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 نگهداشت رطوبت در تناوب زراعی

رحمان باریده[1*]، علیرضا توسلی[1]، سیدعلی غفاری نژاد[2]، احمد بایبوردی[1]

۱- بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی، تبریز، آذربایجان شرقی، ایران؛ (*نویسنده مسئول: rahman.barideh@gmail.com)

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

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی اثر تیمارهای مختلف مدیریت حاصلخیزی خاک بر رطوبت ظرفیت زراعی (FC) در تناوب زراعی گندم، کلزا و سورگوم، به مدت سه سال در ایستگاه تحقیقاتی خسرو شاه در اقلیم نیمه‌خشک آذربایجان شرقی اجرا شد. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با هشت تیمار حاصلخیزی (شامل ترکیباتی از کودهای دامی، کمپوست و کود شیمیایی) و سه تکرار انجام گرفت. نتایج نشان داد که تیمارهای حاصلخیزی اثر معنی‌داری بر FC داشتند ($P<0.01$)، به‌طوری‌که تیمار ترکیبی کود دامی و شیمیایی سالانه بیشترین رطوبت ظرفیت زراعی را داشت. در مقابل، نوع گیاه زراعی تأثیر معنی‌داری بر FC نداشت. این نتایج اهمیت استفاده از ترکیب مناسب مواد آلی و معدنی را در بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک و ارتقای کارایی نگهداشت آب در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک نشان می‌دهد.

واژگان کلیدی: مدیریت حاصلخیزی خاک، رطوبت ظرفیت زراعی، کود آلی و شیمیایی، 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).

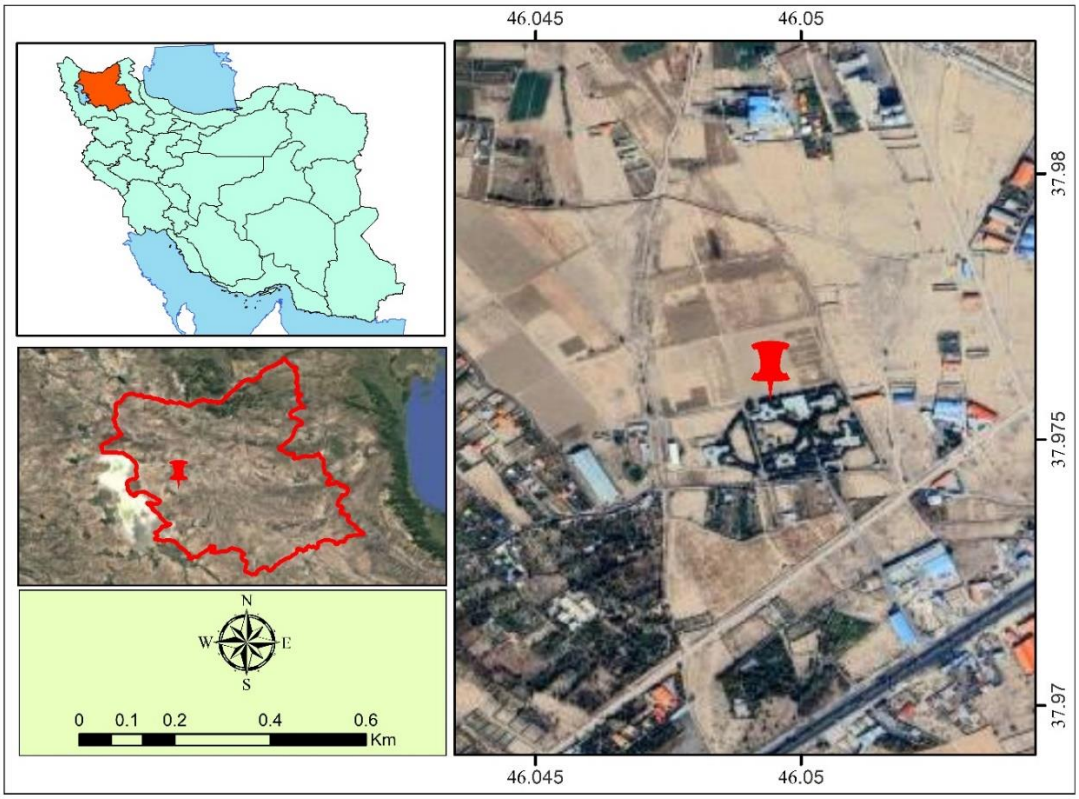
از آنجا که بسیاری از تغییرات فیزیکی خاک نظیر پایداری خاکدانه‌ها، تشکیل ساختار پایدار و تحولات کربن آلی در خاک به کندی اتفاق می‌افتند، بررسی و درک صحیح این تغییرات نیازمند دوره‌های مشاهده‌ای بلندمدت است (Diacono and Montemurro 2010).

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 رطوبت ظرفیت زراعی 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
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 رطوبت خاک در ظرفیت زراعی اندازه‌گیری شد. برای تجزیه واریانس و آزمون‌های آماری از نرم‌افزار SPSS استفاده گردید.

نتایج و بحث

اثر تیمارهای مدیریت حاصلخیزی بر رطوبت ظرفیت زراعی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای مختلف حاصلخیزی بر رطوبت ظرفیت زراعی خاک در سطح یک درصد معنادار بود. مقدار آماره F برابر با ۴۳ و مقدار میانگین مربعات تیمارها (۸۹) نشان از تفاوت معنی‌دار بین تیمارها دارد.

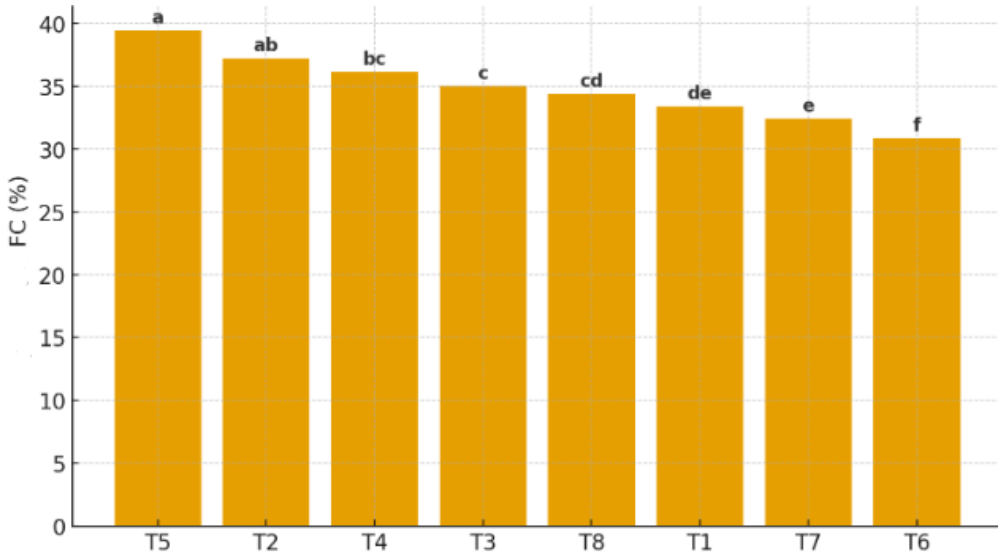
همچنین ضریب تعیین نشان می‌دهد که حدود ۷۷ درصد تغییرات رطوبت ظرفیت زراعی توسط تیمارهای مدیریتی توضیح داده می‌شود که نشان‌دهنده تأثیر قابل توجه نوع مدیریت حاصلخیزی بر نگهداشت رطوبت در خاک است.

جدول ۲ – نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مدیریت حاصلخیزی بر رطوبت ظرفیت زراعی خاک

منبع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	آماره F	سطح معنی‌داری
مدل	۷	۶۲۵	–	–	–
تیمار	۷	۶۲۵	۸۹	۴۳	۰/۰۰۱<
خطا	۸۸	۱۸۲	۲	–	–
کل	۹۵	۸۰۷	–	–	–

بر اساس آزمون دانکن، تیمار T5 (کاربرد سالانه ۲۰ تن کود دامی بعلاوه ۷۵ درصد کود شیمیایی نیتروژن) با میانگین ۳۹ درصد بیشترین مقدار رطوبت ظرفیت زراعی را به خود اختصاص داد و در بالاترین گروه آماری قرار گرفت. پس از آن، تیمار T2 (کود شیمیایی بر اساس آزمون خاک) و T4 (کمپوست + کود شیمیایی) نیز از نظر آماری در رتبه‌های بالاتری قرار گرفتند. در مقابل، تیمار T6 (کمپوست + نیتروژن شیمیایی) کمترین مقدار FC را با میانگین ۳۰/۸۸ درصد داشت که با تیمار T7 (کود دامی بدون کود شیمیایی) و T1 (شاهد بدون کود) در پایین‌ترین گروه آماری قرار گرفت.

این نتایج بیانگر آن است که استفاده از کود دامی به‌صورت منظم، به دلیل نقش آن در افزایش ماده آلی خاک، بهبود پایداری خاکدانه‌ها و ارتقای ظرفیت تبادل کاتیونی، می‌تواند به‌طور مؤثری رطوبت خاک را افزایش دهد (Dorado et al., 2003). همچنین کاربرد ترکیبی کودهای آلی و معدنی سبب هم‌افزایی در بهبود ساختمان خاک و افزایش نفوذپذیری و تخلخل می‌شود (Diacono and Montemurro, 2010). در مقابل، استفاده صرف از کمپوست یا تیمارهای بدون مکمل کافی کود شیمیایی، به دلیل معدنی‌شدن کند مواد آلی و کمبود عناصر غذایی در کوتاه‌مدت، نتایج ضعیف‌تری به همراه داشت. یافته‌های حاضر همسو با مطالعات بلندمدت Hofmockel et al. (2007) و Gami et al. (2001) است که نشان داده‌اند ترکیب مواد آلی و معدنی بیشترین پایداری خاک و بهره‌وری زراعی را ایجاد می‌کند.



شکل ۲ – مقایسه میانگین FC تیمارهای مختلف بر اساس آزمون دانکن

اثر نوع کشت بر رطوبت ظرفیت زراعی

نتایج تجزیه واریانس برای اثر نوع گیاه زراعی نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین گندم، کلزا و سورگوم از نظر FC وجود ندارد (جدول ۳). اگرچه میانگین FC در کشت کلزا کمی بالاتر از سایر کشت‌ها بود، اما این تفاوت از نظر آماری معنادار نبود.

این یافته را می‌توان به غلبه اثر مدیریت حاصلخیزی نسبت به نوع گیاه زراعی نسبت داد. در واقع، تغییرات خصوصیات فیزیکی خاک به‌ویژه ظرفیت نگهداری آب، فرایندی کند و بلندمدت است و در بازه زمانی سه‌ساله، تأثیر نوع کشت چندان مشهود نمی‌باشد (Diacono and Montemurro, 2010). همچنین مطالعات مشابه (Hofmockel et al., 2007) تأکید کرده‌اند که در آزمایش‌های بلندمدت، نقش نوع مدیریت بسیار پررنگ‌تر از اثر نوع محصول بوده است. بنابراین، یافته حاضر نشان می‌دهد که اتخاذ مدیریت تلفیقی حاصلخیزی، نسبت به انتخاب نوع گیاه زراعی، اهمیت بیشتری در بهبود نگهداشت رطوبت خاک دارد.

جدول ۳ – نتایج تجزیه واریانس اثر نوع کشت بر رطوبت ظرفیت زراعی خاک

منبع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	آمارهF	سطح معنی‌داری
مدل	۲	۱۲	–	–	–
نوع کشت	۲	۱۲	۶	۰/۷۱۴	۰/۴۹۳
خطا	۹۳	۷۹۵	۸	–	–
کل	۹۵	۸۰۷	–	–	–

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این تحقیق، استفاده از کودهای آلی به‌ویژه کود دامی در ترکیب با مقادیر بهینه کود شیمیایی نیتروژنی، می‌تواند به‌طور مؤثری رطوبت ظرفیت زراعی خاک را افزایش دهد و پایداری خصوصیات فیزیکی خاک را بهبود بخشد. تیمارهایی که کود آلی را به‌صورت منظم و همراه با نیتروژن معدنی دریافت کرده‌اند، بیشترین اثر مثبت را بر FC نشان دادند. در مقابل، استفاده صرف از کمپوست یا تیمارهای بدون کود، نتایج ضعیف‌تری به همراه داشت. از سوی دیگر، عدم تفاوت معنی‌دار بین کشت‌های مختلف نشان می‌دهد که نقش مدیریت حاصلخیزی خاک بر خصوصیات فیزیکی، پررنگ‌تر از نوع گیاه زراعی است. بنابراین، اتخاذ راهکارهای تلفیقی حاصلخیزی مبتنی بر مواد آلی و معدنی می‌تواند به عنوان رویکردی مؤثر برای حفظ رطوبت خاک و پایداری تولید در مناطق نیمه‌خشک 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 Water Retention under Crop Rotation Systems

Rahman Barideh[1*], Alireza Tavasolee[1], Seyed Ali Ghaffarinejad[2], Ahmad Baybordi[1]

1- East Azerbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Training Center, Tabriz, East Azerbaijan, Iran (*Corresponding author: rahman.barideh@gmail.com)

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

Abstract

This study was conducted to investigate the effects of different soil fertility management treatments on soil field capacity (FC) under a three-year crop rotation of wheat, canola, and sorghum. The experiment was carried out from autumn 2018 to autumn 2021 at the Khosrowshah Research Station in East Azerbaijan Province, Iran, using a randomized complete block design with eight fertility treatments and three replications. Treatments included various combinations of organic manures, municipal compost, and chemical fertilizers. The results showed that fertility treatments had a significant effect on FC ($P<0.01$), while crop type had no significant impact. The highest FC was observed in the treatment combining annual application of 20 tons per hectare of manure with 75% of recommended nitrogen fertilizer. In contrast, treatments relying solely on compost or lacking fertilizers resulted in significantly lower FC values. These findings highlight the importance of integrated nutrient management in improving soil physical properties and water retention in semi-arid regions.

Keywords: Soil fertility management, Field capacity, Organic and chemical fertilizers, Crop rotation