



Evaluation of the Effects of Different Rates and Sources of Organic Materials on Water Use Efficiency in Wheat Cultivation under Saline Conditions

Parisa Mashayekhi¹ | Mohsen Dehghani²

1. Corresponding Author Soil and Water Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Isfahan, Iran. E-mail: p.mashayekhi@areeo.ac.ir

2. Soil and Water Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Isfahan, Iran. E-mail: mdehqani@gmail.com

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Apr. 29, 2026

Revised: May. 20, 2026

Accepted: May. 29, 2026

Published online: Aug. 2026

Keywords:

**Organic matter,
Salinity,
Water requirement,
Yield**

ABSTRACT

This study was conducted to evaluate the effect of different sources and levels of organic matter on water use efficiency in wheat cultivation under saline conditions at the Rudasht Salinity Research Station in Isfahan. The experiment was carried out using a split-plot arrangement based on a randomized complete block design with three replications. The main factor consisted of organic matter (well-decomposed farmyard manure and municipal waste compost), and the sub-factor was the level of organic matter (0, 10, and 20 tons per hectare). The salinity of irrigation water was maintained at 8 dS m⁻¹ throughout the experiment. Soil analysis results indicated that the type of organic matter had a significant effect only on the final water infiltration rate, with farmyard manure showing a superior impact on this soil physical property compared with compost. In contrast, different levels of organic matter had highly significant effects ($P < 0.001$) on all agronomic traits, including thousand-grain weight, grain and straw yield, and water use efficiency (WUE). On average, the application of organic matter increased grain yield by 23% and straw yield by 30% compared with the control treatment under saline conditions. Moreover, the application of both compost and farmyard manure at both rates significantly improved water use efficiency in wheat. Water use efficiency increased from 0.44 kg m⁻³ in the control treatment to 0.54 and 0.57 kg m⁻³ under the 10 and 20 t ha⁻¹ treatments, respectively. Overall, the application of organic amendments at both studied rates increased water use efficiency in wheat by an average of 25% compared with the control.

Cite this article: Mashayekhi, M., Dehghani, M., (2026) Evaluation of the Effects of Different Rates and Sources of Organic Materials on Water Use Efficiency in Wheat Cultivation under Saline Conditions, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 57 (6), 1307-1320. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2026.413495.670128>

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2026.413495.670128>



EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Salinity is one of the most prominent environmental constraints affecting agricultural productivity worldwide, particularly in arid and semi-arid regions such as central Iran. High concentrations of soluble salts in the soil or irrigation water adversely influence plant growth by reducing osmotic potential, disturbing nutrient uptake, and impairing soil physical conditions. Among cereal crops, *Triticum aestivum* L. (bread wheat) is relatively sensitive to salinity stress, which often results in reduced germination rate, stunted growth, lower leaf area, and ultimately, decreased grain and straw yields. These limitations are further compounded by restricted water availability and poor soil structure that typically accompanies salinized environments. Therefore, developing sustainable soil management strategies to alleviate salinity effects and enhance water use efficiency is a major concern in modern agronomy.

Organic amendments have long been recognized as a key component of sustainable soil and water management. Their multifaceted role involves improving soil aggregation, increasing water retention, enhancing microbial activity, and providing a slow-release source of essential plant nutrients. Organic materials such as farmyard manure and composted municipal wastes possess the potential to restore fertility and enhance soil's buffering capacity against salt accumulation. Farmyard manure, being rich in both organic colloids and humic compounds, typically enhances infiltration and aeration, while compost contributes to the gradual improvement of nutrient cycling. Previous studies have reported that organic matter can mitigate the adverse effects of high electrical conductivity (EC) in irrigation water by promoting ion exchange, reducing sodium adsorption ratio (SAR), and increasing the effective soil porosity. Despite these well-established benefits, quantitative evaluations of how different sources and rates of organic matter interact with salinity to influence water use efficiency (WUE) in wheat remain limited, particularly under field conditions.

Materials and Methods

This study was conducted to evaluate the effect of different types and levels of organic matter on water use efficiency in wheat cultivation under saline conditions at the Rudasht Salinity Research Station in Isfahan. The experiment was carried out using a split-plot arrangement based on a randomized complete block design with three replications. The main factor was the type of organic matter (well-decomposed farmyard manure and municipal waste compost), and the sub-factor was the level of organic matter (0, 10, and 20 tons per hectare). The salinity of irrigation water was maintained at 8 dS m⁻¹ throughout the experiment. Each experimental plot measured 3 × 5 m with proper drainage channels between replicates. Organic amendments were incorporated evenly into the surface soil layer (0–30 cm depth) two weeks before sowing. Fertilization program followed local recommendations with identical basal application of nitrogen, phosphorus, and potassium across all treatments to maintain consistency. Irrigation was scheduled according to crop water requirement and evapotranspiration data, using saline water with fixed EC during the entire period. Standard control of pests and weeds was implemented, ensuring equal management across plots to isolate the effect of organic matter. The need for leaching fraction (leaching requirement) was calculated and incorporated.

Soil physical properties include Bulk density, infiltration rate, and field capacity and plant wilting point were determined after harvest. Soil chemical properties such as EC, sodium adsorption ratio (SAR), and organic carbon were analyzed using conventional analytical methods. Thousand-grain weight, grain yield, straw yield, and water use efficiency (WUE) were measured. Data were subjected to analysis of variance (ANOVA) using SAS software version 9.1.

Results

The type of organic matter significantly affected the final infiltration rate. Plots receiving farmyard manure exhibited higher infiltration compared with compost-amended plots. This improvement was attributed to better aggregation and soil structure due to manure's fibrous organic content. Other soil parameters such as pH and EC did not differ significantly between sources but tended to stabilize under organic treatment compared with the control. Organic carbon content increased by 50% on average after the application of organic matter.

The levels of organic matter had a highly significant effect ($P < 0.001$) on all yield components. Mean grain yield rose from 4350 kg ha⁻¹ in the control to approximately 5275 kg ha⁻¹ and 5452 kg ha⁻¹ in the 10 t ha⁻¹ and 20 t ha⁻¹ treatments, respectively — representing about a 23% average increase compared with the control. Similarly, straw yield exhibited marked enhancement, with the highest value recorded at the 20 t ha⁻¹ level, showing a 30% increase over the control plot. Despite the higher absolute yields at 20 t ha⁻¹, statistical analysis indicated no significant difference between the 10 t ha⁻¹ and 20 t ha⁻¹ treatments in grain yield, implying that moderate application can attain optimal productivity under saline conditions.

A major outcome of this study was the significant enhancement in water use efficiency caused by organic matter application. Statistical analysis revealed that both levels significantly differed from the control ($P < 0.001$), but not from one another, indicating that WUE improvement could be achieved effectively even at the lower application rate.

Measurements of thousand-grain weight indicated clear improvement under organic treatments. In the control, TGW averaged 36 g, while in the 10 t ha^{-1} and 20 t ha^{-1} treatments it reached 41 g and 42 g, respectively. This likely reflects better nutrient availability (particularly nitrogen and potassium) and less physiological stress during grain filling. The overall biomass accumulation also rose substantially, contributing to enhanced straw yield. No evidence of phytotoxicity or excessive organic decomposition was detected during the growing season.

Conclusions

The results of this experiment demonstrate the tangible benefits of organic matter management on water use efficiency and yield of wheat under saline irrigation conditions. Application of organic materials, whether farmyard manure or municipal compost, significantly improved soil physical properties, moderated salt effects, and enhanced plant productivity. The most notable outcomes include:

Improved soil infiltration and structure: Farmyard manure exerted superior influence, promoting more uniform water movement and reduced surface runoff under saline stress.

Increased grain and straw yield: Organic matter application ($10\text{--}20 \text{ t ha}^{-1}$) enhanced wheat performance by 23–30% relative to control, reflecting better nutrient availability and balanced soil environment.

Enhanced water use efficiency: WUE improved significantly with organic additions, indicating higher yield per unit of applied water—an essential goal in saline, water-limited regions.

Incorporation of organic amendments represents a cost-effective and environmentally friendly approach to mitigating salinity effects, maintaining soil health, and improving water productivity in wheat cultivation systems. Long-term monitoring and repeated application may further stabilize soil organic carbon and augment these positive responses.

In conclusion, organic matter management—regardless of source—provides a viable and sustainable strategy for saline agriculture. By enhancing the physical integrity and biological activity of the soil, it buffers plants against salt stress and optimizes water utilization. This approach can especially benefit arid regions like central Iran, where saline irrigation is unavoidable. Hence, integrating organic matter use into standard agronomic practices for wheat can facilitate resilient production systems in saline environments. Future research should focus on multi-season assessments, detailed physiological mechanisms of stress tolerance, and economic evaluations of material costs and benefits to guide practical recommendations at the farm scale.

Funding

The study was funded by the Soil and Water Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Isfahan, Iran.

Authorship contribution

For research articles with several authors, a short paragraph specifying their individual contributions must be provided. The following statements should be used “Conceptualization, P.M.; methodology, P.M and M.D.; software, P.M.; validation, P.M., M.D.; formal analysis, P.M.; investigation, P.M and M.D.; resources, P.M.; data curation, P.M.; writing—original draft preparation, P.M.; writing—review and editing, M.D.; visualization, P.M.; supervision, P.M.; project administration, P.M. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.” Please turn to the [CRediT](#) taxonomy for the term explanation. Authorship must be limited to those who have contributed substantially to the work re-reported.

All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Declaration of Generative AI and AI-assisted technologies in the writing process

No artificial intelligence tools were used in the article writing process.

Data availability statement

The datasets analyzed during the current study can be available from the corresponding author on reasonable request.

Acknowledgements

The authors would like to thank all participants in the present study.



Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, and plagiarism, and any form of misconduct.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

بررسی تأثیر منابع و سطوح مختلف ماده آلی بر کارایی مصرف آب در کشت گندم در شرایط شور

پریسا مشایخی^۱ | محسن دهقانی^۲^۱. نویسنده مسئول، عضو هیات علمی بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان ایران. رایانامه: p.mashayekhi@areeo.ac.ir^۲. عضو هیات علمی بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان ایران. رایانامه: mdehqani@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	این پژوهش با هدف بررسی تأثیر نوع و سطوح مختلف ماده آلی بر کارایی مصرف آب در کشت گندم، در شرایط شور اجرا شد. برای این منظور آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام گرفت. نوع مواد آلی فاکتور اصلی (کود دامی پوسیده شده و کمپوست زیاله شهری) و سطوح مختلف مواد آلی (۰، ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار) فاکتور فرعی بود. شوری آب آبیاری در طول انجام پروژه بر روی ۸ دسی‌زیمنس بر متر تنظیم شد. نتایج تجزیه خاک نشان داد که نوع ماده آلی صرفاً بر میزان نفوذ نهایی آب در خاک تأثیر معنی‌داری داشت و کود دامی در مقایسه با کمپوست، اثر بهتری بر این ویژگی فیزیکی خاک اعمال کرد. سطوح مختلف ماده آلی تأثیر معنی‌داری ($P < 0.001$) بر کلیه صفات زراعی از جمله وزن هزار دانه، عملکرد دانه و کاه، و کارایی مصرف آب داشتند. کاربرد مواد آلی به‌طور میانگین منجر به ۲۳ درصد افزایش عملکرد دانه و ۳۰ درصد افزایش عملکرد کاه نسبت به تیمار شاهد در شرایط شور گردید. همچنین، مصرف کمپوست و کود دامی در هر دو سطح، باعث افزایش معنی‌دار کارایی مصرف آب در گندم شد. میزان کارایی مصرف آب از ۰/۴۴ کیلوگرم بر مترمکعب در تیمار شاهد به ۰/۵۴ و ۰/۵۷ کیلوگرم بر مترمکعب در تیمارهای ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار رسید. مصرف کود آلی در هر دو سطح مورد مطالعه به‌طور متوسط کارایی مصرف آب در گندم را تا ۲۵ درصد نسبت به شاهد افزایش داد.
واژه‌های کلیدی: شوری، عملکرد، مواد آلی، نیاز آبی	
تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۲/۹	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۳/۳۰	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۴/۸	
تاریخ انتشار: شهریور ۱۴۰۵	
استناد: مشایخی؛ پریسا، دهقانی؛ محسن، (۱۴۰۵) بررسی تأثیر منابع و سطوح مختلف ماده آلی بر کارایی مصرف آب در کشت گندم در شرایط شور، مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۷ (۶)، ۱۳۲۰-۱۳۰۷. https://doi.org/10.22059/ijswr.2026.413495.670128	
ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.	© نویسندگان.
DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2026.413495.670128	





مقدمه

شوری خاک با تأثیرات شدید ناشی از تغییرات اقلیمی جهانی و فعالیت‌های انسانی، به یکی از مهم‌ترین و فراگیرترین مشکلات تخریب سرزمین در مناطق خشک، نیمه‌خشک و ساحلی در سراسر جهان تبدیل شده است (Ondrasek & Rengel, 2021). خاک شور با انباشت نمک‌ها شناخته می‌شود؛ جایی که هم میزان نمک‌های محلول و هم غلظت کاتیون‌ها از مقادیر طبیعی فراتر رفته و در نتیجه رشد عادی اغلب گونه‌های گیاهی را مختل می‌کند (Zhao et al., 2020). بر اساس گزارش سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO)، خاک‌های متاثر از شوری در سطح جهان مساحتی برابر با ۱/۳۸۱ میلیارد هکتار را پوشش می‌دهند که ۱۰/۷ درصد کل سطح خشکی‌های کره زمین را شامل می‌شود. بیشترین سهم این پدیده با ۴۲/۱ درصد مربوط به منطقه اقیانوس آرام و عمدتاً در کشورهایی مانند استرالیا، آرژانتین، قزاقستان و روسیه است. علاوه بر این، ۱/۰۳۸ میلیارد هکتار از خاک‌های جهان در معرض خطر بالقوه شوری قرار دارند (FAO, 2024). در حال حاضر حدود ۲۰ درصد از اراضی کشاورزی و ۳۳ درصد از اراضی آبی دنیا تحت تأثیر شوری هستند. این مشکل در بسیاری از مناطق جهان سالانه حدود ۱۰ درصد در حال تشدید است؛ و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰ بیش از ۵۰ درصد اراضی زراعی جهان تحت تأثیر شوری قرار گیرند (Li & Li, 2025).

وجود غلظت‌های بالای نمک در ناحیه ریشه، با ایجاد تنش اسمزی و همچنین برهم‌خوردن تعادل عناصر غذایی در خاک، باعث ایجاد اختلال در فرایندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاه شده و در نهایت رشد و نمو گیاه را محدود می‌کند (Roy & Chowdhury, 2020). در سال‌های اخیر استفاده نادرست و نامتعادل از کودهای شیمیایی همراه با مصرف کمتر کودهای آلی منجر به تخریب خاک از نظر ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی مختلف شده است. افزودن کودهای آلی نه تنها مواد مغذی را برای رشد محصولات تأمین می‌کند بلکه ویژگی‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک را نیز بهبود می‌بخشد (Adhikari et al., 2020). ده درصد از اراضی کشاورزی جهان دچار مشکل حاصلخیزی خاک است که عامل اصلی آن را فقر مواد آلی در این اراضی می‌دانند. میزان ماده آلی خاک ارتباط مستقیمی با میزان عملکرد گیاه دارد بطوریکه با افزایش هر یک درصد کربن آلی خاک میزان افزایش تولید در کشورهای در حال توسعه می‌تواند ۳۰ تا ۵۰ میلیون تن در سال افزایش یابد (مشیری و همکاران، ۱۴۰۰). گندم (*Triticum aestivum*. L) به عنوان یکی از اصلی‌ترین منابع غذایی در جهان، نقشی اساسی در امنیت غذایی ایفا می‌کند. در مناطق خشک و نیمه‌خشک، شوری خاک به عنوان یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی، رشد، عملکرد و کیفیت گندم را به طور قابل توجهی محدود می‌کند (Shrivastava & Kumar, 2015).

با توجه به گسترش شوری در مناطق خشک و نیمه‌خشک و محدودیت منابع آب، ارتقای کارایی مصرف آب در کشت گندم به یک ضرورت مدیریتی تبدیل شده است. با وجود گزارش‌های متعدد درباره اثرات مثبت مواد آلی، شواهد مزرعه‌ای درباره اثر همزمان نوع منبع و سطح مصرف ماده آلی بر کارایی مصرف آب و عملکرد گندم تحت آبیاری شور همچنان محدود و بعضاً متناقض است. از این رو، این پژوهش با هدف تعیین تاثیر منبع و سطح مصرف ماده آلی برای بهبود کارایی مصرف آب و عملکرد گندم در شرایط شوری انجام شد.

پیشینه پژوهش

مواد آلی با بهبود ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی خاک، باعث تسریع در تبادل کاتیون‌ها روی ذرات جامد خاک و شسته شدن نمک‌ها از منطقه ریشه می‌شود (Radwan et al., 2019). مصرف ماده آلی، غلظت دی‌اکسید کربن خاک را افزایش داده و یون هیدروژن را هنگام حل شدن در آب آزاد می‌کند که باعث افزایش انحلال کربنات کلسیم و آزاد سازی کلسیم بیشتر برای تبادل سدیم می‌شود (Ning et al., 2020). Abdel-Fattah and Merwad (2016) نیز علت کاهش SAR خاک در نتیجه استفاده از کمپوست را مربوط به آزاد شدن یون کلسیم از کربنات کلسیم موجود در خاک و شستشوی یون سدیم از خاک گزارش کردند. Grafton و همکاران (۲۰۱۸) تولید ترکیبات صمغی، پلی‌ساکاریدها و اسیدهای آلی تولید شده از تجزیه کمپوست را عامل بهبود ساختمان خاک و شسته شدن نمک‌های محلول از پروفیل خاک دانستند.

کمپوست به افزایش دانه‌بندی خاک، افزایش تخلخل و کاهش تراکم خاک کمک می‌کند (El-Henawy et al., 2016). تأثیر مثبت کمپوست در کاهش وزن مخصوص ظاهری و افزایش تخلخل خاک و مقادیر نفوذ آب به خاک، باعث تسهیل در شستشوی نمک‌ها از لایه فوقانی خاک و حرکت آن به لایه‌های زیرین می‌شود (Saied et al., 2017). تحقیقات نشان می‌دهند که افزایش ماده آلی خاک مستقیماً

با بهبود ساختار خاک، افزایش تخلخل و افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) همراه است که همگی به افزایش توانایی خاک برای جذب و نگهداری آب منجر می‌شوند (Oertel et al., 2016).

Mehdirt et al. (۲۰۱۸) گزارش نمودند که مواد آلی با تأثیر بر میزان نفوذ آب در خاک، ظرفیت نگهداری آب و افزایش پایداری خاکدانه‌ها، به افزایش شستشوی نمک در خاک و کاهش هدایت الکتریکی و سدیم تبادلی خاک کمک می‌کنند. در پژوهش انجام گرفته توسط Mousa (2017) نیز جرم مخصوص ظاهری و هدایت هیدرولیکی با افزایش میزان مواد آلی در خاک کاهش پیدا کرد. چنین کاهش جرم مخصوص ظاهری را می‌توان به دلیل کمبود جرم مخصوص مواد آلی و نقش مواد آلی در افزایش تجمع ذرات خاک و ایجاد خاکدانه دانست که باعث افزایش حجم ظاهری خاک و در نتیجه کاهش وزن مخصوص ظاهری می‌شود. همچنین شوری خاک از طریق کاهش جذب آب و ایجاد عدم تعادل تغذیه‌ای، سبب افت کیفیت دانه، کاهش محتوی پروتئین و اختلال در جذب عناصر غذایی توسط گیاه گندم شد (Zörb et al., 2019).

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲، در ایستگاه تحقیقاتی رودشت واقع در جنوب شرقی شهر اصفهان، با مختصات جغرافیایی ۳۲/۲۹ درجه عرض شمالی و ۵۲/۱۰ درجه طول شرقی و در ارتفاع حدود ۱۵۶۰ متر از سطح متوسط دریا، انجام شد. آزمایش برپایه کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. در این پژوهش، نوع مواد آلی عامل اصلی (شامل کود دامی پوسیده شده و کمپوست زباله شهری) و سطوح مختلف مواد آلی (۰، ۱۰ تن در هکتار و ۲۰ تن در هکتار) عامل فرعی بود. شوری آب آبیاری در طول انجام پروژه معادل ۸ دسی‌زیمنس بر متر بود. با توجه به این که در محل ایستگاه تحقیقاتی رودشت چندین چاه آب با شوری‌های مختلف موجود است، لذا برای تهیه آب با شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر، از اختلاط آب چاه‌های موجود در ایستگاه در یک استخر استفاده شد. برای هر مرحله آبیاری شوری آب با کمک دستگاه EC متر اندازه‌گیری شد.

برای انجام آبیاری ابتدا با توجه به شوری خاک و شوری آب مقدار نیاز آبشویی از رابطه ۱ محاسبه شد (Skaggs et al., 2014):

$$LR = EC_w / (5 \times EC_t - EC_w) \quad \text{رابطه ۱}$$

در این معادله EC_w میزان هدایت الکتریکی آب آبیاری (dSm^{-1})، EC_t حد آستانه تحمل گیاه به شوری و LR نیاز آبشویی می‌باشد. سپس مقدار آب مورد نیاز برای آبیاری (IW) از رابطه ۲ محاسبه گردید:

$$IW = ET / ((1 - LR) \times Ra) \quad \text{رابطه ۲}$$

که در آن ET مقدار نیاز خالص آب آبیاری، Ra راندمان آبیاری و LR نیاز آبشویی می‌باشد. بر اساس سامانه نیاز آب کشور، نیاز آبی خالص برای گندم برای منطقه شرق اصفهان معادل ۵۵۰۰ مترمکعب محاسبه شده است. آبیاری با روش سنتی غرقابی انجام گرفت. با توجه به اینکه آب با کمک لوله تا کنار کرت هدایت شده و سطح کرت‌ها کوچک بوده و تسطیح تا حتی الامکان انجام گرفته است و همچنین بر اساس پژوهش‌های انجام گرفته در ایستگاه در شرایط مشابه (Mostafazadeh-Fard et al., 2009)، راندمان آبیاری معادل ۷۰ درصد در نظر گرفته شد. بنابراین بر اساس رابطه ۲ مقدار آب آبیاری مورد نیاز برای گندم در کل دوره رشد معادل ۹۸۰۰ مترمکعب به‌دست آمد. حجم آب ورودی به هر کرت اصلی به کمک نصب کنتور در محل ورودی آب به کرت تحت کنترل قرار گرفت. دور آبیاری با احتساب مقدار تبخیر و تعرق از رابطه ۳ محاسبه و بر اساس آن زمان شروع آبیاری بدست آمده و انجام می‌گردید. لازم به ذکر است با توجه به شرایط منطقه و اقلیمی دور آبیاری عرف کشاورزان با دور آبیاری محاسبه شده تطابق داشت.

$$I = dn / Et \quad \text{رابطه ۳}$$

در رابط فوق I برابر دور آبیاری بر حسب روز و dn عمق خالص آب آبیاری بر حسب میلیمتر در روز و Et مقدار تبخیر و تعرق بین دو آبیاری بر حسب میلیمتر می‌باشد. مواد آلی مورد نظر در سطوح تعیین شده در ابتدای طرح، در کرت‌های ثابت با ابعاد ۳ متر در ۵ متر به خاک افزوده و تا عمق ۳۰ سانتی‌متری با خاک مخلوط شد. مقادیر مورد نیاز کودهای فسفر و پتاسیم بر اساس آزمون خاک همزمان با اعمال تیمارها به خاک اضافه شد. در مورد کود نیتروژنه، بر اساس آزمون خاک و مطابق با توصیه سعادت و همکاران (۱۳۹۷) در سه قسط هنگام کاشت، پنجه زنی و به خوسه رفتن مورد مصرف قرار گرفت. پس برداشت محصول ویژگی‌های مختلف فیزیکی مانند رطوبت موجود در خاک در نقطه ظرفیت مزرعه (FC) و نقطه پژمردگی دایم گیاه (PWP) با استفاده از دستگاه صفحات فشاری؛ وزن مخصوص ظاهری



به روش نمونه برداری با سیلندر نمونه برداری (ارتفاع سیلندر معادل چهار سانتیمتر و سطح مقطع معادل ۵/۳۱ سانتیمتر مربع) (Blake & Hartge, 1986)، نفوذپذیری با استفاده از نفوذسنج های استونه دوگانه (Klute, 1986) و ویژگی های شیمیایی شامل کربن آلی خاک با روش والکلی و بلک (Walkley&Black, 1934)، شوری عصاره اشباع خاک با استفاده از دستگاه Ec متر مدل Genway (Council on Soil Testing and Plant Analysis)، میزان سدیم با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر و مقادیر کلسیم و منیزیم با استفاده از روش تیتر با EDTA^۱ اندازه گیری شد. سدیم قابل جذب خاک (SAR) با استفاده از رابطه ۴ محاسبه شد (Lesch and Suarez, 2009) که در آن Na^+ ، Ca^{2+} و Mg^{2+} به ترتیب مقادیر سدیم، کلسیم و منیزیم موجود در عصاره اشباع خاک ($meqL^{-1}$) می باشد.

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \quad \text{رابطه ۴}$$

همچنین وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد کاه و کارایی مصرف آب (WUE) اندازه گیری شدند. کارایی مصرف آب (WUE) از رابطه ۵ محاسبه شد.

$$WUE = \frac{Y}{IW} \quad \text{رابطه ۵}$$

در رابطه ۵، Y عملکرد دانه ($kg ha^{-1}$)، IW آب آبیاری مصرفی ($m^3 ha^{-1}$) و WUE کارایی مصرف آب یا میزان محصول تولید شده به ازای هر مترمکعب آب مصرفی ($kg m^3$) است.

داده ها با استفاده از نرم افزار SAS نسخه ۹٫۱ از طریق تحلیل واریانس (ANOVA) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. مقایسه مقادیر میانگین صفات با آزمون چند دامنه ای دانکن و رسم نمودارها با نرم افزار Excel انجام شد. جداول ۱ و ۲ به ترتیب ویژگی های شیمیایی آب آبیاری مورد استفاده و برخی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه مورد نظر قبل از کاشت را نشان می دهد.

جدول ۱- نتایج تجزیه شیمیایی آب آبیاری

ویژگی های مورد مطالعه	هدایت الکتریکی	واکنش شیمیایی خاک / pH	کربنات	بیکربنات	کلرید	سولفات	کلسیم	منیزیم	سدیم
واحد	dSm^{-1}	-				$meqL^{-1}$			
آب آبیاری	۸/۲	۸/۴	۰	۸	۴۲/۰	۳۸/۴	۱۲/۰	۷۵/۶	

جدول ۲- نتایج آزمون خاک زمین مورد کشت قبل از کاشت

عمق	هدایت الکتریکی	اسیدیته گل اشباع	کربن آلی	فسفر	پتاسیم	Sand	Silt	Clay
cm	dSm^{-1}	-	%	$mg kg^{-1}$	%	%	%	%
۰-۳۰	۸/۱	۷/۴	۰/۸۰	۱۴/۱	۳۲۲	۱۹	۳۶	۴۵

خصوصیات شیمیایی کودهای آلی مورد استفاده نیز در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳- نتایج تجزیه شیمیایی کودهای آلی

کود آلی	واکنش شیمیایی خاک / pH	هدایت الکتریکی	پتاسیم	نیتروژن کل	فسفر کل	کربن آلی
	dSm^{-1}	%	%	%	%	%
کمپوست زباله شهری	۸/۱	۳/۸	۱/۳	۱/۹	۱/۶	۳۵
کود دامی	۸/۱	۳/۹	۰/۹۸	۲/۴	۱/۶	۳۷

نتایج و بحث

نتایج تجزیه خاک

جدول ۴ نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای مختلف مورد مطالعه را بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک نشان می‌دهد. بر این اساس سطح کودی به جز شوری و نسبت جذب سدیم، بر همه ویژگی‌های اندازه‌گیری شده تأثیر معنی‌دار در سطح یک درصد داشت. اما تأثیر نوع کود تنها بر روی میزان نفوذ نهایی آب در خاک، معنی‌دار (در سطح یک درصد) بود.

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای نوع و میزان کود آلی بر برخی ویژگی‌های خاک

منابع تغییر	درجه آزادی	شوری	SAR	OC	FC	PWP	ρ_d	نفوذ نهایی
بلوک	۲	۰/۱۶۸	۰/۰۷۸	۰/۰۰۲	۰/۷۸۹	۰/۵۳۶	۰/۰۰۵	۰/۴۰۶
نوع کود (a)	۱	^{ns} ۱/۰۷	^{ns} ۶/۶۱	^{ns} ۰/۰۰۵	^{ns} ۰/۱۵۱	^{ns} ۰/۰۱۷	^{ns} ۰/۰۰۶	^{**} ۱/۶۸۱
خطای a	۲	۰/۱۲	۱/۰۴۳	۰/۰۰۰	۰/۴۳۵	۰/۲۲۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲
سطح کود (b)	۲	^{ns} ۴/۱۴	^{ns} ۶/۳۱	^{**} ۰/۲۵۳	^{**} ۲۸/۰۴	^{**} ۹/۵۴	^{**} ۰/۱۰۷	^{**} ۲۰/۵۷
اثر متقابل a*b	۲	^{ns} ۰/۵۲	^{ns} ۳/۶۴	^{ns} ۰/۰۰۲	^{ns} ۰/۰۶۷	^{ns} ۰/۰۵۶	^{ns} ۰/۰۰۱	^{**} ۱/۱۲
خطای b	۸	۱/۰۰۹	۱/۸۷	۰/۰۰۵	۱/۹۸	۰/۱۸۹	۰/۰۰۳	۰/۰۶۷
ضریب تغییرات	-	۱۰/۶۱	۹/۵۷	۷/۴۴	۴/۶۶	۲/۳۹	۴/۵۵	۳/۶۲

نتایج مقایسات میانگین‌ها در جدول ۵ ارائه شده است. بر اساس اطلاعات ارائه شده در این جدول نوع کود تنها بر میزان نفوذ تجمعی آب در خاک تأثیر معنی‌دار داشت؛ به این صورت که از بین دو نوع کود مورد استفاده، کود دامی نسبت به کمپوست تأثیر بهتری بر این ویژگی فیزیکی خاک داشت.

جدول ۵- نتایج مقایسات میانگین تأثیر تیمارهای نوع و میزان کود آلی بر برخی ویژگی‌های خاک

تیمارهای مورد مطالعه	سطوح مختلف	شوری	SAR	OC	نفوذ نهایی	FC	pwp	ρ_d
واحد		dSm ⁻¹	-	%	cm	% وزنی		gcm ⁻³
نوع کود (a)	کود دامی (b1)	۷/۷۱a	۱۳/۶۹a	۱/۰۲a	۷/۴۹a	۳۰/۰۸a	۱۸/۱۹a	۱/۳۱a
	کمپوست (b2)	۸/۲۰a	۱۴/۹۰a	۱/۰۵a	۶/۸۷b	۳۰/۲۶a	۱۸/۲۵a	۱/۲۷a
سطح کودی (b)	بدون کود (c0)	۷/۱۳b	۱۳/۶۶a	۰/۸۱c	۵/۲c	۲۷/۰۷b	۱۶/۹۳c	۱/۴۴a
	سطح اول (c1)	۷/۹۶ab	۱۳/۷۵a	۱/۰۷b	۷/۴۸b	۳۱/۰۷a	۱۸/۲۹b	۱/۲۰b
	سطح دوم (c2)	۸/۷۹a	۱۵/۴۰a	۱/۲۲a	۸/۸۶a	۳۱/۷۴a	۱۹/۴۵a	۱/۲۲b

مصرف کود آلی صرف‌نظر از نوع آن باعث افزایش کربن آلی در خاک، مقادیر رطوبت در نقاط ظرفیت زراعی (FC) و پژمردگی دائمی گیاه (PWP) و نفوذ آب در خاک نسبت به شاهد شد. این افزایش نشان‌دهنده بهبود ظرفیت نگهداری آب در خاک است. ماده آلی با افزایش تخلخل کلی خاک، بهبود ساختار خاکدانه‌ها و افزایش جذب آب توسط ذرات آلی، توانایی خاک را برای نگهداری آب در پتانسیل‌های مزرعه و نقطه پژمردگی افزایش می‌دهد (Giacometti et al., 2021). سطح بالاتر کاربرد (۲۰ تن در هکتار) نسبت به سطح پایین‌تر (۱۰ تن در هکتار)، تأثیر بیشتری در بهبود ویژگی‌های هیدرولیکی خاک داشته است. مقدار FC در تیمار شاهد (بدون مصرف کود آلی) و تیمار ۲۰ تن در هکتار کود آلی به ترتیب ۲۷/۰۷ و ۳۱/۷۴ درصد وزنی بود (جدول ۵). همچنین با توجه به داده‌های ارائه‌شده در جدول ۵، مقدار آب قابل استفاده گیاه (اختلاف بین رطوبت در نقطه ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دائم گیاه) از ۱۰/۱۴ در تیمار بدون کود به ۱۲/۲۹ درصد وزنی در تیمار ۲۰ تن در هکتار کود آلی رسید (حدود ۲۱ درصد افزایش). Oertel و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی دریافتند که افزایش ۱۰ درصدی کربن آلی خاک می‌تواند به طور قابل توجهی FC را در خاک‌های سبک افزایش دهد، زیرا کربن آلی تمایل به تشکیل کمپلکس با ذرات معدنی و افزایش چسبندگی آن‌ها دارد.

در مطالعه‌ای دیگر Paz-Ferreiro et al. (2015)، تأیید نمود که بهبود ماده آلی خاک، به طور کلی، منجر به افزایش ظرفیت



نگهداری آب در محدوده پتانسیل‌های منفی کمتر (نزدیک به FC) می‌شود؛ هر چند که PWP نیز ممکن است با افزایش کربن آلی خاک افزایش یابد. Giacometti و همکاران (۲۰۲۱) نیز در پژوهشی، به بررسی تأثیر مواد آلی مختلف (مانند کمپوست و بقایای گیاهی) بر FC و PWP در سیستم‌های کشاورزی پایدار پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که افزودن منظم مواد آلی، به ویژه مواد آلی با پایداری بالا، به طور معنی‌داری FC را افزایش داده و پایداری ساختار خاک را بهبود می‌بخشد. این امر باعث می‌شود که آب در منافذ بزرگتر و متوسط خاک بیشتر باقی بماند و دسترسی بهتری برای گیاه فراهم شود.

همچنین در تیمار ۲۰ تن در هکتار کود آلی، وزن مخصوص ظاهری خاک به میزان ۱۵ درصد نسبت به شاهد (تیمار بدون کود) کاهش یافت. این کاهش بیانگر بهبود ساختمان خاک و افزایش تخلخل مؤثر در خاک در نتیجه وجود ترکیب آلی است (نگوین و ترن، ۲۰۲۰)؛ این امر مستقیماً با افزایش ماده آلی، که جایگزین ذرات معدنی سنگین‌تر شده و ساختمان دانه‌ای خاک را بهبود می‌بخشد، مرتبط است. کاهش وزن مخصوص ظاهری، نفوذپذیری آب را بهبود بخشیده و به کاهش تنش‌های فشاری بر ریشه‌ها کمک می‌کند (Bongiorno et al., 2019).

در نهایت کاهش جرم مخصوص ظاهری و بهبود ساختار خاک در سطوح بالاتر کودی، به طور طبیعی منجر به افزایش سرعت و عمق نفوذ آب در خاک شد. مطالعاتی مانند Oertel et al. (2016) نیز این رابطه را تأیید کرده‌اند. تیمار بدون کود آلی کمترین نفوذ و بیشترین محدودیت هیدرولیکی را نشان داد، درحالی‌که مصرف سطح دوم کود آلی بیشترین بهبود را ایجاد کرد. این نتایج بیانگر نقش اساسی ماده آلی در افزایش پایداری ساختمان خاک، کاهش اثرات منفی سدیم و بهبود حرکت آب در خاک شور است (Zhang, 2021). افزایش سطح کود موجب افزایش معنی‌دار کربن آلی خاک شد که نقش کلیدی در افزایش ظرفیت نگهداری عناصر غذایی و بهبود محیط ریشه دارد. مصرف ۲۰ تن در هکتار کود آلی مقدار کربن آلی خاک را به میزان ۵۱ درصد افزایش داد.

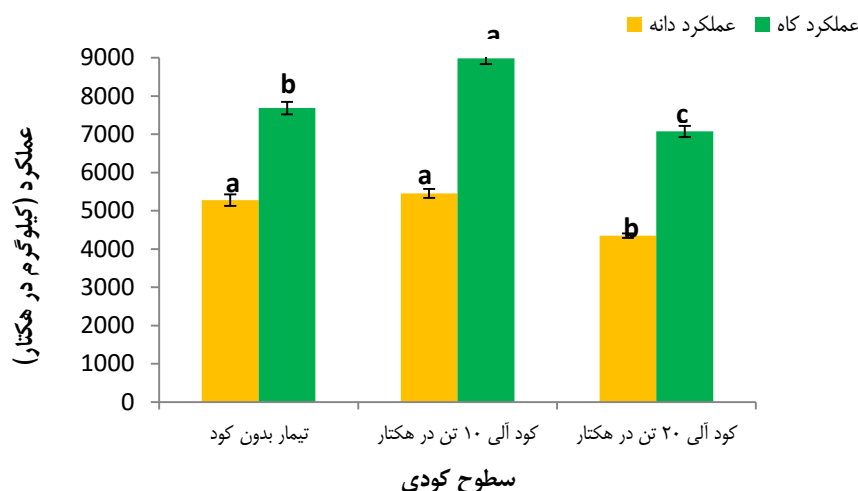
نتایج تجزیه گیاه

جدول ۶ نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای مختلف مورد مطالعه را بر عملکرد گیاه گندم و کارایی مصرف آب در این گیاه را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود نوع کود بر هیچ‌کدام از ویژگی‌های اندازه‌گیری‌شده در گیاه تأثیر معنی‌داری نداشت؛ درحالی‌که میزان کود آلی (سطح کودی) بر تمام صفات مورد بررسی، از جمله وزن هزار دانه، عملکرد دانه و کاه و کارایی مصرف آب در گیاه، تأثیر بسیار معنی‌داری ($P < 0.001$) داشته است.

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای نوع و میزان کود آلی بر برخی ویژگی‌های گیاه

WUE	عملکرد کاه	عملکرد دانه	وزن هزار دانه	درجه آزادی	منابع تغییر
۰/۰۰۲	۲۵۹۱۰۷	۱۷۷۴۲۲	۱/۶۴	۲	بلوک
۰/۰۰۰ns	۹۳۰۲۴/۲ns	۲۲۷۵۵/۶ns	۱/۲۸ns	۱	نوع کود (a)
۰/۰۰۰	۹۵۱۵۱/۴	۲۱۰۸۸/۹	۵/۸۶	۲	خطای a
۰/۰۲۲**	۶۲۸۹۹۹۴**	۲۱۰۰۵۰۶**	۵۴/۳۵**	۲	سطح کود (b)
۰/۰۰۰ns	۶۸۱۴۹/۶ns	۱۷۸۳۸/۹ns	۵/۰۰	۲	اثر متقابل a*b
۰/۰۰۱	۱۴۹۲۴۰	۹۰۱۷۲/۲	۳/۳۰ns	۸	خطای b
۵/۹۹	۴/۶۸	۵/۹۷	۵/۴۰	-	ضریب تغییرات

شکل ۱، نمودار مقایسه میانگین تأثیر تیمار سطوح ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار کود آلی بر عملکرد کاه و دانه را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است مصرف کود آلی صرف‌نظر از نوع آن باعث افزایش معنی‌دار عملکرد گیاه نسبت به تیمار بدون کود شده است. از نظر تأثیر بر عملکرد دانه اگرچه مصرف ۲۰ تن در هکتار کود آلی عملکرد بیشتری نسبت به سطح ۱۰ تن در هکتار داشت (به ترتیب ۵۴۵۱/۷ و ۵۲۵۷ کیلوگرم در هکتار)، ولی این تفاوت از نظر آماری معنی‌دار نشد. مصرف کود آلی به صورت میانگین باعث افزایش ۲۳ درصد تولید دانه نسبت به تیمار شاهد شد. بیشترین میزان عملکرد کاه در تیمار ۲۰ تن در هکتار کود آلی مشاهده شد (۸۹۸۷/۷) که در حدود ۳۰ درصد نسبت به شاهد افزایش داشت و بعد از آن تیمار ۱۰ تن در هکتار قرار داشت که معادل ۷۶۸۴/۷ کیلوگرم در هکتار بود.



شکل ۱- تأثیر سطوح مختلف کود آلی (۰، ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار) بر عملکرد دانه و گاه گیاه گندم (حروف متفاوت نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار آماری در سطح اطمینان ۹۵٪ بر اساس آزمون دانکن است)

بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک، به ویژه افزایش دسترسی به آب و کاهش تنش‌های محیطی (مانند شوری و فشردگی خاک)، مستقیماً به افزایش رشد و عملکرد گیاه گندم منجر شده است. تأثیر معنی‌دارتر در سطح کاربرد ۴۰ تن در هکتار، نشان‌دهنده نقش حیاتی مقدار کافی ماده آلی در تأمین نیازهای آبی و غذایی گیاه است. این نتایج با یافته‌های تحقیقاتی که بهبود ماده آلی را با افزایش عملکرد محصولات زراعی مرتبط می‌دانند، همخوانی دارد (Wang et al., 2020).

همچنین مصرف کود آلی باعث افزایش معنی‌دار کارایی مصرف آب در گندم نسبت به تیمار بدون کود شد و از این نظر بین دو سطح ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار تفاوت آماری مشاهده نشد (شکل ۲). بهبود خواص فیزیکی خاک، همراه با کاهش تنش‌های شوری و بهبود دسترسی به مواد مغذی در نتیجه مصرف مواد آلی، به رشد بهتر ریشه و افزایش زیست‌توده گیاهی منجر می‌شود. گیاهانی که دارای سیستم ریشه‌ای قوی‌تر و سالم‌تر هستند، قادر به جذب مؤثرتر آب و مواد مغذی از حجم بیشتری از خاک هستند. این امر به طور مستقیم باعث افزایش عملکرد دانه و گاه شده و از آنجایی که عملکرد بالاتر به ازای حجم آب مصرفی حاصل می‌شود، کارایی مصرف آب (WUE) را افزایش می‌دهد (Li et al., 2017). همچنین میانگین وزن هزار دانه در تیمارهای بدون کود، ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار به ترتیب معادل ۳۳/۵۵، ۳۰/۷ و ۳۶/۷۱ گرم بود که از نظر آماری دارای تفاوت معنی‌دار بوده و در سه گروه مختلف قرار گرفتند.



شکل ۲- تأثیر سطوح مختلف کود آلی (۰، ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار) بر کارایی مصرف آب در گیاه گندم (حروف متفاوت نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار آماری در سطح اطمینان ۹۵٪ بر اساس آزمون دانکن است)



نتیجه گیری کلی

یافته های این پژوهش نشان داد که کاربرد اصلاح کننده های آلی راهکاری مؤثر برای تعدیل تنش شوری و ارتقای بهره وری آب در کشت گندم در اراضی شور است. نتایج حاصل از این آزمایش بیانگر آن است که استفاده از کود دامی و کمپوست زباله شهری، با بهبود شاخص های فیزیکی خاک از قبیل کاهش وزن مخصوص ظاهری، افزایش نفوذپذیری و ارتقای ظرفیت نگهداری رطوبت، شرایط محیطی ناحیه ریشه را بهبود بخشیده و ضمن تسهیل فرایند آبشویی نمک، دسترسی گیاه به آب و عناصر غذایی را افزایش داده است. بر اساس نتایج به دست آمده، مصرف مواد آلی، صرف نظر از نوع منبع (کود دامی یا کمپوست)، منجر به افزایش قابل توجه عملکرد دانه (به طور میانگین ۲۳ درصد) و کاه (۳۰ درصد) و بهبود ۲۵ درصدی کارایی مصرف آب نسبت به تیمار شاهد شد. با توجه به اینکه از نظر آماری تفاوت معنی داری بین سطوح ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار در شاخص های عملکرد و کارایی مصرف آب مشاهده نشد، سطح ۱۰ تن در هکتار به عنوان رویکردی مقرون به صرفه و بهینه برای مدیریت زراعی اراضی شور توصیه می شود.

ملاحظات اخلاقی

حامی مالی

مقاله حاضر با حمایت مالی و معنوی بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، انجام شد.

مشارکت نویسندگان

جمع آوری داده ها: پریسا مشایخی؛ تهیه گزارش پژوهش: محسن دهقانی، پریسا مشایخی؛ تحلیل داده ها: پریسا مشایخی، محسن دهقانی نویسندگان به طور مساوی در کلیه مراحل طراحی و انجام پژوهش، گردآوری داده ها، تجزیه و تحلیل آماری داده ها، تحلیل و تفسیر اطلاعات و نتایج، تهیه پیش نویس مقاله، بررسی و کنترل نتایج، اصلاح، بازبینی و نهایی سازی مقاله مشارکت داشتند.

اعلامیه هوش مصنوعی مولد و فناوری های مبتنی بر هوش مصنوعی در فرایند نگارش

نویسندگان از هیچ نوع فناوری مبنی بر هوش مصنوعی در فرایند نگارش استفاده نکرده اند.

بیانیه دسترسی به داده ها

داده هایی پژوهش حاضر از طریق درخواست از نویسندگان قابل دسترسی است.

سپاسگزاری

از کلیه کسانی که به نوعی در انجام این مطالعه مشارکت داشتند، سپاسگزاری می شود.

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده اند و این موضوع مورد تأیید همه آنهاست.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

منابع

سعادت، سعید. (۱۳۹۷). بررسی کارایی گیاه کینوا در بهبود آبشویی خاک. گزارش نهایی. طرح تحقیقاتی مصوب موسسه تحقیقات خاک و آب کشور. مشیری، فرهاد؛ صفاری، حسین؛ کشاورز، پیمان و زاهدی فرد، ندا. (۱۴۰۰). ماده آلی خاک و جایگاه آن در کشاورزی ایران، بررسی وضع موجود، تحلیل مسائل و محدودیت ها، ارائه راهکارها. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، نشریه فنی شماره ۶۰۸

REFERENCES

- Abdel-Fattah, M. K., & Merwad, A. M. A. (2016). Approach for reclamation and improving fertility of saline-sodic soils, Egypt. *Journal of Soil Science*, 56 (4), 573- 588.
- Adhikari, P., Casey, F., & Shah, S.C. (2020). Organic amendments improve soil properties and wheat productivity under saline conditions. *Agronomy Journal*, 112(5), 3573–3585.

<https://doi.org/10.1002/agj2.20272>

- Amer, M. M., & Hashem, I. M. (2018). Impact of Some Soil Amendments on Properties and Productivity of Salt Affected Soils at Kafr El-Sheikh Governorate. Egypt. Journal of Soil Science, 58(2), 177 – 191.
- Blake, G.R., & Hartge, K.H. (1986). Bulk density. In: Methods of Soil Analysis. Part 1, 2nd, Klute A. (Eds.), Agronomy. Monograph. 9. American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 363–375.
- Bongiorno, G., Giacometti, C., & Bonari, E. (2019). Soil organic matter effects on water holding capacity in sandy soils: implications for drought resilience. Agriculture, Ecosystems & Environment, 282, 75–83.
- Council on Soil Testing and Plant Analysis. (1974). Handbook on reference methods for soil testing. Council on Soil Testing and Plant Analysis, 1974. Athens, Greece.
- El-Henawy, A. S., Atta, M. H., & Antar, A. S. (2016). Impact of mole drains and N-fertilizer rates on some soil properties and sugar beet production in clay Soil. International Journal of Agricultural Research., 4 (6), 220-229, [http:// www.journalijar.com](http://www.journalijar.com), DOI: 10.21474/IJAR01.
- FAO. (2024). Global Status of Salt-affected Soils - Main Report. Rome. <https://doi.org/10.4060/cd3044en>.
- Giacometti, C., Bongiorno, G., Campi, P., & Bonari, E. (2021). Impact of organic amendments on soil physical properties and water retention in Mediterranean agricultural systems. Soil Science Society of America Journal, 85(4), 1159–1171.
- Grafton R Q, Williams J, Perry C J, Molle F, Ringler C, Steduto P. (2018). The paradox of irrigation efficiency. Science, 361(6404), 748–750.
- Khan, A., Gurmani, A.L.I.R., Khan, M.Z., Hussain, F., Akhtar, M.E., & Khan, S. (2012). Effect of humic acid on the growth, yield, nutrient composition, photosynthetic pigment and total sugar contents of peas (*Pisum sativum* L.). Journal of the Chemical Society of Pakistan, 1, 1–7.
- Klute, A. (1986). Methods of Soil Analysis. Part 1-Physical and Mineralogical Methods. 2nd ed., Agronomy No. 9. ASA/SSSA Inc., Madison, Wisconsin, USA
- Lesch, S.M., & Suarez, D.L. (2009). A short note on calculating the adjusted SAR index. Trans. ASABE, 52(2), 493–496. doi:10.13031/2013.26842
- Li, Z., & Li, X. (2025). Global trends and research hotspots on the improvement of saline soil: Insights from bibliometric analysis. Agricultural Water Management, 321, 109923. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2025.109923>
- Moshiri, F., Saffari, H., Keshavarz, P., & Zahedifard, N. (2021). Soil Organic Matter and Its Role in Agriculture in Iran Explaining the Status, Analyzing Problems and Challenges, Providing Solutions. Agricultural Research, Education & Extension Organization Soil & Water Research Institute (SWRI), Technical journal, 608.
- Mousa, A. (2017). Effect of Using Some Soil Conditioners on Salt Affected Soil Properties and Its Productivity at El-Tina Plain Area, North Sinai, Egypt. Egypt. Journal of Soil Science, 57(1), 101 – 111.
- Mostafazadeh-Fard, B., Mansouri, H., Mousavi, S.F., & Feizi, M. (2009). Effects of Different Levels of Irrigation Water Salinity and Leaching on Yield and Yield Components of Wheat in an Arid Region. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 135, 32-38.
- Ning, S., Zhou, B., Wang, Q., & Tao, W. (2020). Evaluation of irrigation water salinity and leaching fraction on the water productivity for crops. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 13(1), 170-177.
- Oertel, S., Hallett, P. D., Hodge, A., & Bengough, A. G. (2016). Effects of organic matter and soil structure on soil water retention and aeration. Geoderma, 262, 156–164.
- Ondrasek, G., & Rengel, Z. (2021). Environmental salinization processes: detection, implications & solutions. Science of Total Environment. 754, 142432. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142432>.
- Paz-Ferreiro, J., Martins, M. A., & Nunes, E. T. (2015). Soil organic matter and water retention: A meta-analysis. Science of The Total Environment, 532, 458–465.
- Radwan, E., Abou Hussien, A., & Ahmed, M. (2019). Effect of compost on properties and selectivity coefficient of salt affected soils. Menoufia Journal of Soil Science, 4(5), 237-247.
- Roy, S., & Chowdhury, N. (2020). Salt stress in plants and the role of organic amendments. Journal of Soil Science, 10(2), 123–145.
- Saadat, S. (2018). Assessment of the effectiveness of quinoa in improving soil leaching. Final report. Approved research project of the National Soil and Water Research Institute.”
- Saied, M. M., Elsanat, G. M., Talha, N. I. & El Barbary, S. M. (2017). On- Farm Soil Management Practices for Improving Soil Properties and Productivity of Rice and Wheat under Salt-Affected Soils at North



Delta. Egypt Journal of Soil Science, 57 (4); 445 – 453

- Shrivastava, P., & Kumar, R. (2015). Soil salinity: A serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 22(2), 123–131. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2014.12.001>
- Singh, A. (2021). Soil salinization management for sustainable development: a review. *Journal of Environmental Management*. 277, 111383. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111383>.
- Skaggs, T. H., Anderson, R. G., Corwin, D. L., & Suarez, D. L. (2014). Analytical steady-state solutions for water-limited cropping systems using saline irrigation water. *Water Resources Research*, 50(12), 9656–9674.
- Walkley A., and Black I.A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37: 29–38.
- Wang, W., Zhang, X., & Li, Y. (2020). Effect of soil organic matter content on hydraulic properties of arid sandy soils. *Journal of Arid Environments*, 172, 104025.
- Zhang, H. (2021). Integrated nutrient management enhances soil health and productivity of wheat under saline soils. *Agronomy*, 11(9), 1783.
- Zhao, W., Zhou, Q., Tian, Z.Z., Cui, Y.T., Liang, Y., & Wang, H.Y. (2020). Apply biochar to ameliorate soda saline-alkali land, improve soil function and increase corn nutrient availability in the songnen plain. *Science of Total Environment*. 722, 137428. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137428>.
- Zörb, C., Geilfus, C. M., Dietz, K. J. (2019). Salinity and crop yield. *Plant Biology*, 21(S1), 31–38. <https://doi.org/10.1111/plb.12884>