تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد ششم، شماره سوم، پاییز ۱۴۰۳، ص ۱۷-۱

مقاله پژوهشی

بررسی وضعیت خصوصیات شیمیایی خاک و ترسیب کربن در سامانه‌های تولید مبتنی بر گندم

جواد اعتضادی جمع[۱]، سید وحید اسلامی[۲*]، مجید جامی الاحمدی[۲]، محمد حسن سیاری[۲]

۱- دانشجوی دکترا، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

۲- گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

* مسئول مکاتبه: sveslami@birjand.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۲۳ DOI: 10.22034/CSRAR.2022.329816.1192

چکیده

ترسیب دی‌اکسید کربن اتمسفر در خاک از طریق مدیریت به‌زراعی از جمله اقدامات مؤثر در نیل به کشاورزی پایدار می‌باشد. این پژوهش به منظور بهره‌گیری از مجموعه اقدامات زراعی مطلوب در سامانه‌های تولید متنوع با هدف بهبود وضعیت خصوصیات شیمیایی خاک و ترسیب کربن با محوریت گیاه گندم طی دو سال زراعی ۹۸-۹۷ و ۹۹-۹۸ در مزرعه‌ای در دشت کرات تایباد اجرا شد. در این تحقیق عامل سیستم کشت در چهار سطح آیش-گندم، منداب-گندم، ماش-گندم و ذرت-گندم و عامل سطوح کود نیتروژن (۱۰۰، ۵۰ درصد و بدون مصرف کود نیتروژن) بصورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. نتایج نشان داد تیمار منداب-گندم با ۱۰۰ درصد تأمین کود نیتروژن بیشترین افزایش (۵۶/۷ درصد) و تیمار ذرت-گندم با ۵۰ درصد تأمین کود نیتروژن کمترین (۲۱/۴ درصد) افزایش کربن آلی خاک را تجربه کردند. نیتروژن خاک نیز متأثر از افزایش کربن آلی خاک عمدتاً در دو تیمار منداب-گندم (۲۵/۶ درصد) و ماش-گندم (۱۷/۹ درصد) در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد کود نیتروژن افزایش معنی‌داری یافت، در حالی‌که تیمار آیش-گندم و ذرت گندم بدون تأمین کود نیتروژن به ترتیب ۱۵/۳ و ۲۰/۵ درصد بیشترین کاهش در مقدار نیتروژن خاک را نشان دادند. مقدار فسفر و آهن نیز در همه تیمارها افزایش یافت. نتایج همبستگی صفات نیز نشان داد که کاهش اسیدیته در خاک‌های قلیایی کلید موفقیت در افزایش دسترسی گیاه به فسفر ($r= -۰/۳۷^{**}$) و آهن ($r = -۰/۳۳^{**}$) است. به نظر می‌رسد سیستم‌های کشت متفاوت بسته به خصوصیات کمی و کیفی بقایای گیاهی، مسئول تغییرات کربن آلی خاک و متعاقب آن تغییر در خصوصیات شیمیایی خاک می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تناوب، سیستم کشت، کربن آلی، نیتروژن

مقدمه

کشاورزی از مهم‌ترین و کهن‌ترین بخش‌های اقتصادی در جوامع بشری است که از قرن بیستم تکنولوژی‌های تولید آن در بخش‌های مختلف به نحو چشم‌گیری بهبود و توسعه یافته‌اند. این دستاوردها به بهای پراکندن انواع آلاینده‌ها در زیست‌بوم‌های کره زمین حاصل شده (Soltani *et al.*, 2013) و اکنون از جمله جدی‌ترین و به‌روزترین مباحث اقتصادی و سیاسی مرتبط با آن پدیده‌ی تغییر اقلیم و گرمایش جهانی بر اثر انتشار گازهای گلخانه‌ای عمدتاً شامل دی‌اکسید کربن (CO_2)، اکسید نیتروز (N_2O) و متان (CH_4) است که به شکل نگران‌کننده‌ای کمیت و کیفیت اکوسیستم‌ها، به‌ویژه کشت‌بوم‌ها را تحت تأثیر قرار داده است، از این‌رو لازم است تمامی راهکارهای ممکن برای کاهش انتشار این گازها مد نظر قرار گیرند (Falahi *et al.*, 2015). در این میان دی‌اکسیدکربن به عنوان مهم‌ترین گاز گلخانه‌ای با سهم ۷۰ درصدی نیازمند توجه و بررسی بیشتری بوده و به نظر می‌رسد ترسیب کربن اتمسفری توسط خاک به طور قابل توجهی موجب افزایش ذخیره کربن آلی خاک و تقلیل گرمایش جهانی می‌شود (Li *et al.*, 2016). از آنجا که اکوسیستم‌های کشاورزی ۱۱٪ از سطح زمین را پوشانده‌اند، هرگونه مطالعه در خصوص افزایش کربنِ خاک از طریق مدیریت زمین و مدیریت افزودنی‌های آلی می‌تواند به درک بهتر ما در خصوص امکان بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، خدمات اکوسیستمی مرتبط از قبیل افزایش نفوذپذیری و ظرفیت نگهداری آب، بازدهی بیشتر زیست‌توده، بازیافت عناصر غذایی، افزایش بالقوه بهره‌وری کشاورزی و اکولوژیکی و در نتیجه مواجهه بهتر با پدیده تغییر اقلیم منجر گردد (Gan *et al.*, 2014; Zomer *et al.*, 2017).

با وجودی‌که خاک بزرگ‌ترین مخزن کربن آلی زمین، با ذخیره‌ای بیش از ۲ تا ۳ برابر ذخیره موجود در اتمسفر و یا زیست‌توده موجودات زنده می‌باشد، متأسفانه در خاک‌های

زراعی موجودی کربن آلی به طور نگران کننده‌ای کاهش یافته است (Dikgwatlhe *et al*., 2014). افزایش کربن خاک چه در مقیاس جهانی و چه در سطح مزرعه به عنوان یک استراتژی اساسی برای کاهش دی‌اکسیدکربن جو و بهره‌وری بیشتر خاک مورد توجه قرار گرفته است (Bhardwaj *et al*., 2019). تحقیقات نشان داده‌اند که تناوب زراعی به طور محسوسی بر ظرفیت ترسیب دی‌اکسیدکربن جو تأثیر گذاشته و تغییر سیستم‌های کشت از آیش‌گذاری‌های متعدد به کشت مستمر می‌تولند از طریق ورود کربن آلی بیشتر به خاک و تشکیل کمپلکس‌های پایدارتر معدنی‌ـآلی و نیز از طریق تأثیر بر نسبت کربن به نیتروژن بقایا (به عنوان یک شاخص مهم کیفی) در کنترل میزان ترسیب کربن در خاک تأثیر بگذارد (Triberti *et al*., 2016). با این نگاه جایگزین کردن گیاهان پوششی با آیش‌های سنتی علی‌رغم مخاطرات رقابتی که ممکن است داشته باشند، موجب تولید مقادیر بیشتر زیست‌توده، کاهش فرسایش خاک، افزایش کنترل علف‌های هرز و بهبود حاصلخیزی و محتوای آب خاک شده، عملکرد بالاتر گیاه بعدی را به همراه خواهد داشت (Robačer *et al*., 2016). هم‌چنین مدیریت مصرف کودها مخصوصاً نیتروژن نه تنها موجب افزایش عملکرد گیاه زراعی می‌گردد بلکه ترسیب کربن را نیز به عنوان یک سود ثانویه عاید اراضی کشاورزی خواهد کرد (Falahi *et al*., 2015; Snyder *et al*., 2009).

عملیات مدیریت کشاورزی از مهم‌ترین فاکتورهای تأثیرگذار بر ترسیب کربن و غلظت نیتروژن در خاک بوده، چنین تغییراتی در مقیاس جهانی گزارش شده‌اند (Dikgwatlhe *et al*., 2014). گزارش شده است که ذخیره کربن در خاک‌های اتحادیه اروپا را ۲۲/۹۵ پیکوگرم برآورد کردند که این مقدار بعداً به عنوان نقطه شروع برای برآورد پتانسیل افزایش از طریق ترسیب استفاده شد (Smith *et al*., 1997). یک پژوهش ۱۶۰ ساله در روتامستد بریتانیا نشان داد که گرچه افزودن مواد آلی به خاک موجب افزایش مقدار کربن آلی خاک می‌گردد اما کربن آلی خاک به طور نامحدود تجمع نخواهد یافت و در یک مقدار تعادل جدید متوقف می‌گردد (Powlson *et al*., 2011). البته افزایش کربن آلی خاک پدیده‌ای قابل بازگشت است و برای حفظ کربن آلی خاک، هر تغییر مدیریتی در زمین که موجب افزایش کربنِ خاک یا پوشش گیاهی شود باید به طور نامحدود ادامه یابد (Johnston *et al*., 2009).

از طرفی تقریباً همه نیتروژن و نسبت زیادی از فسفر و گوگرد موجود در خاک‌ها اجزای اصلی ماده آلی خاک هستند. مطالعات متعددی نشان می‌دهند که کود شیمیایی مصرف شده در هر سال تنها ذخایر ۱۰ تا ۵۰ درصد از نیتروژن جذب شده به وسیله گیاهان پرمصرف مانند ذرت را تشکیل می‌دهد. بقایای گیاهی اندوخته مهمی از عناصر غذایی گیاهی هستند که از طریق معدنی‌شدن آزاد می‌شوند (Cheng *et al*., 2017). گیاهان تثبیت کننده نیتروژن میزان دسترسی به این عنصر در خاک را افزایش داده و در نتیجه عملکرد محصولات زراعی بعدی را افزایش می‌دهد، در حالی‌که به طور هم‌زمان هزینه‌های مرتبط با کودهای معدنی را کم می‌کند (Rymuza *et al*., 2020). هم‌چنین توسعه فعالیت میکروارگانیسم‌ها ناشی از افزایش کربن آلی و بهبود خصوصیات زیستی تأثیر زیادی در افزایش انحلال‌پذیری فسفر و آهن دارند و باعث افزایش فراهمی این عناصر می‌گردند. ماده آلی خاک اثر زیادی بر اسیدیته خاک‌های سطحی نیز دارد و این به دلیل سهم ماده آلی در بخش زیادی از ظرفیت تبادل کاتیونی خاک است (Haghnai *et al*., 2014). هم‌چنین خاک‌ها تا حد زیادی تولنایی مقاومت در برابر تغییرات اسیدیته ناشی از ورودی مواد اسیدی یا قلیا را دارند و منجر به بهبود دسترسی عناصر در خاک می‌گردند. به دلیل قلیایی بودن اکثر خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران، افزودن مواد آلی باعث کاهش اسیدیته خاک و بهبود شرایط رشد گیاه شده، قابلیت جذب عناصری هم‌چون فسفر و آهن را افزایش می‌دهد (Nowruzi *et al*., 2018).

در این پژوهش تغییرات برخی خصوصیات شیمیایی خاک نظیر اسیدیته، کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر، آهن و هم‌چنین میزان ترسیب کربن خاک، تحت سیستم‌های مختلف کشت و سطوح مصرف کود نیتروژن با محوریت گیاه گندم مورد ارزیابی قرار گرفت. هدف از این مطالعه شناخت بهتر شیوه‌های مدیریتی برای افزایش کربن آلی خاک به منظور افزایش ترسیب کربن و هم‌چنین بهره‌مندی از فواید آن بر خصوصیات خاک بود. مقایسه راهکارهای متفاوت افزایش کربن آلی از قبیل حذف آیش، تناوب با بقولات، تناوب با منداب به عنوان کود سبز، تناوب با ذرت به عنوان یک تناوب رایج در منطقه و افزودن بقایای کامل گیاهان البته با رعایت الزامات خاکورزی حفاظتی و تأمین نیاز غذایی

گیاه مطابق با آزمون خاک، می‌تواند منجر به ارائه یک راهبرد عملی در جهت حفظ حاصلخیزی خاک و توسعه پایدار بخش کشاورزی متناسب با الگوی‌های کشت مرسوم منطقه و محدودیت‌های موجود باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در طی چهار فصل کشت و در طی دو سال زراعی ۹۸-۹۷ و ۹۹-۹۸ در مزرعه‌ای در دشت کرات شهرستان تایباد، استان خراسان رضوی واقع در کیلومتر ۱۵ جاده تایباد به خواف با طول جغرافیایی ″۴/۲ ′۳۷ °۶۰ و عرض جغرافیایی ″۴۲/۲ ′۳۶ °۳۴ و ارتفاع ۹۱۰ از سطح دریا اجرا گردید. منطقه مورد مطالعه دارای اقلیم سرد و خشک و میانگین بارندگی سالیانه ۱۸۵ میلی‌متر در سال می‌باشد. پیش از آزمایش، نمونه‌برداری تصادفی خاک از عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری مزرعه صورت گرفت و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه (جدول ۱) اندازه‌گیری شد. به منظور بررسی وضعیت خاک، گیاه و ترسیب کربن در سامانه‌های تولید گندم، از عملیات به‌زراعی شامل حذف آیش تابستانه با وارد کردن سه گیاه بقولات (ماش)، غله چهار کربنه (ذرت) و گیاه پوششی (منداب) در تناوب بعلاوه‌ی فاکتور مصرف کود نیتروژن استفاده گردید. بدین منظور فاکتور سیستم کشت در چهار سطح ۱) آیش-گندم ۲) منداب-گندم ۳) ماش-گندم ۴) ذرت-گندم و فاکتور سطوح نیتروژن شامل ۱) ۱۰۰ درصد تأمین کود نیتروژن (۳۶۰ کیلوگرم در هکتار) ۲) ۵۰ درصد تأمین کود نیتروژن (۱۸۰ کیلوگرم در هکتار) ۳) بدون تأمین کود نیتروژن و در سه تکرار به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. تیمار آیش-گندم بدون تأمین کود نیتروژن تیمار شاهد در نظر گرفته شد. کود نیتروژنه از نوع اوره و در سه قسط شامل یک‌سوم زمان کاشت، یک‌سوم در مرحله پنجه‌زنی کامل و یک‌سوم در مرحله ساقه‌دهی مصرف شد. زمین آزمایش در سال قبل از اجرا تحت آیش بود و کشت گیاهان منداب، ذرت و ماش (قبل از گندم) در آخر خرداد ماه هر سال انجام گردید؛ هم‌چنین برآورد نیاز کودی هر گیاه قبل از کاشت و بر اساس نتایج آزمون خاک انجام پذیرفت. مقدار بذر کاشته شده برای ذرت ۲۵ کیلوگرم در هکتار با تراکم ۱۲ بوته در متر مربع، ماش ۱۲ کیلوگرم در هکتار با تراکم ۲۰ بوته در متر مربع و برای منداب ۱۰ کیلوگرم در هکتار با تراکم ۸۰ بوته در متر مربع در نظر گرفته شد. کلیه عملیات خاکورزی به صورت حفاظتی، با استفاده از دستگاه چیزل پیکر، انجام گرفت و تیمار آیش تابستانه بعد از عملیات خاکورزی رها گردید. گیاه پوششی منداب قبل از گل‌دهی، و بقایای دو تیمار گیاه زراعی در تناوب (ماش و ذرت)، پس از برداشت محصول و کیل‌گیری به داخل خاک برگردانده شدند؛ سپس در آبان هر سال گندم رقم پیشگام به میزان ۲۰۰ کیلوگرم بذر در هکتار و تراکم ۴۵۰ بوته در متر مربع کشت گردید. توصیه کودی همه عناصر به جز نیتروژن طبق برآورد نیاز گیاه انجام شد. هم‌چنین بعد از برداشت گندم کلیه بقایای گیاهی گندم در سطح مزرعه حفظ و به داخل خاک برگردانده شد. تقویم زراعی گندم و کلیه گیاهان زراعی در تناوب با گندم در جدول ۲ آمده است.

خصوصیات شیمیایی خاک در هر تیمار طی سه مرحله (قبل از شروع آزمایش، پایان سال زراعی اول و نیز در پایان سال دوم) ارزیابی شد. در هر نمونه خاک صفات اسیدیته، کربن آلی، نیتروژن کل و هم‌چنین فسفر و آهن قابل دسترس خاک اندازه‌گیری شدند. برای تعیین اسیدیته خاک از دستگاه پی‌اچ متر (مدل BP-11 ساخت شرکت Sartourius) استفاده گردید.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

Table 1- Physicochemical properties of farm soil

خصوصیات Properties	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC	وزن مخصوص ظاهری ρ	شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	درصد اشباع SP	کربن آلی OC	نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K	آهن Fe	روی Zn	مس Cu	منگنز Mn
واحد Unit	--	(Ms/cm)	(gr/cm^3)	(%)						(mg/kg)					
مقدار Value	7.65	1.064	1.6	33	47	20	29.4	0.28	0.039	6	170	1.7	0.7	0.6	4.5

بافت خاک لومی می‌باشد.

The soil texture is loamy

جدول ۲- جدول زمانی تاریخ کاشت، برداشت و برگرداندن بقایا گندم و گیاهان در تناوب

Table 2- Schedule of sowing, harvesting and returning residue of wheat and crops in rotation

	سال زراعی ۹۹-۹۸ 2018-2019 crop year			سال زراعی ۹۸-۹۷ 2019-2020 crop year		
	کاشت Sowing	برداشت Harvesting	برگرداندن بقایا Returning residue	کاشت Sowing	برداشت Harvesting	برگرداندن بقایا Returning residue
گندم	۱۲ آبان	۵ خرداد	۱۲ خرداد	۱۷ آبان	۱۰ خرداد	۱۶ خرداد
Wheat	3 November	26 May	2 June	8 November	31 May	6 June
منداب	۲۰ خرداد	---	۱۱مهر	۲۳ خرداد	---	۱۶ مهر
Wild Rocket	10 June	----	2 October	13 June	----	8 October
ماش	۲۰ خرداد	۲۳ شهریور	۱۰ مهر	۲۳ خرداد	۲۷ شهریور	۱۶ مهر
Mung Bean	10 June	14 September	2 October	13 June	18 September	8 October
ذرت	۱۵ تیر	۷ مهر	۱۰ مهر	۱۱ تیر	۴ مهرماه	۱۶ مهر
Corn	6 July	29 September	2 October	2 July	26 September	8 October

کربن آلی خاک بعد از اکسیداسیون کامل با محلول اسیدی دی‌کرومات تعیین شد. نیتروژن کل خاک به روش کجلدال اندازه‌گیری شد. فسفر محلول نیز بعد از عصاره‌گیری از ۲/۵ گرم خاک خشک الک شده با مش ۲ میلی‌متر که با ۵۰ میلی‌لیتر سدیم بی‌کربنات ۰/۵ مولار تیمار شده بود آنالیز گردید و جذب محلول در طول موج ۸۸۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. برای محاسبه ترسیب کربن خاک، تعیین وزن مخصوص ظاهری خاک و غلظت کربن آلی خاک الزامی می‌باشد.

چگالی ظاهری نمونه‌های خاک دست‌نخورده با استفاده از معادله ۱ محاسبه شد:

$$Db = Ws/Vt \quad (۱)$$

که Db چگالی ظاهری خاک (Mg/m^3)، Ws وزن خاک (Mg)و Vt حجم نمونه خاک (m^3) می‌باشند. موجودی کربن آلی خاک از طریق معادله ۲ محاسبه شد:

(۲)

$$SOC\ pool\ (Mg\ ha^{-1}) = SOC\ concentration\ (\%) \times soil\ depth\ (m) \times bulk\ density\ (Mg\ m^{-3}) \times 10^4 m^2 ha^{-1} \times 10^{-2}$$

که در آن SOC pool موجودی کربن آلی خاک، SOC concentration غلظت کربن آلی خاک (درصد)، soil depth عمق خاک و bulk density چگالی ظاهری خاک می‌باشند. ترسیب کربن بوسیله تفریق مقدار موجودی کربن در شروع آزمایش از مقدار موجودی کربن در انتهای آزمایش تعیین گردید. نسبت سالیانه ترسیب بوسیله نسبت تغییرات در موجودی کربن در طی تعداد سال‌های آزمایش بدست می‌آید (Brar *et al*., 2013). از نرم‌افزار آماری SAS برای انجام آنالیز داده‌ها استفاده گردید. مقایسه میانگین‌ها با آزمون FLSD در سطح پنج درصد صورت گرفت و پس از آزمون بارتلت و اثبات یکنواختی واریانس‌ها، داده‌ها مربوط به کشت گندم به صورت تجزیه مرکب با ثابت در نظر گرفتن متغیر سال، مورد آنالیز قرار گرفتند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر متقابل سیستم کشت و نیتروژن در سطح احتمال یک درصد بر کربن آلی، نیتروژن، فسفر و ترسیب کربن و در سطح احتمال پنج درصد بر اسیدیته و آهن خاک تأثیر معنی‌داری داشتند. اثر متقابل سال و سیستم کشت بر کربن آلی، نیتروژن کل و ترسیب کربن در سطح احتمال یک درصد و بر فسفر قابل جذب خاک در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار گردید. اثر متقابل سال و سطح تأمین نیتروژن نیز تنها بر نیتروژن کل خاک اثر معنی‌داری ($\rho \leq 0.01$) داشت (جدول ۳).

اسیدیته خاک: مقایسه میانگین اثرات متقابل سیستم کشت و سطوح مختلف کود نیتروژن نشان داد که بیشترین مقدار اسیدیته در تیمار ذرت-گندم با ۵۰ درصد تأمین کود نیتروژن و کمترین مقدار اسیدیته در تیمار منداب-گندم با ۱۰۰ درصد تأمین کود نیتروژن مشاهده شد. نتایج نشان می‌دهد که کشت کود سبز منداب در تناوب با گندم و کشت ماش در تناوب با گندم تأثیر قابل توجهی بر کاهش اسیدیته خاک

داشـــته‌اند، در حالی‌که ســـطوح مختلف تأمین کود نیتروژن نتوانســـت تفاوت معنی‌داری در اســـیدیته خاک ایجاد کند. هم‌چنین نتایج نشـــان‌دهنده بالاترین میزان اســـیدیته خاک به ترتیب در ســـیســـتم کشـــت ذرت-گندم و آیش-گندم می‌باشـــد (جدول ۴). مطالعه ضـــرایب همبســـتگی خصـــوصـــیات شـــیمیایی خاک نیز نشـان داد که اسـیدیته خاک رابطه معنی‌دار و منفی با صـــفات مورد ارزیابی داشـــت و با کاهش اســـیدیته خاک کلیه خصـــوصـــیات شـــیمیایی خاک بهبود یافت (جدول ۵). در بین خصـوصـیات شـیمیایی خاک، فسـفر (r = -۰/۳۷**) و پس از آن میزان کربن آلی و ترسیب کربن (r = -۰/۳۴**) بیشـترین رابطه منفی را با مقدار اسیدیته خاک نشان دادند.

برگرداندن بقایای گیاهی، می‌توانـد ســـبب حفظ تعادل اسـیدیته خاک شـود و از نوسـانات و تغییرات اسـیدیته خاک جلوگیری کند، پدیده‌ای که از افزایش فعالیت‌های بیولوژیکی، افزایش ترشحات اسیدی حاصل از توسعه رشد ریشه، خاصیت بافری کربن آلی و بهبود خصـــوصـــیات فیزیکی خاک نشـــات می‌گیرد. نتایج حاصـــل از تجزیه داده‌ها و بررســـی روابط بین اسـیدیته و خصـوصـیات خاک، نیتروژن و گیاه نشـان داد که قلیاییت خـاک بـا افزایش کربن آلی و نیتروژن خـاک کـاهش می‌یابد. هم‌چنین مشـــخص گردید که افزایش برگرداندن بقایا و تـداوم آن می‌توانـد علاوه بر افزایش کربن آلی خـاک، مقـدار نیتروژن خاک را افزایش دهد که باعث آزادســـازی یون H^+ در خاک و کاهش اسیدیته خاک می‌گردد (Makari and Afzali, 2018). در مطالعه ســه‌ســالهٔ کشـت ســویا و ذرت در تناوب با گیاهان پوششی، تغییرات معنی‌داری در اسیدیته خاک در میان تیمارها مشـاهده نشـد که آن را ناشـی از ظرفیت بالای بافری خاک به علت بالا بودن کربن آلی خاک دانسـتند (Sharma *et al.*, 2018). نتایجی که ظاهراً در تضـاد با نتایج پژوهش ما بود، با این وجود مؤید قدرت بافری کربن آلی در خاک می‌باشد.

کربن آلی و ترســـیب کربن: مطالعه تیمارها و تأثیر آن‌ها بر میزان کربن آلی خاک نشان می‌دهد که گیاه پوششی منداب و گیـاه در تنـاوب مـاش بهترین نتیجـه را در افزایش کربن آلی خاک و ترسیب کربن نشان دادند. ذرت دانه‌ای کمتر از منداب و ماش توانســـت کربن آلی خاک را افزایش دهد، اگرچه با افزایش تأمین کود نیتروژن در ســـیســـتم کشـــت ذرت-گندم، کربن آلی نسبت به تیمار شاهد بهبود یافت (جدول ۴). نتایج نشان‌دهنده افزایش کربن آلی و ترسـیب کربن در همه تیمارها در سـال دوم آزمـایش بود که بـه نظر می‌رســـد عمـدتاً بـه علـت خـاکورزی حفـاظتی و کـاهش بـه هم خوردن خـاک و برگرداندن بقـایـای گیاهی به خاک باشـــد. بیشـــترین افزایش کربن آلی در تیمار منداب-گندم با ۱۰۰ درصد تأمین کود نیتروژن (۵۶/۷ درصد) و کمترین افزایش کربن آلی در تیمار ذرت-گندم با ۵۰ درصـــد تأمین کود نیتروژن (۲۱/۴ درصد) مشاهده شد. سیستم کشت منداب-گندم ۱۴۹ درصد نسبت به سیستم کشت آیش-گندم، ۱۰۰ درصد نسبت به سیستم کشت ذرت-گندم و ۰/۳۳ درصد نسبت به سیستم کشت ماش-گندم کربن بیشتری ترسیب کرد (شـکل ۱). هم‌چنین رابطه مسـتقیم و بسـیار معنی‌داری بین کربن آلی خاک و سـایر خصـوصـیات شـیمیایی خاک خصـوصـاً غلظت فســـفر (r = ۰/۶۸**) و آهن قابل جذب (r = ۰/۶۹**) مشـاهده شـد (جدول ۵). افزایش کربن آلی خاک باعث افزایش ظرفیت بافری خاک و کاهش اسیدیته خاک می‌گردد، هم‌چنین افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی شرایط را برای افزایش دسترسی گیاه به ویژه فسـفر و آهن ایجاد می‌کند (Sadeghian *et al.*, 2017).

مطالعات متعددی یافته‌های ما را تایید می‌کند. برای مثال در تحقیقی که به مدت ۲۵ ســـال برای بررســـی تأثیر تلفیق عملیات زراعی جهت بهبود شرایط خاک انجام شد، نتایج نشان داد که با اسـتفاده از سـیسـتم‌های کشـت فشـرده‌تر مثل کاهش آیش تابســـتانه، افزودن بقولات در تناوب، بهره‌گیری از آزمون خـاک، کـاربرد میزان منـاســـبی از کودهـای غیرآلی و پرهیز از کوددهی اضـافی یا کمبود و حفظ بقایای گیاهی و البته حضـور همه این فاکتورها در یک بســـته واحد می‌توان علاوه بر افزایش عملکرد، به کاهش ردپای کربن دست یافت. نتایج نشان داد که کربن آلی خاک در چنین سیسـتم‌های کشـتی به تدریج افزایش یافت. علاوه بر این حفظ بقایای گیاهی فاکتور کلیدی در افزایش ترسـیب کربن شـناخته شـده اسـت، به‌طوری‌که ۸۲٪ تفاوت در میزان ردپای کربن مربوط به تفاوت در نوع سیستم کشت است. در میان سـیسـتم‌های کشـت بررسـی شـده، تناوب عدس-گندم توانســـت کمترین ردپای کربن بـه میزان ۵۵۲- کیلوگرم دی اکسـید کربن معادل در هر هکتار را داشـته باشـد (Gan *et al.*, 2014). در تحقیقی مشـابه تأثیر شـش سـیسـتم مدیریت تلفیقی تغذیه را در سـیسـتم کشـت گندم-برنج برای اندازه‌گیری میزان

ترسیب کربن بررسی کردند، نتایج نشان داد که بیشترین ورود کربن به خاک به ترتیب در کشت کود سبز و افزودن بقایای گندم و کمترین ورود کربن در تیمار شاهد و تیمار کود شیمیایی مشاهده شد (Bhardwaj *et al*., 2019). هم‌چنین همبستگی مثبتی بین مقدار ترسیب کربن الی خاک و ورودی کربن آلی به خاک از کاه و کلش، ریشه و ترشحات ریشه وجود دارد، به‌طوری‌که ۹۸/۵-۹۶/۶ درصد تغییرات را توضیح می‌دهد و نشان‌دهنده وابستگی گیاه زراعی عمدتاً به بقایای گیاه زراعی است (Li *et al*., 2016).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) خصوصیات شیمیایی خاک تحت تأثیر سیستم‌های کشت و سطوح مختلف کود نیتروژنه

Table 3- ANOVA results (MS) for soil chemical properties under the influence of cropping systems and different levels of nitrogen fertilizer

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	خصوصیات شیمیایی خاک Soil chemical properties					
		اسیدیته pH	کربن آلی OC	نیتروژن کل N	فسفر P	آهن Fe	ترسیب کربن CS
بلوک Block	2	0.0089	0.00001	0.0000121	0.090	0.038	0.008
سال Year	1	0.0016*	0.06038**	0.0000269	2.683	1.375**	34.778**
بلوک x سال Block x Year	2	0.0001	0.00001	0.0000038	0.185	0.00009	0.007
سیستم کشت Cropping System	3	0.0585**	0.02727**	0.0002991**	2.697**	0.443**	15.709**
سال x سیستم کشت Year x Cropping System	3	0.0009	0.00343**	0.0000391**	0.445*	0.042	1.976**
سطح نیتروژن Nitrogen Level	2	0.0063	0.00207**	0.0005776**	0.368	0.006	1.192**
سال x سطح نیتروژن Nitrogen Level x Year	2	0.0006	0.00047	0.0000304**	0.050	0.014	0.270
سیستم کشت x سطح نیتروژن Cropping System x Nitrogen Level	6	0.0052*	0.00027**	0.0000006**	0.178**	0.022*	0.156**
سالxسیستم کشتxسطح نیتروژن Year x Cropping System x Nitrogen Level	6	0.0015	0.00018**	0.0000003	0.033*	0.002	0.106**
خطا Error	44	0.0065	0.00036	0.0000045	0.144	0.030	0.209
ضریب تغییرات C.V.(%)	--	1.24	7.13	10.51	6.43	6.88	33.89

**، * به ترتیب معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۰/۰۱ و ۰/۰۵ را نشان می‌دهد.

**, * significant at 0.01 and 0.05 probability level, respectively

جدول ۴- اثرات متقابل سطوح مختلف کود نیتروژن و سیستم کشت بر خصوصیات شیمیایی خاک

Table 4- Interaction effects of different levels of nitrogen fertilizer and cropping system on soil chemical properties

تیمار Treatment		خصوصیات شیمیایی خاک Soil chemical properties					
سیستم کشت Cropping system	سطوح نیتروژن Nitrogen levels (%)	اسیدیته pH	کربن آلی OC (%)	نیتروژن کل N (%)	فسفر P (mg/Kg)	آهن Fe (mg/Kg)	ترسیب کربن CS (Mg/ha)
منداب-گندم Wild Rocket-wheat	0	7.51	0.433	0.039	6.62	2.25	3.67
	50	7.56	0.427	0.047	6.95	2.20	3.52
	100	7.46	0.439	0.049	7.17	2.36	3.82
آیش-گندم Fallow-wheat	0	7.60	0.342	0.033	6.12	1.91	1.49
	50	7.61	0.343	0.039	6.45	2.03	1.51
	100	7.59	0.356	0.042	6.13	1.97	1.82
ماش-گندم Mung Bean-wheat	0	7.52	0.385	0.037	6.67	2.23	2.51
	50	7.54	0.398	0.044	7.03	2.29	2.83
	100	7.57	0.405	0.046	6.90	2.27	3.00
ذرت-گندم Corn-wheat	0	7.63	0.354	0.031	6.25	2.06	1.78
	50	7.65	0.34	0.037	6.13	2.02	1.57
	100	7.63	0.377	0.040	6.23	1.98	2.34
FLSD (p=0.05)		0.13	0.031	0.0034	0.62	0.28	0.72

جدول ۵- ضرایب همبستگی بین خصوصیات شیمیایی خاک

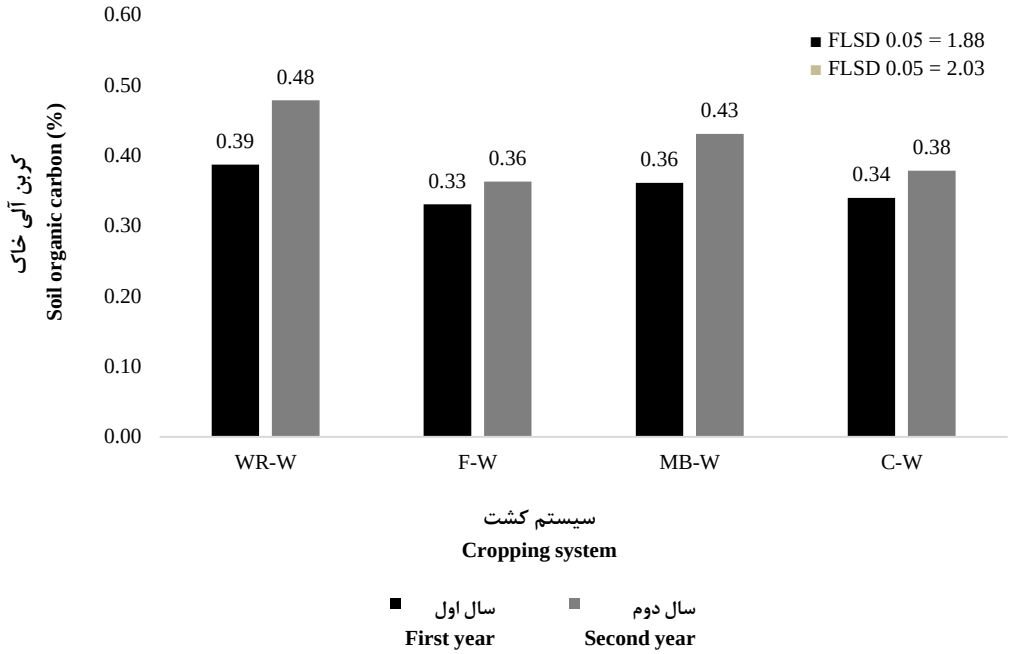
Table 5- Correlation coefficients between soil chemical properties

	اسیدیته pH	کربن آلی OC	نیتروژن N	فسفر P	آهن Fe	ترسیب کربن CS
اسیدیته pH	1.00					
کربن آلی OC	**-0.34	1.00				
نیتروژن کل N	*-0.28	**0.59	1.00			
فسفر P	**-0.37	**0.68	**0.56	1.00		
آهن Fe	-0.33**	0.69**	0.37**	0.61**	1.00	
ترسیب کربن CS	-0.34**	1.00**	0.59**	0.68**	0.69**	1.00

**، * به ترتیب معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۰/۰۱ و ۰/۰۵ را نشان می‌دهد.

**, * significant at 0.01 and 0.05 probability level, respectively

نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهد که کاربرد کود نیتروژن و افزودنی‌های آلی به خاک سرعت ترسیب کربن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. کاربرد متعادل کودهای غیرآلی نیتروژن، فسفر و پتاسیم ذخیره کربن آلی خاک را افزایش می‌دهند. هم‌چنین نتایج بسیاری از تحقیقات نشان می‌دهد که تأمین نیتروژن یا پایین بودن نسبت کربن به نیتروژن به واسطه افزایش سرعت تجزیه بقایای گیاهی می‌تواند کربن آلی خاک را در کوتاه‌مدت افزایش دهد، ولی تأمین پایدار کربن آلی خاک خصوصاً در شرایط آب و هوایی گرم نیازمند سرعت تجزیه پایین بقایای گیاهی می‌باشد، لذا حفظ بقایای گیاهی غلات اگر چه در کوتاه‌مدت نمی‌تواند تأثیر معنی‌داری در کربن آلی خاک نشان دهد، ولی باعث افزایش پایدار کربن آلی خاک خواهد گردید. در مقابل کشت کود سبز مخصوصاً خانواده بقولات نقش مؤثری در بهبود شرایط خاک در کوتاه‌مدت خواهد داشت (Teriberti *et al*., 2016; Novara *et al*., 2016; Zhang *et al*., 2016). لذا به نظر می‌رسد شرایط اقلیمی منطقه مورد مطالعه و پایین بودن بارندگی و رطوبت نسبی



شکل ۱- اثرات متقابل سال و سیستم کشت بر کربن آلی خاک
WR: منداب، W: گندم، F: آیش، C: ذرت، MB: ماش

Figure 1- Interaction effects of year and cropping system on soil organic carbon
WR: Wild Rocket, W: Wheat, F: Fallow, C: Corn, MB: Mung Bean

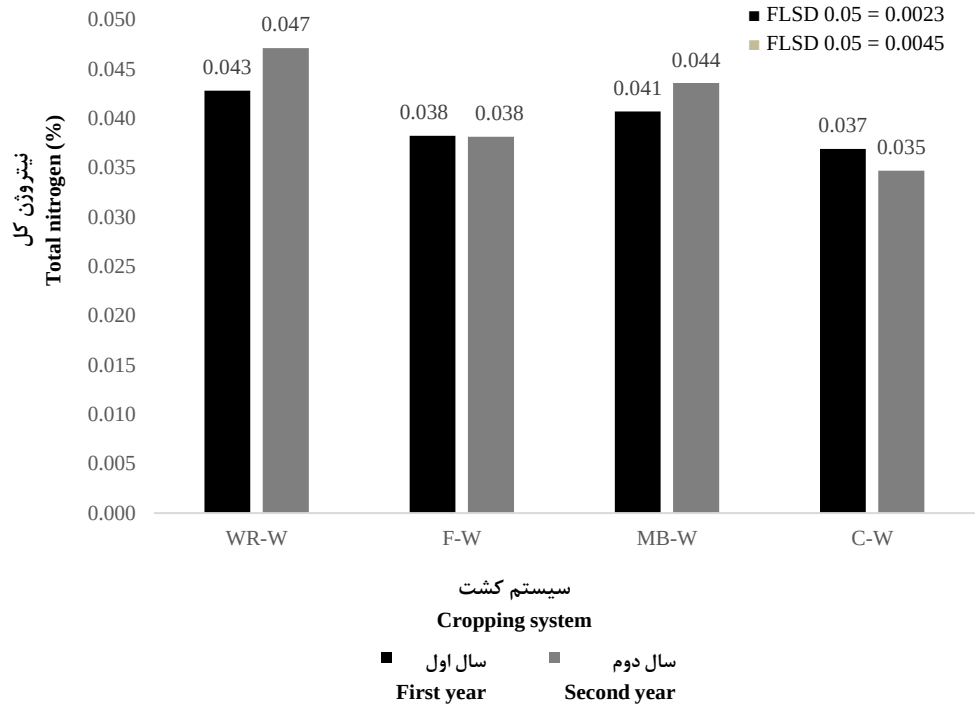
و کندی تجزیه بقایای گندم مانع از دست‌یابی اثر کود نیتروژن بر میزان کربن آلی خاک گردیده است.

نیتروژن کل: نتایج نشـــان داد که تیمار منداب-گندم با ۱۰۰ درصـــد تأمین کود نیتروژن باعث افزایش ۲۵/۶۴ درصـــد نیتروژن کل خاک گردید و بهترین عملکرد را نشـــان داد. نتایج در مورد تیمار ماش-گندم نیز با تفاوت کمی (۱۷/۹۴ درصـــد) مشـــابه بود. درحالی‌که تیمار آیش-گندم و ذرت-گندم بدون تأمین کود نیتروژن به ترتیب با ۱۵/۳۸ و ۲۰/۵۱ درصـــد، بیشـــترین کاهش در مقدار نیتروژن کل را نشـــان دادند، به‌طوری‌که حتی مقدار نیتروژن خاک به ترتیب ۰/۰۰۶و ۰/۰۰۸ از مقدار اولیه در شـروع آزمایش کمتر شـد (جدول ۴). نسـبت بالای کربن به نیتروژن در بقایای ذرت و گندم و تجزیه کند بقایا احتمالاً دلیل اصـلی پایین بودن نیتروژن کل در سـیسـتم کشت ذرت-گندم و آیش-گندم مخصوصاً در شرایط عدم تأمین کود نیتروژن محسـوب می‌شـود. نتایج هم‌چنین نشـان داد که نیتروژن کل خاک در دو سیسـتم کشت منداب-گندم و ماش-گندم در سال دوم نسبت به سال اول افزایش معنی‌داری داشت. درحالی‌که نیتروژن کل خاک در سیستم کشت آیش-گندم هیچ تفاوتی را نشـــان نداد. هم‌چنین مقدار نیتروژن کل خاک در سـیسـتم کشـت ذرت-گندم کاهش یافت (شـکل ۲). مطالعه اثر متقابل سال و سطوح تأمین کود نیتروژن نیز نشان داد که مقدار نیتروژن کل خاک در سـال دوم نسـبت به سـال اول در صـورت تأمین ۱۰۰ و ۵۰ درصـــد کود نیتروژن افزایش یافت، لیکن این مقدار در صـــورت عدم تأمین کود نیتروژن کاهش یافت که با توجه به فقر عناصـــر غذایی در خاک مورد مطالعه افزودن کود نیتروژنه حتی در شـــرایط بهره‌گیری از کود ســـبز و برگرداندن بقایای گیاهی الزامی می‌باشـد (شـکل ۳). هم‌چنین نیتروژن کل بیشـترین همبسـتگی را با میزان کربن آلی خاک ($r = ۰/۵۹^{**}$) و کمترین همبسـتگی را با اسـیدیته خاک ($r = -۰/۲۸^{*}$) نشـان داد (جـدول ۵). تغییرات در کربن آلی خـاک و نیتروژن کـل خـاک عمدتاً مسـئول تغییرات در خصـوصـیات شـیمیایی خاک اسـت و نقش مهمی در بهره‌وری گیاه زراعی و کیفیت محیطی دارد.

همبسـتگی بین کربن آلی و نیتروژن خاک و نتایج حاصل از اثرات متقـابـل میزان تـأمین کود نیتروژن و ورود کربن آلی بـه خاک به وضـوح نشـان‌دهنده نقش مکمل هر دو عامل در میزان حاصل‌خیزی خاک است. افزایش نیتروژن منجر به افزایش تولید زیســـت‌توده می‌گردد و در مقابل افزایش کربن آلی خاک مقدار نیتروژن خاک را بهبود می‌دهد. گزارش شـــده اســـت کربن آلی

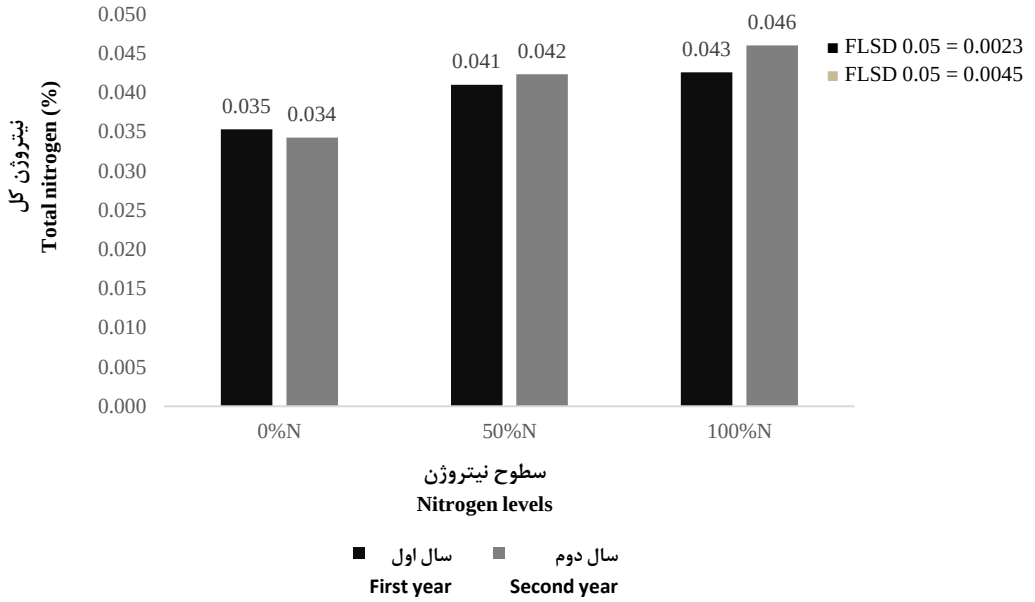
خاک و نیتروژن کل خاک تحت تأثیر میزان کود نیتروژن در خاک می‌باشند. هم‌چنین مشاهده شده است که مقدار نیتروژن و کربن آلی خاک در سیستم‌های کشتی که از گیاهان پوششی استفاده شده، بالاتر است. این نتایج اهمیت بهره‌گیری از گیاهان پوششی البته به شرط امکان تأمین آب آبیاری به ویژه به عنوان گیاه پاییزه در تناوب جهت حفظ و افزایش کربن آلی و نیتروژن کل خاک بالاتر را تایید می‌کند(Mazzoncini *et al*., 2011). در مطالعه‌ای که با هدف بررسی پویایی نیتروژن و عملکرد دانه ذرت در تناوب گیاه پوششی و ذرت انجام شد، دریافتند که هر سه گیاه پوششی به کاربرده شده در آزمایش مقدار نیتروژن معدنی خاک را در مقایسه با تیمار شاهد کاهش دادند که باعث کاهش تلفات نیتروژن گردید (Coombs *et al*., 2017). البته برخی محققین کاهش نیتروژن معدنی در گیاهان غیر بقولات مانند چاودار و یولاف را نیز نشان دادند. آن‌ها مشاهده کردند که در تیمارهای گیاهان پوششی تا عمق ۶۰ سانتی‌متر غلظت نیتروژن معدنی کاهش یافت (O'Reilly *et al*., 2012). اکثر مطالعات انجام شده بر روی تأثیر سیستم‌های کشت بر مانده نیتروژن در طی زمان، خصوصاً در سیستم‌های کشت مرسوم نشان‌دهنده کاهش مانده نیتروژن در خاک در طی گذشت زمان است، نتایجی که به وضوح در تیمار شاهد (آیش-گندم بدون مصرف کود نیتروژن) قابل مشاهده است. مطالعات نشان می‌دهد که سیستم‌های کشت کم‌نهاده و ارگانیک که ورودی کربن بالایی دارند، جایگزین مناسبی برای سیستم‌های کشت مرسوم برای بهبود حاصل‌خیزی پایدار خاک در بلند مدت می‌باشند(Poudel *et al*., 2001).

فسفر و آهن: نتایج نشان داد که به ترتیب تیمار منداب-گندم با ۱۰۰ درصد تأمین کود نیتروژن و ماش-گندم با ۵۰ درصد تأمین کود نیتروژن بیشترین افزایش فسفر و آهن قابل دسترس خاک را باعث شد، به‌طوری‌که فسفر به ترتیب ۱۹/۵ و ۱۷/۲ درصد افزایش و آهن ۳۸/۸ و ۳۴/۷ درصد افزایش را نشان دادند. در مقابل تیمار آیش بدون تأمین کود نیتروژن و آیش با ۱۰۰ درصد تأمین کود نیتروژن کمترین افزایش فسفر و آهن قابل دسترس خاک را باعث شدند. فسفر به ترتیب ۲ و ۲/۲ درصد افزاش و آهن به ترتیب ۱۳/۳۵ و ۱۵/۸۸ درصد افزایش را نشان دادند. نتایجی که همبستگی بالایی با میزان کربن آلی خاک نشان می‌دهد (جدول ۴).



شکل ۲- اثر متقابل سال و سیستم کشت بر درصد نیتروژن کل خاک
WR: منداب، W: گندم، F: آیش، C: ذرت، MB ماش

Figure 2- Interaction of year and cropping system on the percentage of total soil nitrogen
WR: Wild Rocket, W: Wheat, F: Fallow, C: Corn, MB: Mung Bean



شکل ۳- اثر متقابل سال و سطوح تامین کود نیتروژن بر درصد نیتروژن کل خاک

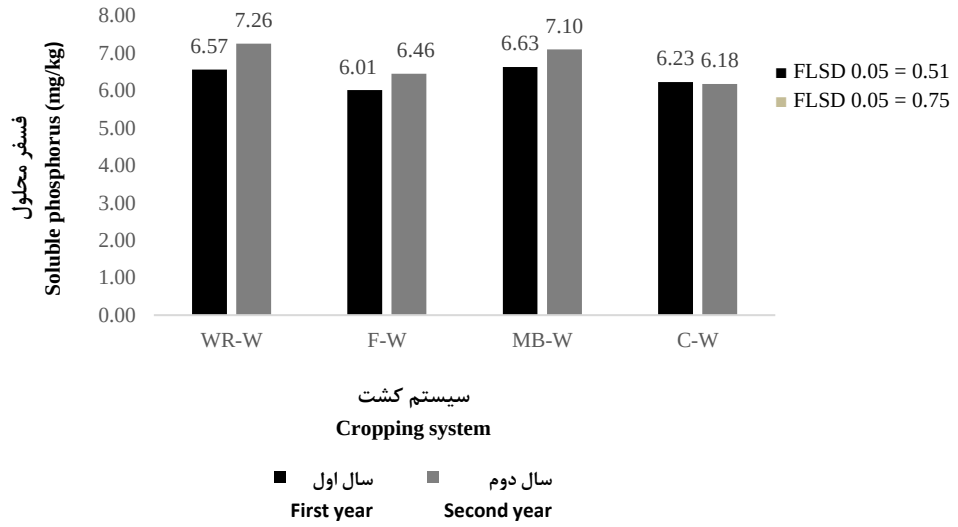
Figure 3- Interaction of year and nitrogen fertilizer supply levels on the percentage of total soil nitrogen

مقدار فسفر خاک در سال دوم در همه سیستم‌های کشت به استثنای سیستم کشت ذرت گندم افزایش یافت. هم‌چنین در مجموع دو سال آزمایش مقدار فسفر خاک به ترتیب در سیستم‌های کشت منداب-گندم، ماش-گندم، آیش-گندم، ذرت-گندم ۲۱، ۱۸/۳، ۷/۶ و ۳ درصد افزایش یافت. کاهش فسفر خاک در سیستم کشت ذرت-گندم در سال دوم آزمایش می‌تواند ناشی از نیاز غذایی بالای ذرت باشد. ضمن اینکه در طول دوره دو ساله آزمایش، خاک از مزیت‌های افزایش کربن آلی به علت بالا بودن نسبت کربن به نیتروژن بقایا و دیر تجزیه‌پذیر بودن آن بی‌بهره بوده است. البته عدم کاهش جدی مقدار فسفات محلول خاک با وجود کشت مستمر در خاک می‌تواند به عنوان یک مزیت حداقلی در نظر گرفته شود (شکل ۴). مطالعه ضرایب همبستگی صفات نیز رابطه مثبت و معنی‌داری بین مقدار فسفر و آهن قابل دسترس خاک با کربن آلی و نیتروژن کل خاک و رابطه منفی و معنی‌داری بین مقدار فسفر و آهن قابل دسترس خاک با مقدار اسیدیته خاک نشان داد. در میان خصوصیات شیمیایی خاک بیشترین همبستگی مربوط به فسفر و آهن قابل دسترس خاک با کربن آلی ($r = ۰/۶۸^{**}$) بود (جدول ۵).

مهم‌ترین فاکتور در مجموع عملیات زراعی اصلاحی که منجر به افزایش کربن آلی و متعاقباً حاصلخیزی خاک می‌گردد، حذف آیش و کشت مداوم اراضی کشاورزی می‌باشد. افزایش در مقدار کربن آلی می‌تواند بدلیل افزایش زیست‌توده گیاه و درنتیجه افزایش کل تراوشات گیاه و هم‌چنین افزایش فراهمی فسفر و عدم نیاز گیاه به تجزیه‌ی ماده‌ی آلی برای دست‌یابی به فسفر باشد (Saadatifar *et al*., 2017). اتفاقی که همبستگی بالای بین فسفر و کربن آلی مؤید آن است. کاهش اسیدیته در خاک‌های قلیایی به هر نحوی کلید موفقیت در افزایش دسترسی گیاه به فسفر و آهن می‌باشد، اگرچه ظرفیت کربن آلی خاک در افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و در دسترس نگه داشتن فسفر و آهن را در خاک نبایستی کم‌اهمیت دانست (Najafi, 2014). به عنوان مثال در یک مطالعه اثر گوگرد و کمپوست شهری بر میزان فسفر خاک بررسی شد، نتایج تحقیقات نشان دادند که استفاده از مواد آلی از قبیل کمپوست و تعدیل اسیدیته خاک در خاک‌های قلیایی منجر به افزایش فسفر قابل دسترس خاک گردید (Doroudian *et al*., 2008). گزارش شده است که حفظ بقایا بر مقدار فسفر خاک تأثیر معنی‌داری نشان می‌دهد که می‌تواند ناشی از کاهش تثبیت فسفر ناشی از افزایش کربن آلی خاک باشد. نتایج نشان دادند که بقایای گیاهی به عنوان ماده آلی تثبیت شده، ظرفیت تبادل

کاتیونی بالایی دارند و در نگهداری عناصر غذایی هم‌چون نیتروژن، فسفر و آهن در خاک نقش به سزایی ایفا می‌کنند. نتایج نشان می‌دهد که مقدار عناصر غذایی خاک تابعی از مقدار ماده آلی خاک می‌باشد. برخی محققین معتقدند که کاهش اسیدیته ناشی از عملیات زراعی بهبودیافته از قبیل تناوب زراعی مناسب، حفظ بقایا و ... بر میزان دسترسی عناصر غذایی به ویژه فسفر و آهن تأثیرگذار می‌باشد (Sadeghian *et al*., 2017; Mirzaei *et al*., 2021; Ebrahimian *et al*., 2017). تحقیقاتی که همگی مؤید نتایج پژوهش ما می‌باشد.

سیستم‌های کشت بسته به نوع تناوب گیاهی تأثیرات متفاوتی بر خصوصیات خاک اعمال می‌کند. تناوب گیاهی علاوه بر اینکه تعیین‌کننده میزان کمی و کیفی بقایای گیاهی می‌باشد، بسته به میزان برداشت هر یک از عناصر غذایی رفتار متفاوتی بر غلظت عناصر خاک خواهد داشت. به عنوان مثال در این تحقیق ذرت نسبت به منداب و ماش حجم زیست‌توده بیشتر دارد، علاوه بر اینکه ذرت نیاز غذایی بیشتری داشته و باعث تخلیه بیشتر خاک از مواد غذایی می‌گردد و با توجه به سرعت پایین‌تر تجزیه بقایای گیاهی، طول زمان رسیدن به تعادل عناصر غذایی در خاک نسبت به سایر گیاهان در تناوب در این آزمایش طولانی‌تر می‌باشد. نتایجی که توسط برخی پژوهش‌های دیگر مورد تایید قرار گرفت. برای مثال در پژوهشی تناوب‌های زراعی مختلف را مورد مطالعه قرار دادند و دریافتند که محتوی عناصر پرمصرف خاک در بین تناوب‌های زراعی به طور معنی‌داری متفاوت بود (Anousheh *et al*., 2016). آن‌ها مشاهده کردند که مقدار نیتروژن و فسفر از تناوب گندم با یونجه بیشتر از تناوب ذرت با یونجه می‌باشد که این تفاوت را ناشی از تفاوت کارایی جذب فسفر توسط گندم و ذرت دانستند. آن‌ها معتقدند که ذرت گیاه پرنیازتری بوده و به طور معمول مقدار عناصر غذایی بیشتری از خاک جذب می‌کند؛ بنابراین خاک‌های پس از کشت ذرت دارای محتوی کمتری از نیتروژن و فسفر می‌باشند. هم‌چنین گزارش شده است که محتوی فسفر خاک در سیستم کشت گندم-بقولات در مقایسه با سایر سیستم‌های کشت به ویژه کشت مداوم گندم افزایش قابل توجهی را نشان می‌دهد (Rahimizadeh *et al*., 2012).



شکل ۴- اثر متقابل سال و سیستم کشت بر فسفر محلول خاک
WR: منداب، W: گندم، F: آیش، C: ذرت، MB ماش

Figure 4- Interaction of year and cropping system on soil solution phosphorus
WR: Wild Rocket, W: Wheat, F: Fallow, C: Corn, MB: Mung Bean

نتیجه‌گیری کلی

در مطالعه حاضر ما به دنبال ارائه راهکاری برای افزایش ترسیب کربن خاک به منظور استفاده از مزیت‌های اکولوژیکی آن در جهت بهبود حاصلخیزی خاک بودیم. نتایج نشان داد که کربن آلی خاک در همه تیمارها افزایش یافت و منجر به افزایش ترسیب کربن و بهبود خصوصیات شیمیایی خاک گردید. نتایج

در مورد نیتروژن نیز نشـان داد که عدم مصـرف کود نیتروژن در همه سـیسـتم‌های کشـت منجر به کاهش یا توقف افزایش نیتروژن خواهد گردید و ضـرورت مصـرف بهینه کود نیتروژن حتی در شـرایط اسـتفاده از گیاه پوشـشـی یا تناوب با گیاهان خانواده لگومینه را که به عنوان تثبیت‌کننده نیتروژن شـناخته می‌شـوند، نشـان می‌دهد. نتایج هم‌چنین نشـان داد که کاهش اسـیدیته در خاک‌های قلیایی به هر نحوی کلید موفقیت در افزایش دسترسی گیاه به فسفر است، اگرچه ظرفیت کربن آلی خاک برای در دسـترس نگه داشـتن فسـفر و آهن را در خاک نبایستی کم‌اهمیت دانست. هم‌چنین سیستم‌های کشت متأثر از نوع تناوب گیاهی تأثیرات متفاوتی بر خصـوصـیات خاک اعمال کرد. به نظر می‌رسـد تناوب گیاهی علاوه بر اینکه تعیین‌کننده میزان کمی و کیفی بقلیای گیاهی می‌باشـد، بسـته به میزان برداشت هر یک از عناصر غذایی رفتار متفاوتی بر غلظت عناصر خاک خواهد داشت.

با توجه به عدم امکان بهره‌گیری از گیاهان پوششی در اقلیم منطقه به دلیل کمبود منابع آب و اهمیت تولید کشـت گیاهان اقتصـادی، نتایج نشـان داد که حذف آیش با فرض رعایت اصـول کشـاورزی حفاظتی می‌تواند یک جایگزین مناسـب برای افزایش کربن آلی خاک باشـد. نکته حائز اهمیت نقش ماش در تناوب زراعی با گندم بود. مـاش توانسـت در بهبود شـاخص‌های حاصـلخیزی خاک نقش مهمی ایفا کند و جایگزین مطمئنی برای منداب به عنوان یک گیاه غیر اقتصـادی باشـد. هم‌چنین به دلیل کوتاه بودن طول دوره آزمایش و سـرعت پایین تجزیه بقایا آن به دلیل نسـبت بالای کربن به نیتروژن، ذرت نتوانسـت ظرفیت‌های خود را به عنوان یک بهبود دهنده حاصـلخیزی خاک نشـان دهد. لذا پیشـنهاد می‌گردد با توجه به اهمیت ذرت در تناوب با گندم در منطقه مورد مطالعه و مزیت نسـبی آن در شـرایط اقلیمی موجود، مطالعات بلند مدتی برای بررسـی و مقایسه اثرات تیمارها در طی زمان انجام گیرد.

References

Anousheh, H.P., Adalat, M. and Dehghani, F., 2016. Mid-term effect of crop rotations on grain yield of corn (*Zea mays* L.) and wheat (*Triticum aestivum* L.) and soil characteristics. *Iranian Journal of Crop Sciences*, *18*, pp.135-146. [In Persian]. **dor: 20.1001.1.15625540.1395.18.2.5.6**

Bhardwaj, A.K., Rajwar, D., Mandal, U.K., Ahamad, S., Kaphaliya, B., Minhas, P.S., Prabhakar, M., Banyal, R., Singh, R. and Chaudhari, S.K., 2019. Impact of carbon inputs on soil carbon fractionation, sequestration and biological responses under major nutrient management practices for rice-wheat cropping systems. *Scientific Reports*, *9*, pp.1-10. **doi: 10.1038/s41598-019-45534-z**

Brar, B., Singh, K. and Dheri, G., 2013. Carbon sequestration and soil carbon pools in a rice–wheat cropping system: effect of long-term use of inorganic fertilizers and organic manure. *Soil and Tillage Research*, *128*, pp.30-36. **doi: 10.1016/j.still.2012.10.001**

Cheng, Y., Wang, J., Wang, J., Chang, S.X. and Wang, S., 2017. The quality and quantity of exogenous organic carbon input control microbial NO3− immobilization: a meta-analysis. *Soil Biology and Biochemistry*, *115*, pp.357-363. **doi: 10.1016/j.soilbio.2017.09.006**

Coombs, C., Lauzon, J.D., Deen, B. and Van Eerd, L.L., 2017. Legume cover crop management on nitrogen dynamics and yield in grain corn systems. *Field Crops Research*, *201*, pp.75-85. **doi: 10.1016/j.fcr.2016.11.001**

Dikgwatlhe, S.B., Chen, Z.-D., Lal, R., Zhang, H.-L. and Chen, F., 2014. Changes in soil organic carbon and nitrogen as affected by tillage and residue management under wheat–maize cropping system in the North China Plain. *Soil and Tillage Research*, *44*, pp.110-118. **doi: 10.1016/j.still.2014.07.014**

Doroudian, H.R., Besharti, H., Falah, A.R., Haydari, H., Darvish, F. and Allah wirdi, A. 2008. Investigation of the possibility of changing the absorbable phosphorus of calcareous soils and its effect on corn yield. *Agroecology Journal*, *6*, pp.27-35. [In Persian].

Ebrahimian, A., Kouchaki, A., Mahallati, M.N., KhorramDel, S. and Beheshti, A., 2017. The effect of tillage systems and wheat residue levels on physical, chemical and biological indicators of soil. *Journal of Crop Improvement*, *18*, pp.893-905. [In Persian]. **doi: 10.17557/tjfc.90410**

Fallahi, H.R., Rezvani-Moghaddam, P., Behdani, M.A., Aghvani-Shajri, M., Jahedi-Pour, S. and Yari, A., 2015. Principles and bases of carbon sequestration. University Jihad, Mashhad. [In Persian].

FAO, 2019. [Online]. Available: **http://www.fao.org/faostat/en/#data/qc**.

Gan, Y., Liang, C., Chai, Q., Lemke, R.L., Campbell, C.A. and Zentner, R.P., 2014. Improving farming practices reduces the carbon footprint of spring wheat production. *Nature Communications*, *5*, pp.1-13. **doi: 10.1038/ncomms6012**

Haghnia, G., Ghorbani, R. and Ramezanian, A., 2014. Soil organic matter in sustainable agriculture. Ferdowsi University of Mashhad Press. [In Persian].

Johnston, A.E., Poulton, P.R. and Coleman, K., 2009. Soil organic matter: its importance in sustainable agriculture and carbon dioxide fluxes. *Advances in Agronomy*, *101*, pp.1-57. **doi: 10.1016/s0065-2113(08)00801-8**

Li, S., Li, Y., Li, X., Tian, X., Zhao, A., Wang, S., Wang, S. and Shi, J., 2016. Effect of straw management on carbon sequestration and grain production in a maize–wheat cropping system in Anthrosol of the Guanzhong Plain. *Soil and Tillage Research*, *157*, pp.43-51. **doi: 10.1016/j.still.2015.11.002**

Makari, P. and Afzali, S.F., 2018. The effect of corn, wheat and green sugarcane residues on some soil properties. *Environment and Water Engineering*, 4, pp.123-136. [In Persian]. **doi: 10.22034/jewe.2018.113441.1225**

Mazzoncini, M., Sapkota, T.B., Barberi, P., Antichi, D. and Risaliti, R., 2011. Long-term effect of tillage, nitrogen fertilization and cover crops on soil organic carbon and total nitrogen content. *Soil and Tillage Research*, *114*, pp.165-174. **doi: 10.1016/j.still.2011.05.001**

Mirzaei, M., Gorji, M., Tusi, AR, Asadi, H., Moghiseh, A. and Zamir, S.M., 2021. The effect of plant residues in wheat-corn rotation on organic carbon and fertility Soil. *Iran Water and Soil Research*, *51*, pp.3207-3219. [In Persian]. **doi: 10.22059/ijswr.2020.305809.668666**

Najafi-Ghiri, M., 2014. The effect of application of different biochar on some soil properties and the ability to absorb some nutrients in a calcareous soil. *Soil Research*, *29*, pp.352-358. [In Persian]. **doi: 10.22092/ijsr.2014.103501**

Norouzi, S., Sohrabi, A., Khavazi, K. and Far, H.R.M., 2018. The effect of sulfur consumption on the trend of pH changes and soil phosphorus uptake in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Soil Biology*, *6*, pp.29-41. [In Persian]. **doi: 10.22092/sbj.2018.117145**

Novara, A., Poma, I., Sarno, M., Venezia, G. and Gristina, L., 2016. Long-term durum wheat-based cropping systems result in the rapid saturation of soil carbon in the Mediterranean semi-arid environment. *Land Degradation & Development*, *27*, pp.612-619. **doi: 10.1002/ldr.2468**

O'Reilly, K.A., Lauzon, J.D., Vyn, R.J. and Van Eerd, L.L., 2012. Nitrogen cycling, profit margins and sweet corn yield under fall cover crop systems. *Canadian Journal of Soil Science*, *92*, pp.353-365. **doi: 10.4141/cjss2011-065**

Poudel, D., Horwath, W., Mitchell, J. and Temple, S., 2001. Impacts of cropping systems on soil nitrogen storage and loss. *Agricultural Systems*, *68*, pp.253-268. **doi: 10.1016/s0308-521x(01)00011-7**

Powlson, D.S., Whitmore, A.P. and Goulding, K.W., 2011. Soil carbon sequestration to mitigate climate change: a critical re-examination to identify the true and the false. *European Journal of Soil Science*, *62*, pp.42-55. **doi: 10.1111/j.1365-2389.2010.01342.x**

Rahimizadeh, M., Zare-Feizabadi, F.A., Kashani, A., Koocheki, A. and Nassiri Mahallati, M.M., 2012. Evaluation of soil fertility in wheat-based double cropping systems under different rates of nitrogen and return of crop residue. *Journal of Water and Soil*, *25*, pp.1277-1286. [In Persian]. **doi: 10.22067/jsw.v0i0.12129**

Robačer, M., Canali, S., Kristensen, H.L., Bavec, F., Mlakar, S.G., Jakop, M. and Bavec, M., 2016. Cover crops in organic field vegetable production. *Scientia Horticulturae*, *208*, pp.104-110. **doi: 10.1016/j.scienta.2015.12.029**

Rymuza, K., Radzka, E. and Wysokiński, A., 2020. Nitrogen uptake from different sources by non-GMO soybean varieties. *Agronomy*, *10*, pp.1219. **doi: 10.3390/agronomy10091219**

Saadatifar, S., Khorasani, R. and Lekzian, A., 2017. The effect of different levels of phosphorus on changes in organic carbon in the soil adhering to the roots and soil mass of wheat. Third International Conference on Sustainable Development, Strategies and Challenges. [In Persian].

Sadeghian, A., Sayad, G., Firoozi, AF. and Masir, M.N., 2017. The effect of different crop managements on some chemical and biological indicators of soil health. *Water and Soil Conservation Research*, *25*, pp.269-280. [In Persian]. **doi: 10.22069/jwsc.2018.14281.2905**

Sharma, V., Irmak, S. and Padhi, J., 2018. Effects of cover crops on soil quality: Part I. Soil chemical properties—organic carbon, total nitrogen, pH, electrical conductivity, organic matter content, nitrate-nitrogen, and phosphorus. *Journal of Soil and Water Conservation*, *73*, pp.637-651. **doi: 10.2489/jswc.73.6.637**

Smith, P., Powlson, D., Glendining, M. and Smith, J., 1997. Potential for carbon sequestration in European soils: preliminary estimates for five scenarios using results from long-term experiments. *Global Change Biology*, *3*, pp.67-79. **doi: 10.1046/j.1365-2486.1997.00055.x**

Snyder, C.S., Bruulsema, T.W., Jensen, T.L. and Fixen, P.E., 2009. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *133*, pp.247-266. **doi: 10.1016/j.agee.2009.04.021**

Soltani, A., Rajabi, M., Zeinali, E. and Soltani, E., 2013. Energy inputs and greenhouse gases emissions in wheat production in Gorgan, Iran. *Energy*, *50*, pp.54-61. **doi: 10.1016/j.energy.2012.12.022**

Triberti, L., Nastri, A. and Baldoni, G., 2016. Long-term effects of crop rotation, manure and mineral fertilisation on carbon sequestration and soil fertility. *European Journal of Agronomy*, *74*, pp.47-55. **doi: 10.1016/j.eja.2015.11.024**

Zhang, X., Sun, N., Wu, L., Xu, M., Bingham, I.J. and Li, Z., 2016. Effects of enhancing soil organic carbon sequestration in the topsoil by fertilization on crop productivity and stability: Evidence from long-term experiments with wheat-maize cropping systems in China. *Science of the Total Environment*, *562*, pp.247-259. **doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.03.193**

Zomer, R.J., Bossio, D.A., Sommer, R. and Verchot, L.V., 2017. Global sequestration potential of increased organic carbon in cropland soils. *Scientific Reports*, *7*, pp.1-8. **doi: 10.1038/s41598-017-15794-8**

Journal of Crop Science Research in Arid Regions/ Volume 6, Issue 3, Autumn 2024, P. 1-17

Assessment of soil chemical properties and the carbon sequestration in wheat-based production systems

Javad Etezadi Jame[1], Seyed Vahid Eslami[2*], Majid Jami Al-Ahmadi[2], Mohamad Hassan Sayyari[2]

[1] PhD Student, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran
[2] Agronomy Department, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran
[*]Corresponding Author: sveslami@birjand.ac.ir

Received: 15 February 2022 Accepted: 13 May 2022 **DOI: 10.22034/CSRAR.2022.329816.1192**

Abstract

Introduction: Increasing soil carbon, both globally and on a farm level, has been considered as a fundamental strategy to reduce atmospheric carbon dioxide and increase soil productivity. Because agricultural ecosystems cover 11% of the earth's surface and wheat is one of the three most important grains in the world, any study on increasing soil carbon through land management and organic additive management can lead to a better understanding of our potential for soil improvement, ecosystem services, higher biomass yields, nutrient recycling, potentially increasing agricultural and ecological productivity. Crop rotation significantly affects the sequestration capacity of atmospheric carbon dioxide, and the change of cropping systems from fallowing to continuous cultivation can affect the rate of carbon sequestration in the soil through the introduction of more organic carbon. Also, managing the use of fertilizers, especially nitrogen, will not only increase crop yields, but also increase carbon sequestration as a secondary benefit to the land. Due to the alkalinity of most soils in arid and semi-arid regions, the addition of organic matter reduces soil acidity and improves plant growth conditions, increases the ability to absorb elements such as phosphorus and iron, moreover has a positive effect on increasing biomass production and carbon sequestration.

Material and Methods: This study was conducted to take advantage of a set of desirable crop measures in diverse production systems with the aim of improving the chemical properties of soil and carbon sequestration with a focus on wheat during the two cropping years of 2018-19 and 2019-20 in a farm in Taybad plain. In this study, the factor of the cropping system in four levels (wild rocket-wheat, fallow-wheat, mung bean-wheat and corn-wheat) and the factor of nitrogen fertilizer levels (100, 50% and without nitrogen fertilizer application) were implemented in a randomized complete block design as factorial with three replications. Soil chemical properties such as acidity, organic carbon, total nitrogen, available phosphorus and iron were measured.

Results and Discussion: The highest amount of acidity was observed in corn-wheat treatment with 50% nitrogen fertilizer supply and the lowest amount of acidity was observed in wild rocket-wheat treatment with 100% nitrogen fertilizer supply. The study of treatments shows that wild rocket and mung bean showed the best results in increasing soil organic carbon and carbon sequestration. Corn less than were able to increase soil organic carbon, although with increasing nitrogen fertilizer supply in the corn-wheat cropping system, organic carbon improved compared to the control treatment. The results also showed that wild rocket-wheat treatment with 100% nitrogen fertilizer supply experienced the highest increase (56.7%) and corn-wheat treatment with 50% nitrogen fertilizer supply experienced the lowest (21.4%) increase in soil organic carbon. Soil nitrogen was also significantly affected by the increase of soil organic carbon mainly in two treatments of wild rocket-wheat (25.6%) and mung bean-wheat (17.9%) in conditions of 100% nitrogen fertilizer supply, while fallow-wheat and Wheat maize without nitrogen fertilizer showed the highest reduction in soil nitrogen content of 15.3% and 20.5%, respectively. Phosphorus and iron levels also increased in all treatments. The results of trait correlation also showed that reducing acidity in alkaline soils is the key to success in increasing plant access to phosphorus (r = -0.37 **) and iron (r = -0.33 **). It seems that the most

important factor in the improving farming practices, which leads to an increase in organic carbon and consequently soil fertility, is the removal of fallow and continuous cultivation of agricultural lands.
Conclusion: The results showed that soil organic carbon increased in all treatments and led to increased carbon sequestration and improved soil chemical properties. The results regarding nitrogen also showed that non-use of nitrogen fertilizer in all cropping systems reduce or stop the increase of nitrogen and the need for optimal use of nitrogen fertilizer even in the case of using cover crops or legume as a nitrogen stabilizer. Reducing acidity in alkaline soils is the key to success in increasing plant access to phosphorus, although the capacity of soil organic carbon to retain phosphorus and iron in the soil should not be underestimated. Also, cropping systems affected by the type of crop rotation had different effects on soil properties. It seems that in addition to determining the quantity and quality of plant residues, plant rotation will have a different behavior on the concentration of soil elements depending on the amount of harvest of each nutrient.

Keywords: Cropping system, Organic carbon, Nitrogen, Rotation