19th Iranian Soil Science Congress
16-18 September, 2025

نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۲۵ تا ۲۷ شهریور ۱۴۰۴

مدیریت جامع‌نگر و هوشمند خاک و آب
Holistic and Smart Soil and Water Management

۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran

نقش مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک در بهبود پایداری خاکدانه‌ها در تناوب زراعی

علیرضا توسلی[1*]، سیدعلی غفاری نژاد[2]، رحمان باریده[1]، ساغر چاخرلو[2]

۱- بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی، تبریز، آذربایجان شرقی، ایران؛ (*نویسنده مسئول: ar.tavasolee@areeo.ac.ir)

۲- موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، البرز، ایران

چکیده

درک پایداری ساختار خاک در بلندمدت به‌عنوان یکی از شاخص‌های کلیدی سلامت خاک، نقش مهمی در توسعه کشاورزی پایدار ایفا می‌کند. هدف از این پژوهش، بررسی اثر تیمارهای مختلف مدیریت حاصلخیزی بر پایداری خاکدانه‌ها در قالب یک تناوب سه‌ساله در کرت‌های دائم ایستگاه تحقیقاتی خسرو شاه بود. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با هشت تیمار مختلف شامل کاربرد کودهای شیمیایی، کود دامی و کمپوست پسماند شهری در مقادیر و تناوب‌های متفاوت، اجرا شد. شاخص میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها از عمق ۰—۳۰ سانتی‌متری پس از هر تناوب اندازه‌گیری و با آزمون‌های آماری تجزیه واریانس و دانکن تحلیل شد. نتایج نشان داد تیمارهای حاوی مواد آلی، به‌ویژه تیمار T8 (کاربرد سالانه ۲۰ تن کمپوست در دو نوبت)، تأثیر معنی‌داری در بهبود پایداری خاکدانه‌ها داشتند. این یافته‌ها نشان‌دهنده نقش مثبت مدیریت تلفیقی حاصلخیزی، به‌ویژه استفاده از منابع آلی، در بهبود خصوصیات فیزیکی خاک و ارتقای کیفیت خاک در بلندمدت است.

واژگان کلیدی: پایداری خاکدانه، مدیریت تلفیقی حاصلخیزی، کود آلی، کمپوست، تناوب زراعی

مقدمه

خاک به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی تجدید پذیر، بنیان و بستر اصلی تولیدات کشاورزی و امنیت غذایی محسوب می‌شود. این منبع ارزشمند، سیستمی پیچیده و پویا است که در نتیجه‌ی برهم‌کنش مداوم فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی شکل می‌گیرد (Diacono and Montemurro, 2010). از میان ویژگی‌های متعدد خاک، خصوصیات فیزیکی آن نقش بسیار حیاتی در پایداری و بهره‌وری سیستم‌های زراعی ایفا می‌کنند. عواملی نظیر ساختار خاک، پایداری خاکدانه‌ها، ظرفیت نگهداری آب، نفوذپذیری و تخلخل مستقیماً بر قابلیت خاک در تأمین آب و عناصر غذایی برای گیاهان، کنترل فرسایش و تنظیم تبادلات گازی مؤثرند. در نتیجه، پایش تغییرات خصوصیات فیزیکی خاک به‌ویژه در بازه‌های زمانی بلندمدت و در شرایط مدیریتی مختلف، ضرورتی انکارناپذیر برای توسعه پایدار کشاورزی است (Hofmockel et al., 2007, Dorado et al., 2003). در این میان، کرت‌های دائم به‌عنوان یکی از ارزشمندترین ابزارهای پژوهشی برای پایش و درک تغییرات بلندمدت خصوصیات خاک شناخته می‌شوند. این کرت‌ها، قطعات مشخصی از زمین زراعی هستند که طی چندین سال یا حتی چند دهه تحت تیمارهای مدیریتی ثابت، به‌صورت منظم مورد نمونه‌برداری قرار می‌گیرند. چنین آزمایش‌هایی، برخلاف مطالعات کوتاه‌مدت که صرفاً تصویری گذرا از وضعیت خاک ارائه می‌دهند، قادرند روندهای تدریجی و پنهان در تغییرات خاک را آشکار کرده و مبنایی برای ارزیابی اثرات پایدار مدیریت‌های مختلف بر ویژگی‌های فیزیکی خاک فراهم آورند (Hofmockel et al., 2007, Gami et al., 2001).

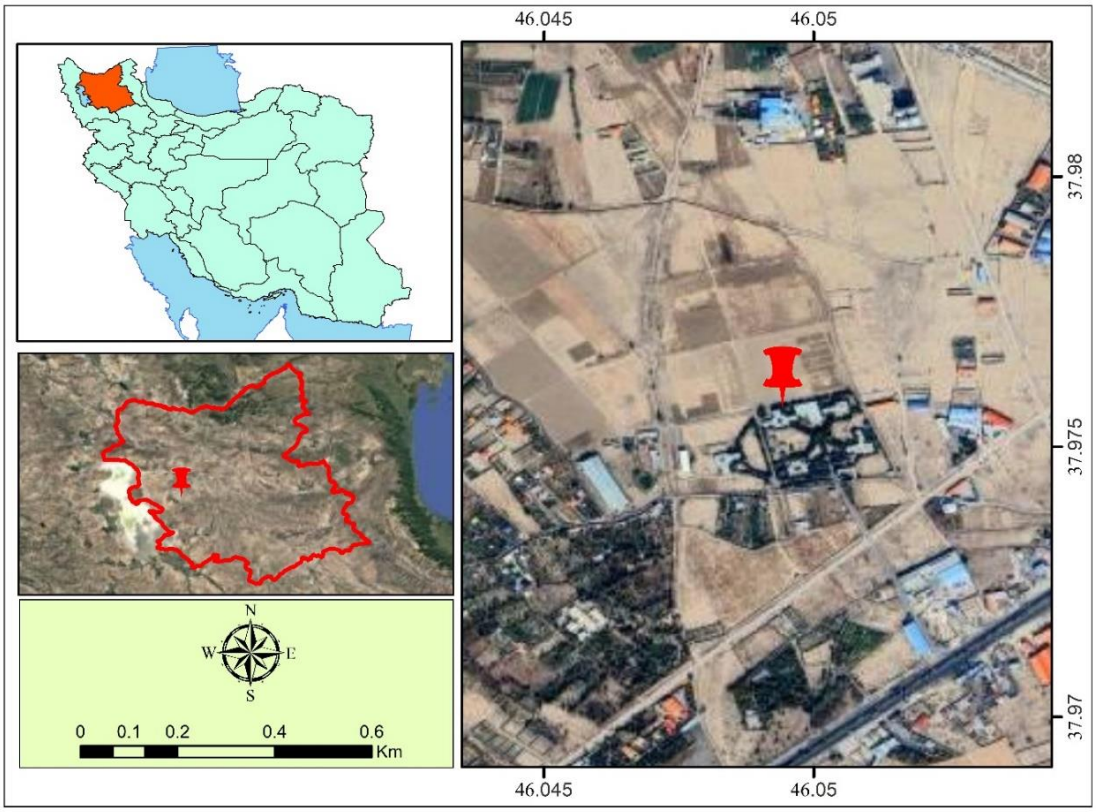
از آنجا که بسیاری از تغییرات فیزیکی خاک نظیر پایداری خاکدانه‌ها، تشکیل ساختار پایدار و تحولات کربن آلی در خاک به کندی اتفاق می‌افتند، بررسی و درک صحیح این تغییرات نیازمند دوره‌های مشاهده‌ای بلندمدت است (Diacono and Montemurro 2010).

در نهایت، با توجه به چالش‌های فزاینده‌ای نظیر تغییر اقلیم، کاهش کیفیت خاک و نیاز به افزایش بهره‌وری پایدار، کرت‌های دائم به‌عنوان آزمایشگاه‌های زنده خاک، نقش کلیدی در توسعه رویکردهای سازگار با پایداری بلندمدت کشاورزی ایفا می‌کنند. پایش منظم ویژگی‌های فیزیکی خاک در این کرت‌ها، نه‌تنها به‌عنوان شاخصی از سلامت خاک عمل می‌کند، بلکه به‌عنوان هشدار اولیه برای کاهش عملکرد و زوال تدریجی حاصلخیزی نیز شناخته می‌شود. بنابراین در این پژوهش تغییرات پایداری خاکدانه‌ها مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

محدوده مطالعاتی

این پژوهش با هدف بررسی اثر تیمارهای مختلف مدیریت حاصلخیزی بر رطوبت ظرفیت زراعی، از آبان ماه سال ۱۳۹۷ به مدت سه سال در ایستگاه تحقیقاتی خسرو شاه وابسته به مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی به اجرا درآمد. این ایستگاه در ۳۰ کیلومتری غرب شهر تبریز و در موقعیت جغرافیایی ۴۶ درجه و ۲ دقیقه شرقی و ۳۷ درجه و ۵۸ دقیقه شمالی واقع شده است. بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی کوپن، اقلیم منطقه سرد و نیمه‌خشک بوده و میانگین بلندمدت بارندگی سالانه آن حدود ۲۷۰ میلی‌متر گزارش شده است.



شکل ۱ – موقعیت مکانی محل انجام پژوهش

تیمارها

این پژوهش به‌صورت بلوک‌های کامل تصادفی با ۸ تیمار و سه تکرار در قالب تناوب گندم (کشت در مهر ۱۳۹۷)، آیش (تابستان ۱۳۹۸)، کلزا (کشت در مهر ۱۳۹۸)، سورگوم (کشت در تیر ۱۳۹۹) و گندم (کشت در آبان ۱۳۹۹) در کرت‌هایی به ابعاد ۲۰۰

مترمربع (ابعاد ۱۰ در ۲۰ متر) طراحی گردید. تیمارها شامل ۱- کشت بدون مصرف کود (شاهد)(T1)، ۲- کاربرد کودهای شیمیایی نیتروژنی، فسفری و پتاسیم بر اساس آزمون خاک(T2) ، ۳- کاربرد ۲۰ تن کود دامی هر دو سال یک‌بار بعلاوه ۷۵ درصد کود شیمیایی نیتروژن و ۵۰ درصد فسفر و پتاسیم بر اساس آزمون خاک(T3) ، ۴- کاربرد ۲۰ تن کود کمپوست پسماند شهری هر دو سال یک‌بار بعلاوه ۷۵ درصد کود شیمیایی نیتروژن و ۵۰ درصد فسفر و پتاسیم بر اساس آزمون خاک(T4) ، ۵- کاربرد سالانه ۲۰ تن در هکتار کود دامی بعلاوه ۷۵ درصد کود شیمیایی نیتروژن بر اساس آزمون خاک(T5) ، ۶- کاربرد سالانه ۲۰ تن در هکتار کمپوست پسماند شهری بعلاوه ۷۵ درصد کود شیمیایی نیتروژن بر اساس آزمون خاک(T6) ، ۷- کاربرد سالانه ۲۰ تن در هکتار کود دامی (۱۰ تن در کشت اول و ۱۰ تن در کشت دوم)(T7) و ۸- کاربرد سالانه ۲۰ تن در هکتار کمپوست پسماند شهری (۱۰ تن در کشت اول و ۱۰ تن در کشت دوم)(T8) بودند.

مدیریت مزرعه و کاربرد کودها

کودهای شیمیایی مورد استفاده شامل اوره، سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم بودند و بر اساس توصیه‌های آزمون خاک و دستورالعمل‌های مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک برای محصولات مختلف (گندم، کلزا و سورگوم) مصرف شدند. در کشت گندم، اوره در سه نوبت شامل ۲۵ درصد در زمان کاشت، ۴۰ درصد در مرحله پنجه‌زنی و ۳۵ درصد در مرحله ساقه‌روی استفاده شد. در کشت کلزا، اوره در چهار مرحله شامل ۱۰ درصد در زمان کاشت و باقی‌مانده به‌طور مساوی در مراحل روزت، ساقه‌روی و گلدهی اعمال گردید. سایر کودهای پایه نیز به‌صورت پخش سطحی با دست یا با دستگاه سانتریفیوژ قبل از کشت مصرف و با دیسک تا عمق ۲۰ سانتی‌متر با خاک مخلوط شدند. همچنین در این مطالعه از دو نوع کود آلی (کود دامی و کمپوست پسماند شهری) استفاده شد. کودهای آلی به‌صورت یکنواخت بر سطح خاک پخش و با دیسک تا عمق ۲۰ سانتی‌متر با خاک مخلوط شدند.

جدول ۱– مقدار کودهای مصرفی در هر تیمار و سال به ترتیب مربوط به سال اول (گندم)، سال دوم (کلزا، سورگوم) و سال سوم (گندم)

تیمار	اوره (کیلوگرم در هکتار)	سوپر فسفات تریپل (کیلوگرم در هکتار)	سولفات پتاسیم (کیلوگرم در هکتار)	کود دامی (تن در هکتار)	کمپوست زباله شهری (تن در هکتار)
T1	۰-۰-۰	۰-۰-۰	۰-۰-۰-۰	۰-۰-۰	۰-۰-۰
T2	۳۵۰-۳۵۰-۳۵۰-۳۵۰	۱۰۰-۱۰۰-۱۰۰-۱۰۰	۱۰۰-۱۰۰-۱۰۰-۱۰۰	۰-۰-۰	۰-۰-۰
T3	۲۶۲-۲۶۲-۲۶۲-۲۶۲	۵۰-۵۰-۵۰-۵۰	۱۰۰-۵۰-۵۰-۵۰	۲۰-۰-۲۰	۰-۰-۰
T4	۲۶۲-۲۶۲-۲۶۲-۲۶۲	۵۰-۵۰-۵۰-۵۰	۱۰۰-۵۰-۵۰-۵۰	۰-۰-۰	۲۰-۰-۲۰
T5	۲۶۲-۲۲۵-۲۶۲-۲۶۲	۰-۰-۰-۰	۰-۰-۰-۰	۲۰-۲۰-۲۰	۰-۰-۰
T6	۲۶۲-۲۲۵-۲۶۲-۲۶۲	۰-۰-۰-۰	۰-۰-۰-۰	۰-۰-۰	۲۰-۲۰-۲۰
T7	۰-۰-۰-۰	۰-۰-۰-۰	۰-۰-۰-۰	۱۰-۲۰-۱۰	۰-۰-۰-۰
T8	۰-۰-۰-۰	۰-۰-۰-۰	۰-۰-۰-۰	۰-۰-۰	۱۰-۲۰-۱۰

نمونه‌برداری و اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی خاک

پس از پایان هر تناوب زراعی، نمونه‌برداری خاک از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر در هر تیمار و سه تکرار انجام شد. به دلیل بزرگی ابعاد کرت‌ها (۲۰۰ مترمربع) حداقل سه نمونه خاک با هم مخلوط شده و یک نمونه مرکب از آن‌ها تهیه گردید و در آزمایشگاه میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها اندازه‌گیری شد. میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها به عنوان شاخصی از پایداری خاکدانه‌ها به روش الک تر و در نمونه‌های برداشت شده از لایه خاک سطحی اندازه‌گیری شد. برای تجزیه واریانس و آزمون‌های آماری از نرم‌افزار SPSS استفاده گردید.

نتایج و بحث

اثر تیمارهای مدیریت حاصلخیزی بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای مختلف حاصلخیزی بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها به‌عنوان شاخصی از پایداری خاکدانه، در سطح یک درصد معنادار بود. مقدار F محاسبه‌شده برابر با ۵/۲۵ و مقدار خطای میانگین مربع ۰/۰۸۷ محاسبه شد که نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین تیمارها در بهبود ساختار فیزیکی خاک می‌باشد.

جدول ۱ – نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مدیریت حاصلخیزی بر پایداری خاکدانه

منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدارF	سطح معنی‌داری
تیمار	۳/۱۸	۷	۰/۴۵	۵/۲۴	۰/۰۰
خطا	۷/۶۲	۸۸	۰/۰۸	–	–
کل	۱۹۲/۲۸	۹۶	–	–	–
مجموع اصلاح‌شده	۱۰/۸۰	۹۵	–	–	–

بر اساس نتایج آزمون دانکن، تیمار T8 (کاربرد سالانه ۲۰ تن کمپوست پسماند شهری در دو مرحله) با میانگین ۱/۶۸ میلی‌متر، بیشترین اثر را در افزایش پایداری خاکدانه‌ها داشت و در بالاترین گروه آماری قرار گرفت. پس از آن، تیمارهای T5، T6 و T7 نیز در گروه‌های آماری بالا قرار گرفتند و از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با تیمارهای فاقد مصرف کود یا دارای مصرف صرف کود شیمیایی (T1 و T2) داشتند. کمترین میانگین مربوط به تیمار شاهد (T1) با مقدار ۱/۱۲ میلی‌متر بود که بیانگر پایین‌ترین سطح پایداری خاکدانه و به‌تبع آن، ضعف ساختار فیزیکی خاک در این تیمار می‌باشد.

این نتایج نشان می‌دهد که استفاده از کودهای آلی به‌ویژه کمپوست پسماند شهری به‌صورت مداوم و در ترکیب با کود شیمیایی نیتروژن می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی بر بهبود پایداری خاکدانه‌ها داشته باشد. افزایش مواد آلی و فعالیت‌های میکروبی ناشی از مصرف این نوع کودها، به تثبیت ساختار خاک و تشکیل خاکدانه‌های پایدار کمک می‌کند.

جدول ۲ – مقایسه میانگین پایداری خاکدانه‌ها (میانگین وزنی قطر) تیمارهای مختلف بر اساس آزمون دانکن

تیمار	توضیح تیمار	میانگین قطر خاکدانه(mm)	گروه آماری
T1	بدون کود (شاهد)	۱/۱۲	a
T4	کمپوست هر دو سال + N۷۵ %، P٪۵۰ ، K	۱/۱۶	a
T3	کود دامی هر دو سال + N۷۵ %، P٪۵۰ ، K	۱/۲۴	ab
T2	کود شیمیایی کامل بر اساس آزمون خاک	۱/۳۲	abc
T7	کود دامی ۱۰+۱۰ تن سالانه	۱/۴۳	bcd
T6	کمپوست سالانه + N۷۵ %	۱/۴۸	cd
T5	کود دامی سالانه + N۷۵ %	۱/۵۵	de
T8	کمپوست سالانه ۱۰+۱۰ تن	۱/۶۸	e

نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان داد که مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک، به‌ویژه استفاده مستمر از کودهای آلی مانند کمپوست پسماند شهری و کود دامی، نقش مؤثری در بهبود پایداری فیزیکی خاک دارد. تیمارهایی که در آن‌ها کودهای آلی به‌صورت سالانه و در مراحل مختلف کشت مصرف شدند، به‌طور معنی‌داری موجب افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها شدند و در مقایسه با تیمارهای صرفاً شیمیایی یا شاهد، ساختار خاک بهتری را ایجاد کردند. این موضوع حاکی از آن است که ترکیب منابع

آلی با کودهای شیمیایی نه‌تنها باعث تقویت ساختار خاک، بلکه به حفظ حاصلخیزی بلندمدت و سلامت خاک نیز کمک می‌کند. در نتیجه، استفاده از مدیریت تلفیقی و مبتنی بر مواد آلی می‌تواند به‌عنوان یک راهکار مؤثر برای بهبود کیفیت خاک و پایداری سیستم‌های زراعی در مناطق نیمه‌خشک مانند شمال‌غرب ایران توصیه شود.

فهرست منابع

Diacono, M., and F. Montemurro. (2010). Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review. Agronomy for sustainable development. 30(2), 401-422.

Dorado, J., M, Zancada., G. Almendros., C. López-Fando. (2003). Changes in soil properties and humic substances after long-termamendments with manure and crop residues in dryland farming system. Journal of Plant Nutrition and Soil Scienve. 166, 31–38.

Gami, S., J. Ladha., H. Pathak., M. Shah., E. Pasuquin., S. Pandey., P. Hobbs., D. Joshy., R. Mishra. (2001). Long-term changes in yield and soil fertility in a twenty-year rice-wheat experiment in Nepal. Biology and Fertility of Soils. 34(1), 73-78.

Hofmockel, M., M.A. Callaham., D.S. Powlsonand., P. Smith. (2007). Long-term soil experiments: Keys to managing Earth's rapidly changing ecosystems. Soil Science Society of America Journal, 71(2), 266-279.

The Role of Integrated Soil Fertility Management in Improving Soil Aggregate Stability under Crop Rotation System

Alireza Tavasolee[1*], Seyed Ali Ghaffarinejad[2], Rahman Barideh[1], Saghar Chakharlou[2]

1- East Azerbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Training Center, Tabriz, East Azerbaijan, Iran (*Corresponding author: ar.tavasolee@areeo.ac.ir)

2- Soil and Water Research Institute, Karaj, Alborz, Iran

Abstract

Understanding the long-term stability of soil structure is a key indicator of soil health and plays an important role in sustainable agriculture. This study aimed to investigate the effects of different soil fertility management practices on soil aggregate stability under a three-year crop rotation system in permanent plots at the Khosrowshah Research Station. The experiment was conducted as a randomized complete block design with eight treatments including various combinations of chemical fertilizers, manure, and municipal compost. The mean weight diameter (MWD) of soil aggregates was measured from 0–30 cm depth after each crop rotation and analyzed using ANOVA and Duncan's multiple range test. Results showed that treatments containing organic amendments, particularly T8 (annual application of 20 tons ha^{-1} compost in two stages), significantly improved aggregate stability ($P < 0.01$). These findings highlight the importance of integrated fertility management and the beneficial role of organic inputs in enhancing soil physical properties and long-term soil quality.

Keywords: Soil aggregate stability, Integrated fertility management, Organic fertilizer, Compost, Crop rotation