

تأثیر مدیریت‌های مختلف خاک‌ورزی بر شکل‌های معدنی فسفر خاک

زهرة محمدی^۱، مجتبی بارانی مطلق*^۲، محمد اسماعیل اسدی^۳، سید علیرضا موحدی نائینی^۴، سمیه سفیدگر شاهکلایی^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۴/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۳۰

- ۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
 - ۲- دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
 - ۳- دانشیار آبیاری و زهکشی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان
 - ۴- دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
 - ۵- دانش‌آموخته دکتری گروه علوم خاک، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
- * مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mbarani2002@yahoo.com

چکیده

خاک‌ورزی می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی باروری و پایداری سیستم‌های نوین کشاورزی را تحت تأثیر قرار دهد. همچنین طبیعت شیمیایی فسفر خاک می‌تواند تحت تأثیر عملیات خاک‌ورزی قرار گیرد. هدف از این تحقیق، بررسی اثر خاک‌ورزی‌های مختلف بر شکل‌های معدنی فسفر خاک (فسفر لبایل، فسفر نسبتاً لبایل، فسفر غیر لبایل و فسفر باقی‌مانده) با استفاده از روش عصاره‌گیری دنباله‌ای بوومن و کول (۱۹۷۸) بود. بدین منظور نمونه‌برداری خاک به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی از چهار روش خاک‌ورزی مختلف (مرسوم، بستر برآمده، کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی) از عمق‌های ۰-۸، ۸-۱۶ و ۱۶-۸ سانتی‌متری در ۵ تکرار صورت گرفت. نتایج نشان داد که مقدار فسفر معدنی کل و نیز شکل‌های مختلف فسفر معدنی به جز فسفر معدنی غیرلبایل در اثر خاک‌ورزی تغییرات معنی‌داری داشت. تغییر خاک‌ورزی از مرسوم به خاک‌ورزی‌های حفاظتی موجب افزایش معنی‌دار فسفر معدنی در شکل‌های لبایل، نسبتاً لبایل و باقی‌مانده شد. بیش‌ترین تغییرات را فسفر معدنی لبایل از خود نشان داد، به گونه‌ای که میزان این شکل از فسفر از ۹/۵۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک‌ورزی مرسوم به ۲۱/۳۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم در کم‌خاک‌ورزی تغییر یافت که نشانگر افزایش حدوداً ۲ برابری بود. تیمار بی‌خاک‌ورزی با ۶۷۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم بالاترین و خاک‌ورزی مرسوم با ۵۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کم‌ترین مقدار فسفر نسبتاً لبایل را داشت. بیش‌ترین و کم‌ترین فسفر معدنی کل به‌ترتیب با مقادیر ۵۲۲/۹۵ و ۴۴۱/۹۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم در بی‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم مشاهده شد. نتایج این پژوهش نشان داد که تغییر خاک‌ورزی مرسوم به روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی اثر قابل‌توجهی بر مقدار ذخایر فسفر خاک دارد.

واژه‌های کلیدی: خاک‌ورزی حفاظتی، خاک‌ورزی مرسوم، جزءبندی فسفر، عصاره‌گیری دنباله‌ای، فسفر معدنی

The effect of Different Tillage Managements on Soil Inorganic Phosphorus Forms

Z Mohammadi¹, M Baranimotlagh^{2*}, ME Asadi³, SA Movahedi Naeini⁴ and S Sefidgar Shahkolaie⁵

Received: 10 July 2018 Accepted: 20 May 2019

¹ M.Sc Graduate, Dept. of Soil Science, Faculty of Water and Soil Engin., Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

² Assoc. Prof., Dept. of Soil Science, Faculty of Water and Soil Engin. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

³ Assoc. Professor, Agricultural Engineering Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Gorgan, Iran

⁴ Assoc. Prof., Dept. of Soil Science, Faculty of Water and Soil Engin. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

⁵ PhD Graduate, Dept. of Soil Science, Faculty of Water and Soil Engin., Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

*Corresponding Author, Email: mbarani2002@yahoo.com

Abstract

Tillage can significantly influence the productivity and sustainability of modern farming systems. In addition, the chemical nature of soil P is affected by tillage practice. The aim of this work was to determine changes of inorganic P fractions in a soil (labile, moderately labile, nonlabile, residual) under different tillage managements using Bowman and Cole (1978) procedure. Soil samples were taken from four different tillage treatments {conventional tillage (CT), Raised Bed Tillage (RB), Minimum Tillage (MT) and No-Tillage (NT)} from 0-8 and 8-16 cm depths with a factorial randomized complete block design with 5 replicates. The results showed that the tillage systems had significant effect on total P and all inorganic phosphorous except on nonlabile inorganic phosphorus. The change in soil tillage from conventional to conservation tillage significantly increased the amount of inorganic phosphorus forms (labile P, moderately labile P, residual P). The most significant variation belonged to in labile inorganic phosphorus, in which the amount of labile inorganic phosphorus in conventional tillage (9.51 mgkg^{-1}) increased to 21.37 mgkg^{-1} in minimum tillage (MT), indicating an increase of approximately 2 times compared to conventional tillage. No-tillage treatment showed the highest amount of moderately labile P (678 mgkg^{-1}) and the lowest amount (580 mgkg^{-1}) was in conventional tillage. The highest and lowest amounts of total inorganic P (522.95 and 441.98 mgkg^{-1}) were observed in No-tillage and conventional tillage, respectively. The results of this study indicated that the change in soil tillage from conventional to conservation tillage has considerable effect on soil P reserve.

Keywords: Conservation tillage, Conventional Tillage, Phosphorus fractionation, Sequential extraction, Inorganic P

مقدمه

از این رو استفاده از استراتژی‌های مناسب برای کاهش تلفات عناصر غذایی و فرسایش خاک ضروری است. سیستم خاک‌ورزی حفاظتی شامل کم خاک‌ورزی و بدون خاک‌ورزی یکی از روش‌های مفید برای جلوگیری از این مسائل می‌باشد (قادر فر و همکاران ۱۳۹۰). عملیات خاک‌ورزی به روش‌های گوناگونی انجام می

در واکنش به افزایش هزینه‌های سوخت‌های فسیلی، فرسایش گسترده خاک، استفاده زیاد از کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها و نگرانی‌های زیست محیطی در ارتباط با آلودگی آب و هزینه‌های عمومی انجام کار، نیاز به فناوری‌های جدید کشاورزی احساس می‌شود.

گونه‌ای که حلالیت فسفر در خاک‌ورزی حفاظتی افزایش می‌یابد که این امر به فعالیت میکروبی بیشتر در طی تجزیه مواد آلی خاک نسبت داده می‌شود. ژانگ و همکاران (۲۰۰۱) نیز گزارش کردند که کشت و کار تمامی شکل‌های فسفر را در خاک تغییر می‌دهد. وو و همکاران (۲۰۰۹) اثر سیستم‌های خاک‌ورزی بر شکل‌های مختلف فسفر را بررسی کرده و دریافتند که عملیات خاک‌ورزی و تناوب زراعی به‌طور قابل توجهی توزیع شکل‌های لبایل و نسبتاً لبایل فسفر معدنی را تحت تأثیر قرار داد. زامونر و همکاران (۲۰۰۸) شکل‌های مختلف فسفر معدنی تحت تأثیر عملیات مختلف خاک‌ورزی را بررسی کرده و دریافتند که سیستم خاک‌ورزی بر فسفر کل اثری ندارد بلکه توزیع فسفر در بین شکل‌های مختلف را متأثر می‌سازد. باسامبا و همکاران (۲۰۰۶) اظهار داشتند که دست خوردن مکانیکی خاک در طی شخم سبب افزایش تماس بین ذرات خاک و فسفر کودی و یا فسفر محلول خاک شده و بدین طریق تشکیل ترکیبات فسفر نامحلول پایدار را تسهیل می‌کند. براوو و همکاران (۲۰۰۶) با بررسی طولانی مدت اثر خاک‌ورزی بر شکل‌های فسفر بیان داشتند که اختلاف در غلظت فسفر در سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم می‌تواند به توزیع کود در عمق خاک به هم خورده توسط هر یک از سیستم‌ها نسبت داده شود. مطالعات متعددی نشان داده‌اند که سیستم بدون خاک‌ورزی در مقایسه با خاک‌ورزی سنتی، مقدار فسفر کل، فسفر قابل استفاده خاک را افزایش داده و توزیع فسفر در بین شکل‌های مختلف را تحت تأثیر قرار می‌دهد (فینک و همکاران ۲۰۱۶، محمد و همکاران ۲۰۱۲، مارگنوت و همکاران ۲۰۱۷، رودریگوئز و همکاران ۲۰۱۶، سونر و همکاران ۲۰۱۴، تیچر و همکاران ۲۰۱۸، وی و همکاران ۲۰۱۴، زیائوژو و همکاران ۲۰۱۶).

فسفر از عناصر ضروری در تغذیه گیاهان زراعی است و عملیات خاک‌ورزی تأثیر مستقیمی بر

شود که به طور کلی می‌توان آنها را به دو روش خاک-ورزی متداول یا سنتی و خاک‌ورزی حفاظتی تقسیم کرد. در خاک‌ورزی سنتی اغلب از وسایلی مانند گاواهن برگردان استفاده می‌شود. در این سیستم‌ها اغلب کمتر از ۱۵٪ بقایا در سطح خاک باقی می‌ماند. خاک‌ورزی حفاظتی در مقابل خاک‌ورزی سنتی قرار دارد که می‌تواند به روش‌هایی گوناگون از جمله بدون خاک‌ورزی و کم خاک‌ورزی صورت گیرد. در این خاک‌ورزی اغلب بیش از ۳۰٪ بقایا در سطح خاک حفظ می‌شود (عباسی و همکاران ۱۳۹۲). خاک‌ورزی می‌تواند به میزان قابل توجهی تولید و پایداری سیستم‌های کشاورزی مدرن را تحت تأثیر قرار دهد. رابسون و تایلور (۱۹۸۷) بیان داشتند که عملیات شخم می‌تواند از سه طریق عناصر غذایی را تغییر دهد: (۱) اختلاط عناصر غذایی سرتاسر خاک و تغییر فراهمی آنها برای گیاهان (۲) تغییر محیط فیزیکی خاک مانند جرم مخصوص که نهایتاً رشد و عمل ریشه را متأثر می‌سازد و (۳) تغییر فعالیت بیولوژیکی خاک.

فسفر در خاک‌ها در شکل‌های پیچیده شیمیایی وجود دارد که به‌طور قابل ملاحظه‌ای در رفتار، تحرک و زیست‌فراهمی در خاک‌ها با همدیگر متفاوتند. مقدار کل فسفر یک خاک اطلاعات اندکی در ارتباط با رفتار فسفر در محیط ارائه می‌کند. شکل‌های مختلف فسفر، سرنوشت و انتقال فسفر در خاک‌ها را تعیین می‌کنند. روش‌های جزءبندی با استفاده از عصاره‌گیرهای دنباله‌ای شیمیایی مختلف به منظور توصیف شکل‌های مختلفی فسفر استفاده شده‌اند. دلیل جزءبندی و مطالعه شکل‌های فسفر در خاک، توصیف دقیق‌تر پتانسیل رهاسازی فسفر از خاک است (وانگ و همکاران ۲۰۰۶). شکل‌های شیمیایی فسفر می‌تواند به‌طور قابل توجهی به وسیله عملیات‌های مدیریتی کشاورزی تحت تأثیر قرار گیرد (لیتور و همکاران ۲۰۰۴). وو و همکاران (۲۰۰۹) بیان می‌دارند که طبیعت شیمیایی فسفر خاک می‌تواند تحت تأثیر عملیات خاک‌ورزی قرار گیرد به

رفتار و قابلیت جذب فسفر خاک دارد. کاربرد روش های مختلف خاکورزی (مرسوم و حفاظتی) منجر به توزیع متفاوت شکل های فسفر در خاک می شود. از این رو، این مطالعه با هدف بررسی اثر سیستم های مدیریتی مختلف خاکورزی بر شکل های مختلف شیمیایی فسفر معدنی خاک به انجام رسید.

مواد و روش ها

مکان مورد مطالعه پایگاه تحقیقات کاربردی اجرایی آموزشی ترویجی کشاورزی حفاظتی (HUB) در شهرستان کردکوی - روستای گرجی محله استان گلستان با عرض جغرافیایی (۳۶° ۴۷' ۱۵/۵۴") و طول جغرافیایی (۳۴/۳۴' ۱۲' ۵۴°) و با ارتفاع ۴۳ متر از سطح دریا واقع شده است. متوسط بارندگی سالیانه ۵۷۰ میلی متر و متوسط درجه حرارت ۱۶/۴ درجه سانتیگراد با اقلیم مدیترانه ای است. دارای رژیم رطوبتی - حرارتی زیرک - ترمیک است و نام علمی خاک Typic Haploxerepts می باشد. این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با ۴ تیمار و ۵ تکرار و دو عمق نمونه برداری (۸-۱۶ و ۰-۸ سانتی متری) در مجموع ۲۰ کرت انجام شد. ابعاد هر کرت ۹ در ۲۵ متر با مساحت ۲۲۵ مترمربع بود. تیمارها شامل: ۱- تیمار خاکورزی مرسوم^۱ (CT) (شخم با گاواهن برگردان دار، سپس دو بار دیسک و کشت با عمیق کار مدل تاکا)، ۲- تیمار بستر برآمده^۲ (RB): (شخم با گاواهن برگردان دار سپس دیسک، ایجاد شیارها با فاصله ۷۵ سانتیمتر از هم با استفاده از شیارکش و سپس کشت با کارنده بستر برآمده دزفولی به طوری که روی هر بستر ۳ خط کشت و عرض هر بستر ۵۰ سانتی متر بود)، ۳- تیمار کم خاکورزی^۳ (MT): (تهیه زمین با استفاده از چیزل مدل پکر و سپس کشت با استفاده از کارنده بی خاکورز مدل شیلان

سازه) ۴- تیمار بی خاکورزی^۴ (NT): (کاشت بدون دست کاری خاک با استفاده از کارنده بی خاکورز مدل شیلان سازه گندم با شیار بازکن دابل دیسک). در این مطالعه گندم آبی نوع N 87-20 بذر مادری در تاریخ ۹ آذر ماه ۱۳۹۴ کشت شد. بذر استفاده برای کلیه تیمارها ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار بود که در عمق ۵ سانتی متری کاشت شد. همچنین کود مصرفی برای کلیه تیمارها بر اساس آزمون خاک شامل ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل، ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار کلرید پتاسیم و ۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره در زمان کاشت در عمق ۷ سانتی متری جاگذاری شد. ضمناً دو بار کود اوره به عنوان سرک با مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در تاریخ ۹۴/۱۰/۲۳ در مرحله پنجه زنی گیاه و ۷۵ کیلوگرم در هکتار در تاریخ ۹۴/۱۱/۱۱ در مرحله ساقه دهی گندم به همه تیمارها داده شد. نمونه برداری خاک از هر کرت از عمق های ۰-۸ و ۸-۱۶ سانتی متری در تاریخ ۹۵/۳/۱۶ قبل از برداشت محصول زمانی که گندم به طور کامل رسیده بود، انجام شد. نمونه های خاک هوا خشک شده و از الک ۲ میلی متری عبور داده و برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن تعیین گردید که شامل: کربن آلی به روش والکی و بلاک (نلسون و سامر ۱۹۸۲)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع خاک با هدایت سنج الکتریکی، pH خاک به روش الکتروود شیشه ای در عصاره ۱:۲، فسفر قابل استفاده خاک (اولسن و سامرز ۱۹۸۲)، نیتروژن کل با استفاده از هضم تر و به روش کج لال (برمنز ۱۹۹۶)، جرم مخصوص ظاهری خاک به روش سیلندر (بلیک و هارتج ۱۹۸۶) بود.

برای تعیین اجزای فسفر معدنی از روش بوومن و کول (۱۹۷۸) اصلاح شده به وسیله شارپلی و اسمیت (۱۹۸۵) و ایوانف و همکاران (۱۹۹۸) استفاده شد. در این روش، فسفر معدنی خاک به اجزای فسفر لبایل، فسفر نسبتاً لبایل، فسفر غیر لبایل و فسفر باقی مانده

¹ Conventional Tillage

² Raised Bed Tillage

³ Minimum Tillage

⁴ No-Tillage

رنگ سنجی با کمک دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۸۲۰ نانومتر تعیین شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ صورت گرفت. نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel رسم شد. همه ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی (بجز قابلیت هدایت الکتریکی) معنی‌دار بود. جدول ۲ مقایسه میانگین اثر خاک‌ورزی و عمق بر pH، کربن آلی، فسفر قابل استفاده خاک، نیتروژن کل و جرم مخصوص ظاهری خاک را نشان می‌دهد.

قابل تفکیک است. برای اندازه‌گیری فسفر معدنی کل، به ۱/۵ گرم خاک ۴۰ میلی لیتر اسید سولفوریک ۰/۵ مولار اضافه و به مدت ۱۶ ساعت با تکان دهنده تکان داده شد. سپس به مدت ۱۵ دقیقه سانتیفریوژ گردید (اولسن و سامرز ۱۹۸۲). فسفر موجود در عصاره‌ها به روش نتایج و بحث

تأثیر مدیریت‌های مختلف خاک‌ورزی بر برخی پارامترهای شیمیایی و فیزیکی خاک
جدول ۱ تجزیه واریانس اثر مدیریت‌های مختلف خاک‌ورزی بر برخی ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک را نشان می‌دهد. بر این اساس، اثر خاک‌ورزی بر

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر خاک‌ورزی بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک.

میانگین مربعات		منبع تغییرات		درجه آزادی		pH		EC		کربن آلی		فسفر قابل استفاده خاک		نیتروژن کل		جرم مخصوص ظاهری		
۰/۰۰۹ ^{ns}	۰/۰۰۰۱ ^{ns}	۰/۲۲ ^{ns}	۰/۳۶ ^{ns}	۰/۰۰۰۷ ^{ns}	۰/۰۰۲ ^{ns}	۴	۰/۰۰۲ ^{ns}	۰/۰۰۰۷ ^{ns}	۰/۰۰۰۷ ^{ns}	۰/۰۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۰۱ ^{ns}
۰/۰۰۵ ^{**}	۰/۰۰۰۴ ^{***}	۳۶/۱۱ ^{***}	۰/۰۳۳ ^{***}	۰/۰۰۲ ^{ns}	۰/۲۲۱ ^{**}	۳	۰/۲۲۱ ^{**}	۰/۰۰۲ ^{ns}	۰/۰۰۲ ^{ns}	۰/۰۰۰۴ ^{***}	۰/۰۰۰۴ ^{***}	۰/۰۰۰۴ ^{***}	۰/۰۰۰۴ ^{***}	۰/۰۰۰۴ ^{***}	۰/۰۰۰۴ ^{***}	۰/۰۰۰۴ ^{***}	۰/۰۰۰۴ ^{***}	۰/۰۰۰۴ ^{***}
۰/۰۰۵ ^{ns}	۰/۰۰۰۵ ^{***}	۲۲/۳۵ ^{***}	۰/۰۲۱ ^{ns}	۰/۰۰۶ [*]	۰/۰۰۲ ^{ns}	۱	۰/۰۰۲ ^{ns}	۰/۰۰۶ [*]	۰/۰۰۶ [*]	۰/۰۰۰۵ ^{***}	۰/۰۰۰۵ ^{***}	۰/۰۰۰۵ ^{***}	۰/۰۰۰۵ ^{***}	۰/۰۰۰۵ ^{***}	۰/۰۰۰۵ ^{***}	۰/۰۰۰۵ ^{***}	۰/۰۰۰۵ ^{***}	۰/۰۰۰۵ ^{***}
۰/۰۰۵ ^{ns}	۰/۰۰۰۶ [*]	۱/۶۷ ^{**}	۰/۰۶۷ ^{ns}	۰/۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۲۵ ^{ns}	۳	۰/۰۲۵ ^{ns}	۰/۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۶ [*]	۰/۰۰۰۶ [*]	۰/۰۰۰۶ [*]	۰/۰۰۰۶ [*]	۰/۰۰۰۶ [*]	۰/۰۰۰۶ [*]	۰/۰۰۰۶ [*]	۰/۰۰۰۶ [*]	۰/۰۰۰۶ [*]
۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۵	۰/۳۰۷	۰/۰۲۸	۰/۰۱۴	۰/۰۳۱	۲۸	۰/۰۳۱	۰/۰۱۴	۰/۰۱۴	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۵
۴/۸۲	۱۹/۶۱	۱۱/۰۷	۱۸/۷۲	۱۵/۸۲	۲/۴۵		۲/۴۵	۱۵/۸۲	۱۵/۸۲	۱۸/۷۲	۱۸/۷۲	۱۸/۷۲	۱۸/۷۲	۱۸/۷۲	۱۸/۷۲	۱۸/۷۲	۱۸/۷۲	۱۸/۷۲

ns، *، **، *** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۱، ۱ و ۵ درصد و غیرمعنی‌دار هستند.

کردند که سامانه بی‌خاک‌ورزی سبب کاهش معنی‌داری در pH با نیم واحد در ۵ سانتی‌متری بالایی خاک شد. اما تفاوت معنی‌داری در pH در عمق عمیق‌تر بین بی‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم مشاهده نشد. آنان کاهش pH خاک در لایه سطحی بی‌خاک‌ورزی را ناشی از اوره پخش سطحی شده دانستند و بیان داشتند که مقدار بالای کربن آلی و نیز معدنی شدن کربن آلی منجر به تولید اسیدهای آلی اضافی و نتیجتاً کاهش pH می‌شود. اووالوران (۱۹۹۳) با مطالعه تأثیر شخم و کوددهی بر فسفر معدنی و آلی خاک گزارش کرد که اثر متقابل شخم و کوددهی معدنی بر pH لایه ۱۰-۰ سانتی‌متر معنی‌دار بود. این امر می‌تواند به دلیل کاهش pH به وسیله کوددهی معدنی در کم‌خاک‌ورزی و

مطابق داده‌های جدول ۱، اثر خاک‌ورزی بر pH خاک معنی‌دار بود لکن تغییر عمق همچنین اثر متقابل خاک‌ورزی و عمق بر این پارامتر خاک تأثیر معنی‌داری نداشت. طبق داده‌های جدول ۲، بی‌خاک‌ورزی کم‌ترین میزان pH و کاهش در حدود ۴/۳٪ نسبت به خاک‌ورزی مرسوم را نشان داد. همچنین بین کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد مشاهده نشد. خاک‌ورزی مرسوم (CT) و بستر برآمده (RB) نیز تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد در pH ندارند. با این حال خاک‌ورزی مرسوم (CT) بالاترین میزان pH داشت. زامونر و همکاران (۲۰۰۸) با مطالعه فسفر آلی و معدنی تحت مدیریت‌های مختلف خاک‌ورزی در خاک مالی‌سول در آرژانتین ذکر

بی‌خاک‌ورزی باشد. کاهش pH ممکن است بر تعادل فسفر موثر باشد زیرا کاهش pH می‌تواند انحلال فسفر را از شکل‌های معدنی غیر لبایل به شکل‌های لبایل فسفر بهبود بخشد (سونر و همکاران ۲۰۱۴). سینگ و همکاران (۱۹۹۴) نیز گزارش کردند که pH در عمق ۰-۵ سانتی‌متری فوقانی خاک نسبت دادند هرچند اثر خاک‌ورزی بر pH را متأثر از شرایط اقلیمی، نوع خاک و عوامل مدیریتی دانستند.

سانتی‌متر در بی‌خاک‌ورزی با نگهداری بقایا پایین‌ترین مقدار بود. کاهش pH در کم‌خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی سنتی توسط مارگنوت و همکاران (۲۰۱۷) نیز گزارش شده است. بوساری و همکاران (۲۰۱۵) pH کمتر در بی‌خاک‌ورزی را به تجمع مواد آلی در چند

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر خاک‌ورزی و عمق بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک.

عمق	خاک‌ورزی			
	خاک‌ورزی مرسوم	خاک‌ورزی بستر برآمده	کم‌خاک‌ورزی	بدون خاک‌ورزی
pH				
۰-۸	۷/۳ ^{ab}	۷/۴ ^{abc}	۷/۰ ^d	۷/۱ ^{dc}
۸-۱۶	۷/۴ ^a	۷/۴ ^{abdc}	۷/۱ ^{cdb}	۷/۰ ^d
میانگین	۷/۳ ^a	۷/۲ ^{ab}	۷/۰ ^{bc}	۷/۰ ^c
کربن آلی (%)				
۰-۸	۰/۶۵ ^b	۰/۹۳ ^b	۰/۸۳ ^b	۱/۲۳ ^a
۸-۱۶	۰/۷۷ ^b	۰/۸۱ ^b	۰/۹۳ ^b	۱/۱۹ ^a
میانگین	۰/۶۵ ^c	۰/۸۷ ^b	۰/۸۸ ^b	۱/۲۱ ^a
فسفر قابل استفاده خاک (mg kg ⁻¹)				
۰-۸	۳/۹۵ ^e	۵/۰۲۵ ^d	۷/۳۸ ^a	۶/۶۵ ^b
۸-۱۶	۱/۲۵ ^f	۳/۷۷ ^e	۶/۲۱ ^{bc}	۵/۷۸ ^c
میانگین	۲/۶ ^d	۴/۴ ^c	۶/۷۹ ^a	۶/۲۲ ^b
نیترژن کل (%)				
۰-۸	۰/۰۶۶ ^c	۰/۰۸۳ ^{abc}	۰/۰۹۱ ^{ab}	۰/۰۹۸ ^a
۸-۱۶	۰/۰۱۸ ^d	۰/۰۶۷ ^c	۰/۰۷۸ ^{bc}	۰/۰۶۷ ^{abc}
میانگین	۰/۰۴۲ ^c	۰/۰۷۵ ^b	۰/۰۸۵ ^{ab}	۰/۰۸۸ ^a
جرم مخصوص ظاهری (g cm ⁻³)				
۰-۸	۱/۷۴ ^a	۱/۷۱ ^{ab}	۱/۷۲ ^{ab}	۱/۶۲ ^{bc}
۸-۱۶	۱/۷۶ ^a	۱/۶۸ ^{ab}	۱/۷۱ ^{ab}	۱/۵۳ ^c
میانگین	۱/۷۵ ^a	۱/۶۹ ^a	۱/۷۱ ^a	۱/۵۷ ^b

برای هر ویژگی، اعدادی که دارای حروف یکسان هستند، در سطح احتمال ۵ درصد فاقد تفاوت معنی‌دار می‌باشند.

سديم در عمق ۸-۰ سانتی متر، خاک ورزی مرسوم (CT) با مقدار ۳/۹۵ میلی گرم بر کیلوگرم کمترین مقدار و کم خاک ورزی (MT) با مقدار ۷/۳۸ میلی گرم بر کیلوگرم و حدود ۴۶/۶٪ افزایش نسبت به خاک ورزی مرسوم (CT)، بالاترین مقدار را داشت. تیمارهای بدون خاک ورزی (NT) و خاک ورزی بستر برآمده (RB) به ترتیب حدود ۴۰/۶٪ و ۲۱/۴٪ افزایش نسبت به خاک ورزی مرسوم (CT) را نشان دادند. فسفر قابل استفاده با افزایش عمق کاهش یافت. در عمق ۱۶-۸ سانتی متر، تیمارهای کم خاک ورزی (MT) و بی خاک ورزی (NT) از لحاظ آماری فاقد تفاوت معنی دار بوده و هر کدام به ترتیب ۷۹/۸٪ و ۷۸/۳٪ افزایش معنی داری نسبت به خاک ورزی مرسوم (CT) نشان دادند، با این حال کم خاک ورزی بالاترین مقدار فسفر قابل استخراج با بیکربنات سديم را داشت. براوو و همکاران (۲۰۰۶) در مطالعه اثرات بلند مدت شخم بر فسفر در خاک ورتی سول جنوب اسپانیا گزارش کردند که فسفر اولسن به طور معنی داری در کم خاک ورزی نسبت به خاک ورزی مرسوم بالاتر بود. محمد و همکاران (۲۰۱۲) با مطالعه تأثیر شخم تناوب زراعی بر تولید محصول گندم در منطقه خشک شمال غربی پاکستان دریافتند که فسفر قابل استفاده خاک با عمق کاهش یافت. ریدل و همکاران (۲۰۰۷) با مطالعه زیست-فراهمی فسفر در دو روش خاک ورزی مرسوم و بی-خاک ورزی گزارش کردند عموماً، مقادیر بالایی از فسفر اولسن در بی خاک ورزی نسبت به خاک ورزی سنتی وجود داشت. تیچر و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که مقدار فسفر قابل استفاده در خاک ورزی سنتی و مرسوم نسبت به بی خاک ورزی پایین بود. آنان بیان داشتند که در خاک ورزی مرسوم، شخم زدن خاک مکان های جذب سطحی را در معرض قرار داده و نیز تشدید تجزیه مواد آلی خاک، جذب سطحی فسفر توسط تبادل لیگاندی در مقایسه با بی خاک ورزی را افزایش می دهد. نتایج مشابهی توسط فینک و همکاران (۲۰۱۶) گزارش شده است.

مطابق داده های جدول ۱، کربن آلی خاک متأثر از خاک ورزی بود ولی عمق و اثر متقابل این دو فاکتور بر کربن آلی خاک معنی داری نبود. بر طبق داده های جدول ۲، خاک ورزی مرسوم کمترین مقدار درصد کربن و بی خاک ورزی (MT) با حدود ۴۶٪ افزایش نسبت به خاک ورزی مرسوم (CT) بالاترین مقدار کربن آلی را دارد. خاک ورزی بستر برآمده (RB) و کم خاک ورزی (MT) فاقد تفاوت معنی دار با هم دیگر و هر کدام به ترتیب افزایشی در حدود ۲۶٪ و ۲۵/۴٪ نسبت به خاک ورزی مرسوم (CT) نشان دادند. زامونر و همکاران (۲۰۰۸) با مطالعه بی خاک ورزی و خاک ورزی مرسوم بر کربن آلی در آرژانتین گزارش کردند که بی خاک ورزی به طور قابل توجهی سبب افزایش تمرکز کربن آلی در سطح خاک تا عمق ۱۰ سانتی متری خاک شد. لکن تفاوت معنی داری زیر ۱۰ سانتی متر مشاهده نشد. آنان تجمع بالای کربن آلی در بی خاک ورزی را به سرعت پایین تجزیه و بخش های پایدار مواد آلی نسبت دادند. باسامبا و همکاران (۲۰۰۶) نیز گزارش کردند که تفاوت معنی داری بین مدیریت بی خاک ورزی و کم خاک ورزی در کربن کل پیدا شد. یافته های آنان نشان داد که بی خاک ورزی همواره مقادیر کربن نسبت به کم خاک ورزی بزرگتر می باشد که احتمالاً از تلفات بیشتر ماده آلی در کم خاک ورزی در استفاده از چیزل در مقایسه با بی خاک ورزی ناشی می شود. زیانوژو و همکاران (۲۰۱۶) بالاتر بودن تجمع مواد آلی در سیستم بی خاک ورزی را رشد و متابولیسم سریعتر ریشه ها در نتیجه حفظ بقایا در این نوع کشت حفاظتی نسبت دادند.

ماهیت شیمیایی فسفر خاک تحت تأثیر عملیات خاک ورزی است و حلالیت فسفر تحت خاک ورزی حفاظتی افزایش می یابد (وو و همکاران ۲۰۰۹). مطابق داده های جدول ۱، اثر خاک ورزی و عمق و اثر متقابل خاک ورزی و عمق بر فسفر قابل استفاده معنی دار بود. بر اساس جدول ۲، فسفر قابل استخراج با بیکربنات

معنی‌داری در جرم مخصوص ظاهری در سطح ۵ درصد نشان ندادند با این حال، بی‌خاک‌ورزی با ۱/۵۷ گرم بر سانتی متر مکعب، کمترین جرم مخصوص ظاهری خاک را در بین مدیریت‌های مختلف خاک‌ورزی داشت. وگلر و همکاران (۲۰۰۹) در مطالعه تأثیر شخم و کودهی فسفر بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی زکری کردند جرم مخصوص ظاهری خاک در اثر خاک‌ورزی حفاظتی بلند مدت کاهش می‌یابد. از طرف دیگر، آلواریز و استینیباخ (۲۰۰۹) در مطالعه اثر خاک‌ورزی بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نشان دادند که جرم مخصوص ظاهری خاک تحت بی‌خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم بالاتر بود ولی تفاوتی بین خاک‌ورزی مرسوم و کم‌خاک‌ورزی مشاهده نشد. سینگ و همکاران (۱۹۹۴) در مطالعه اثر بی‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم ویژگی‌های خاک دریافتند که متوسط جرم مخصوص ظاهری خاک در عمق ۱۵-۰ سانتی‌متر کمتر بود که عمدتاً به مشارکت مقدار ماده آلی بالاتر در این خاکها بود و جرم مخصوص ظاهری خاک در عمق ۵-۰ سانتی‌متر به طور معنی‌داری در بی‌خاک‌ورزی و نگهداری بقایا در مقایسه با خاک‌ورزی بدون بقایا پایین‌تر بود.

تأثیر مدیریت‌های مختلف خاک‌ورزی بر شکل‌های معدنی فسفر خاک

سامانه‌های کشاورزی و مدیریت کود و خاک، پویایی فسفر و دسترسی آن را با تغییر شکل‌های فسفر و مقادیر نسبی‌شان تغییر می‌دهند (رودریگوئز و همکاران ۲۰۱۶). جدول ۳ تجزیه واریانس اثر خاک‌ورزی بر شکل‌های معدنی فسفر را نشان می‌دهد. بر این اساس، اثر خاک‌ورزی و اثر متقابل خاک‌ورزی و عمق بر همه شکل‌های معدنی فسفر به جز فسفر معدنی غیرلبایی معنی‌دار بود. همچنین اثر عمق بر همه شکل‌های معدنی فسفر معنی‌دار بود.

طبق داده‌های جدول ۱، نیتروژن کل اختلاف معنی‌داری را در اثر خاک‌ورزی و عمق و اثر متقابل خاک‌ورزی و عمق در بین مدیریت‌های مختلف خاک‌ورزی نشان داد. بر اساس داده‌های جدول ۲، نیتروژن کل در عمق ۸-۰ سانتی‌متر هر سه خاک‌ورزی بستر برآمده (RB)، کم‌خاک‌ورزی (MT) و بی‌خاک‌ورزی (NT) فاقد تفاوت معنی‌دار باهم هستند. با این وجود بی‌خاک‌ورزی با حدود ۳۳٪ افزایش معنی‌دار نسبت به خاک‌ورزی مرسوم بالاترین میزان را داشت. کم‌خاک‌ورزی با ۲۷/۴٪ نسبت به خاک‌ورزی مرسوم افزایش نشان داد. خاک‌ورزی مرسوم و بستر برآمده فاقد تفاوت معنی‌دار ($P < 0/05$) باهم‌دیگر بودند. در عمق ۸-۱۶ سانتی‌متر نیز بی‌خاک‌ورزی با حدود ۷۷٪ افزایش معنی‌دار نسبت به خاک‌ورزی مرسوم بالاترین مقدار را داشت. وگلر و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند نیتروژن کل در لایه بالایی خاک (۱۵-۰ سانتی‌متر) در خاک‌ورزی حفاظتی نسبت به خاک‌ورزی سنتی بالاتر بود. باسامبا و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند که تفاوت معنی‌داری بین مدیریت بی‌خاک‌ورزی و کم‌خاک‌ورزی در نیتروژن کل پیدا شد. وو و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند توزیع نیتروژن در سه خاک در سطح خاک (۵-۰ سانتی‌متری) بالاترین میزان و با عمق کاهش یافت. همچنین عملیات خاک‌ورزی عموماً اثر معنی‌داری بر نیتروژن زیر ۱۰ سانتی‌متر نداشت. بوساری و همکاران (۲۰۱۵) کاهش کربن آلی و نیتروژن کل در کرت شخم خورده در خاک‌ورزی سنتی و مرسوم را ناشی از سرعت بیشتر معدنی شدن و آبشویی دانستند که در اثر تخریب ساختمان خاک در پی شخم ایجاد می‌شود.

مطابق داده‌های جدول ۱، جرم مخصوص ظاهری خاک متأثر از خاک‌ورزی بود ولی اثر عمق و اثر متقابل عمق و خاک‌ورزی بر این پارامتر معنی‌دار نبود. بر طبق داده‌های جدول ۲، خاک‌ورزی مرسوم، خاک‌ورزی بستر برآمده و کم‌خاک‌ورزی اختلاف

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر خاک‌ورزی بر شکل‌های مختلف فسفر معدنی.

میانگین مربعات						منبع تغییرات
فسفر کل	فسفر باقی‌مانده	فسفر غیر لبایل	فسفر نسبتاً لبایل	فسفر لبایل	درجه آزادی	
۱۲۹ ^{NS}	۱/۳۲ ^{NS}	۱۲/۷۳ ^{NS}	۱۲۳۱ ^{NS}	۱/۸۱ ^{NS}	۴	بلوک
۱۴۹۲۷ ^{***}	۱۴۶/۳۳ ^{***}	۷/۶۸ ^{NS}	۱۷۱۸۲ ^{***}	۱۶۶/۹۳ ^{***}	۳	خاک‌ورزی
۱۹۴۱۱۶۱ ^{***}	۴۲۳۰ ^{***}	۲۸۳/۴۳ ^{***}	۱۵۹۳۴۵۸ ^{***}	۱۴۹/۶۹ ^{***}	۱	عمق
۵۳۹ ^{**}	۹/۶۳ [*]	۱/۷۰ ^{NS}	۲۳۷۰ ^{**}	۲۴/۰۵ ^{***}	۳	اثر متقابل عمق * خاک‌ورزی
۱۵۲	۲/۲۴	۴/۵۶	۶۶۱	۱/۵۷	۲۸	خطای آزمایش
۱/۷	۳/۲	۵/۶	۴/۱	۱۰/۰		ضریب تغییرات

***, **, * و NS به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۱, ۰/۰۵ و ۵ درصد و غیرمعنی‌دار هستند.

کاهش یافت به گونه‌ای که این کاهش در کم‌خاک‌ورزی (MT) با حدود ۳۴/۷٪ شدیدترین کاهش بود. کاهش در خاک‌ورزی بستر برآمده (RB) و خاک‌ورزی مرسوم (CT) از لحاظ آماری معنی‌دار نبود. ژانگ و همکاران (۲۰۰۱) با مطالعه فسفر در یک خاک با سامانه‌های مختلف تناوب و منابع غذایی گزارش کردند که ترکیب سامانه‌های تناوب کشت با خاک‌ورزی چپزل به طور معنی‌داری مقدار فسفر لبایل را نسبت به دیگر تیمارها افزایش داد. تناوب با خاک‌ورزی چپزل، فسفر لبایل را به واسطه بیش‌تر بودن مقدار کربن کل و فعالیت میکروبی کل، افزایش می‌دهد و معدنی شدن فسفر آلی را در مقایسه با دیگر سامانه‌های کشت بهبود می‌بخشد. رودریگز و همکاران (۲۰۱۶) دریافتند که تجمع فسفر معدنی در شکل‌های لبایل می‌تواند ناشی از کاهش جذب فسفر در خاک‌هایی با اختلاط کم‌تر باشد که کود کمتری را در معرض واکنش‌های جذب با انرژی بالا قرار می‌دهد و همچنین به دلیل حضور بیش‌تر مواد آلی با وزن مولکولی پایین از بقایای گیاهی باشد که مکان‌های جذب سطحی فسفر را مسدود می‌کنند. وو و همکاران (۲۰۰۹) ذکر کردند تجمع فسفر لبایل در خاک سطحی سیلتی لوم احتمالاً ناشی از معدنی شدن بیش‌تر فسفر آلی در سامانه خاک‌ورزی چپزل همراه بقایای گیاهی در خاک باشد. پاویناتو و همکاران (۲۰۰۹) در مطالعه اثر خاک‌ورزی بر کود فسفر افزوده شده به خاک در سرادو برزیل گزارش کردند که افزایش فسفر قابل

نتایج نشان داد که به‌طور کلی در همه تیمارها اجزای مختلف فسفر معدنی در عمق ۸-۰ سانتی‌متر به ترتیب به این صورت می‌باشد: فسفر نسبتاً لبایل < فسفر غیر لبایل < فسفر باقی‌مانده (فسفر بسیار مقاوم) < فسفر لبایل.

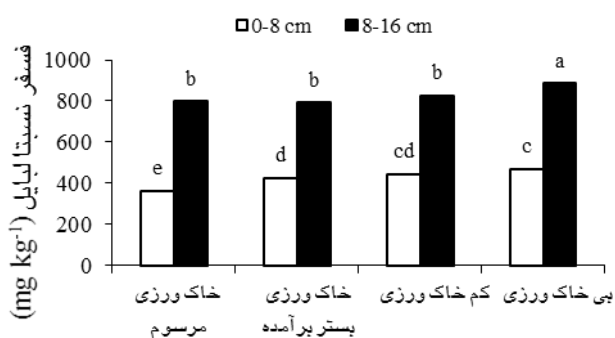
در عمق دوم نیز ترتیب اجزاء در همه تیمارها به این صورت می‌باشد: فسفر نسبتاً لبایل < فسفر باقی‌مانده < فسفر غیرلبایل < فسفر لبایل.

شکل ۱ مقایسه میانگین اثر خاک‌ورزی و عمق بر غلظت فسفر معدنی لبایل را نشان می‌دهد. بر اساس شکل ۱، در عمق ۸-۰ سانتی‌متر، فسفر لبایل در خاک‌ورزی مرسوم (CT) ۹/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم کم‌ترین مقدار و در کم‌خاک‌ورزی (MT) ۲۱/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم بیش‌ترین مقدار و حدود ۴/۲٪ از فسفر معدنی کل را شامل می‌شود. بی‌خاک‌ورزی (NT) نیز حدود ۴۳/۲٪ افزایش معنی‌دار نسبت به شاهد داشت. خاک‌ورزی بستر برآمده (RB) و خاک‌ورزی مرسوم (CT) در این بخش فسفر فاقد تفاوت معنی‌دار بودند. در عمق ۱۶-۸ سانتی‌متر نیز خاک‌ورزی بستر برآمده (RB) و خاک‌ورزی مرسوم (CT) از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد ندارند. کم‌خاک‌ورزی با ۱۳/۹۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم بالاترین فسفر لبایل را دارد. همچنین بی‌خاک‌ورزی حدود ۲۵/۸٪ افزایش معنی‌دار نسبت به خاک‌ورزی مرسوم (CT) داشت. نتایج نشان داد که فسفر لبایل با افزایش عمق

معنی‌داری ($P < 0.05$) از لحاظ فسفر نسبتاً لبایل مشاهده نشد. با این وجود، فسفر نسبتاً لبایل در کم‌خاک‌ورزی (NT) بالاترین مقدار و ۸۹/۹٪ از فسفر معدنی کل و خاک‌ورزی مرسوم (CT) کم‌ترین مقدار از فسفر نسبتاً لبایل را دارا بود. بین کم‌خاک‌ورزی (MT) و خاک‌ورزی بستر برآمده (RB) نیز اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در عمق دوم بی‌خاک‌ورزی با افزایش معنی‌دار نسبت به خاک‌ورزی مرسوم بالاترین مقدار و ۹۲٪ از فسفر معدنی کل را شامل می‌شود. بین بقیه مدیریت‌های خاک‌ورزی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. به طور میانگین در هر دو عمق، اثر مدیریت‌های خاک‌ورزی بر فسفر نسبتاً لبایل در سطح ۵٪ معنی‌دار بود و در تیمار بی‌خاک‌ورزی با ۶۷۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم بالاترین و تیمار خاک‌ورزی مرسوم با ۵۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کم‌ترین مقدار را داشت.

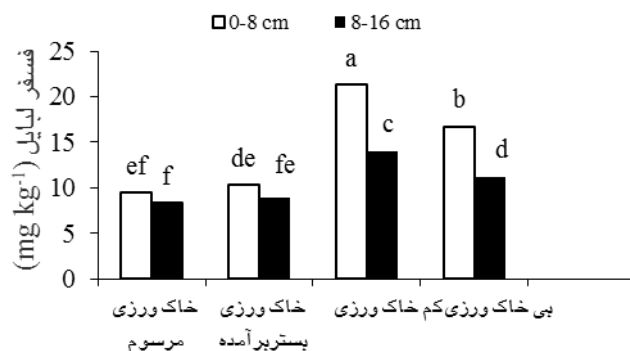
استفاده در لایه‌های سطحی از خاک تحت مدیریت بی‌خاک‌ورزی ناشی از عدم اختلاط خاک به اضافه رهاسازی فسفر از بافت‌های گیاهی مرده و کاربرد کود است. مکان‌های جذب فسفر در این لایه‌های سطحی به سرعت اشباع شده و تعادل عناصر غذایی حاصل شده از کود معدنی یا ترکیبات آلی در جزء‌های پیوند یافته با انرژی کم مجدداً توزیع گردد و در نتیجه منجر به ظرفیت بالاتری از واجذب گردد که در نهایت ممکن است سبب افزایش زیست‌فراهمی فسفر شود. یافته‌های شنی و همکاران (۲۰۱۵) نیز افزایش فسفر لبایل در بی‌خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم را نشان داد.

چنانچه که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، در عمق ۰-۸ سانتی‌متر، به طور کلی هر سه مدیریت خاک‌ورزی بستر برآمده، کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم افزایش معنی‌داری در فسفر نسبتاً لبایل در سطح ۵ درصد نشان دادند. لکن بین کم‌خاک‌ورزی (MT) و بی‌خاک‌ورزی (NT) اختلاف



شکل ۲- اثر خاک‌ورزی و عمق بر غلظت فسفر نسبتاً معدنی لبایل.

قلیایی جنوب و غرب اسپانیا گزارش کردند که فسفر پیوند یافته با کلسیم (فسفر عصاره‌گیری شده با عصاره‌گیر HCl) فراوان‌ترین شکل فسفر با دامنه غلظتی از ۱۲۹ تا ۷۵۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. غلظت HCl-P که اساساً فسفات‌های کلسیم کم محلول (اغلب آپاتیت پدوژنیک و لیتوژنیک) را عصاره‌گیری می‌کند، در



شکل ۱- اثر خاک‌ورزی و عمق بر غلظت فسفر لبایل معدنی.

هنگام استفاده کود همه بخش‌های فسفر معدنی افزایش می‌یابند و این اثر برای شکل‌های لبایل و نسبتاً لبایل دارای اهمیت بیشتری است زیرا آن‌ها مسئول بافر فسفر در محلول خاک هستند (پاویئاتو و همکاران ۲۰۰۹). براوو و همکاران (۲۰۰۶) در مطالعه بلند مدت اثر خاک‌ورزی بر روی شکل‌های فسفر در ورتی‌سول

منطقه تحت اثر پخشیدگی محصولات واکنش کود- خاک، افزایش می یابد به گونه ای که فسفات های کلسیم ثانویه با حلالیت پایین تشکیل می شوند و این امر مقادیر بالاتر فسفر عصاره گیری شده با $HCl\ 1M$ در بی خاک ورزی نسبت به خاک ورزی مرسوم را توضیح می دهد.

مطابق داده های جدول ۳، اثر خاک ورزی و اثر متقابل خاک ورزی و عمق بر فسفر غیرلبایل معنی دار نبود، ولی اثر عمق بر این شکل فسفر در سطح احتمال ۰/۱ درصد معنی دار می باشد. به طور کلی، فسفر غیرلبایل با افزایش عمق کاهش یافت و از ۴۰/۴۲ به ۳۵/۲۹ میلی گرم بر کیلوگرم در عمق دوم رسید. براوو و همکاران (۲۰۰۶) در مطالعه بلندمدت اثر خاک ورزی بر شکل های فسفر در ورتی سول جنوب اسپانیا گزارش کردند که اثر خاک ورزی بر همه ی شکل های فسفر معدنی به جز $NaOH-Pi$ معنی دار بود. غلظت این بخش بیشترین مقدار فسفر معدنی باقی مانده (فسفر بسیار مقاوم) و با ۱۸٪ افزایش معنی دار نسبت به خاک ورزی مرسوم (CT) تقریباً ۸٪ از فسفر معدنی کل را تشکیل داد. همچنین بین خاک ورزی مرسوم (CT) و خاک ورزی بستر برآمده (RB) اختلاف معنی داری در سطح ۵ درصد مشاهده نشد. در عمق ۱۶-۸ سانتی متر، بین کم خاک ورزی (MT) و بی خاک ورزی (NT) اختلاف معنی داری وجود نداشت و بی خاک ورزی (NT) با ۱۶٪ افزایش معنی دار نسبت به خاک ورزی مرسوم (CT) بیشترین مقدار در این بخش فسفر را داشت. ترتیب کاهش مقدار فسفر باقی مانده در خاک ورزی های مختلف به ترتیب زیر بود: $NT > MT > RT > CT$. وو و همکاران (۲۰۰۹) در مطالعه بر روی فسفر سه نوع خاک در استرالیا گزارش کردند که اثر خاک ورزی بر بخش های فسفر معدنی به جز فسفر عصاره گیری شده با $NaOH-Pi$ در خاک ورتی سول معنی دار بود. آنان همچنین ذکر کردند که در خاک $Calcarosol$ ، مقدار $NaOH-Pi$ پایین بود. آنان این امر را ناشی از مقادیر کم اکسیدهای Al_2O_3 و Fe_2O_3 در این خاکها دانستند.

مطابق شکل ۳، در عمق ۸-۰ سانتی متر، بی خاک ورزی (NT) با مقدار ۴۱/۳ میلی گرم بر کیلوگرم

کم خاک ورزی بیش تر از خاک ورزی مرسوم و به طور میانگین بیش از ۸۰ درصد از فسفر معدنی کل را شامل شد. سلز و همکاران (۱۹۹۹) بیان کردند که فسفر و عناصر نامتحرک دیگر معمولاً گرایش به تجمع در نزدیک نقطه جاگذاری دارند. مارگنوت و همکاران (۲۰۱۷) با مطالعه اثر شخم و کشاورزی حفاظتی بر فراهمی فسفر دریافتند که فسفر لبایل ($NaHCO_3-Pi$) و فسفر پیوند یافته با کلسیم ($HCl-Pi$) در کم خاک ورزی به ترتیب ۷۷٪ و ۳۳٪ نسبت به خاک ورزی مرسوم افزایش یافت. نگاسا و لینوهر (۲۰۰۹) دریافتند که بخش $HCl-P$ در اریدی سولز به شدت غالب است در حالی که در اولتی سولز و اکسی سولز، فسفر باقی مانده غالب است. تیچر و همکاران (۲۰۱۲) در مطالعه اثر سامانه های خاک ورزی مختلف بر روی فسفر معدنی خاک دریافتند که با کاربرد کود در خاک های تحت مدیریت بی خاک ورزی با مقادیر بالای آهک، غلظت فسفر در از فسفر که اغلب بیانگر فسفات جذب شده روی سطوح هیدروکسیدهای آهن و آلومینیوم و فسفات های غنی از آهن و آلومینیوم است، پایین بود. آنان دلیل پایین بودن این بخش از فسفر معدنی را جذب دوباره فسفات آزاد شده با عصاره گیر $NaOH$ به وسیله کلسیت در روش جزء بندی دانستند و ذکر کردند که این اثر به خوبی در ورتی سولز و اینسپیتی سولز آهکی جنوب اسپانیا ثبت شده است.

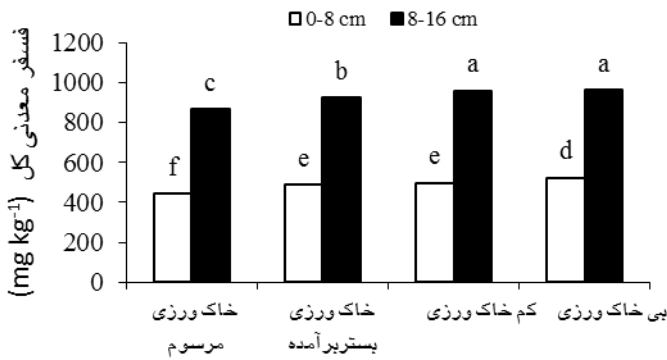
وو و همکاران (۲۰۰۹) در مطالعه سه نوع خاک ($Chromosol$ ، $Calcarosol$ و ورتی سول) در ویکتوریای استرالیا گزارش کردند که اثر خاک ورزی بر بخش های فسفر معدنی به جز فسفر عصاره گیری شده با $NaOH-Pi$ در خاک ورتی سول معنی دار بود. آنان همچنین ذکر کردند که در خاک $Calcarosol$ ، مقدار $NaOH-Pi$ پایین بود. آنان این امر را ناشی از مقادیر کم اکسیدهای Al_2O_3 و Fe_2O_3 در این خاکها دانستند.

مطابق شکل ۳، در عمق ۸-۰ سانتی متر، بی خاک ورزی (NT) با مقدار ۴۱/۳ میلی گرم بر کیلوگرم

در لایه زیر سطحی خاک‌ورزی مرسوم (CT) در اثر برگردان کردن خاک در هر کشت و همچنین اختلاط فسفر اضافه کودی در عمق منجر به افزایش غلظت فسفر کل در لایه‌های ۲۰-۱۰ و ۳۰-۲۰ شد. براوو و همکاران (۲۰۰۶) دریافتند که غلظت فسفر معدنی کل به طور معنی‌داری در کم‌خاک‌ورزی (MT) نسبت به خاک‌ورزی مرسوم (CT) بالاتر بود. آنان تفاوت بین فسفر کل معدنی بین خاک‌ورزی مرسوم و کم‌خاک‌ورزی را ناشی از غلظت فسفر در بخش HCl-P دانستند که بیانگر آن است که فسفر کودی عمدتاً به صورت کلسیم غنی از فسفات نسبتاً نامحلول غیرمتحرک شده است. رودریگز و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه روی فسفر در اکسی‌سولزهای گرمسیری ساوانا برزیل گزارش کردند که غلظت فسفر معدنی در ۵ سانتی‌متری بالایی به طور معنی‌داری در بی‌خاک‌ورزی (NT) نسبت به خاک‌ورزی مرسوم (CT) بیشتر بود. فسفر کل و فسفر معدنی بیشتر در بی‌خاک‌ورزی (NT)، ممکن است به علت فسفر قابل استفاده بیشتر باشد که نیاز به فسفر کودی کمتری داشته باشد و منجر به سرعت بیشتر پخشیدگی فسفر به سمت ریشه گیاه شود. همچنین در خاک‌ورزی مرسوم میزان فسفر قابل استفاده در سطح خاک در مقایسه با بی‌خاک‌ورزی کمتر بود.

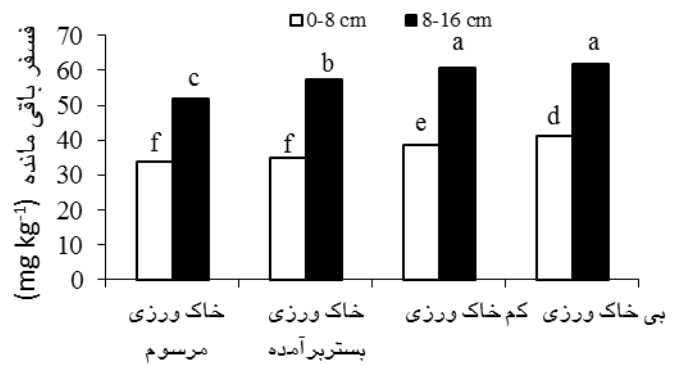
محبوس شده در اکسی و اکسی هیدروکسیدهای آهن به طور معنی‌داری در کم‌خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم بالاتر بود.

مطابق شکل ۴، بالاترین فسفر معدنی کل با مقدار ۵۲۲/۹۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم در بی‌خاک‌ورزی (NT) با ۱۵/۵٪ افزایش معنی‌دار نسبت به خاک‌ورزی مرسوم (CT) بود. ولی بین کم‌خاک‌ورزی (MT) و خاک‌ورزی بستر برآمده (RB) اختلاف معنی‌داری ($P < 0.05$) مشاهده نشد و هر کدام به ترتیب ۱۱/۳٪ و ۹/۷٪ افزایش معنی‌دار نسبت به خاک‌ورزی مرسوم نشان دادند. خاک‌ورزی مرسوم (CT) کمترین مقدار فسفر معدنی کل با مقدار ۴۴۱/۹۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم داشت. در عمق ۸-۱۶ سانتی‌متر، بین بی‌خاک‌ورزی (NT) و کم‌خاک‌ورزی (MT) اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد مشاهده نشد، با این وجود بی‌خاک‌ورزی (NT) با مقدار ۹۶۲/۶۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم و با حدود ۹/۸٪ افزایش معنی‌دار نسبت به خاک‌ورزی مرسوم (CT) بالاترین میزان فسفر معدنی کل را داشت. همه مدیریت‌های خاک‌ورزی با افزایش عمق افزایش معنی‌داری نسبت به خاک‌ورزی مرسوم (CT) در سطح ۵ درصد در مقدار فسفر معدنی کل نشان دادند. ژانگ و همکاران (۲۰۰۱) با مطالعه فسفر در یک خاک با سامانه‌های مختلف تناوب و منابع غذایی گزارش کردند که سامانه‌های خاک‌ورزی حفاظتی، اختلاط و عمق مخلوط کردن را کاهش می‌دهند و بنابراین ممکن است در چرخه، توزیع و پویایی مواد مغذی در خاک مؤثر باشند. آنان همچنین ذکر کردند افزایش فسفر کل به دلیل تجمع در شکل‌های لبایل و نسبتاً لبایل فسفر در ۱۵ سانتی‌متری بالایی خاک تحت خاک‌ورزی حفاظتی وجود داشت. آنان این امر را به تجزیه بقایای محصول، افزایش فعالیت میکروبی و معدنی شدن و کاهش تثبیت فسفر به وسیله کلئیدهای خاک به علت محدود شدن اختلاط کود فسفر با خاک، نسبت دادند. تیچر و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که ورود مکرر بقایای محصول



شکل ۴- اثر خاک‌ورزی و عمق بر غلظت فسفر معدنی کل.

مرسوم بود؛ مقدار فسفر قابل استفاده در کم‌خاک‌ورزی در لایه سطحی تقریباً ۲ برابر و در لایه پایین‌تر ۵ برابر خاک‌ورزی مرسوم بود و نیترژن کل در خاک‌ورزی‌های حفاظتی بیش‌ترین میزان بود. افزون بر این، نتایج نشان داد در همه اجزاء فسفر معدنی بجز فسفر غیرلبایل اثر خاک‌ورزی و عمق معنی‌دار بود. در همه اجزاء فسفر معدنی بالاترین مقادیر مربوط به خاک‌ورزی‌های حفاظتی بود. فسفر لبایل با عمق کاهش و فسفر نسبتاً لبایل و فسفر کل در لایه پایین‌تر تقریباً دو برابر شد. به‌طور کلی نتایج نشان داد که شکل‌ها و پویایی فسفر در خاک می‌تواند تا حدود زیادی تحت تأثیر نوع عملیات مدیریتی کشاورزی قرار گیرد.



شکل ۳- اثر خاک‌ورزی و عمق بر غلظت فسفر باقی‌مانده.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد به‌طور کلی استفاده از سامانه‌های خاک‌ورزی حفاظتی باعث کاهش pH و جرم مخصوص ظاهری خاک شد. مدیریت بی‌خاک‌ورزی با حدود ۰/۳ واحد pH بیش‌ترین کاهش را نسبت به خاک‌ورزی مرسوم نشان داد. همچنین در سامانه بی‌خاک‌ورزی کاهش ۱۰ درصدی جرم مخصوص ظاهری نسبت به خاک‌ورزی مرسوم مشاهده گردید. نتایج همچنین نشان داد استفاده از سامانه‌های خاک‌ورزی حفاظتی باعث افزایش معنی‌دار کربن آلی، فسفر قابل استفاده و نیترژن کل شد به‌گونه‌ای که در بی‌خاک‌ورزی کربن آلی تقریباً ۲ برابر خاک‌ورزی

منابع مورد استفاده

Abbasi H, Khodaverdiloo H, Ghorbani Dashtaki Sh and Ahmadi Moghaddam P, 2013. The effects of some tillage methods on soil physical quality index in arid and semiarid region. *Journal of Agricultural Mechanization* 1(2): 37-45.

Alvarez R and Steinbach HS, 2009. A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crops yield in the Argentine Pampas. *Soil and Tillage Research* 104 (1): 1-15.

Basamba TA, Barrios E, Ame'zquita E, Rao IM and Singh BR, 2006. Tillage effects on maize yield in a Colombian savanna oxisol: Soil organic matter and P fractions. *Soil and Tillage Research* 91 :131-142.

Blake GR and Hartge KH, 1986. Bulk density. Pp. 363-374. In Klute A (ed.) *Methods of Soil Analysis*. Part 1. 2nd ed. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, WI.

Bowman RA and Cole CV, 1978. An exploratory method for fractionation of organic phosphorus from grassland soils. *Soil Science* 125:95-101.

Bravo C, Torrent J, Giraldez JV and Ordonez R, 2006. Long term effect of tillage on phosphorous forms and sorption in a vertisol of Southern Spain. *European Journal Agronomy* 25(3): 264-269.

- Bremner JM, 1996. Nitrogen-Total. Pp. 1085-1121. In Sparks DL (ed). *Methods of Soil Analysis, Part 3. Chemical Methods*. Soil Science Society of America, Book Series Number 5. American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Busari MA, Kukal SS, Kaur A, Bhatt R and Dulazi AA, 2015. Conservation tillage impacts on soil, crop and the environment. *International Soil and Water Conservation Research* 3:119–129.
- Fink JR, Indaa AV, Bavaresco J, Barrón V, Torrent J and Bayer C, 2016. Adsorption and desorption of phosphorus in subtropical soils as affected by management system and mineralogy. *Soil and Tillage Research* 155:62–68.
- Ghaderi- Far F, Ghajari A, Sadegh-Nejad H and Gharanjiki A, 2011. Effects of tillage systems on yield of cotton following canola in Gorgan. *Iranian Journal of Field Crops Research* 9 (3): 416-421.
- Ivanoff DB, Reddy KR and Robinson S, 1998. Chemical fractionation of organic phosphorus in selected Histosols. *Soil Science* 163: 36-45.
- Litaor ML, Reichmann O, Auerswald K, Haim A and Shenker M, 2004. The geochemistry of phosphorus in peat soils of a semiarid altered wetland. *Soil Science Society of America Journal* 68: 2078–2085.
- Margenot AJ, Paul BK, Sommer RR, Pulleman MM, Parikh SJ, Jackson LE, Fonte SJ, 2017. Can conservation agriculture improve phosphorus (P) availability in weathered soils? Effects of tillage and management on soil P status after 9 years in a Kenyan Oxisol. *Soil and Tillage Research* 166: 157-166.
- Mohammad W, Shah SM, Shehzadi S and Shah SA, 2012. Effect of tillage, rotation and crop residues on wheat crop productivity, fertilizer nitrogen and water use efficiency and soil organic carbon status in dry area (rainfed) of north-west Pakistan. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 12 (4): 715-727.
- Negassa W and Leinweber P, 2009. How does Hedley sequential phosphorus fractionation reflect impacts of land use and management on soil phosphorus: A review. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 172:305-325.
- Nelson DW, and Sommer LE, 1982. Total Carbon, Organic Carbon and Organic Matter. Pp.595-579. In: Page AL (ed). *Methods of Soil Analysis, Part 2, 2nd ed.* Soil Science Society of America, Agronomy Monograph, Madison, WI.
- O'Halloran IP, 1993. Effect of tillage and fertilization on inorganic and organic soil phosphorus. *Canadian Journal of Soil Science* 73:359-369.
- Olsen SR, and Sommers LE, 1982. Phosphorus. Pp.403-430. In: Page AL (ed). *Methods of Soil Analysis. Part 2. 2nd ed.* Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Pavinato PS, Merlin A and Rosolem CA, 2009. Phosphorus fractions in Brazilian Cerrado soils as affected by tillage. *Soil and Tillage Research* 105:149-155.
- Redel YD, Rubio R, Rouanet JL and Borie F, 2007. Phosphorus bioavailability affected by tillage and crop rotation on a Chilean volcanic derived Ultisol. *Geoderma* 139:388-396.
- Robson AD and Taylor AC, 1987. The effect of tillage on chemical fertility of soil. Pp. 284–307. In: Cornish P and Pratley JE(eds). *Tillage: New Directions in Agriculture*. Inkata Press: Melbourne.
- Rodrigues M, Pavinato PS, Anthony Withers PJ, Bettoni Teles AP and Bejarano Herrera WF, 2016. Legacy phosphorus and no tillage agriculture in tropical oxisols of the Brazilian savanna. *Science of the Total Environment* 542:1050-1061.
- Selles, F, McConkey BG, and Campbell CA, 1999. Distribution and forms of P under cultivator- and zero-tillage for continuous- and fallow-wheat cropping systems in the semi-arid Canadian prairies. *Soil and Tillage Research* 51:47-59.
- Sharpley AN and Smith SJ, 1985. Fractionation of inorganic and organic phosphorus in virgin and cultivated soils. *Soil Science Society of America Journal* 49:127-130.
- Shi YC, Ziadi N, Messiga AJ, Lalande R and Zheng-Yi H, 2015. Soil phosphorus fractions change in winter in a corn-soybean rotation with tillage and phosphorus fertilization. *Pedosphere* 25(1):1-11.
- Singh B, Chanasyk DS, McGill WB and Nyborg MPK, 1994. Residue and tillage management effects on soil properties of a typic cryoboroll under continuous barley. *Soil and Tillage Research* 32:117-133.
- Suñer L, Galantini J and Minoldo G, 2014. Soil Phosphorus Dynamics of Wheat-Based Cropping Systems in the Semiarid Region of Argentina. *Applied and Environmental Soil Science* <http://dx.doi.org/10.1155/2014/532807>.
- Tiecher T, Rheinheimer dos Santos D and Calegari A, 2012. Soil organic phosphorus forms under different soil management systems and winter crops, in a long term experiment. *Soil and Tillage Research* 124:57–67.