effective phosphorus management in pistachio-cultivated land.

Keywords: Land use, Residual phosphorus, Saline soils, Phosphorus fractions Phosphorus management.

*- Corresponding author's email: f.abbaszadeh@agr.uk.ac.ir