

تأثیر مدیریت‌های مختلف خاک‌ورزی بر شکل‌های آلی فسفر خاک

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

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۳/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۰۲)

چکیده

تغییر در عملیات مدیریتی نظیر روش‌های حفظ بقایای گیاهی و خاک‌ورزی مختلف، می‌تواند پویایی فسفر در خاک را تغییر داده و زیست‌فراهمی فسفر را بیافزاید. کشاورزی حفاظتی با حفظ بقایای گیاهی در سطح خاک و کاهش اختلاط خاک بر چرخه و لایه‌بندی فسفر در خاک تأثیر گذاشته و به‌گونه‌ای که بیش‌ترین غلظت فسفر در لایه‌های فوقانی خاک خواهد بود. هدف از این پژوهش، بررسی اثر خاک‌ورزی‌های مختلف بر شکل‌ها و توزیع فسفر آلی خاک با استفاده از روش عصاره‌گیری دنباله‌ای بود. بدین منظور نمونه‌برداری از دو عمق صفر تا هشت و هشت تا ۱۶ سانتی‌متری از چهار روش خاک‌ورزی مختلف (مرسوم، بستر برآمده، کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی) بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی در پنج تکرار صورت گرفت. برای جزءبندی فسفر آلی از روش بوومن و کول (Bowman & Cole, 1978) تغییر یافته استفاده شد. نتایج نشان داد که تغییر خاک‌ورزی از مرسوم به خاک‌ورزی‌های حفاظتی (بستر برآمده، کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی) موجب افزایش معنی‌دار فسفر آلی در همه شکل‌ها (فسفر لبایل، فسفر نسبتاً لبایل، فسفر غیرلبایل، فسفر باقی‌مانده) شد. هم‌چنین میزان فسفر دانه گندم حدوداً ۳۵ درصد در کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم افزایش نشان داد. بیش‌ترین عملکرد دانه گندم (۲۱ درصد) در کم‌خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم مشاهده شد. نتایج این پژوهش نشان داد که بهم‌خوردگی کم خاک در سیستم‌های بی‌خاک‌ورزی مقدار و توزیع شکل‌های فسفر در خاک را تغییر داد و منجر به ایجاد یک شیب غلظتی شد که با عمق خاک کاهش یافت. برعکس، در سیستم‌های خاک‌ورزی سنتی و مرسوم، اختلاط بقایای گیاهی با لایه شخم خاک، سبب افزایش سرعت تجزیه مواد آلی و در نتیجه کاهش ذخیره شکل‌های لبایل و نسبتاً لبایل آلی شد.

واژه‌های کلیدی: خاک‌ورزی حفاظتی، خاک‌ورزی مرسوم، شکل‌های فسفر، عصاره‌گیری دنباله‌ای، فسفر آلی

محمدی ز، بارانی مطلق، م، اسدی م.ا، موحدی نائینی س.ع، سفیدگر شاهکلایی س. ۱۳۹۷. تأثیر مدیریت‌های مختلف خاک‌ورزی بر شکل‌های آلی فسفر خاک. تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۶ شماره ۴، ص: ۴۵-۵۷.

- ۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران
 - ۲- دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران
 - 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، ایران (مکاتبه کننده)
 - ۴- دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران
 - ۵- دانش‌آموخته دکتری گروه علوم خاک، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران
- *پست الکترونیک: iwc977127@yahoo.com

مقدمه

خاک‌ورزی حفاظتی^۱ (کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی) یک حرکت سریع و رو به رشد در ایران بوده که به‌عنوان وسیله‌ای برای رسیدن به پایداری تولید در سامانه‌های کشاورزی در نظر گرفته شده است. بدین معنی که سعی می‌شود در این سامانه تا جایی که امکان دارد از تردد بی‌رویه ماشین‌های کشاورزی به داخل زمین زراعی جلوگیری شده تا از این طریق به حفظ ساختمان خاک کمک شود (Bahrpour *et al.*, 2016). خاک‌ورزی حفاظتی که در قالب کشاورزی حفاظتی تعریف شده است، شامل محدوده وسیعی در عملیات تولید بوده و اصولاً به کاهش عملیات خاک‌ورزی بین دو محصول و همچنین پوشش سطح خاک به میزان ۳۰ درصد یا بیشتر با بقایای محصول قبلی و یا به کاهش کلی عملیات خاک‌ورزی به میزان ۴۰ درصد اطلاق می‌شود (Eskandari & Feiziasl, 2017). خاک‌ورزی سنتی و مرسوم (CT) موجب اختلاط خاک با بقایای گیاهی شده و از این رو سبب تسهیل تجزیه بقایا می‌شود. افزون بر این، شخم زدن خاک موجب اختلال در خاکدانه‌سازی شده و منجر به اکسیداسیون مداوم و پیوسته مواد آلی شده که بر فراهمی و توزیع فسفر آلی خاک تأثیر می‌گذارد (Zhang *et al.*, 2013). تغییر در عملیات مدیریتی نظیر روش‌های حفظ بقایای گیاهی و خاک-ورزی مختلف، موجب تغییر پویایی فسفر در خاک شده و به‌دنبال آن زیست فراهمی فسفر را می‌افزاید. کشاورزی حفاظتی با کاهش اختلاط خاک، چرخه و لایه‌بندی فسفر در خاک متأثر نموده به‌گونه‌ای که بیش‌ترین غلظت فسفر در چند سانتی‌متری فوقانی خاک خواهد بود (Bravo *et al.*, 2006).

از آنجایی که فسفر آلی خاک آمیزه‌ای ناهمگون از ترکیبات آلی است، لذا اجزای مختلف فسفر آلی خاک اثرات متفاوتی بر کیفیت و حاصل‌خیزی خاک دارند. جزءبندی فسفر ابزار مفیدی برای شناسایی شکل-های فسفر در اکوسیستم‌های مختلف است (Zhang *et al.*, 2013). روش جزءبندی بوومن و کول (Bowman & Cole, 1978) فسفر آلی خاک را به چهار جزء مشخص تفکیک می‌کند: فسفر آلی لبایل، فسفر آلی نسبتاً لبایل، فسفر آلی نسبتاً مقاوم و فسفر آلی بسیار مقاوم. غلظت

فسفر لبایل و نسبتاً لبایل آلی تعیین شده توسط روش بوومن و کول (Bowman & Cole, 1978) شاخصی مفیدی برای ارزیابی خاک از نظر فسفر قابل دسترس آلی است (Zhang *et al.*, 2013). ژانگ و همکاران (Zhang *et al.*, 2013) بیان کردند که این روش برای تعیین فراهمی بخش‌های مختلف فسفر آلی خاک بسیار مفید بوده و می‌تواند برای مطالعه اثر عملیات مدیریتی بر وضعیت فسفر خاک در شرایط مزرعه مورد استفاده قرار گیرد. مطالعات متعددی نشان داده‌اند که سیستم بدون خاک‌ورزی در مقایسه با خاک‌ورزی سنتی، مقدار فسفر آلی کل، فسفر قابل دسترس گیاه را افزایش داده و توزیع فسفر آلی در بین شکل‌های مختلف را تحت تأثیر قرار می‌دهد (O'Halloran, 1993; Zamuner *et al.*, 2008; Tiecher *et al.*, 2012; 2018; Zhang *et al.*, 2013).

از سوی دیگر کشاورزی حفاظتی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک و در نتیجه عملکرد گیاه و جذب فسفر را تحت تأثیر قرار می‌دهد. رایت و همکاران (Wright *et al.*, 2005) گزارش کردند که عملکرد پنبه در سیستم کم‌خاک‌ورزی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم بیش‌تر است. ایشان بیان داشتند که در سیستم کم‌خاک‌ورزی قابلیت دسترسی به فسفر و نیترات در سطح خاک افزایش یافته که با عملکرد بیش‌تر در سیستم خاک‌ورزی مرتبط بود. نتایج تحقیقات لوپز گاردیو و همکاران (López-Garrido *et al.*, 2014) نشان داد که به‌کار بردن سامانه بدون عملیات خاک‌ورزی در مقایسه با خاک‌ورزی متداول منجر به افزایش عملکرد گندم شد. نتایج بررسی رشد ریشه گندم در خاک تحت سه روش خاک‌ورزی مرسوم، بی‌خاک‌ورزی و کم‌خاک-ورزی توسط چن و همکاران (Chen *et al.*, 2009) نشان داد که بیش‌ترین رشد ریشه در روش بی‌خاک‌ورزی و کم‌ترین رشد در روش مرسوم بود.

فسفر از عناصر ضروری در تغذیه گیاهان زراعی بوده و عملیات خاک‌ورزی تأثیر مستقیمی بر رفتار و قابلیت جذب فسفر خاک دارد. کاربرد روش‌های مختلف خاک-ورزی (مرسوم و حفاظتی) منجر به توزیع متفاوت شکل-های آلی فسفر در خاک می‌شود. لذا، این مطالعه با هدف بررسی اثر سیستم‌های مدیریتی مختلف خاک-ورزی بر شکل‌های شیمیایی فسفر آلی خاک انجام شد.

1- Conservation tillage

مواد و روش‌ها

مکان مورد مطالعه پایگاه تحقیقات کاربردی اجرایی آموزشی ترویجی کشاورزی حفاظتی (HUB) در شهرستان کردکوی و روستای گرجی محله با عرض جغرافیایی ($36^{\circ} 47' 15/54''$) و طول جغرافیایی ($54^{\circ} 12' 34/34''$) و با ارتفاع ۴۳ متر از سطح دریا واقع شده است. متوسط بارندگی سالیانه ۵۷۰ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت $16/4$ درجه سانتی‌گراد با اقلیم مدیترانه‌ای است. دارای رژیم رطوبتی/حرارتی زیریک/ترمیک بوده و نام علمی خاک Typic Haploxerepts می‌باشد (جدول ۱).

این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تیمار و پنج تکرار انجام شد. ابعاد هر کرت نه در ۲۵ متر با مساحت ۲۲۵ مترمربع بود. تیمارها شامل: ۱- تیمار خاک‌ورزی مرسوم^۱ (CT) (شخم با گاواهن برگردان‌دار، سپس دو بار دیسک و کشت با عمیق‌کار مدل تاکا)، ۲- تیمار بستر برآمده^۲ (RB): (شخم با گاواهن برگردان‌دار 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 سه خط کشت و عرض هر بستر ۵۰ سانتی‌متر بود)، ۳- تیمار کم‌خاک‌ورزی^۳ (MT): (تهیه زمین با استفاده از چیزل مدل پکر و سپس کشت با استفاده از کارنده بی‌خاک‌ورز مدل شیلان سازه) ۴- تیمار بی‌خاک‌ورزی^۴ (NT): (کاشت بدون دست‌کاری خاک با استفاده از کارنده بی‌خاک‌ورز مدل شیلان سازه کشت بوکان با شیار بازکن دابل دیسک). در تیمار بدون خاک‌ورزی هیچ نوع عملیات خاک‌ورزی صورت نگرفت و عملیات کاشت گندم بر روی بقایای کشت قبلی یعنی سویا با استفاده از دستگاه بذر کار کشت مستقیم No tillage) با دو چرخ حامل و اتصال به تراکتور بصورت کشتی استفاده شد. در این مطالعه گندم آبی نوع N 87-20 بذر مادری در تاریخ نهم آذر ماه ۱۳۹۴ کشت شد. بذر استفاده برای کلیه تیمارها ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار بود که در عمق پنج سانتی‌متری کاشت شدند. هم‌چنین کود مصرفی برای کلیه تیمارها بر اساس آزمون

خاک شامل ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات‌تریپل، ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار کلرید پتاسیم و ۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره در زمان کاشت در عمق هفت سانتی‌متری جاگذاری شد. ضمناً دو بار کود اوره به‌عنوان سرک با مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار (دی ماه) در مرحله پنجه‌زنی گیاه و ۷۵ کیلوگرم در هکتار (بهمن ماه) در مرحله ساقه‌دهی گندم به همه تیمارها داده شد. شاخص‌های گیاهی اندازه‌گیری شده شامل اندازه‌گیری عملکرد دانه و گاه (کیلوگرم در هکتار) و غلظت فسفر در دانه (میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود. به‌منظور اندازه‌گیری فسفر در دانه از روش سوزاندن خشک و ترکیب با اسیدکلریدریک استفاده شد (Benton Jones & Case, 1990).

نمونه‌برداری خاک از عمق‌های صفر تا هشت و هشت تا ۱۶ سانتی‌متری هر کرت قبل از برداشت کامل محصول انجام شد. نمونه‌های خاک هوا خشک شده و از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند. برای تعیین اجزای فسفر آلی از روش بوومن و کول (Bowman & Cole, 1978) اصلاح شده به وسیله شارپلی و اسمیت (Sharpley & Smith, 1985) و ایوانف و همکاران (Ivanoff et al., 1998) استفاده شد. در این روش، فسفر آلی خاک به اجزای فسفر لبایل، فسفر نسبتاً لبایل، فسفر غیرلبایل مقاوم و فسفر غیرلبایل بسیار مقاوم (باقی‌مانده) قابل تفکیک است. هم‌چنین، فسفر کل آلی از تفاوت فسفر کل و فسفر معدنی کل به دست آمد. برای اندازه‌گیری فسفر کل، $1/5$ گرم خاک به یک بوته چینی تمیز منتقل و داخل کوره با دمای 550° درجه به مدت دو ساعت حرارت داده شد. سپس با محلول $0/5$ مولار اسید سولفوریک عصاره‌گیری شد. برای تعیین میزان فسفر معدنی کل، خاک با اسید سولفوریک $0/5$ مولار عصاره‌گیری شد (Olsen & Sommers, 1982). فسفر موجود در عصاره‌ها به روش رنگ‌سنجی با کمک دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج 820 نانومتر تعیین شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

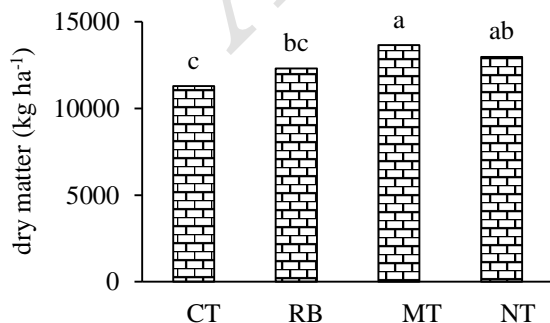
- 1- Conventional Tillage
- 2- Raised Bed Tillage
- 3- Minimum Tillage
- 4- No-Tillage

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

Table 1. Some chemical and physical properties of studied soil

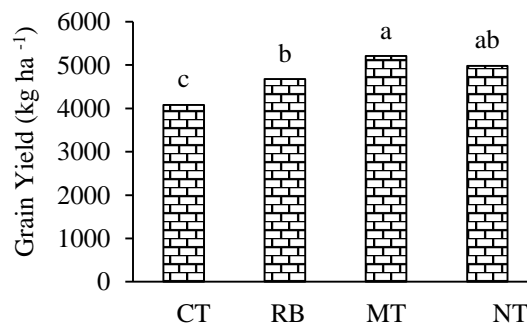
| Property | Unit | Value |
|-------------------------|-------------------------|-------|
| Calcium Carbonate | % | 5.5 |
| Organic Carbon | % | 0.94 |
| Clay | % | 22 |
| Silt | % | 48 |
| Sand | % | 30 |
| Texture | - | loam |
| pH (saturated paste) | - | 8.1 |
| Electrical Conductivity | (dS m ⁻¹) | 6.1 |
| Total N | % | 0.09 |
| CEC | C molc kg ⁻¹ | 16.2 |
| Available P | mg kg ⁻¹ | 5 |
| Available K | mg kg ⁻¹ | 60 |

نتایج و بحث
تأثیر مدیریت‌های مختلف خاک‌ورزی بر عملکرد گیاه: شکل ۱، مقایسه میانگین اثر مدیریت‌های مختلف خاک‌ورزی بر عملکرد دانه را نشان می‌دهد. بر اساس این نتایج، کم‌خاک‌ورزی (MT) و خاک‌ورزی مرسوم (CT) به ترتیب با مقادیر ۵۲۰۹/۹ و ۴۰۸۰/۵ کیلوگرم در هکتار بیش‌ترین و کم‌ترین میزان عملکرد دانه را داشتند. بین کم‌خاک‌ورزی (MT) و بی‌خاک‌ورزی (NT) و نیز بین بی‌خاک‌ورزی (NT) و خاک‌ورزی بستر برآمده (RB) تفاوت معنی‌داری به لحاظ آماری در سطح پنج درصد مشاهده نشد. سلز و همکاران (Selles *et al.*, 1999) در مطالعه اثر خاک‌ورزی و تناوب زراعی بر توزیع شکل‌های شیمیایی فسفر در خاک گزارش کردند که خاک‌ورزی تأثیری بر عملکرد دانه بین کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی نداشت. محمد و همکاران (Mohammad *et al.*, 2012) اثرات بقایای گیاهی را در روش‌های خاک‌ورزی و تناوب‌های مختلف روی عملکرد گندم دیم ارزیابی نمودند. نتایج نشان داد که نگهداری بقایا در سطح خاک، تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه و زیست‌توده گندم داشت. به طوری که باقی گذاشتن بقایا در روش بی‌خاک‌ورزی موجب افزایش ۵۲۰ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه گندم (۱۰ درصد) نسبت به روش بدون بقایا شد. هوانگ و همکاران (Huang *et al.*, 2008) بیان کردند که بی‌خاک‌ورزی با نگهداری بقایا بالاترین جذب گیاهی نیتروژن را دارد. بهره‌وری بالای نیتروژن مصرفی احتمالاً ناشی از دسترسی بالاتر آب در صفر تا ۳۰ سانتی‌متری متری بوده و به تولید دانه بیش‌تر منجر می‌شود.



شکل ۲- اثر خاک‌ورزی بر عملکرد ماده خشک (کاه) در گندم

Figure 2. Effect of tillage on dry matter of wheat
CT: Conventional Tillage; RB: Raised Bed Tillage; MT: Minimum Tillage; NT: No-Tillage



شکل ۱- اثر خاک‌ورزی بر عملکرد دانه گندم

Figure 1. Effect of tillage on grain yield of wheat
CT: Conventional Tillage; RB: Raised Bed Tillage; MT: Minimum Tillage; NT: No-Tillage

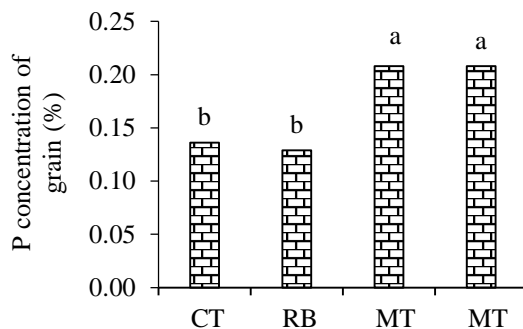
بی‌خاک‌ورزی) تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. خاک‌ورزی بستر برآمده (RB) و خاک‌ورزی مرسوم (CT) نیز تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد به لحاظ درصد فسفر دانه نداشتند. سلز و همکاران (Selles *et al.*, 1999) در مطالعه اثر کم‌خاک‌ورزی، بی‌خاک‌ورزی و تناوب زراعی بر توزیع و فرم‌های فسفر در چمن‌زارهای نیمه خشک کانادا با به‌دست آوردن نتایج مشابه گزارش کردند که شخم تأثیری روی فسفر دانه بین کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی نداشت. ژانگ و همکاران (Zhang *et al.*, 2013) در مطالعه عملکرد محصول، جذب فسفر و بخش‌های فسفر آلی در پاسخ به خاک‌ورزی و کوددهی در تناوب برنج-کلزا در مرکز چین گزارش کردند که در روش بی‌خاک‌ورزی جذب فسفر در دانه و کاه برنج و کلزا در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم افزایش یافت. افزایش عملکرد دانه ذرت در بی‌خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی سنتی توسط باسامبا و همکاران (Basamba *et al.*, 2006) نیز گزارش شده است. براوو و همکاران (Bravo *et al.*, 2006) مهم‌ترین مزیت بی‌خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم را تشکیل یک لایه سطحی نازک غنی از فسفر قابل استفاده گیاه دانسته که می‌تواند نیاز فسفر گیاه در مراحل آغازین رشد را تأمین نماید. افزایش جذب فسفر برنج تحت تأثیر خاک‌ورزی حفاظتی توسط ژانگ و همکاران (Zhang *et al.*, 2013) نیز گزارش شده است.

تأثیر مدیریت‌های مختلف خاک‌ورزی بر شکل‌های مختلف فسفر آلی

جدول ۲ تجزیه واریانس اثر خاک‌ورزی بر شکل‌های مختلف فسفر آلی خاک را نشان می‌دهد. بر این اساس، اثر خاک‌ورزی، عمق و اثر متقابل خاک‌ورزی و عمق بر همه شکل‌های فسفر آلی خاک معنی‌دار بود. اختلاط پایین خاک در خاک‌ورزی حفاظتی سبب تجمع مواد مغذی با تحرک کم، نزدیک مکان به کار برده می‌شود. از این رو، این سامانه‌ها غلظت و توزیع فسفر در پروفیل خاک را تغییر داده و منجر به تشکیل یک شیب غلظتی شده که با عمق کاهش می‌یابد. نتیجه‌ی این سامانه‌های مدیریتی، افزایش غلظت‌های فسفر آلی در لایه‌های سطحی از یک خاک با مقادیر رس و اکسید پایین است (Pavinato *et al.*, 2009).

افزایش عملکرد دانه برنج تحت تأثیر خاک‌ورزی حفاظتی توسط ژانگ و همکاران (Zhang *et al.*, 2013) نیز گزارش شده است. شکل ۲ اثر خاک‌ورزی بر عملکرد ماده خشک گیاه (کاه) در گندم را نشان می‌دهد. نتایج موجود در شکل ۲ بیانگر آن است که اعمال مدیریت‌های خاک‌ورزی سبب افزایش عملکرد کاه گندم شده که این افزایش در مورد تیمارهای بی‌خاک‌ورزی (NT) و کم‌خاک‌ورزی (MT) در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. کم‌خاک‌ورزی (MT) با مقدار ۱۳۶۵۷ کیلوگرم در هکتار بالاترین عملکرد ماده خشک گیاه (کاه) را داشت. خاک‌ورزی مرسوم (CT) با مقدار ۱۱۲۸۹ کیلوگرم در هکتار، کم‌ترین میزان تولید ماده خشک را داشت.

امینی و همکاران (Amini *et al.*, 2014) در مطالعه روش‌های مختلف خاک‌ورزی از قبیل خاک‌ورزی مرسوم، کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی و مدیریت بقایای گیاهی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم به این نتیجه رسیدند که بیش‌ترین میزان عملکرد دانه در روش کم‌خاک‌ورزی و کاربرد ۳۰ درصد بقایا در سطح خاک به‌دست آمد. همچنین بیش‌ترین میزان ماده خشک تولیدی (زیست‌توده) در تیمار کاربرد ۳۰ درصد بقایا و روش کم‌خاک‌ورزی بود. میدانی و کریمی (Meidani & Karimi, 2013) با بررسی اثر روش‌های مختلف خاک‌ورزی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک و عملکرد گندم در تناوب با گلرنگ گزارش کردند که عملکرد دانه و کاه در کم‌خاک‌ورزی نسبت به دیگر روش‌های خاک‌ورزی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. طی تحقیقی پیسانت و استگنری (Pisante & Stagnari, 2007) اثر روش‌های خاک‌ورزی مبتنی بر گاواهن و روش‌های بی‌خاک‌ورزی را روی عملکرد گندم دوروم ارزیابی نموده و نشان دادند که دو روش از نظر عملکرد تفاوت معنی‌داری نداشته ولی عملکرد بالا و بهره‌وری مصرف آب در بی‌خاک‌ورزی و در شرایط بارندگی کم‌تر از ۳۰۰ میلی‌متر مشاهده شد. تأثیر مدیریت‌های مختلف خاک‌ورزی بر فسفر دانه: شکل ۳، اثر خاک‌ورزی بر درصد فسفر دانه گندم را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد فسفر دانه در کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی به میزان ۳۴/۶ درصد نسبت به خاک‌ورزی مرسوم افزایش یافت. هرچند بین تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی (کم‌خاک‌ورزی و



شکل ۳- اثر خاک‌ورزی بر غلظت فسفر دانه گندم (%)

Figure 3. Effect of tillage on phosphorous concentration (%) of wheat grain
CT: Conventional Tillage; RB: Raised Bed Tillage; MT: Minimum Tillage; NT: No- Tillage

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر خاک‌ورزی بر شکل‌های مختلف فسفر آلی

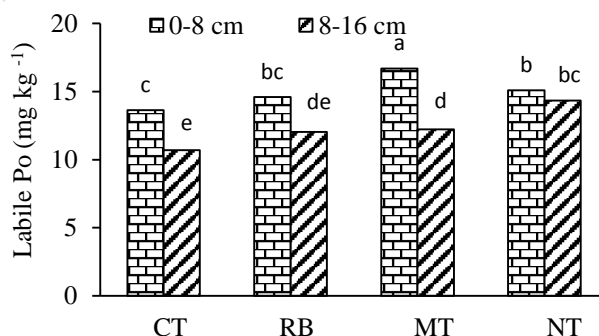
Table 2. Analysis of variance for the effect of tillage on different forms of organic phosphorus

| S.O.V | df | Ms | | | | |
|---------------|----|----------------------|------------------------|---------------------|-----------------------|------------------------|
| | | Labile | Moderately -labile | Non-labile | Residual -P | Total-P |
| repeat | 4 | 0.78 ^{ns} | 113 ^{ns} | 4.24 ^{ns} | 3.79 ^{ns} | 22.6 ^{ns} |
| tillage | 3 | 13.56 ^{***} | 12959 ^{***} | 1421 ^{***} | 228.84 ^{***} | 18656 ^{***} |
| depth | 1 | 71.57 ^{***} | 1110506 ^{***} | 2846 ^{***} | 998.8 ^{***} | 1262233 ^{***} |
| tillage*depth | 3 | 5.78 ^{***} | 1670 ^{***} | 20.126 [*] | 66.13 ^{***} | 454 [*] |
| Error | 28 | 1.242 | 81.78 | 4.87 | 2.31 | 43 |
| C.V | - | 8.157 | 2.96 | 4.65 | 12.7 | 1.8 |

***, **, * and ns: Significant at 0.1%, 1%, 5% probability levels and nonsignificant, respectively.

فسفر آلی لبایل مشاهده نشد. در عمق هشت تا ۱۶ سانتی‌متر، خاک‌ورزی مرسوم (CT) با مقدار ۱۰/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم فسفر لبایل کم‌ترین میزان فسفر لبایل آلی و بی‌خاک‌ورزی (NT) با مقدار ۱۴/۳۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم بیش‌ترین مقدار را داشت. مقدار فسفر لبایل آلی در همه مدیریت‌های خاک‌ورزی بجز بی‌خاک‌ورزی کاهش معنی‌داری ($p < 0.05$) در عمق دوم نشان‌داد.

شکل ۴ اثر خاک‌ورزی و عمق بر فسفر آلی لبایل را نشان می‌دهد. در عمق صفر تا هشت سانتی‌متر، خاک‌ورزی مرسوم (CT) با مقدار ۱۳/۶۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم کم‌ترین میزان فسفر لبایل را داشت و بالاترین میزان فسفر لبایل آلی در روش کم‌خاک‌ورزی (MT) با مقدار ۱۶/۶۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده شد. بین بی‌خاک‌ورزی (NT) و خاک‌ورزی بستر برآمده (RB) و نیز خاک‌ورزی مرسوم (CT) با خاک‌ورزی بستر برآمده (RT) اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد از نظر



شکل ۴- اثر خاک‌ورزی و عمق بر غلظت فسفر لبایل آلی

Figure 4. Effects of tillage and depth on labile P₀

CT: Conventional Tillage; RB: Raised Bed Tillage; MT: Minimum Tillage; NT: No-Tillage

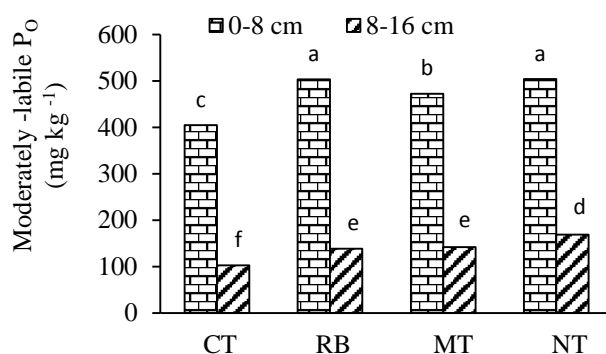
هشت تا ۱۶ سانتی‌متر نیز بی‌خاک‌ورزی (NT) بالاترین میزان فسفر نسبتاً لبایل را داشت. خاک‌ورزی مرسوم (CT) با ۱۰۲/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم کم‌ترین میزان از فسفر نسبتاً لبایل را در این عمق داشت. کم‌خاک‌ورزی (MT) و خاک‌ورزی بستر برآمده (RB) نسبت به هم تفاوت معنی‌دار ($p < 0.05$) نداشتند. فسفر نسبتاً لبایل در همه مدیریت‌های خاک‌ورزی با افزایش عمق به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل ۵).

رودریگز و همکاران (Rodrigues *et al.*, 2016) بیان کردند که فسفر نسبتاً لبایل عمدتاً همراه با فولویک و هومیک اسید روی سطوح کانی‌ها و مواد آلی خاک جذب شده است. هم‌چنین آنان با مطالعه اثر بی‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم بر فسفر دریافتند که بیش‌تر فسفر آلی در خاک‌ها در بخش نسبتاً لبایل قرار دارد که این بخش فسفر در بی‌خاک‌ورزی در عمق صفر تا پنج سانتی‌متر نسبت به خاک‌ورزی مرسوم افزایش داشت. آنان اظهار داشتند که فسفر نسبتاً لبایل آلی نشان دهنده فسفات‌های منواستر تا اندازه‌ای هیدرولیز شده بوده که ظرفیت بالایی برای کمپلکس با ذرات خاک داشته که در نتیجه منجر به کاهش دسترسی آنان برای تجزیه میکروبی می‌شود. افزایش فسفر پیوند یافته با اسید فولویک در خاک زیر کشت گندم و بی-خاک‌ورزی توسط ریادل و همکاران (Redel *et al.*, 2007) نیز گزارش شده است. تیچر و همکاران (Tiecher *et al.*, 2012) در مطالعه فرم‌های فسفر آلی تحت سامانه‌های مدیریتی مختلف دریافتند که به دلیل بیش‌تر بودن میزان کربن آلی کل، فسفر کل، تجزیه بقایای گیاهی و بالاتر بودن فعالیت میکروبی در لایه سطحی در بی‌خاک‌ورزی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم، فسفر معدنی اضافه شده از طریق کود به فرم‌های لبایل آلی (NaHCO_3) و نسبتاً لبایل (NaOH) تغییر شکل می‌یابد. تیچر و همکاران (Tiecher *et al.*, 2018) نشان دادند که در یک خاک با خاک‌ورزی مرسوم (CT) معدنی شدن فسفر آلی اصلی‌ترین بخش بافرکننده فسفر قابل‌دسترس گیاه بود. آنان بیان کردند که در معرض قرار گرفتن مکان‌های جذب سطحی به- دلیل اختلاط فیزیکی خاک و نیز تجزیه شدیدتر مواد آلی در خاک‌های تحت خاک‌ورزی مرسوم منجر به کاهش فسفر قابل دسترس گیاه می‌شود. این امر موجب

بوومن و کول (Bowman & Cole, 1978) فسفر آلی استخراج شده با NaHCO_3 را به‌عنوان یک بخش فعال از فسفر آلی خاک در نظر گرفتند؛ زیرا نشان‌دهنده ترکیباتی از قبیل گلیسروفسفات و ریبونوکلئیک اسید است که به راحتی قابل تبادل در خاک است. باسامبا و همکاران (Basamba *et al.*, 2006) نیز $\text{NaHCO}_3\text{-Po}$ را شکل به آسانی قابل معدنی شدن^۱ نامیدند. یافته‌های ژنگ و همکاران (Zheng *et al.*, 2001) در مطالعه اثر تناوب کشت بر فسفر خاک نشان داد که فسفر لبایل در خاک‌ورزی حفاظتی نظیر چیزل نسبت به خاک‌ورزی مرسوم افزایش معنی‌داری داشت. ریادل و همکاران (Redel *et al.*, 2007) نیز با به‌دست آوردن نتیجه مشابه، بیان داشتند که روش بی‌خاک‌ورزی می‌تواند فسفر لبایل خاک را از طریق الحاق بقایای گیاهی به سطح خاک بهبود بخشد. افزون بر این، پوشش ایجاد شده توسط بقایای گیاهی در بی‌خاک‌ورزی از خشک شدن خاک جلوگیری کرده، شرایط را برای تکثیر بیش‌تر ریشه در سطح خاک را فراهم نموده و موجب رهاسازی کندتر فسفر مطابق با نیاز فسفر گیاه می‌شود. با این وجود، پاویناتو و همکاران (Pavinato *et al.*, 2009) با بررسی اثر خاک‌ورزی بر فسفر خاک در برزیل دریافتند که اجزای فسفر آلی خاک با خاک‌ورزی تغییر نمی‌کند. آنان بیان کردند که در بی‌خاک‌ورزی، باقی‌ماندن بقایای محصول همراه با سطح تماس کم با خاک منجر به تجزیه کند به‌وسیله ریزموجودات خاک‌زی و نهایتاً سرعت کم‌تر معدنی شدن نسبت به خاک‌ورزی مرسوم می‌شود. این معدنی شدن آهسته ممکن است دلیلی برای عدم تغییرات در بخش‌های فسفر آلی در بی‌خاک‌ورزی باشد. زامونر و همکاران (Zamuner *et al.*, 2008) طبق شکل ۵، مقدار فسفر نسبتاً لبایل آلی در عمق صفر تا هشت سانتی‌متر در خاک‌ورزی حفاظتی (بستر برآمده (RB)، بی‌خاک‌ورزی (NT) و کم‌خاک‌ورزی (MT)) نسبت به خاک‌ورزی سنتی و مرسوم افزایش معنی‌دار یافت ($p < 0.05$). کم‌ترین میزان فسفر نسبتاً لبایل آلی را داشت. بی‌خاک‌ورزی (NT) حدوداً ۱۹/۷ درصد نسبت به خاک‌ورزی مرسوم (CT) افزایش نشان داد. در عمق

1- Readily mineralizable

معنی شدن فسفر نسبتاً لبایل آلی برای بافر نمودن فسفر قابل استفاده خاک می‌شود.



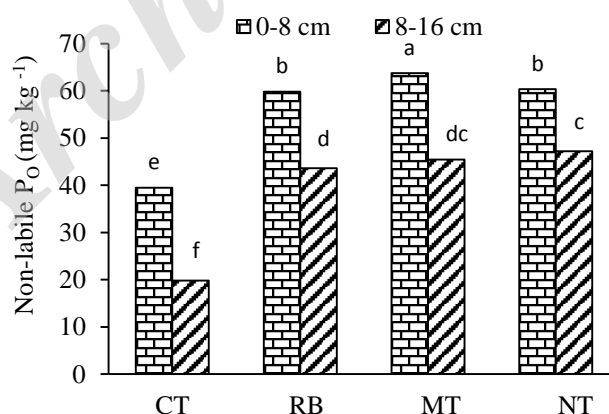
شکل ۵- اثر خاک‌ورزی و عمق بر غلظت فسفر نسبتاً لبایل آلی

Figure 5. Effects of tillage and depth on moderately labile P_o

CT: Conventional Tillage; RB: Raised Bed Tillage;
MT: Minimum Tillage; NT: No-Tillage

(MT) تفاوت معنی‌دار در فسفر غیرلبایل در سطح پنج درصد وجود نداشت. با این وجود، بی‌خاک‌ورزی (NT) با حدود ۵۸ درصد افزایش معنی‌دار در سطح پنج درصد نسبت به خاک‌ورزی سنتی و مرسوم (CT) بالاترین میزان از فسفر غیرلبایل در این عمق را داشت. خاک‌ورزی مرسوم (CT) با ۱۹/۷۹۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم کم‌ترین مقدار را داشت. فسفر غیر لبایل آلی در عمق دوم کاهش معنی‌داری را نشان داد به‌طوری‌که خاک‌ورزی مرسوم شدیدترین کاهش را داشت (شکل ۶).

با توجه به شکل ۶، اعمال مدیریت‌های خاک‌ورزی سبب افزایش معنی‌دار فسفر غیرلبایل آلی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم شد. کم‌خاک‌ورزی (MT) با ۶۳/۷۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم و با ۳۸ درصد افزایش نسبت به خاک‌ورزی مرسوم (CT)، بیش‌ترین مقدار فسفر غیرلبایل آلی را داشت. خاک‌ورزی مرسوم با مقدار ۳۹/۴۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم کم‌ترین مقدار فسفر غیرلبایل را تشکیل داد. در عمق هشت تا ۱۶ سانتی‌متر، بین بی‌خاک‌ورزی (NT) و کم‌خاک‌ورزی (MT) و نیز بین خاک‌ورزی بستر برآمده (RB) و کم‌خاک‌ورزی



شکل ۶- اثر خاک‌ورزی و عمق بر غلظت فسفر غیرلبایل آلی

Figure 6. Effects of tillage and depth on non-labile P_o

CT: Conventional Tillage; RB: Raised Bed Tillage; MT: Minimum Tillage; NT: No-Tillage

کم‌خاک‌ورزی در بخش فسفر NaOH-P_o یافت شد. رودریگز و همکاران (Rodrigues *et al.*, 2016) در مطالعه فسفر و کشاورزی بی‌خاک‌ورزی گزارش کردند

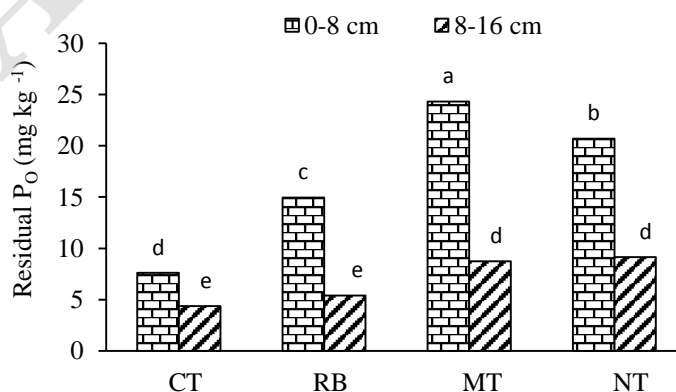
باسامبا و همکاران (Basamba *et al.*, 2006) در مطالعه خود روی تأثیر خاک‌ورزی بر فسفر گزارش کردند که تفاوت معنی‌داری بین مدیریت بی‌خاک‌ورزی و

حدود ۶۸/۷ درصد افزایش معنی‌دار نشان داد. بی‌خاک‌ورزی (NT) ۶۳/۲ درصد و خاک‌ورزی بستر برآمده (RB) حدود ۴۹ درصد افزایش معنی‌دار نسبت به خاک‌ورزی مرسوم (CT) داشتند. خاک‌ورزی مرسوم (CT) با مقدار ۷/۶۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم کم‌ترین مقدار را داشت. در عمق هشت تا ۱۶ سانتی‌متر، بی‌خاک‌ورزی (NT) با ۵۲/۴ درصد افزایش معنی‌دار ($p < 0.05$) نسبت به خاک‌ورزی مرسوم بالاترین مقدار را داشت. بر اساس شکل ۷، همه مدیریت‌های خاک‌ورزی در عمق دوم نسبت به عمق اول کاهش معنی‌داری در سطح پنج درصد در فسفر باقی‌مانده را نشان دادند.

او‌هالوران (O'Halloran, 1993) در مطالعه اثر خاک‌ورزی و کود بر فسفر آلی و معدنی گزارش کرد که در خاک رسی خاک‌ورزی تأثیر معنی‌داری بر فسفر باقی‌مانده در عمق ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متر داشت به گونه‌ای که فسفر باقی‌مانده در خاک‌ورزی مرسوم به‌طور معنی‌داری نسبت به بی‌خاک‌ورزی پایین‌تر بود. ژانگ و همکاران (Zhang *et al.*, 2013) در مطالعه اثر خاک‌ورزی و کود بر بخش‌های فسفر آلی در چین دریافتند که در بی‌خاک‌ورزی (NT)، غلظت فسفر بسیار مقاوم آلی ۴۲ تا ۵۶ درصد در عمق صفر تا پنج سانتی‌متر در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم (CT) افزایش یافت. هرچند زامونر و همکاران (Zamuner *et al.*, 2008) بیان کردند که فسفر باقی‌مانده تحت تأثیر خاک‌ورزی قرار نگرفته که احتمالاً دلیل آن پایداری و نامحلولی این شکل از فسفر بوده که تنها پس از مدت زمان طولانی تغییر می‌کند.

که فرم‌های غیرلبایل فسفر آلی همراه با فولویک و هومیک اسید در لایه سطحی بی‌خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم افزایش یافت. این نتیجه، ایده تجمع فسفر آلی در بی‌خاک‌ورزی مخصوصاً در لایه‌های سطحی را تقویت می‌کند. پوپیناتو و همکاران (Pavinato *et al.*, 2009) نیز در مطالعه خود بر تأثیر خاک‌ورزی در فسفر در خاک‌های برزیل به این نتیجه رسیدند که فسفر آلی عصاره‌گیری شده با NaOH در بی‌خاک‌ورزی بیش‌تر از خاک‌ورزی مرسوم بود. تیچر و همکاران (Tiecher *et al.*, 2012) گزارش کردند در عمق صفر تا پنج سانتی‌متری در بی‌خاک‌ورزی مقدار فسفر آلی عصاره‌گیری شده با NaOH ۰/۵ مولار در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم بالاتر بود. زامونر و همکاران (Zamuner *et al.*, 2008) افزایش در فسفر NaOH-P_o را در کم‌خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی سنتی گزارش کردند. آنان بیان کردند که NaOH-P_o بیانگر فسفر پیوند یافته با ترکیبات هیومیک و جذب سطحی شده با آهن و آلومینیوم است. بنابراین، هنگامی که مواد آلی و غلظت آهن خاک در خاک‌ورزی مرسوم کاهش می‌یابد، ظرفیت خاک برای نگهداری در شکل NaOH-P_o نیز کاهش می‌یابد. آنان کاهش غلظت آهن پیوند یافته با ترکیبات آلی تحت کشاورزی پیوسته با سیستم خاک-ورزی سنتی را گزارش کردند.

شکل ۷، نمایانگر این است که در عمق صفر تا هشت سانتی‌متر، کم‌خاک‌ورزی (MT) با مقدار ۲۴/۳۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم فسفر باقی‌مانده (بسیار مقاوم) آلی بیش‌ترین مقدار و نسبت به خاک‌ورزی مرسوم (CT)



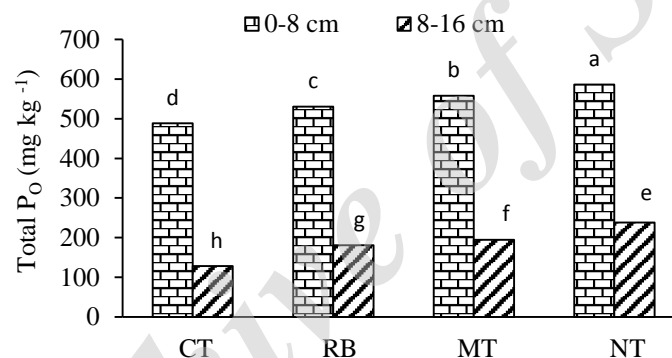
شکل ۷- اثر خاک‌ورزی و عمق بر غلظت فسفر باقی‌مانده آلی

Figure 7. Effects of tillage and depth on residual P_o

CT: Conventional Tillage; RB: Raised Bed Tillage; MT: Minimum Tillage; NT: No-Tillage

خاک‌ورزی و کوددهی بر بخش‌های فسفر آلی در چین گزارش کردند که بی‌خاک‌ورزی غلظت فسفر آلی کل را ۱۳ تا ۲۸ درصد در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم افزایش داد. آنان فسفر آلی کل بیش‌تر در خاک سطحی بی‌خاک‌ورزی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم را منعکس‌کننده برگشت مقادیر بیش‌تری از بقایای محصول در بی‌خاک‌ورزی و کاهش در سرعت تجزیه دانستند. سلز و همکاران (Selles *et al.*, 1999) گزارش کردند که تبدیل شخم به سیستم بی‌خاک‌ورزی در زراعت گندم موجب افزایش قابل توجه فسفر کل در شش سانتی‌متری سطحی خاک شد. آنان دریافتند که افزایش در فسفر کل ناشی از تجمع در شکل‌های فسفر لبایل و نسبتاً لبایل آلی بود. یافته مشابهی توسط اسینگتون و هووارد (Essington & Howard,

طبق شکل ۸، در عمق‌های صفر تا هشت و هشت تا ۱۶ سانتی‌متر، بی‌خاک‌ورزی (NT) به‌ترتیب با ۵۸۶/۱ و ۲۳۷/۹۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم، بالاترین میزان فسفر کل آلی را داشت. خاک‌ورزی مرسوم (CT) با مقادیر ۴۸۸/۷۴ و ۱۲۸/۳۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم کم‌ترین مقدار در فسفر کل آلی در بین خاک‌ورزی‌ها در دو عمق داشت. زامونر و همکاران (Zamuner *et al.*, 2008) در مطالعه اثر عملیات مختلف خاک‌ورزی بر فسفر معدنی و آلی در خاک مالی‌سولز گزارش کردند که پلات‌های تحت مدیریت بی‌خاک‌ورزی به‌طور معنی‌داری مقادیر فسفر آلی بزرگ‌تری نسبت به پلات‌های خاک‌ورزی مرسوم داشتند. فسفر آلی نشان داد که به شدت به‌وسیله سامانه‌های خاک‌ورزی و کشت تحت تأثیر قرار گرفت و با عمق کاهش یافت (Selles *et al.*, 1999). ژانگ و همکاران (Zhang *et al.*, 2013) در مطالعه اثر



شکل ۸- اثر خاک‌ورزی و عمق بر غلظت فسفر کل آلی

Figure 8. Effects of tillage and depth on total P₀

CT: Conventional Tillage; RB: Raised Bed Tillage; MT: Minimum Tillage; NT: No-Tillage

اختلاط بقایای گیاهی با لایه شخم خاک، سرعت تجزیه مواد آلی را افزایش داده و ذخیره شکل‌های لبایل و نسبتاً لبایل آلی را کاهش می‌دهد. نتایج نشان داد اثر متقابل خاک‌ورزی و عمق بر همه اجزاء فسفر آلی معنی‌دار بود. همه اجزاء فسفر آلی با عمق کاهش و فسفر نسبتاً لبایل بیش‌ترین درصد از فسفر کل را شامل شد. در همه اجزاء بالاترین مقادیر مربوط به خاک‌ورزی‌های حفاظتی بود. نتایج نشان داد بین خاک‌ورزی‌های مختلف در فسفر دانه، عملکرد دانه و کاه گندم اختلاف معنی‌داری وجود داشت، به‌طوری‌که بی‌خاک‌ورزی و کم‌خاک‌ورزی بالاترین درصد فسفر دانه، عملکرد دانه و کاه گندم را داشتند.

گزارش شده است. هرچند برخی گزارش‌هایی مبنی بر عدم اثر مدیریت خاک‌ورزی بر غلظت فسفر آلی در سطح خاک نیز وجود دارد (Zamuner *et al.*, 2008).

نتیجه‌گیری کلی

به‌هم‌خوردگی کم خاک در سیستم‌های بی‌خاک‌ورزی موجب تحرک پایین عناصر غذایی و تجمع آن‌ها در نزدیکی محل کاربرد می‌شود. از این‌رو سیستم‌های کم‌خاک‌ورزی مقدار و توزیع فسفر در خاک را تغییر داده و منجر به ایجاد یک شیب غلظتی شده که با عمق خاک کاهش می‌یابد. در نتیجه این سیستم مدیریتی، غلظت فسفر آلی خاک در لایه سطحی خاک افزایش می‌یابد. برعکس در سیستم‌های خاک‌ورزی سنتی و مرسوم،

References

- Amini A., Rajaei M., and Farsi Nejad K. 2014. Effects of different plant residue under different tillage practices on yield and yield components of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Plant Ecophysiology*, 6(16): 27-37.
- Bahrpour V., Rohani V., Abbaspour-Fard M. H., Zarifneshat S. and Aghkhani M.H. 2016. The effects of conservation tillage and residual management on soil properties. *Journal of Agricultural Mechanization*, 3(2): 97-109. (In Persian)
- Basamba T.A., Barrios E. Ame'zquita E., Rao, I. M., and Singh B.R. 2006. Tillage effects on maize yield in a colombian savanna oxisol: soil organic matter and P fractions. *Soil and Tillage Research*, 91: 131-142.
- Benton Jones J., and Case V.W. 1990. Sampling, Handling and Analyzing Plant Tissue Samples, in: Westerman, R.L. (Ed.), *Soil Testing and Plant Analysis*, 3rd (Ed.), Book series No. 3. *Soil Science Society of America, Inc., Madison, WI, USA*. pp. 389-428
- Bowman R.S., and Cole C.V. 1978. An exploratory method for fractionation of organic phosphorus from grassland soils. *Soil Science*, 125: 95-101.
- Bravo C., Torrent J., Giraldez J. V., 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.
- Chen H., R. Hou Y. Gong H. Li M. F and Kuzyakov Y. 2009. Effects of 11 years of conservation tillage on soil organic matter fractions in wheat monoculture in loess plateau of china. *Soil and Tillage Research*, 106 (1): 85-94.
- Eskandari I. and Feiziasl V. 2017. Influence of conservation tillage on some soil physical properties and crop yield in vetch-wheat rotation in dryland cold region. *Journal of Agricultural Machinery*, 7(2): 451-467. (In Persian)
- Essington M.E., and Howard D.D. 2000. Phosphorus availability and speciation in long-term no till and disk-till soil. *Soil Science*, 165: 144-152.
- Fink J. R., Indaa A. V., Bavarescoa 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.
- Huang G.B., Zhang R.Z., Li G.D., Li L.L., Chan K.Y., Heenan D.P., Chen W., Unkovich M.J., Robertson M.J., Cullis B.R., and Bellotti W.D. 2008. Productivity and sustainability of a spring wheat-field pea rotation in a semi-arid environment under conventional and conservation tillage systems. *Field Crops Research*, 107: 43-55.
- Ivanoff D. B., Reddy K. R., and Robinson S. 1998. Chemical fractionation of organic phosphorus in selected histosols. *Soil Science*, 163: 36-45.
- López-Garrido R., Madejón E., León-Camacho M., Girón I., Moreno F., and Murillo J.M. 2014. Reduced tillage as an alternative to no-tillage under Mediterranean conditions: a case study. *Soil and Tillage Research*, 140: 40-47.
- Meidani J. and Karimi E. 2013. Effects of different tillage on soil physical properties and rainfed wheat yield in rotation with safflower. *Agronomy Journal*. 100: 48-59. (In Persian)
- Mohammad W., Shah S. M., Shehzadi S., and Shah S. A. 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.
- O'Halloran I.P. 1993. Effect of tillage and fertilization on inorganic and organic soil phosphorus. *Canadian Journal of Soil Science*, 73: 359-369.
- Olsen S.R., and Sommers L.E. 1982. Phosphorus. In: Page A. L. et al. (Ed.), *Methods of Soil Analysis*. Part 2. 2nd (Ed.), Argon. Mongr. 9. ASA and *Soil Science Society of America*, Madison, WI. pp: 403-430.
- Pavinato P.S., Merlin A., and Rosolem, C.A. 2009. Phosphorus Fractions in Brazilian Cerrado Soils as Affected by Tillage. *Soil and Tillage Research*, 105: 149-155.
- Pisante M., and Stagnari F. 2007. *Conservation Agriculture Italian Way - Principles, Technologies and Methods for Sustainable Production*. Edagricole, Bologna, Italy Blue Agriculture, 317 p.
- Redel Y.D., Rubio R., Rouanet J. L., Borie F. 2007. Phosphorus bioavailability affected by tillage and crop rotation on a chilean volcanic derived ultisol. *Geoderma*, 139: 388-396.

- Rodrigues M., Pavinato P.S., Anthony Withers P.J., Bettoni Teles A.P., Bejarano Herrera W.F. 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 B.G., and Campbell C.A. 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 A.N., and Smith S. J. 1985. Fractionation of inorganic and organic phosphorus in virgin and cultivated soils. *Soil Science Society of America Journal*, 49: 127-130.
- 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.
- Tiecher T., Gomes M. V., Ambrosini V. G., Magno Batista Amorim M. B., and Bayer C. 2018. Assessing linkage between soil phosphorus forms in contrasting tillage systems by path analysis. *Soil and Tillage Research*, 175: 276-280.
- Wright A.L., Hons F.M and Matocha J.E. 2005. Tillage impacts on microbial biomass and soil carbon and nitrogen dynamics of corn and cotton rotations. *Applied Soil Ecology*, 29: 85-92
- Zamuner E.C., Picone L. I., and Echeverria H.E. 2008. Organic and inorganic phosphorus in mollisol soil under different tillage practices. *Soil and Tillage Research*, 99: 131-138.
- Zhang Z.S, Cao C.G. Cai M.L., and Li C.F. 2013. Crop yield, P uptake and soil organic phosphorus fractions in response to short-term tillage and fertilization under a Rape -Rice rotation in central China. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 13 (4): 871-882
- Zheng A., Simard R.R., Lafond J., and Parent L. E. 2001. Changes in phosphorus fractions of a humic gelysol as influenced by cropping system and nutrient sources. *Canadian Journal of Soil Science*, 81: 175-183.

Effect of Different Tillage Managements on Soil Organic Phosphorus Forms

Zohreh Mohammadi¹, Mojtaba Barani Motlagh², Mohammad Esmaeil Asadi^{3*}, Seyed Alireza Movahedi Naeini⁴, Somayeh Sefidgar Shahkolaie⁵

(Received: June 2017

Accepted: December 2017)

Abstract

Changes in management practices like different soil tillage and keeping crop residues can be alter phosphorus (P) dynamics and increased P bioavailability. Conservation agriculture (CA), which reduces soil disturbance and keeps crop residues on the soil surface, affects the cycle and stratification of soil P, resulting a high P concentration in the upper layers of the soil. The objective of this study was to determine the changes in organic P fractions in a soil under different tillage managements using a sequential extraction procedure. The experimental design was a completely randomized block design (CRBD) with 5 replications. Tillage treatments were: conventional tillage (CT), Raised Bed system (RB), Minimum Tillage (MT) and No-Tillage (NT) systems. Soil samples were taken from the 0–8 and 8–16 centimeters depths at all four tillage treatments. Organic P pools were fractionated at each depth using modified Bowman and Cole (1978) procedure. The results showed that the change in soil tillage from CT to CA (Raised Bed Tillage (RB), Minimum Tillage (MT) and No-Tillage (NT)) significantly increased the amount of all organic P forms (labile P, moderately labile P, and non-labile, residual P). Also, the P concentration of wheat grain in MT and NT showed increments about 35% rather than the CT. In addition, the wheat grain yield was the highest in the MT and increased about 21% rather than to CT. The results of this research showed that low soil disturbance under NT has changed the concentration and distribution of P in the soil, leading to the establishment a P concentration gradient that decreases with soil depth. Conversely, under CT systems incorporation of plant residues within the soil plough layer increases the organic matter decomposition rate and reduces the storage of labile and moderately labile organic P fractions.

Keywords: Conservation agriculture, Conventional tillage, Organic P., Phosphorus forms, Sequential extraction

Mohammadi Z., Barani Motlagh M., Asadi M.E., Movahedi Naeini S.A. and Sefidgar Shahkolaie S. 2019. Effect of different tillage managements on soil organic phosphorus forms. *Applied Soil Research*, 6(4): 45-57.

1- MSc Graduate, Department of Soil Science, Faculty of Water and Soil Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran

2- Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Water and Soil Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

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

4- Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Water and Soil Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

5- PhD Graduate, Department of Soil Sciences, Faculty of Water and Soil Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

* Corresponding Author Email: iwc977127@yahoo.com