



تأثیر خاک‌ورزی حفاظتی بر مقدار کربن آلی خاک (SOC) و منافذ خاک در مناطق خشک و نیمه-خشک

خشک

الهام فراهانی^{۱*}

۱- عضو هیات علمی موسسه تحقیقات خاک و آب کشور، کرج، ایران؛ * پست الکترونیکی نویسنده مسئول مقاله

(e_farahani@areeo.ac.ir)

چکیده:

مقدار کربن آلی خاک (SOC) معمولاً پایداری ساختمانی خاک، اندازه منافذ و رشد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد به ویژه در مناطق خشک و نیمه-خشک که مقدار SOC کم است. پژوهش حاضر به وضعیت ساختمان خاک در سیستم‌های خاک‌ورزی سنتی و حفاظتی (بی‌خاک‌ورزی) به همراه کشت گیاهان پوششی در منطقه خشک و نیمه-خشک شمال شرق ایران در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی پس از گذشت سه سال از اجرا پرداخته است. دامنه اندازه خاکدانه‌ها، ویژگی منافذ خاک (با استفاده از X-ray CT-Scan) و شرایط رشد ریشه در دو سیستم خاک‌ورزی تعیین شدند. یافته‌های این پژوهش نشان داده‌اند که در مناطق خشک و نیمه-خشک به دلیل پایین بودن مقدار مواد آلی افزودن بقایای گیاهان پوششی (شبدر) به خاک در سیستم بی‌خاک‌ورزی مقدار SOC را افزایش داده است که این به نوبه خود توانسته پایداری ساختمانی، اندازه و پیوستگی منافذ خاک و رشد ریشه را در محصول افزایش دهد. بنابراین سیستم بی‌خاک‌ورزی می‌تواند به عنوان یک سیستم موثر بر افزایش مقدار کربن آلی خاک، اندازه منافذ و افزایش خاکدانه‌های ماکرو و در مجموع برای بهبود وضعیت ساختمان خاک در مناطق خشک و نیمه-خشک شمال شرقی ایران توصیه گردد.

واژگان کلیدی: بی‌خاک‌ورزی، تصاویر توموگرافی X-ray، خاکدانه‌های ماکرو، ساختمان خاک، ماده آلی

مقدمه:

عملیات کشاورزی پیشرفته برای مدیریت کربن آلی خاک می‌تواند عملکرد و ویژگی‌های خاک را بهبود بخشد. از آنجا که ایران در منطقه خشک و نیمه-خشک جهان واقع شده است و مقدار ماده آلی خاک‌ها عمدتاً پایین است بنابراین مدیریت کربن آلی خاک برای کشاورزی پایدار ضروری به نظر می‌رسد. عملیات خاک‌ورزی شدید معمولاً تجزیه مواد آلی را در خاک افزایش داده که در نتیجه آن خاک حساس به تخریب شده و کیفیت آن کاهش پیدا می‌کند (Chenu et al., 2000; Marinari et al., 2000). سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی مقدار کربن آلی خاک را افزایش می‌دهد (Bhattacharyya و همکاران (۲۰۰۸)، خاکدانه سازی را بهبود می‌بخشد Martinez و همکاران (۲۰۰۸) و تخلخل کل و نگهداشت آب در خاک را بیشتر می‌کند (Bhattacharyya et al., 2006). خاک‌ورزی حفاظتی با افزایش مقدار کربن آلی خاک از تخریب خاک جلوگیری کرده و در نهایت به افزایش کیفیت خاک منجر می‌شود (Lampurlanés et al., 2001). مزیت‌های اقتصادی و زیست محیطی کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی باعث استقبال از خاک‌ورزی حفاظتی در سرتاسر جهان شده است (Liu and Wiatrak, 2011). سیستم بی‌خاک‌ورزی به همراه کشت گیاهان پوششی و همچنین نگهداری بقایای گیاهی در خاک به تجمع کربن آلی منجر شده و در نتیجه منافذ درشت پیوسته در خاک ایجاد کرده و تخلخل تهویه‌ای را در مکش‌های ماتریک پایین افزایش داده است که باعث رشد بهتر گیاهان شده است (Abdollahi et al., 2014). سیستم منفذی خاک بسیاری از ویژگی‌های خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد برای مثال اثر عمده‌ای بر ویژگی‌های فیزیکی و سلامت خاک دارد و حرکت آب و املاح را در خاک کنترل می‌کند (Guo et al., 2020). روش X-ray CT-Scan به عنوان یک روش مناسب عکس برداری غیر تهاجمی برای بررسی ساختمان خاک و تأثیر انواع مختلف خاک‌ورزی بر سیستم منفذی خاک به کار رفته است (Jarvis



(et al, 2017). در این پژوهش ویژگی‌های مهم ساختمانی خاک از جمله توزیع اندازه خاکدانه‌ها، بررسی شکل منافذ و پیوستگی آن‌ها با روش X-ray CT-Scan و پیش بینی شرایط رشد ریشه با استفاده از مقدار کربن آلی خاک و بقایای ریشه گیاهان در دو سیستم خاک‌ورزی سنتی (CT) و بی‌خاک‌ورزی (NT) تعیین شده‌اند.

مواد و روش‌ها:

پلات‌های دو سیستم خاک‌ورزی سنتی (CT) و بی‌خاک‌ورزی (NT) شامل تناوب گندم-ذرت و کشت گیاه پوششی شبدر در سال ۱۳۹۶ در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی اجرا شده است. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از اجرای طرح اندازه‌گیری شده است (جدول ۱). بافت خاک به روش پیپت Gee و Bauder (۱۹۸۶)، کربنات کلسیم به روش تیتراسیون برگشتی Sparks و همکاران (۱۹۹۲)، ماده آلی به روش اکسیداسیون تر Walkley و Black (۱۹۳۴)، هدایت الکتریکی و pH به روش تهیه گل اشباع و عصاره اشباع Richards (۱۹۵۴) تعیین گردیدند.

جدول ۱: ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اولیه

رس	سیلت	شن	کربنات کلسیم	SOC	EC _e	pH _s
			(%)		(dS m ⁻¹)	
۳۵/۹۲	۲۹/۲۸	۳۴/۸۰	۱۱/۰۳	۰/۳۶	۱/۲۷	۷/۳۹

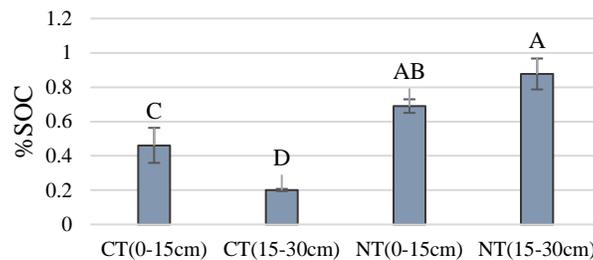
EC_e=هدایت الکتریکی عصاره اشباع، SOC=کربن آلی خاک

در سیستم NT هیچ‌گونه عملیات شخمی صورت نگرفته و بذرها به ترتیب به وسیله کارنده مستقیم بی‌خاک‌ورزی و ردیفی نرمال برای کاشت گندم و ذرت استفاده شدند. در سیستم CT شخم به وسیله گاواهن برگردان‌دار (تا عمق ۲۵ سانتیمتری) انجام گرفته است و به دنبال آن دوبار دیسک (تا عمق ۱۰ سانتیمتری) زده شده است. بذر کار پنوماتیک و کارنده ردیفی به ترتیب برای کاشت ذرت و گندم به کار رفته‌اند. جزئیات تاریخ‌های کاشت و برداشت محصولات (گندم و ذرت) در تناوب کشت و گیاه پوششی (شبدر) و عملیات خاک‌ورزی از زمان اجرای طرح (۱۳۹۶) تا زمان نمونه‌برداری (۱۳۹۹) عبارتند از؛ گندم در آبان ۹۶ کاشته و در خرداد ۹۷ برداشت شد. شبدر در مرداد ۹۷ با کارنده مستقیم در NT و در اردیبهشت ۹۸ به وسیله علف چین برداشت گردید. ذرت در خرداد ۹۸ کاشت و در مهر ۹۸ برداشت شد. گندم در تناوب کشت در آبان ۹۸ کاشت و در خرداد ۹۹ برداشت شد. در تیمارهای سیستم CT تنها کاه و کلش محصولات روی زمین نگهداری شدند در حالیکه در NT بقایای گیاهان بعد از برداشت شبدر با خاک سطحی مخلوط شدند. نمونه‌برداری از خاک در تیر ۹۹ (بعد از برداشت گندم) در دو عمق ۱۵-۰ و ۳۰-۱۵ سانتیمتر در سه تکرار در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در هر دو سیستم خاک‌ورزی انجام شد. درصد خاکدانه‌های میکرو و ماکرو (به ترتیب 250 و 2500 میکرون) به عنوان یک پارامتر تحت تاثیر مقدار کربن آلی خاک (SOC) با استفاده از الک ۰/۲۵ میلی‌متر تعیین گردید. خاکدانه‌های هوا-خشک روی الک ریخته شده و در شرایط خشک (بدون آب) تکان داده شدند و خاکدانه‌های میکرو و ماکرو به ترتیب با تعیین مقدار خاکدانه‌های عبور کرده از الک و باقی مانده روی الک تقسیم بر جرم کل نمونه خاک محاسبه شدند (Totsche et al., 2018). بررسی سیستم منفذی خاک، به روش عکس برداری X-ray CT-Scan به وسیله یک اسکنر پزشکی (Planmeca Viso G7 - Helsinki, Finland) انجام شد. سه تکرار در هر عمق خاک با استفاده از نمونه‌های استوانه‌ای دست نخورده (به ابعاد قطر ۴/۵ و ارتفاع ۶/۲۵ و حجم تقریبی ۱۰۰ سانتیمتر مکعب) در شرایط هوا-خشک اسکن شدند. آنالیز آماری با استفاده از نرم افزار SPSS 24 انجام شد.



نتایج و بحث:

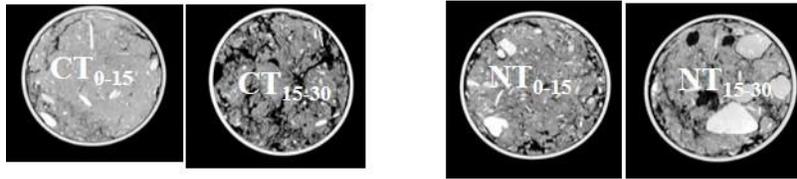
مقدار کربن آلی خاک (SOC) اولیه ۰/۳۶ درصد بوده که مقدار بسیار کمی است اما در مناطق خشک و نیمه-خشک ایران منطقی به نظر می‌رسد، در ایران ۶۱/۶ درصد از خاک‌های کشاورزی شامل کمتر از ۱ درصد کربن آلی هستند (Moshiri et al., 2017). بعد از گذشت ۳ سال از تیمارهای خاک‌ورزی، SOC در دو عمق در تیمار NT افزایش معنی‌داری نسبت به خاک اولیه نشان داده است (شکل ۱)، که این افزایش در نتیجه افزایش بقایای گیاهی (محصول و گیاه پوششی) و تجزیه کمتر مواد آلی در این نوع خاک‌ورزی است. در CT در عمق ۰-۱۵ سانتیمتر به دلیل وجود اندکی بقایای گیاهی افزایش کمی نسبت به خاک اولیه مشاهده شده و در مقابل در عمق ۱۵-۳۰ سانتیمتر به دلیل تجزیه شدید مواد آلی به سبب بهم‌خوردگی خاک SOC از خاک اولیه کمتر شده است (شکل ۱).



شکل ۱- درصد کربن آلی خاک، SOC، در دو نوع خاک‌ورزی NT و CT در دو عمق (۰-۱۵ و ۱۵-۳۰ سانتیمتر)

گیاهان پوششی مقدار SOC را افزایش می‌دهند و باعث بهبود ویژگی‌های خاک می‌شوند که به نوبه خود به کربن بیوماس بیشتر نیز منجر می‌شود و این از مزایای خاک‌ورزی حفاظتی است. کشت گیاهان پوششی بعد از برداشت گندم SOC را در یک سیستم NT با تناوب گندم-سورگوم در کانزاس افزایش داده است (Blanco-Canqui et al., 2013). SOC تخلخل و توزیع اندازه منافذ خاک را تحت تاثیر قرار می‌دهد، برای مثال Emerson و McGarry (۲۰۰۳) گزارش کردند که اندازه منافذ با افزایش درصد SOC در دو خاک شنی و سیلتی افزایش یافته است که دلیل آن بهبود شاخص‌های کیفیت فیزیکی خاک به خصوص توزیع اندازه منافذ و اندازه خاک‌دانه‌ها با افزایش SOC است (Shahab et al., 2013). روند تغییرات خاکدانه‌های ماکرو و میکرو مشابه روند تغییر مقدار SOC در نمونه‌ها بوده است به طوری که NT در هر دو عمق به طور معنی‌داری بیشترین خاکدانه‌های ماکرو را داشته است، به ترتیب ۹۷/۴ و ۹۸/۵ درصد در عمق‌های ۰-۱۵ و ۱۵-۳۰ سانتیمتر. Blanco-Canqui و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که افزایش SOC باعث افزایش اندازه خاکدانه‌ها شده و به ازای افزایش ۱ درصد SOC، خاکدانه‌ها به طور متوسط به اندازه ۱/۵ میلی‌متر بزرگتر شده‌اند.

طبق نتایج تصاویر اسکن اشعه ایکس (شکل ۲)، وجود منافذ و تخلخل کمتر در سطح خاک (۰-۱۵ سانتیمتر) در هر دو سیستم خاک‌ورزی به توزیع رطوبت با عمق خاک نسبت داده می‌شود که بر اساس اندازه‌گیری‌های متوالی مقدار رطوبت در طول آزمایش، رطوبت کمتر در سطح خاک (۰-۱۵) به دلیل تبخیر زیاد در مناطق خشک و نیمه-خشک و در مقابل رطوبت بیشتر در عمق خاک (۱۵-۳۰) مشاهده شده است. بیشترین منافذ خاک در خاک‌ورزی مرسوم در عمق ۱۵-۳۰ مشاهده شده است که به دلیل انجام عملیات شخم و تراکم پایین خاک در مقایسه با تیمار بی‌خاک‌ورزی بوده است. در بی‌خاک‌ورزی در عمق ۱۵-۳۰ منافذ با اندازه درشت‌تر قابل مشاهده است که شرایط بهتر رشد ریشه در این عمق می‌تواند دلیل ایجاد کانال‌های ریشه و منافذ بزرگتر در این خاک‌ورزی باشد. کشت گیاهان پوششی، افزایش کربن آلی و در نتیجه افزایش اندازه و پایداری خاکدانه‌ها توانسته رشد ریشه را در بی‌خاک‌ورزی افزایش دهد. در یک سیستم بی‌خاک‌ورزی کاشت گیاهان پوششی منافذ درشت پیوسته ایجاد کرده است و تخلخل تهویه‌ای را افزایش داده است (Asgarzadeh et al., 2014).



شکل ۲- تصاویر X-ray CT Scan منافذ خاک در دونوع خاک‌ورزی (CT: خاک‌ورزی مرسوم و NT: بی‌خاک‌ورزی) و در دو عمق ۰-۱۵ و ۱۵-۳۰ سانتیمتر (مناطق سیاه=منافذ؛ مناطق خاکستری=بخش جامد؛ مناطق سفید=سنگ)

نتیجه‌گیری:

بر اساس یافته‌های این پژوهش بیشترین افزایش کربن آلی خاک نسبت به خاک اولیه (معادل ۱۴۴٪) در اثر اعمال سیستم بی‌خاک‌ورزی به‌مراه کاشت گیاهان پوششی مشاهده شده است که به نوبه خود منجر به بیشترین مقدار خاکدانه‌های ماکرو یا درشت در مقایسه با سیستم خاک‌ورزی مرسوم شده است. تصاویر X-ray تغییرات ساختمان خاک را به سبب اعمال دو نوع سیستم خاک‌ورزی متفاوت نشان داده است و تاثیر مثبت خاک‌ورزی حفاظتی بر منافذ خاک در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم در مناطق خشک و نیمه-خشک شرق ایران را اثبات کرده است. در نتیجه می‌توان کاربرد یک سیستم بی‌خاک‌ورزی با کاشت گیاهان پوششی و برگرداندن بقایای گیاهی به خاک را به عنوان روشی برای افزایش کربن آلی خاک، افزایش اندازه منافذ و بهبود شرایط رشد گیاهان در مناطق خشک و نیمه-خشک شرقی ایران توصیه نمود.

فهرست منابع:

- Abdollahi, L., Munkholm, L.J., Garbout, A. (2014) Tillage system and cover crop effects on soil quality: II. Pore characteristics. *Soil Science Society of America Journal* 78(1): 271-279.
- Asgarzadeh, H., Mosaddeghi, M.R., Nikbakht, A.M. (2014) SAWCal: A user-friendly program for calculating soil available water quantities and physical quality indices. *Computers and electronics in agriculture*. 109: 86-93.
- Bhattacharyya, R., Kundu, S., Pandey, S.C., Singh, K.P., Gupta, H.S. (2008) Tillage and irrigation effects on crop yields and soil properties under the rice-wheat system in the Indian Himalayas. *Agricultural water management* 95(9): 993-1002.
- Bhattacharyya, R., Prakash, V., Kundu, S., Gupta, H.S. (2006) Effect of tillage and crop rotations on pore size distribution and soil hydraulic conductivity in sandy clay loam soil of the Indian Himalayas. *Soil and Tillage Research* 86(2): 129-140.
- Blanco-Canqui, H., Shapiro, C.A., Wortmann, C.S., Drijber, R.A., Mamo, M., Shaver, T.M., Ferguson, R.B. (2013) Soil organic carbon: The value to soil properties. *Journal of Soil and Water Conservation* 68(5): 129-134.
- Chenu, C., Le Bissonnais, Y., Arrouays, D. (2000) Organic matter influence on clay wettability and soil aggregate stability. *Soil Science Society of America Journal* 64(4): 1479-1486.
- Emerson, W.W., McGarry, D. (2003) Organic carbon and soil porosity. *Soil Research* 41(1):107-118.
- Ge, G. W., Bauder, J. W. (1986). Particle-size distribution. In A. Klute (Ed.), *Methods of soil analysis: Part 1. Physical and mineralogical methods*, American Society of Agronomy: Monograph 9 (pp. 384-411). ASA/SSSA.
- Guo, Y., Fan, R., Zhang, X., Zhang, Y., Wu, D., et al. (2020) Tillage-induced effects on SOC through changes in aggregate stability and soil pore structure. *Science of the Total Environment* 703: 134617-134625.
- Jarvis, N., Forkman, J., Koestel, J., Kätterer, T., Larsbo, M., Taylor, A. (2017). Long-term effects of grass-clover leys on the structure of a silt loam soil in a cold climate. *Agriculture Ecosystems and Environment* 247: 319-328.
- Lampurlanés, J., Angás, P., Cantero-Martínez, C. (2001) Root growth, soil water content and yield of barley under different tillage systems on two soils in semiarid conditions. *Field Crops Research* 69(1): 27-40.
- Liu, K., Wiatrak, P. (2011) Corn production and plant characteristics response to N fertilization management in dry-land conventional tillage system. *International Journal of Plant Production* 5(4): 405-416.
- Marinari, S., Masciandaro, G., Ceccanti, B., Grego, S. (2000) Influence of organic and mineral fertilisers on soil biological and physical properties. *Bioresource technology* 72(1): 9-17.



- Martínez, E., Fuentes, J.P., Silva, P., Valle, S., Acevedo, E. (2008) Soil physical properties and wheat root growth as affected by no-tillage and conventional tillage systems in a Mediterranean environment of Chile. *Soil and Tillage Research* 99(2): 232-244.
- Moshiri, F., Samavat, S., Balali, M.R. (2017) Soil organic carbon: a key factor of sustainable agriculture in Iran. *Global Symposium on Soil Organic Carbon*, 21-23.
- Richards, L. A. (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils: USDA. In *Agriculture handbook* (Vol. 60). United States Salinity Laboratory.
- Shahab, H., Emami, H., Haghnia, G.H., Karimi, A. (2013) Pore size distribution as a soil physical quality index for agricultural and pasture soils in northeastern Iran. *Pedosphere* 23(3): 312-20.
- Sparks, D. L., Fendorf, S. E., Zhang, P. C., Tang, L. (1992). Kinetics and mechanisms of environmentally important reactions on soil colloidal surface. NATO advanced study institute on migration and fate of pollutants in soils and subsoils. Maratea, Italy. May 24–June 5.
- Totsche, K.U., Amelung, W., Gerzabek, M.H., Guggenberger, G., Klumpp, E., Knief, C., Lehndorff, E., Mikutta, R., Peth, S., Prechtel, A., Ray, N. (2018) Microaggregates in soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 181(1): 104-36.
- Walkley, A., Black, I. A. (1934). An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37: 29–37.

Effect of conservation tillage on soil organic carbon (SOC) content and soil pores in arid and semi-arid regions

Elham Farahani

Soil and Water Research Institute of Iran, Karaj, Iran, Corresponding author Email; e_farahani@areeo.ac.ir

Abstract:

Soil organic carbon (SOC) content normally influences soil structural stability, pore size and plant growth especially in arid and semi-arid regions with low SOC. Present research focused on soil structure status under conventional and conservation tillage (no-till) systems with cover crop cultivation in arid and semi-arid region of northeastern Iran in random complete block design after 3 years of establishment. Aggregate size range, soil pores properties (using X-ray CT Scan) and root growth condition were determined in two tillage systems. Findings of this research showed that addition of cover crop (clover) residues into the soil in no-till system increased SOC in arid and semi-arid regions with low soil organic matter and it could increase structural stability, size and connectivity of pores and root growth. Therefore, no-till system can be recommended as an effective system on increase of soil organic carbon content, soil pore size and macro-aggregates and in general to improve soil structural status in arid and semi-arid regions of northeastern Iran.

Keywords: organic matter, macro-aggregates, no-till, soil structure, X-ray images