



Comparing the Effects of an Organic-Mineral Fertilizer and Conventional Fertilizers on Some Soil Fertility Characteristics under Corn Cultivation

Ahmad Heidari¹ | Hosein Mir Seyed Hoseini² | Aida Bakhshi Khorramdarreh³
Shaker Omarizadeh⁴ Nematollah Nazari⁵ Armin Saneei⁶

1. Corresponding Author, Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: ahaidari@ut.ac.ir
2. Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: mirseyed@ut.ac.ir
3. Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: aida_bakhshi@ut.ac.ir
4. Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: omarizadeh@ut.ac.ir
5. Academic Center for Education, Culture and Research (ACECR), Semnan Branch, Iran. Nazari.jd.mine@gmail.com
6. Academic Center for Education, Culture and Research (ACECR), Semnan Branch, Iran. armin.saneei@gmail.com

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Dec. 18, 2025

Revised: Feb. 24, 2026

Accepted: Apr. 25, 2026

Published online: May. 2026

Keywords:

*Fertilizer efficiency,
Fertilizer requirement,
Forage corn nutrition,
Slow release fertilizer.*

The aim of this study was to investigate the effect of slow-release organic-mineral fertilizer on soil fertility in two experiments with four treatments in four iterations. In the first experiment, the required NPK fertilizers for corn were used with 0, 300, 500 and 800 kg/ha of slow-release fertilizer and in the second experiment, 500 kg/ha of it was used with 0, 50, 75 and 100% of NPK. The results of the first experiment indicated that, at the intermediate stage, there were significant differences ($p=99\%$) in the available nitrogen, phosphorus, potassium, electrical conductivity (EC), pH, and total plant nitrogen. At the end stage, significant differences were also observed in soil and total plant nitrogen. Additionally, the differences in characteristics such as available phosphorus and potassium, pH, EC, as well as plant phosphorus and potassium, were significant. Results of first experiment demonstrated that the application of organic-mineral fertilizer, in combination with conventional fertilizers, improved soil characteristics in the treatments (T1, T2, and T3) compared to the control (B). In the second experiment, the control treatment (slow-release fertilizer (B+)) outperformed treatments R1, R2, and R3 regarding soil and plant nitrogen. However, for soil and plant phosphorus levels, B+ was lower than R1, higher than R2, and equal to R3. Although the soil potassium supply from B+ was lower than the other treatments, the total plant potassium was comparable to R3 and slightly lower than R1 and R2. Based on results, the slow-release fertilizer can be recommended as both standalone and supplementary fertilizer.

Cite this article: Heidari, A., Mir Seyed Hoseini, H., Bakhshi Khorramdarreh, A., Omarizadeh, Sh., Nazari, N. & Saneei, A. (2026).

Comparing the effects of an organic-mineral fertilizer and conventional fertilizers on some soil fertility characteristics under corn cultivation., *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 57 (3), 647-669. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2026.408350.670075>

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.



DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2026.408350.670075>



EXTENDED ABSTRACT

Introduction

This study aimed to compare the effect of organic-mineral sulfur fertilizer on soil fertility characteristics with common fertilizers during the growth period of corn plants and to answer the following questions: 1- What effect does adding different amounts of organic-mineral sulfur fertilizer along with fixed amounts of conventional high-dose fertilizers have on improving soil properties and the amount of macronutrients absorbed by the plant? 2- What effect does adding a fixed amount of organic-mineral sulfur fertilizer along with fixed amounts of conventional high-dose fertilizers have on improving soil properties and the amount of macronutrients absorbed by the plant?

Method

The first experiment utilized a completely randomized block design to assess the effects of various fertilizers on forage corn plants. In this experiment, the required amounts of nitrogen, phosphorus, and potassium fertilizers were applied alongside 0, 300, 500, and 800 kg/ha of slow-release organic-mineral fertilizer. This setup included four replications, resulting in a total of 16 plots. The second experiment focused on the application of 500 kg/ha of slow-release organic-mineral fertilizer, combined with 100%, 75%, 50%, and 0% of the recommended amounts of nitrogen, phosphorus, and potassium fertilizers for the forage corn plants. This experiment also comprised four replications, leading to a total of 16 plots.

Results

Laboratory measurements and analyses of soil properties in three stages before planting, mid-period and at the end of the growth period showed that in the mid-period stage, the application of different amounts of organic-mineral sulfur fertilizer along with fixed amounts of macronutrients (first experiment) common high-dose fertilizers have a greater effect than organic-mineral sulfur fertilizer on soil fertility characteristics and also the amount of NPK absorbed by the plant. While at the end of the period, the effectiveness of the application of organic-mineral fertilizer was greater than that of conventional fertilizers, causing the soil fertility characteristics and the amounts absorbed by the plant at the end of the period to be significantly better than the application of conventional fertilizers alone.

Conclusions

The effect of simultaneous application of organic-mineral fertilizer with conventional fertilizers was much greater than the application of organic-mineral fertilizer alone. However, the application of organic-mineral fertilizer alone also left better results than conventional fertilizers alone. The greatest effect of organic-mineral fertilizer was on the amount of soil nitrogen and secondarily on soil phosphorus, which were severely deficient in the soil before planting. In the case of potassium, which was present in sufficient quantities in the soil, the effect was positive but not significant. In the final conclusion, it can be said that the application of organic-mineral fertilizer alone or with 50 percent of conventional fertilizers can be very suitable for improving soil fertility characteristics and absorbing macronutrients.

Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

The study was funded by the University of Tehran, Country Islamic Republic of Iran, and Grant No. 10685570-404.

Authorship contribution

Conceptualization, Dr. Ahmad Heidari and; methodology, Dr. Ahmad Heidari and Dr. Hossein Mirseyedhoseini; software, Dr. Ahmad Heidari.; validation, Dr. Ahmad Heidari, Dr. Hossein Mirseyedhoseini and Nematollah Nazari; formal analysis, Aida Bakhshi Khorramdarreh and Shaker Omarizadeh; investigation, Dr. Ahmad Heidari; resources, Nematollah Nazari and Armin Saneei.; data curation, Aida Bakhshi Khorramdarreh; writing—original draft preparation, Dr. Ahmad Heidari; writing—review and editing, Dr. Ahmad Heidari; visualization, Dr. Ahmad Heidari; supervision, Dr. Ahmad Heidari; project administration, Dr. Ahmad Heidari; funding acquisition, Nematollah Nazari. 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

The authors declare that any AI and AI-assisted software was not used for writing process.

Data availability statement

Data would be available on request case from first author.

Acknowledgements

The authors would like to acknowledge the University of Tehran for providing grant and research facilities and Academic Center for Education, Culture and Research (ACECR), Semnan Branch, Iran for producing and providing the slow-released organic-mineral fertilizer to use in this study.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, and plagiarism, and any form of misconduct. The study was approved by the Ethics Committee of the University of Tehran.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

مقایسه اثرات کاربرد یک کود آلی-معدنی کندرهش با کودهای رایج بر برخی خصوصیات حاصلخیزی خاک زیر کشت ذرت

احمد حیدری^۱ | حسین میرسیدحسینی^۲ | آیدا بخشی خرمدره^۳ | شاکر عمری زاده^۴ | نمت‌الله نظری^۵ | آرمین صانعی^۶

۱. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه:

ahaidari@ut.ac.ir

۲. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: mirsayed@ut.ac.ir

۳. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: aida_bakhshi@ut.ac.ir

۴. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: omarizadeh@ut.ac.ir

۵. جهاددانشگاهی استان سمنان، سمنان، ایران. رایانامه: Nazari.jd.mine@gmail.com

۶. جهاددانشگاهی استان سمنان، سمنان، ایران. رایانامه: armin.saneei@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	هدف این مطالعه بررسی تاثیر کود آلی-معدنی کندرهش بر حاصلخیزی خاک در قالب دو آزمایش با چهار تیمار و چهار تکرار بود. در آزمایش اول کودهای NPK مورد نیاز ذرت، به همراه ۰، ۳۰۰، ۵۰۰ و ۸۰۰ کود کندرهش، و در آزمایش دوم مقدار ۵۰۰ kg/ha کود کندرهش با ۰، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد از کودهای NPK مورد نیاز ذرت به کار رفت. نتایج آزمایش اول نشان داد که در مرحله میان-دوره نیتروژن، فسفر و پتاسیم قابل دسترس، EC، pH، فسفر، پتاسیم و نیتروژن کل همگی دارای اختلاف معنی‌دار (p=99%) هستند. ولی در پایان دوره رشد نیتروژن خاک، و نیتروژن کل گیاه فاقد اختلاف معنی‌دار بودند. ولی اختلاف اغلب خصوصیات شامل فسفر و پتاسیم قابل دسترس و pH، EC، و درصد فسفر و پتاسیم گیاه معنی‌دار بود. نتایج آزمایش اول نشان داد که استفاده از کود آلی-معدنی کندرهش به همراه کودهای رایج باعث بهبود اغلب خصوصیات حاصلخیزی خاک در تیمارهای آزمایش (T1، T2 و T3) نسبت به شاهد (B) شد. نتایج آزمایش دوم نشان داد که تیمار شاهد کود کندرهش (B+) به تنهایی، از نظر تامین نیتروژن خاک و گیاه، برتر از تیمارهای R1، R2 و R3 بود. از نظر فسفر خاک و گیاه کم‌تر از R1، ولی بیشتر از R2 و هم‌تراز با R3 بود. از نظر تامین پتاسیم خاک اگرچه B+ پایین‌تر از سایر تیمارها بود، ولی از نظر پتاسیم کل گیاه هم‌تراز با R3، و کمی پایین‌تر از R1 و R2 بود. با توجه به نتایج این تحقیق کود کندرهش به عنوان کود مجزا و کود مکمل قابل توصیه است.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۹/۲۷	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۲/۵	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۲/۵	
تاریخ انتشار: خرداد ۱۴۰۵	
واژه‌های کلیدی: تغذیه ذرت علوفه‌ای، کارایی کود کود کندرهش، نیاز کودی	

استناد: حیدری، احمد؛ میرسیدحسینی، حسین؛ آیدا بخشی خرمدره؛ عمری زاده، شاکر؛ نظری، نمت‌الله و صانعی، آرمین (۱۴۰۵). مقایسه اثرات کاربرد یک کود آلی-معدنی کندرهش با کودهای رایج بر برخی خصوصیات حاصلخیزی خاک زیر کشت ذرت. مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۷ (۳)، ۶۴۷-۶۴۹



<https://doi.org/10.22059/ijswr.2026.408350.670075>

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2026.408350.670075>

مقدمه

بدون وجود تدابیر مؤثر برای حفاظت از زمین‌های زراعی و تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان از طریق مصرف مناسب کودها، پایداری تولید محصولات کشاورزی در معرض تهدید جدی قرار می‌گیرد. کودهای شیمیایی و آلی موادی هستند که با هدف تقویت و افزایش حاصلخیزی خاک به کار می‌روند و موجب بهبود کمی و کیفی عملکرد محصولات کشاورزی می‌شوند (FAO, 2019). با توجه به نیازهای متفاوت گیاهان و مقدار مواد مغذی خاک برای تأمین رشد مطلوب و حداکثر عملکرد، استفاده از کودها و مواد اصلاح کننده ضروری است. در میان عناصری که منبع تأمین آن‌ها خاک است نیتروژن بیش از همه عناصر مصرف می‌شود که هم به صورت آنیونی (NO_3^-)، و هم به شکل کاتیونی (NH_4^+) در خاک دیده می‌شود و توسط گیاه جذب می‌شود. کودهای نیتروژنی رایج شامل اوره، نترات آمونیوم، سولفات آمونیوم، فسفات آمونیوم، نترات کلسیم و نترات پتاسیم می‌باشند که به یکی از اشکال مذکور، نیتروژن مورد نیاز گیاه را فراهم می‌سازند. فسفر دومین عنصر پرمصرف بعد از نیتروژن برای رشد و باروری گیاه و تأمین کیفیت و سلامت خاک می‌باشد. پتاسیم سومین عنصر ضروری مهم در رشد گیاه است و نقش مهمی در کیفیت محصول، رشد گیاه، مقاومت به تنش‌های خشکی، شوری و بیماری‌ها دارد. علیرغم وجود مقادیر کافی پتاسیم در ساختار کانی‌های معدنی تنها مقدار کمی از آن برای گیاه قابل جذب است. به همین دلیل تأمین پتاسیم، برنامه‌ریزی و مدیریت کوتاه‌مدت و بلندمدت آن لازم است که عمدتاً با استفاده از کودهای کلرید پتاسیم (KCl) و سولفات پتاسیم (K_2SO_4) تأمین می‌شود (Weil and Brady, 2017).

هدررفت کودهای شیمیایی رایج مصرفی در اثر آبشویی و یا تثبیت توسط کانی‌های رسی و یا هدررفت با فرایند فرسایش خاک از عوامل مهم از دست رفتن عناصر غذایی و عدم دسترسی آنها برای گیاهان می‌باشند. برای حل این مشکل تحقیقات زیادی در مورد پوشش‌دهی سطوح کودها با مواد آلی یا تولید کودهای کندرها در جریان است (Ramezani Tazehabad and Motamedi, 2025). تهیه و تولید ترکیباتی که ضمن آزادسازی کنترل شده عناصر غذایی، مقادیر کافی از عناصر غذایی را در دوره زمانی مناسب در اختیار گیاه بگذارد یکی از اولویت‌های صنایع تولید کود و همچنین تقاضای کشاورزان و بهره‌برداران و متخصصین محیط زیست است. یکی از راه‌حل‌های کنترل میزان آلودگی ناشی از استفاده از کودهای شیمیایی، ارائه فرمولاسیون کودهایی با عملکرد کندرهایی می‌باشد (Abbasi Esakan et al., 2025).

یکی از انواع مواد مورد استفاده برای تولید کودهای کندرها لئوناردیت (Leonardite) که اسید هیومیک و اسید فولویک قابل توجهی دارد. لئوناردیت مشابه لیگنیت دارای گروه‌های عاملی متعدد مانند کربوکسیل، هیدروکسیل و کربونیل است و مقادیر قابل توجهی نیتروژن، فسفر، پتاسیم و سایر عناصر کم مصرف دارد. علاوه بر این ارزان قیمت بوده و در طبیعت فراوان است، تخریب پذیری پایین و سازگاری با محیط زیست، باعث شده است که لئوناردیت پتانسیل بالایی برای استفاده در کشاورزی و محیط زیست داشته باشد (Abbasi Esakan et al., 2025). لئوناردیت یک ماده آلی-معدنی دارای ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی منحصر به فرد است که می‌تواند در تغذیه گیاه مورد استفاده قرار گیرد.

در پژوهشی پوشش‌دهی اوره با واکس کارنوبا (نخل کارنوبا *Copernicia prunifera*) و تهیه کودهای آهسته‌رهش اوره، زمان رهایش اوره را به شکل قابل ملاحظه‌ای افزایش داد و به علت اثر بخشی زیاد، غیرسمی و بی‌خطر بودن با موفقیت برای تهیه کودهای آهسته‌رهش اوره به کار برده شد (Ramezani Tazehabad and Motamedi, 2025). از مزایای تولید کودهای بر پایه لیگنین ویژگی‌های کندرهش، ترکیب شیمیایی و ویژگی‌های منحصر به فرد، انحلال آهسته، قابلیت جذب بالا، زیست‌سازگاری، زیست‌تجزیه‌پذیری، غیر فرار بودن، پایداری بلندمدت، آبشویی و آلودگی کمتر، بازده کودی بیشتر، می‌باشد (Sarlaki et al., 2021). لیگنین با مهار فعالیت اوره‌آز خاک، هیدرولیز اوره را به تأخیر انداخته و با جلوگیری از تبدیل نیتروژن آمونیومی به نیتروژن نیتراتی باعث افزایش بازده نیتروژن آمونیومی قابل جذب برای گیاه می‌شود (Sarlaki et al., 2021). یکی از راه‌حل‌های کنترل آلودگی ناشی از کودهای شیمیایی تهیه کودهای آهسته‌رهش می‌باشد. کود آهسته‌رهش بر پایه سدیم آلزینات و پلی‌استایرن به دلیل داشتن خاصیت هیدروژلی می‌تواند آب و عناصر غذایی را جذب نموده و در خود حفظ کند. سدیم آلزینات و پلی‌استایرن ساختار متخلخل و استحکام بالایی ایجاد می‌نماید که به دلیل زیست‌سازگاری، عدم ایجاد آلودگی زیست‌محیطی، سهولت تهیه و داشتن صرفه اقتصادی می‌تواند در مقیاس صنعتی مورد استفاده قرار گیرد. (Amiri 2017) بیان داشته است که با فشردن مواد زیستی به صورت پلت و یا گرانول و غنی‌سازی این مواد با کودهای شیمیایی، می‌توان کود کنترل‌رهش تهیه نمود که موجب افزایش رشد، کلروفیل و عملکرد گیاه ریحان می‌شود. (Seifollahi et al., 2025) گزارش دادند که کاربرد



اسید هیومیک منجر به افزایش ۵۲ درصدی واجذب نیکل شد که در مقایسه کاربرد ترکیب هیومیک اسید-فولویک اسید و فولویک اسید به تنهایی، به ترتیب موجب کاهش ۱۳ و ۳۵ درصدی واجذب نیکل نسبت به نمونه شاهد شده است. به طور کلی، یافته‌ها حاکی از پتانسیل بالای مواد هیومیکی در تغییر قابلیت دسترسی نیکل در خاک‌های آهکی و تأثیر متغیر نوع ماده هیومیکی بر رفتار این عنصر سنگین در محیط خاک است (Seifollahi et al., 2025)؛ مساله‌ای که می‌تواند در توسعه روش‌های پایدار مدیریت آلودگی فلزات سنگین، از جمله تثبیت شیمیایی یا فرآیند گیاه‌پالایی، مورد بهره‌برداری قرار گیرد. Reyhanitabar et al., (2025) گزارش نمودند که با توجه به هزینه‌های مواد اولیه، زغال سنگ تیمار مناسبی برای تسریع تولید و بهبود کیفیت کمپوست مشترک می‌باشد. از لئوناردیت به دلیل درصد بالای مواد هیومیک می‌توان در انتهای کمپوست‌شدن کود دامی به‌منظور غنی‌سازی و بهبود کیفیت کمپوست تولید شده استفاده نمود. Ghodsi, (2020) اثر مدیریت تغذیه و مصرف زئولیت بر رشد و عملکرد دانه دو رقم ذرت در شرایط کم‌آبایی را مورد مطالعه قرار داد و نتیجه گرفت که با مدیریت مناسب کودی و مصرف ۱۰ تن در هکتار زئولیت، می‌توان تا ۳۰ درصد در مصرف آب آبیاری صرفه‌جویی نمود و عملکرد دانه مناسبی از ارقام دیررس و زودرس ذرت به دست آورد. در یک گزارش دیگر Khalkhal et al., (2025) افزودن لئوناردیت در ابتدای فرایند کمپوست‌شدن پسماند جامد شهری را به دلیل افزایش شاخص‌های هوموسی شدن کمپوست مثبت ارزیابی کردند.

Heidari et al., (2025) گزارش نمودند که کاربرد کود کندر هس به عنوان مکمل کودهای استاندارد بسیار مؤثر بوده و عملکرد ذرت علوفه‌ای را نسبت به کودهای رایج بین ۴۵ تا ۴۹ درصد افزایش داده است. همچنین کاربرد کود کندر هس آلی-معدنی به تنهایی هم توانست عملکرد را حدود ۸ درصد نسبت به کودهای رایج افزایش دهد. بررسی کارایی کود کندر هس آلی-معدنی نشان داد که در پایان دوره رشد ذرت علوفه‌ای نسبت بازیافت نیتروژن، فسفر و پتاسیم به حد نهایی خود (به ترتیب ۴۸/۵۷، ۵۵/۳۶ و ۷/۴۰ درصد) رسید. نیتروژن و فسفر که کمبود آنها در خاک دیده شد، بیشترین کارایی و بازیافت را داشتند ولی پتاسیم که در خاک به اندازه کافی وجود داشت کمترین کارایی و بازیافت را دارد.

با وجود مطالعات انجام گرفته ترکیب همزمان مواد آلی-معدنی غنی از مواد آلی در قالب یک فرمولاسیون گرانول شده برای ذرت، و مقایسه نظام‌مند آن با کودهای رایج در سطوح مختلف جایگزینی، کمتر مورد بررسی قرار گرفته است. این تحقیق به بررسی امکان استفاده از کود آلی-معدنی کندر هس (تولید شده توسط جهاد دانشگاهی استان سمنان) به تنهایی و یا به صورت کود مکمل همراه با کودهای رایج در قالب دو سناریوی مختلف کاربرد، اندازه‌گیری در دو مرحله رشدی، و مقایسه آن می‌پردازد.

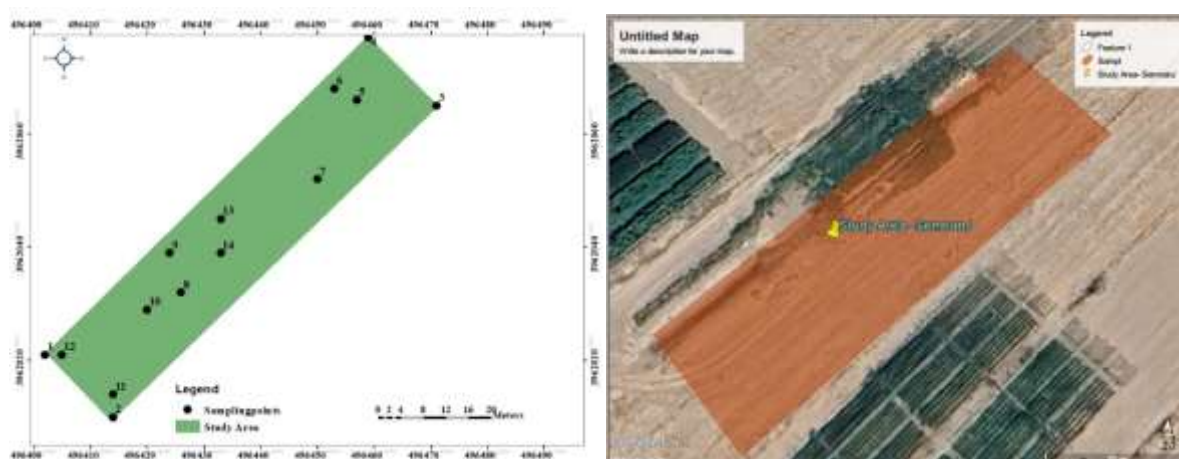
سوال‌های این تحقیق عبارت بود از اینکه: ۱- افزودن مقادیر متفاوت کود آلی-معدنی کندر هس به عنوان مکمل کودهای پرمصرف مرسوم چه تاثیری بر بهبود خصوصیات خاک و مقادیر جذب عناصر پرمصرف توسط گیاه دارد؟ ۲- استفاده مقدار ثابت از کود آلی-معدنی کندر هس به همراه درصدهای مختلف از کودهای رایج چه تاثیری بر بهبود خصوصیات خاک و مقادیر جذب عناصر پرمصرف توسط گیاه دارد؟ هدف این مطالعه مقایسه میزان اثرگذاری کود آلی-معدنی کندر هس با کودهای رایج بر خصوصیات شیمیایی حاصلخیزی خاک در دوره رشد گیاه ذرت می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی محل اجرای طرح

این طرح تحقیقاتی در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران اجرا شد. شکل ۱ موقعیت منطقه اجرای طرح را در Google Earth و موقعیت نقاط نمونه‌برداری مرکب خاک را در محیط GIS در مختصات UTM ۴۹۶۴۰۲ تا ۴۹۶۴۷۱ شرقی و ۳۹۶۲۰۱۰ تا ۳۹۶۲۰۷۱ شمالی نشان می‌دهد. زمین مورد استفاده به صورت مستمر زیر کشت محصولات مختلف بوده است به همین دلیل خصوصیات خاک قبل از اعمال تیمار و انجام کشت اندازه‌گیری شدند. قبل از اقدام به کشت ذرت (۱۷ اردیبهشت ۱۴۰۴)، عملیات زراعی لازم شامل شخم، دیسک، و ماله‌کشی انجام شد ابتدا کودها با مقادیر معین، به صورت خطی در شیارها توزیع شده و با یک لایه چند سانتی‌متری خاک پوشانده شدند. سپس بذرها با فواصل ۲۰ سانتی‌متر بر روی پشته‌هایی با فاصله ۷۵ سانتی‌متر، و شیارهایی با عمق حدود ۱۰ سانتی‌متر، به صورت دستی و با تراکم حدود ۷۰۰۰۰ بوته در هکتار، کاشته شد و در نهایت بذرها با لایه ۳-۴ سانتی‌متری خاک پوشانده شدند. آبیاری در مزرعه با سیستم آبیاری نواری اجرا و میزان آب مصرفی آبیاری با نصب کنتور اندازه‌گیری شد. رطوبت خاک همواره در محدوده بیش از ۵۰ درصد

ظرفیت مزرعه‌ای حفظ گردید.



شکل ۱. موقعیت منطقه اجرای طرح در Google Earth (چپ) و نرم‌افزار GIS (راست)

طراحی آزمایش

دو آزمایش مستقل در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی اجرا گردید. در آزمایش اول مقادیر رایج کودهای شیمیایی بر مصرف (NPK) بر اساس نیاز کودی گیاه ذرت علوفه‌ای یعنی ۳۳۵ کیلوگرم نیتروژن (معادل ۷۳۰ کیلوگرم اوره)، ۷۶ کیلوگرم فسفر (معادل ۳۷۴ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل)، و ۲۷۰ کیلوگرم پتاسیم (معادل ۶۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم) در هکتار <https://cals.cornell.edu/field-crops/corn/fertilizers-corn/table-fertilizers-corn/> به همراه ۰، ۳۰۰، ۵۰۰ و ۸۰۰ کیلوگرم از کود کندرهش آلی-معدنی مورد آزمون قرار گرفت. این کود یک گرانول فشرده شده از مواد آلی و معدنی بر پایه لئوناردیت است.

چهار تیمار شاهد (B) شامل (مقادیر رایج کود شیمیایی + بدون کود کندرهش آلی-معدنی)، تیمار T1 شامل (مقادیر رایج کود شیمیایی + ۳۰۰ کیلوگرم کود کندرهش آلی-معدنی)، تیمار T2 شامل (مقادیر رایج کود شیمیایی + ۵۰۰ کیلوگرم کود کندرهش آلی-معدنی)، تیمار T3 (مقادیر رایج کود شیمیایی + ۸۰۰ کیلوگرم کود کندرهش آلی-معدنی)، هر یک در ۴ تکرار اعمال شدند.

در آزمایش دوم مقادیر یکسان کود آلی-معدنی کندرهش (۵۰۰ kg/ha)، همراه با مقادیر ۰، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد کودهای شیمیایی رایج مورد آزمون قرار گرفت. در واقع چهار تیمار شاهد B+ (بدون مقادیر رایج کود شیمیایی + ۵۰۰ کیلوگرم کود کندرهش آلی-معدنی)، تیمار R1 (۱۰۰ درصد مقادیر رایج کود شیمیایی + ۵۰۰ کیلوگرم کود کندرهش آلی-معدنی)، تیمار R2 (۷۵ درصد مقادیر رایج کود شیمیایی + ۵۰۰ کیلوگرم کود کندرهش آلی-معدنی)، و تیمار R3 (۵۰ درصد مقادیر رایج کود شیمیایی + ۵۰۰ کیلوگرم کود کندرهش آلی-معدنی)، هر یک در ۴ تکرار در کرت‌هایی به ابعاد ۴×۲۵=۱۰۰ مترمربع به کار برده شدند.

مقادیر عناصر غذایی موجود در کودهای استاندارد مورد استفاده (شامل کود اوره معمولی $(\text{CO}(\text{NH}_2)_2)$ ، ۴۶ درصد نیتروژن، سوپرفسفات تریپل $(\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O})$ ، حدود ۴۶ درصد P_2O_5 و سولفات پتاسیم (K_2SO_4) ، حدود ۵۴ درصد K_2O می‌باشد که بر اساس مقادیر ثبت شده بر روی بسته‌های کود می‌باشد.

خصوصیات کود آلی-معدنی کندرهش

ماده اصلی مورد استفاده در این طرح "کود گرانوله آهسته‌رهش هفت‌جزیی متشکل از مواد معدنی و ارگانیک" بود که نتایج آنالیزهای آزمایشگاهی آن در جدول ۱ ارائه شده است. قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره ۱:۵ کود کندرهش آلی-معدنی برابر ۵/۳۸ dS/m می‌باشد. همچنین pH در عصاره ۱:۵ برابر ۶/۸ تعیین شده است. مقدار کربن آلی اندازه‌گیری شده در کود کندرهش آلی-معدنی ۱۶/۸۴ درصد (معادل ۲۹ درصد ماده آلی) است. همچنین مقدار نیتروژن کل اندازه‌گیری شده ۱/۰۴ درصد، مقادیر فسفر قابل دسترس ۱۱۷۵ mg/kg، معادل ۲۶۹۰ mg/kg P_2O_5 و مقدار فسفر کل در نمونه هضم شده کود (Pt) معادل ۲۳۰۰ mg/kg، معادل ۵۲۶۷ mg/kg P_2O_5 به دست آمد. در خصوص مقدار پتاسیم قابل دسترس و پتاسیم کل هم به ترتیب ۶۸۰ و ۱۴۳۴۳ mg/kg به دست آمدند که معادل ۸۱۹ و ۱۷۲۸۵ mg/kg K_2O می‌باشند که با مقادیر گزارش شده توسط سازنده کود آلی-معدنی کندرهش (جهاد دانشگاهی استان سمنان) مشابهت دارند. خصوصیات اندازه‌گیری شده با توجه به مقادیر لازم و کافی قابلیت استفاده کود آلی-معدنی کندرهش را نشان می‌دهد.



جدول ۱. خصوصیات اندازه‌گیری شده در نمونه کود کندر هس آلی-معدنی

N %	Pt %	Pav mg/kg	Kt %	Kav mg/kg	OC %	pH 1:5	EC (1:5) dS/m
۱/۰۴	۰/۲۳	۱۱۷۵	۱/۴۳	۶۸۰	۱۶/۸۴	۶/۸	۵/۳۸

N: نیتروژن؛ Pav: فسفر قابل دسترس؛ Kav: پتاسیم قابل دسترس؛ Pt: فسفر کل؛ Kt: پتاسیم کل؛ OC: کربن آلی؛ pH: واکنش کود؛ EC: قابلیت هدایت الکتریکی

میزان کربن آلی موجود در نمونه کود آلی-معدنی کندر هس با استفاده از روش والکی-بلک اندازه‌گیری شد (Walkley & Black, 1934). اندازه‌گیری نیتروژن کل موجود در نمونه کود به روش کج‌لدال انجام شد. برای اندازه‌گیری پتاسیم کل موجود در کود، کود به مدت ۴ ساعت در کوره ۵۵۰ درجه حرارت داده شد و سپس خاکستر حاصل در اسید کلریدریک ۱ نرمال هضم شد (Soil Survey Staff, 2009). اندازه‌گیری قابلیت هدایت الکتریکی (EC) و pH کود در سوسپانسیون با نسبت ۱:۵، آب-کود و pH عصاره خاک با استفاده از دستگاه pH سنج مدل JENWAY, 3510 اندازه‌گیری شد (Soil Survey Staff, 2009).

نمونه‌برداری و تجزیه‌های آزمایشگاهی خاک، گیاه و آب

نمونه‌برداری از خاک و گیاه و اندازه‌گیری‌های صحرائی لازم در هفته ششم و سیزدهم از تاریخ کاشت انجام شد. نمونه‌ها از ۱۰ نقطه مختلف در وسعتی حدود ۱۰۰۰ مترمربع برداشته شده و با یکدیگر مخلوط شدند و از الک ۴ میلی‌متری عبور داده شدند و به آزمایشگاه منتقل شدند. بافت خاک با روش هیدرومتری تعیین گردید. اندازه‌گیری قابلیت هدایت الکتریکی (EC) و pH خاک و آب با استفاده از دستگاه pH سنج مدل JENWAY, 3510 اندازه‌گیری شد. برای تعیین مقدار پتاسیم قابل استفاده، از روش استات آمونیوم ۱ نرمال با pH برابر ۷ استفاده شد (Soil Survey Staff, 2009).

نیتروژن کل گیاه پس از هضم در اسید به روش کج‌لدال تعیین شد (Skjemstad and Reeve, 1976) همچنین میزان پتاسیم و فسفر گیاه پس از سوزاندن در کوره و هضم در اسید کلریدریک ۱ نرمال به ترتیب توسط فلیم فتومتر و اسپکتروفتومتر تعیین شد (Olsen & Sommer, 1982).

تجزیه و تحلیل آماری نتایج

آنالیزهای آماری نتایج به دست آمده از دو آزمایش مستقل طراحی شده شامل ۱- مقادیر ثابت کودهای رایج با مقادیر متفاوت از کود کندر هس آلی-معدنی و ۲- مقادیر ثابت از کود کندر هس آلی-معدنی با مقادیر متفاوت از کودهای رایج هر کدام با چهار تیمار و چهار تکرار به همراه نتایج حاصل از تجزیه‌های آزمایشگاهی و سایر پارامترهای اندازه‌گیری شده به نرم‌افزار SPSS وارد شده و کلیه تحلیل‌های آماری و تفسیر نتایج شامل مقایسه میانگین‌ها (دانکن) در سطح احتمال ۹۵ درصد و ترسیم گراف‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS انجام شد و برای تکمیل جداول و نمودارها از نرم‌افزار Excel 2016 استفاده شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در جدول ۱ و همچنین نتایج ارائه شده توسط سازنده کود قابلیت استفاده عناصر غذایی این کود را برای گیاه نشان می‌دهد و با نتایج به دست آمده توسط Abbasi Esakan et al., 2025، که گزارش نمودند لئوناردیت به عنوان یک ماده مغذی گیاه حاوی مقادیر قابل توجهی نیتروژن، فسفر، پتاسیم و سایر عناصر کم مصرف، می‌تواند برای تولید کودهای کندر هس مورد استفاده قرار گیرد هم‌سو می‌باشد. جدول ۲ خصوصیات اندازه‌گیری شده در نمونه‌های مرکب خاک و نمونه آب آبیاری مورد استفاده را نشان می‌دهد. بافت خاک لومرسی می‌باشد که از نظر توزیع اندازه ذرات و قابلیت نگهداری آب خصوصیات مناسبی را دارا می‌باشد. بر اساس Weil and Brady (2017) بیشترین آب قابل دسترس برای گیاه در دو کلاس بافتی لومسیلتی و لومرسی دیده می‌شود. از نظر قابلیت هدایت الکتریکی با EC برابر ۱/۶ dS/m در کلاس خاک‌های غیر شور و از نظر pH کمی قلیایی (pH=۷/۸۸) است. کربن آلی خاک نسبتاً پایین (OC=۰/۶۱٪) بوده، درصد کربنات کلسیم معادل (CCE) حدود ۸ درصد است و میزان رطوبت خاک هواخشک حدود ۴ درصد و رطوبت خاک در ظرفیت مزرعه ۳۲ درصد و در گل اشباع ۴۶ درصد تعیین شد. مقادیر عناصر غذایی نیتروژن کل، پتاسیم و فسفر قابل دسترس به ترتیب ۰/۰۱ درصد و ۳۹۴ mg/kg و ۶ mg/kg می‌باشند. خاک مورد استفاده از نظر نیتروژن کل و فسفر قابل دسترس فقیر بوده ولی از نظر پتاسیم قابل دسترس وضعیت خوبی دارد (Weil and Brady, 2017).

جدول ۲. خصوصیات اندازه‌گیری شده در نمونه‌های مرکب خاک و نمونه آب آبیاری

نوع نمونه	خصوصیت	واحد	نتیجه اندازه‌گیری
نمونه مرکب خاک	(EC) قابلیت هدایت الکتریکی	dS/m	۱/۶
	واکنش خاک (pH)	-	۷/۸۸
	کربن آلی (OC)	%	۰/۶۱
	شن (Sand)		۲۸
	سیلت (Silt)		۵۲
	رس (Clay)		۲۰
	کربنات کلسیم معادل (CaCO ₃)		۸
	ظرفیت مزرعه (FC)		۳۲
	رطوبت خاک هواخشک		۴
	درصد اشباع (SP)		۴۶
	نیترژن (Nt)		۰/۰۱
	پتاسیم قابل دسترس (Kav)		mg/kg
	فسفر قابل دسترس (Pav)	۶	
	نمونه آب	(EC) قابلیت هدایت الکتریکی	dS/m
واکنش آب (pH)		-	۷/۷۳

آب مورد استفاده برای آبیاری دارای کیفیت نسبتاً خوب برای زراعت بوده و دارای EC برابر ۰/۷۶ dS/m، و pH کمی قلیایی (pH=۷/۷۳) است. EC آب مورد استفاده از نظر کیفیت آب برای آبیاری در محدوده C2 قرار دارد که اگر مقدار مناسبی آب آبتوی در نظر گرفته شود قابل استفاده است و گیاهان با حساسیت متوسط به شوری بدون محدودیت می‌توانند با این آب آبیاری شوند (United States Salinity Laboratory Staff, 1954).

نتایج اندازه‌گیری خصوصیات خاک و گیاه در دو مرحله میانی و پایانی آزمایش اول

آمار توصیفی نتایج آزمایش اول

جدول ۳ آمار توصیفی تجزیه‌های آزمایشگاهی نمونه‌های خاک و گیاه آزمایش اول را در مرحله میان‌دوره (هفته ششم) و پایان دوره (هفته سیزدهم) نشان می‌دهد. همانگونه که دیده می‌شود EC خاک نسبت به مرحله قبل از کاشت (EC=۱/۶ dS/m) افزایش یافته است. میانگین EC عصاره اشباع خاک در آزمایش اول به طور میانگین به ۲/۴۱ dS/m (۱/۲۱ تا ۳/۴۱) رسیده است. این میانگین در میان‌دوره ۳/۰۲ dS/m (۲/۷۲ تا ۳/۴۱) و در پایان دوره ۱/۷۹ dS/m (۱/۲۱ تا ۲/۴۹) بود (جدول ۳). این نتایج را می‌توان اثر شوری ناشی از مصرف کودهای مصرفی دانست که در مرحله میان‌دوره به شدت موجب افزایش EC و در پایان دوره به دلیل مصرف کودها توسط گیاه و آبتویی موجب کاهش قابل توجه EC شده است (Ramazanoglu et al., 2024). میانگین pH عصاره اشباع خاک قبل از کاشت ۷/۸۸ بود که در آزمایش اول به ۷/۵۷ (۷/۱۲ تا ۸/۱۷) تغییر یافت. این میانگین در میان‌دوره به ۷/۵ (۷/۱۲ تا ۷/۹۵) و در پایان دوره به ۷/۶۳ (۷/۳۷ تا ۸/۱۷) رسید (جدول ۳). اگرچه در میان‌دوره میانگین کمتر است ولی اختلاف آن با پایان دوره قابل توجه نمی‌باشد. میانگین پتاسیم قابل دسترس خاک در کل آزمایش قبل از کاشت ۳۹۴ mg/kg بود (جدول ۲) که در آزمایش اول به ۳۱۱/۷۱ mg/kg (۱۵۷/۵۱ تا ۴۶۹) رسید. این میانگین در میان‌دوره به ۴۳۴/۲۵ mg/kg (۳۹۷ تا ۴۶۹) و در پایان دوره به ۱۸۹/۱۶ mg/kg (۱۵۷/۵۱ تا ۲۳۱/۴۷) رسید (جدول ۳). این نتایج حاکی از فراهمی پتاسیم قابل دسترس از کودهای مصرفی در مرحله میان‌دوره و کاهش زیاد آن در پایان دوره و تخلیه توسط گیاه و احتمالاً تثبیت و یا آبتویی مربوط می‌شود (Ramazanoglu et al., 2024). میانگین فسفر قابل دسترس خاک در کل طرح قبل از کاشت ۶ mg/kg بود (جدول ۱) که در آزمایش اول به ۲۱/۹۹ mg/kg (با حداقل ۱۰/۹۵ و حداکثر ۴۱/۰) افزایش یافت. این میانگین در میان‌دوره به ۲۸/۳۳ mg/kg (۱۶/۶ تا ۴۱) و در پایان دوره به ۱۵/۶۵ mg/kg (۱۰/۹۵ تا ۲۰/۱۷) رسید (جدول ۳) که قطعاً افزایش مقادیر قابل دسترس ناشی از افزایش کود از ابتدای کشت تا میان‌دوره، و در نتیجه افزایش میزان جذب توسط گیاه و تثبیت در خاک (Sarikhani et al., 2018)؛ (Taghizadeh et al., 2012) مهم‌ترین عوامل موثر در این رابطه هستند. علیرغم کاهش قابل توجه در پایان دوره میزان فسفر در حد متوسط باقی‌مانده است. میانگین درصد نیترژن کل خاک قبل از کاشت ۰/۰۱ درصد بود (جدول ۱) که در آزمایش اول به ۰/۰۸ (۰/۰۵ تا ۰/۱۲) درصد افزایش یافت. این میانگین در میان‌دوره به ۰/۱ (۰/۰۹ تا ۰/۱۲) درصد و در پایان دوره به ۰/۰۶ (۰/۰۵ تا ۰/۰۷) درصد رسید



(جدول ۳) افزایش حدود شش برابری نیتروژن کل خاک در پایان دوره را می‌توان به افزودن کودها خصوصاً کود کندرهش نسبت داد. نتایج آزمایش دوم اثر کود کندرهش را بهتر نشان داده است (جدول ۶).

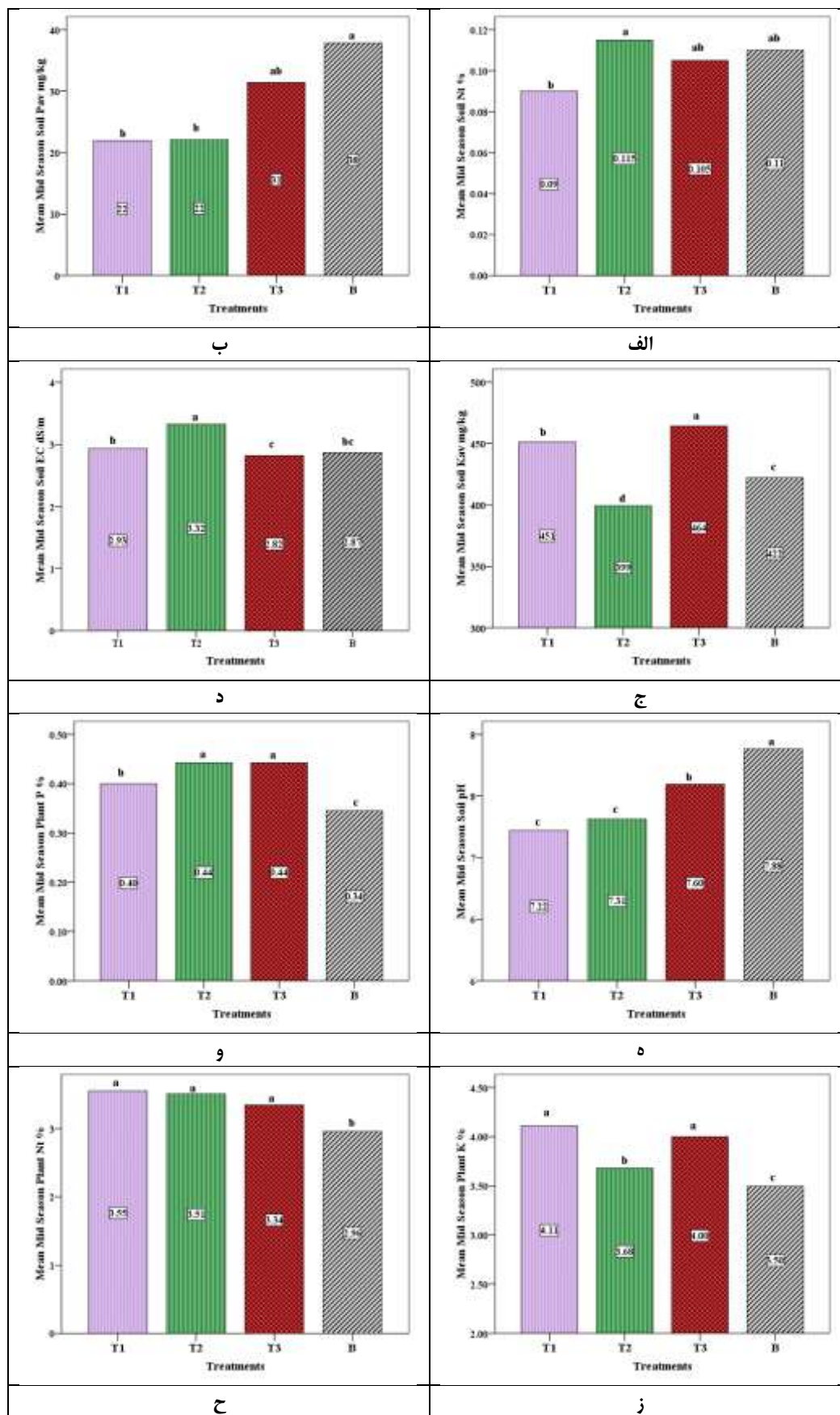
جدول ۳. آمار توصیفی تجزیه‌های آزمایشگاهی نمونه‌های خاک و گیاه تیمارهای آزمایش اول در دو مرحله میانی و پایانی دوره

خصوصیات اندازه‌گیری شده گیاه %			خصوصیات اندازه‌گیری شده خاک					تیمار	مرحله
N	P	K	N %	Pav mg/kg	Kav mg/kg	pH	EC dS/m		
۳/۵۵	۰/۴۰	۴/۱۰	۰/۰۹	۲۱/۹۵	۴۵۱/۲۵	۷/۲۲	۳/۰۶	T1	میان دوره
۳/۵۱	۰/۴۴	۳/۶۸	۰/۱۱	۲۲/۱۰	۳۹۹/۲۵	۷/۳۱	۳/۳۳	T2	
۳/۳۵	۰/۴۴	۳/۹۸	۰/۱۱	۳۱/۴۳	۴۶۴/۲۵	۷/۶۰	۲/۸۲	T3	
۲/۹۶	۰/۳۵	۳/۵۰	۰/۱۱	۳۷/۸۳	۴۲۲/۲۵	۷/۸۸	۲/۸۷	B	
۲/۸۸	۰/۳۳	۳/۴	۰/۰۹	۱۶/۶	۳۹۷	۷/۱۲	۲/۷۲	حداقل	
۳/۶۱	۰/۴۵	۴/۲	۰/۱۲	۴۱	۴۶۹	۷/۹۵	۳/۴۱	حداکثر	
۳/۳۴	۰/۴۱	۳/۸۱	۰/۱۰	۲۸/۳۳	۴۳۴/۲۵	۷/۵۰	۳/۰۲	میانگین	
۰/۲۳	۰/۰۳	۰/۲۴	۰/۰۱	۷/۹۲	۲۸/۹۹	۰/۲۲	۰/۲۴	انحراف معیار	
۲/۴۲	۰/۴۴	۱/۰۷	۰/۰۷	۱۱/۴۹	۲۰۴/۷۲	۸/۰۳	۲/۳۱	T1	پایان دوره
۲/۵۳	۰/۴۲	۱/۱۲	۰/۰۷	۱۲/۲۳	۱۶۰/۰۲	۷/۵۰	۱/۸۷	T2	
۲/۴۸	۰/۴۲	۱/۰۰	۰/۰۶	۱۹/۶۶	۱۸۷/۲۸	۷/۵۲	۱/۶۲	T3	
۲/۴۷	۰/۴۱	۱/۰۳	۰/۰۶	۱۹/۲۱	۲۰۴/۶۲	۷/۴۹	۱/۳۹	B	
۲/۳۶	۰/۴۰	۰/۹۸	۰/۰۵	۱۰/۹۵	۱۵۷/۵۱	۷/۳۷	۱/۲۱	حداقل	
۲/۶۰	۰/۴۵	۱/۱۸	۰/۰۷	۲۰/۱۷	۲۳۱/۴۷	۸/۱۷	۲/۴۹	حداکثر	
۲/۴۷	۰/۴۲	۱/۰۵	۰/۰۶	۱۵/۶۵	۱۸۹/۱۶	۷/۶۳	۱/۷۹	میانگین	
۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۰۱	۳/۹۴	۲۰/۵۴	۰/۲۵	۰/۴۰	انحراف معیار	
۲/۳۶	۰/۳۳	۰/۹۸	۰/۰۵	۱۰/۹۵	۱۵۷/۵۱	۷/۱۲	۱/۲۱	حداقل کل	
۳/۶۱	۰/۴۵	۴/۲	۰/۱۲	۴۱	۴۶۹	۸/۱۷	۳/۴۱	حداکثر کل	
۲/۹۱	۰/۴۲	۲/۴۳	۰/۰۸	۲۱/۹۹	۳۱۱/۷۱	۷/۵۷	۲/۴۱	میانگین کل	
۰/۴۸	۰/۰۳	۱/۴۱	۰/۰۲	۹/۰۷	۱۲۶/۶۷	۰/۲۷	۰/۷۰	انحراف معیار کل	

از نظر خصوصیات اندازه‌گیری شده در گیاه میانگین پتاسیم کل گیاه در این آزمایش، به $۲/۴۳$ (تا $۰/۹۸$ تا $۴/۲۰$) درصد رسید که در میان دوره $۳/۸۱$ (تا $۳/۴$ تا $۴/۲$) و در پایان دوره $۱/۰۵$ (تا $۰/۹۸$ تا $۱/۱۸$) درصد بود (جدول ۳). این نتیجه نشان می‌دهد که گیاه ذرت در مرحله میان دوره که عنصر پتاسیم بیشتری در خاک موجود است مقدار بیشتری از آن را جذب می‌کند و با رسیدن به پایان دوره و کاهش پتاسیم خاک این مقدار کمتر شده است (Ghaderi, 2025; Ghodsi, 2020). البته به فیزیولوژی گیاه در مرحله میان دوره و پایان دوره هم مربوط است که موضوع این بررسی نیست. میانگین فسفر کل گیاه در آزمایش اول به $۰/۴۲$ (تا $۰/۳۳$ تا $۰/۴۵$) درصد رسید. این میانگین در میان دوره به $۰/۴۱$ (تا $۰/۳۳$ تا $۰/۴۵$) درصد و در پایان دوره به $۰/۴۲$ (تا $۰/۴$ تا $۰/۴۵$) درصد رسید (جدول ۳). مقادیر نسبتاً ثابت فسفر کل گیاه در میان دوره و پایان دوره با توجه به فراهمی آن در خاک می‌تواند مربوط به توانمندی گیاه ذرت در جذب فسفر و فیزیولوژی گیاه مربوط باشد که از موضوع این تحقیق خارج است (Ramazanoglu et al., 2024). میانگین نیتروژن کل گیاه نیز به $۲/۹۱$ (تا $۲/۳۶$ تا $۳/۶۱$) درصد است. این میانگین در میان دوره به $۳/۳۴$ (تا $۲/۸۸$ تا $۳/۶۱$) درصد و در پایان دوره به $۲/۴۷$ (تا $۲/۳۶$ تا $۲/۶۰$) درصد رسید (جدول ۳). این نتایج نشان می‌دهد نیتروژن در کل دوره به مقدار نسبتاً کافی در اختیار گیاه بوده است (FAO, 2019).

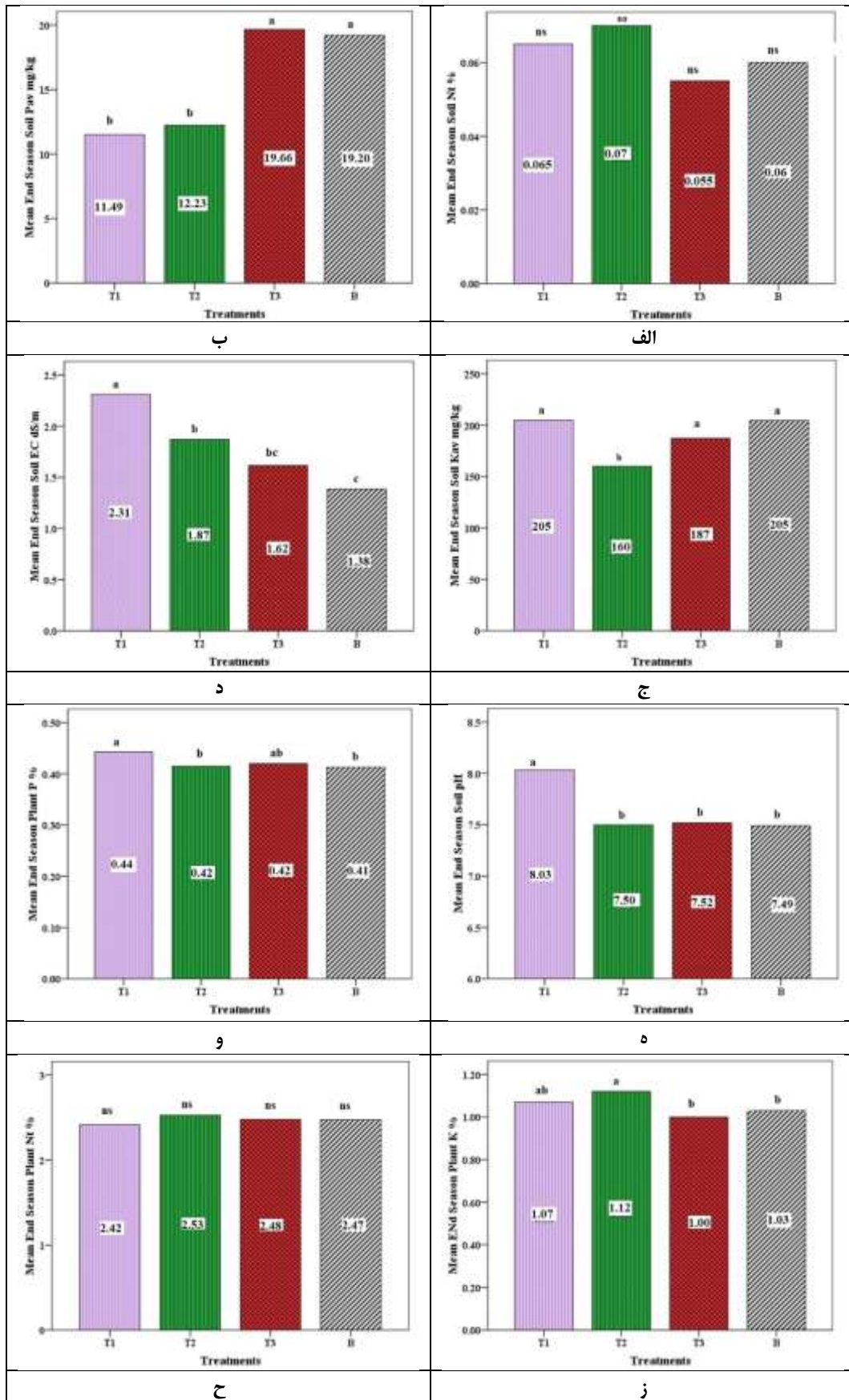
مقایسه میانگین تیمارهای آزمایش اول

شکل ۲ نتایج مقایسه میانگین تیمارهای آزمایش اول را در مرحله میان دوره نشان می‌دهد. همانطور که دیده می‌شود بین تیمارهای مختلف آزمایش اول شامل نیتروژن کل خاک (شکل ۲-الف) ($p < 0.05$)، فسفر قابل دسترس خاک (شکل ۲-ب)، پتاسیم قابل دسترس خاک (شکل ۲-ج)، قابلیت هدایت الکتریکی خاک (شکل ۲-د)، pH خاک (شکل ۲-ه)، درصد فسفر کل گیاه (شکل ۲-و)، درصد پتاسیم کل گیاه (شکل ۲-ز)، درصد نیتروژن کل گیاه (شکل ۲-ح)، همگی در سطح احتمال ($p = 99\%$) اختلاف معنی‌دار وجود دارد. این نتایج نشان می‌دهند که



شکل ۲- مقایسه میانگین خصوصیات اندازه‌گیری شده در میان دوره آزمایش اول

الف- میانگین درصد نیتروژن کل خاک؛ ب- میانگین فسفر قابل دسترس mg/kg ؛ ج- میانگین پتاسیم قابل دسترس mg/kg ؛ د- میانگین قابلیت هدایت الکتریکی dS/m ؛ ه- میانگین pH خاک؛ و- میانگین درصد فسفر کل گیاه؛ ز- میانگین درصد پتاسیم کل گیاه؛ ح- میانگین درصد نیتروژن کل گیاه؛ حروف انگلیسی معنی‌داری را نشان می‌دهند.



شکل ۳. مقایسه میانگین خصوصیات اندازه گیری شده در پایان دوره رشد تیمارها

الف- میانگین درصد نیتروژن کل خاک؛ ب- میانگین فسفر قابل دسترس mg/kg ؛ ج- میانگین پتاسیم قابل دسترس mg/kg ؛ د- میانگین قابلیت هدایت الکتریکی dS/m ؛ ه- میانگین pH خاک؛ و- میانگین درصد فسفر کل گیاه؛ ز- میانگین درصد پتاسیم کل گیاه؛ ح- میانگین درصد نیتروژن کل گیاه؛ حروف انگلیسی معنی داری را نشان می دهند.

اعمال تیمارهای کودی در مرحله میان دوره کاملا تاثیرگذار بوده است و توانسته است اختلاف معنی دار در تیمارها ایجاد نماید. نکته قابل توجه آن است که تیماری که فقط حاوی کودهای رایج بود (B) فقط از نظر فسفر قابل دسترس و pH بالاتر از سایر تیمارها بود. در حالی که از نظر نیتروژن کل خاک پایین تر از تیمار T2 و از نظر پتاسیم قابل دسترس خاک پایین تر از T1 و T3 قرار گرفت. قابلیت هدایت الکتریکی تیمار شاهد (B) تنها از تیمار T2 با اختلاف معنی دار کمتر بود و با سایر تیمارها اختلاف نشان نداد. از نظر درصد عناصر NPK در گیاه نیز تیمار شاهد (B) پایین تر از تیمارهای دیگر بود. این نتیجه موید تاثیر مثبت کود آلی-معدنی کندرهش بر تامین عناصر غذایی پرمصرف در مرحله میان دوره است. چنین نتایجی برای مرحله میان دوره و در شرایط مزرعه کمتر گزارش شده است و عمده گزارشها تنها نتایج پایان دوره را گزارش نموده اند.

شکل ۳ نتایج مقایسه میانگین تیمارها بر خصوصیات خاک و گیاه در پایان دوره آزمایش اول را نشان می دهد. میانگین نیتروژن کل خاک (شکل ۳-الف) ($p > 0.05$)، میانگین نیتروژن کل گیاه (شکل ۳-ح) ($p > 0.05$)، در تیمارهای چهارگانه، اختلاف معنی دار نشان ندادند. با وجود این تیمارهای حاوی کود آلی-معدنی کندرهش نسبت به شاهد (B) مقادیر بالاتری از نیتروژن کل خاک و گیاه را داشتند. در عین حال فسفر قابل دسترس خاک ($p < 0.01$) دارای اختلاف معنی دار بود و تیمارهای T3 و B مشترکاً مقادیر بالاتری نسبت به تیمارهای T1 و T2 به خود اختصاص دادند (شکل ۳-ب). پتاسیم قابل دسترس ($p < 0.01$)، دارای اختلاف معنی دار بود و تیمارهای T1، B و T3 بیش از تیمار T2 پتاسیم قابل دسترس باقیمانده در خاک داشتند ولی اختلاف بین تیمارهای T1، T3 و B معنی دار نبود (شکل ۳-ج). همچنین قابلیت هدایت الکتریکی خاک (شکل ۳-د) ($p < 0.01$) ضمن کاهش نسبت به مقادیر میان دوره، در سطح احتمال (95%)، دارای اختلاف معنی دار بوده و تیمار T1 بیشترین و تیمارهای T2، T3 و B مقادیر کمتر را دارند. شیب کاهشی EC از T1 به B را می توان به سرعت انحلال بیشتر کودهای شیمیایی رایج نسبت به مواد سازنده کود آلی-معدنی کندرهش نسبت داد. pH خاک در تیمار T1 با بالاترین مقدار در پایان دوره ($p < 0.01$) دارای اختلاف معنی دار با سه تیمار دیگر (بدون اختلاف معنی دار با یکدیگر) بود (شکل ۳-ه). درصد فسفر اندازه گیری شده در گیاه ($p < 0.05$)، اگرچه دارای اختلاف معنی دار می باشد و تیمار T1 بیشترین مقدار را دارد ولی اختلاف بین تیمارها کمتر از ۰/۰۳ درصد است (شکل ۳-و). شایان ذکر است که در آزمایش اول درصد فسفر گیاه در پایان دوره اختلاف قابل توجهی با میان دوره نداشت. درصد پتاسیم اندازه گیری شده در گیاه (شکل ۳-ز) ($p < 0.01$)، دارای اختلاف معنی دار می باشد و تیمار T2 بیشترین مقدار را داشت و بین سایر تیمارها اختلاف معنی دار نبود. پتاسیم گیاه در پایان دوره اختلاف شدیدی با میان دوره دارد که احتمالاً به دلیل فراهمی و جذب بیشتر پتاسیم در مراحل اولیه رشد می باشد.

جمع بندی نتایج آزمایش اول نشان داد که استفاده از کود آلی-معدنی کند رهش به همراه کودهای رایج باعث بهبود اغلب خصوصیات شیمیایی حاصلخیزی خاک شده است. (Sarlaki et al., 2021) در مطالعه کودهای پایدار زیستی بر پایه لیگنین نشان دادند که کودهای بر پایه لیگنین دارای ویژگی های کندرهش و ترکیبات شیمیایی و ویژگی های منحصر به فرد می باشند. انحلال آهسته، قابلیت جذب بالا، زیست سازگاری، زیست تجزیه پذیری، غیر فرار بودن، پایداری بلندمدت، آبشویی و آلودگی کمتر، بازده کودی بیشتر، قیمت پایین و فعالیت بیولوژیکی می توانند به عنوان حامل های کندرهش، مواد پوششی کودها، و اصلاح کننده خاک مورد توجه قرار گیرند. داشتن خاصیت هیدروژلی کودهای آلی-معدنی کندرهش می تواند آب و مواد مغذی را جذب نموده و در خود حفظ کند و همچنین به دلیل ساختار متخلخل و استحکام بالا و زیست سازگاری می تواند در مقیاس صنعتی مورد استفاده قرار گیرند.

همبستگی های خصوصیات مورد مطالعه در آزمایش اول

جدول ۴ ضرایب همبستگی پیرسون بین خصوصیات مورد مطالعه آزمایش اول را در میان دوره نشان می دهد. همبستگی اغلب خصوصیات مورد مطالعه معنی دار نبود. با وجود این مقادیر فسفر و پتاسیم قابل دسترس خاک بر حسب mg/kg با قابلیت هدایت الکتریکی بر حسب dS/m به ترتیب دارای همبستگی منفی و معنی دار ($r = -0.737$ ؛ $p < 0.01$) و ($r = -0.617$ ؛ $p < 0.05$) بودند که نشان دهنده کاهش قابلیت دسترسی این عناصر با افزایش EC می باشد. Catherine و همکاران (۲۰۱۲) اظهار داشتند که قابلیت دسترسی فسفر در خاک های شور نه تنها در اثر افزایش قدرت یونی کاهش می یابد بلکه تحت تاثیر فرایند جذب سطحی و رسوب به صورت کانی های فسفات کلسیم قرار می گیرد. اگرچه گیاهان زراعی عمدتاً پتاسیم را به صورت انتخابی جذب می کنند ولی کمبود پتاسیم در خاک های حاوی سدیم بالا مشهود است (Catherine et al., 2012). در حالیکه pH خاک با فسفر قابل دسترس ($r = 0.844$) دارای همبستگی مثبت و معنی دار در سطح ۱ درصد است که احتمالاً به قابلیت دسترسی بیشتر فسفر در محدوده pH خنثی تا کمی قلیایی با توجه به کربنات نسبتاً کم خاک مربوط است. دامنه مناسب pH برای قابلیت دسترسی فسفر محدوده ۵/۵ تا ۷/۵ است. بر اساس نتایج جدول ۳ میانگین کل pH در آزمایش اول



۷/۵۷ (با حداقل ۷/۱۲ و حداکثر ۸/۱۷) است. همبستگی مثبت و معنی دار pH با فسفر در آزمایش اول (هم میان دوره و هم پایان دوره) با pH مناسب برای فسفر قابل دسترس (محدوده ۵/۵ تا ۷/۵) (Weil & Brady, 2017) انطباق نزدیک دارد که دلیل همبستگی مثبت و معنی دار آنها باشد.

pH خاک با EC دارای همبستگی منفی و معنی دار ($r=-0/665$ و $p=0/01$) است که احتمالاً به افزایش انحلال مواد با کاهش pH مرتبط است. میزان فسفر جذب شده توسط گیاه با pH خاک دارای همبستگی منفی و معنی دار ($r=-0/575$) در سطح احتمال ۵ درصد بود که نشان می‌دهد با کاهش pH خاک میزان جذب فسفر افزایش داشته است. میزان نیتروژن کل جذب شده توسط گیاه با میزان فسفر محلول خاک ($r=-0/661$) و با pH خاک دارای همبستگی منفی و معنی دار ($r=-0/771$) در سطح احتمال ۱ درصد است که نشان می‌دهد با کاهش pH خاک میزان جذب نیتروژن افزایش داشته است. در عین حال بین میزان فسفر و نیتروژن کل جذب شده توسط گیاه همبستگی مثبت و معنی دار ($r=0/653$) در سطح احتمال ۱ درصد برقرار است که می‌تواند مربوط به ضرورت تامین هر دو عنصر برای تامین رشد گیاه باشد. درصد پتاسیم جذب شده توسط گیاه نیز با نیتروژن کل قابل جذب خاک ($r=-0/661$) در سطح احتمال ۱ درصد و با pH خاک ($r=-0/771$) دارای همبستگی منفی و معنی دار در سطح ۱ درصد بود. درصد پتاسیم جذب شده با پتاسیم قابل دسترس خاک ($r=0/723$) در سطح احتمال ۱ درصد، و با نیتروژن جذب شده خاک ($r=0/558$) در سطح احتمال ۵ درصد همبستگی مثبت و معنی دار نشان داد (جدول ۴) که بیانگر نیاز همزمان گیاه به هر دو عنصر می‌باشد. ولی درصد پتاسیم جذب شده با نیتروژن کل خاک ($r=-0/735$) و pH خاک ($r=-0/627$) دارای همبستگی منفی و معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد می‌باشد. که حاکی از جذب فعال پتاسیم و بدون توجه به غلظت نیتروژن در خاک و همچنین افزایش جذب پتاسیم با کاهش pH می‌باشد.

جدول ۴- نتایج همبستگی پیرسون و برهم کنش خصوصیات مورد مطالعه آزمایش اول در میان دوره

Correlations	Soil Pav (mg/kg)	Soil Nt (%)	Soil Kav (mg/kg)	Soil EC (dS/m)	Soil pH	Plant P (%)	Plant Nt (%)	Plant K (%)
Soil Pav (mg/kg)	۱							
Soil Nt (%)	-0/081 ns	۱						
Soil Kav (mg/kg)	-0/071 ns	-0/690 ns	۱					
Soil EC (dS/m)	-0/737**	-0/078 ns	0/617*	۱				
Soil pH	-0/843**	-0/304 ns	-0/010 ns	-0/665**	۱			
Plant P (%)	-0/497 ns	-0/111 ns	-0/106 ns	-0/306 ns	-0/575*	۱		
Plant Nt (%)	-0/661**	-0/472 ns	-0/150 ns	-0/439 ns	-0/771**	0/653**	۱	
Plant K (%)	-0/412 ns	-0/735*	-0/723**	-0/085 ns	-0/627**	0/472 ns	0/558*	۱

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed). * . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed). Ns. Non significant.

جدول ۵ همبستگی پیرسون بین خصوصیات را در پایان دوره آزمایش اول نشان می‌دهد. همبستگی بسیاری از خصوصیات مورد مطالعه معنی دار نبود. فسفر قابل دسترس خاک با درصد نیتروژن کل خاک دارای همبستگی منفی و معنی دار ($r=-0.731$ و $p<0.05$) است که احتمالاً به تفاوت شرایط موثر در آزادسازی و تثبیت این عناصر در شرایط یکسان بستگی دارد. قابلیت هدایت الکتریکی خاک در پایان دوره رشد دارای همبستگی منفی و معنی دار ($r=-0.589$ و $p<0.05$) با فسفر قابل دسترس خاک، و با مقدار پتاسیم قابل دسترس خاک ($r=-0.695$ و $p<0.01$) می‌باشد. دلایل این همبستگی منفی و معنی دار در تفسیر نتایج جدول ۴ ذکر شد. پی‌اچ خاک در پایان دوره همانند میان دوره آزمایش اول با فسفر قابل دسترس همبستگی مثبت و معنی دار ($r=0.869$ و $p<0.01$) نشان داد که با pH مناسب برای فسفر قابل دسترس (محدوده ۵/۵ تا ۷/۵) (Weil & Brady, 2017) در این آزمایش انطباق دارد. درصد فسفر کل گیاه در پایان آزمایش اول با هیچیک از خصوصیات دیگر همبستگی معنی دار نداشت. درصد نیتروژن کل گیاه با درصد فسفر کل گیاه همبستگی منفی و معنی دار ($r=-0.539$) و نشان داد. درصد پتاسیم کل گیاه در پایان دوره رشد دارای همبستگی منفی و معنی دار با فسفر قابل دسترس خاک ($r=-0.660$) و پی‌اچ خاک ($r=-0.553$ و $p<0.05$) بود. ولی همبستگی آن با قابلیت هدایت الکتریکی خاک در پایان دوره رشد مثبت و معنی دار ($r=0.552$ و $p<0.05$) بود.

مقایسه نتایج جداول ۴ و ۵ نشان می‌دهد که فسفر قابل دسترس خاک که در میان دوره فاقد همبستگی با نیتروژن کل خاک بود در پایان دوره همبستگی منفی و معنی دار نشان داد که می‌تواند به تثبیت فسفر از یک سو و آزادسازی فزاینده نیتروژن از کود کندهش از سوی دیگر مرتبط باشد. همبستگی فسفر قابل دسترس خاک با EC در هر دو مرحله منفی و معنی دار ولی همبستگی با pH مثبت و معنی دار

مانده است که دلایل آن در بحث بالا بیان شد. فسفر قابل جذب خاک در مرحله میان دوره با درصد نیتروژن گیاه همبستگی منفی و معنی دار داشت که در پایان دوره فاقد همبستگی شد که احتمالاً به جذب ترجیحی نیتروژن در مراحل اولیه رشد نسبت به فسفر مرتبط می باشد. فسفر قابل دسترس با درصد پتاسیم گیاه در هر دو مرحله همبستگی منفی داشت ولی تنها در پایان دوره معنی دار شد که احتمالاً به مکانیسم جذب فعال پتاسیم توسط گیاه مرتبط است. درصد نیتروژن کل خاک فقط در میان دوره آزمایش اول با درصد پتاسیم گیاه همبستگی منفی دارد ولی در سایر موارد چه در میان دوره و چه در پایان دوره همبستگی نداشت. که احتمالاً باز هم به جذب فعال پتاسیم توسط گیاه مرتبط می باشد. در میان دوره آزمایش اول که غلظت پتاسیم قابل دسترس زیاد است با درصد پتاسیم گیاه همبستگی مثبت و معنی دار داشته ولی در پایان دوره که غلظت کاهش یافته است فاقد همبستگی می باشد. در مقابل پتاسیم قابل دسترس با درصد نیتروژن گیاه همبستگی منفی پیدا کرده است که مجدداً با جذب فعال پتاسیم در ارتباط است. همبستگی درصد عناصر NPK با pH که در سه مورد در میان دوره در سطح ۱ درصد منفی و معنی دار شده بود در پایان تنها در مورد درصد پتاسیم در سطح ۵ درصد معنی دار بود که تاثیر افزایش pH بر کاهش جذب این عناصر می باشد. درصد فسفر گیاه و درصد نیتروژن گیاه در میان دوره مثبت و معنی دار بود که در پایان دوره منفی و معنی دار شد که با اختلاف نیاز گیاه به این عناصر در دوره رشد رویشی و زایشی مرتبط است. در مورد درصدهای پتاسیم و نیتروژن گیاه نیز نیاز همزمان گیاه در دوره رشد رویشی موجب معنی دار شدن همبستگی در مرحله میان دوره و عدم معنی داری در پایان دوره شده است.

جدول ۵. نتایج همبستگی پیرسون و برهم کنش پارامترهای مورد مطالعه آزمایش اول در پایان دوره

Correlations	Soil Pav (mg/kg)	Soil Nt (%)	Soil Kav (mg/kg)	Soil EC (dS/m)	Soil pH	Plant P (%)	Plant Nt (%)	Plant K (%)
Soil Pav (mg/kg)	۱							
Soil Nt (%)	-.۷۳۱*	۱						
Soil Kav (mg/kg)	۰/۲۷۸ ns	-۰/۳۶۳ ns	۱					
Soil EC (dS/m)	-۰/۵۸۹*	۰/۶۲۷ ns	۰/۶۹۵**	۱				
Soil pH	۰/۸۶۹**	-۰/۵۳۹ ns	۰/۳۲۰ ns	-۰/۴۴۲ ns	۱			
Plant P (%)	-۰/۴۲۷ ns	۰/۰۶۱ ns	۰/۲۰۶ ns	-۰/۲۰۴ ns	-۰/۴۸۵ ns	۱		
Plant Nt (%)	۰/۰۸۲ ns	۰/۴۸۷ ns	-۰/۵۲۲*	۰/۳۱۹ ns	۰/۱۸۰ ns	-۰/۵۳۹*	۱	
Plant K (%)	-۰/۶۶۰**	۰/۵۵۶ ns	-۰/۴۴۴	۰/۵۵۲*	-۰/۵۵۳*	۰/۲۸۲ ns	۰/۱۱۶ ns	۱

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed). * . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed). Ns. Non significant.

نتایج اندازه گیری خصوصیات خاک و گیاه در دو مرحله میانی و پایانی آزمایش دوم

آمار توصیفی نتایج آزمایش دوم

جدول ۶ آمار توصیفی اندازه گیری تجزیه های آزمایشگاهی نمونه های خاک و گیاه را در مرحله میان دوره (هفته ششم) و پایان دوره (هفته سیزدهم) نشان می دهد. میانگین EC در کل آزمایش ۳/۰۰ dS/m (۱/۸۲ تا ۴/۶۴) به دست آمد که در میان دوره ۳/۷۴ dS/m (۳/۲۳ تا ۴/۶۴) و در پایان دوره ۲/۲۶ dS/m (۱/۸۲ تا ۲/۹۹) بود. همانند آزمایش اول این نتایج را می توان اثر شوری ناشی از مصرف مجموعه کودهای مصرفی دانست (FAO, 2019; Ramazanoglu et al., 2024) که در مرحله میان دوره به شدت موجب افزایش EC و در پایان دوره به دلیل مصرف کودها توسط گیاه و آبشویی موجب کاهش قابل توجه EC شده است (FAO, 2019; Ramazanoglu et al., 2024). بالا بودن EC در آزمایش دوم نسبت به آزمایش اول را می توان به EC نسبتاً زیاد کود آلی-معدنی کندرهش (جدول ۱) نسبت داد که در آزمایش دوم به مقدار ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار در همه تیمارها اعمال شد. میانگین pH ۷/۷۶ (۷/۳۴ تا ۸/۳۳) به دست آمد که این مقادیر در میان دوره ۸/۰۳ (۷/۶۳ تا ۸/۳۳) بود و در آزمایش دوم ۷/۴۸ (۷/۳۴ تا ۷/۶۶) کاهش یافت که احتمالاً ناشی از کاربرد کود آلی-معدنی کندرهش (جدول ۱) است. میانگین پتاسیم قابل جذب خاک در آزمایش دوم ۲۸۸/۸۱ mg/kg (۱۵۵/۲۶ تا ۴۶۹/۰) به دست آمد که این مقادیر در میان دوره ۳۸۶/۴۴ mg/kg (۳۱۶ تا ۴۶۹) بود و در پایان دوره به ۱۹۱/۱۷ mg/kg (۱۵۵/۲۶ تا ۲۲۸/۶۷) رسید. میانگین پتاسیم قابل دسترس در کل آزمایش دوم و مرحله میان دوره در مقایسه با آزمایش اول پایین تر است ولی نتایج پایان دوره اختلاف اندکی دارد که می تواند مربوط به قابلیت رهاسازی زیاد کودهای رایج در مراحل اولیه و کندرها بودن کود آلی-معدنی باشد. میانگین فسفر قابل جذب خاک ۱۶/۱۹ mg/kg (۵/۰۱ تا ۳۹/۱۰) بود که این مقادیر در میان دوره ۱۷/۸۹ mg/kg (۹/۸ تا ۳۹/۱) و در پایان دوره به ۱۴/۵۰ mg/kg



(۵/۰۱ تا ۲۶/۳۶) رسید. میانگین فسفر قابل دسترس در کل آزمایش دوم و مرحله میان دوره، در مقایسه با آزمایش اول پایین تر است ولی نتایج پایان دوره اختلاف اندکی دارند که می تواند مربوط به قابلیت رهاسازی زیاد کودهای رایج در مراحل اولیه و کندها بودن کود آلی - معدنی باشد. همچنین میانگین درصد نیتروژن کل خاک (۰/۱۰ تا ۰/۰۶) بود که در میان دوره (۰/۱۱ تا ۰/۱۵)، و در پایان دوره (۰/۰۶ تا ۰/۰۷) بود. این نتایج برتری تیمارهای آزمایش دوم در تامین نیتروژن کل خاک در مراحل میانی و پایانی را نشان می دهد. درصد پتاسیم کل گیاه در آزمایش دوم (۲/۲۶ تا ۳/۹۰) به دست آمد که در میان دوره (۳/۵۱ تا ۳/۱) درصد بود و در پایان دوره (۱/۰۰ تا ۰/۹۰) به دست آمد. میانگین کل و میانگین میان دوره آن در مقایسه با آزمایش اول کمتر است ولی در مورد میانگین پایان دوره اختلاف کاهش یافته است. درصد فسفر کل گیاه (۰/۴۰ تا ۰/۳۰) به دست آمد که در میان دوره (۰/۳۷ تا ۰/۳۰) تا (۰/۴۷) بود و در پایان دوره به (۰/۴۰ تا ۰/۴۴) رسید. که در مقایسه با آزمایش اول اختلاف قابل توجهی نشان نداد. درصد نیتروژن کل گیاه (۲/۶۸ تا ۱/۷۷) به دست آمد که این مقادیر در میان دوره (۳/۰۵ تا ۲/۶۹) درصد بود و در پایان دوره به (۲/۳۰ تا ۱/۷۷) تا (۲/۵۳) درصد رسید. این نتایج در آزمایش اول مقداری بیشتر از آزمایش دوم بودند.

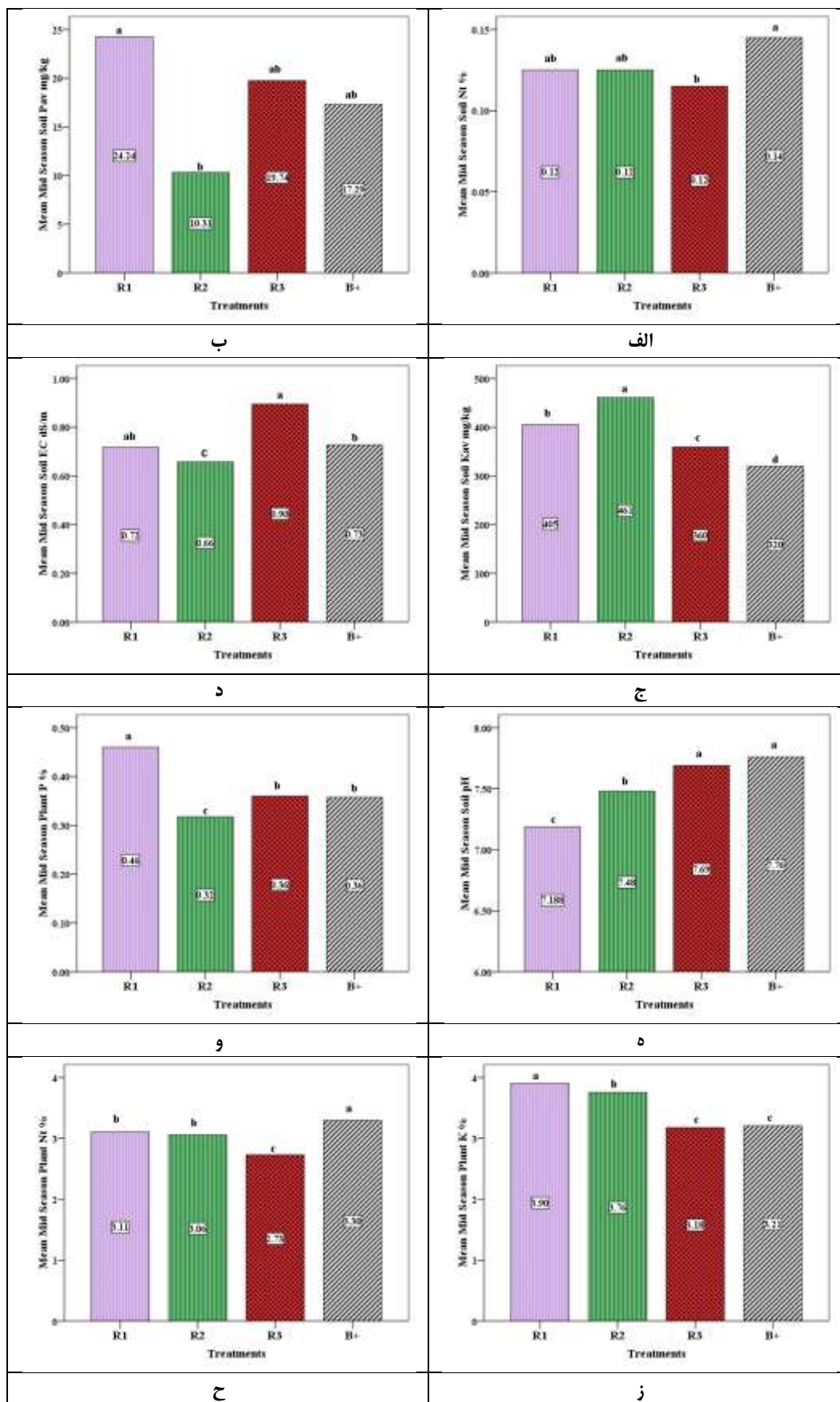
جدول ۶. آمار توصیفی تجزیه های آزمایشگاهی نمونه های خاک و گیاه تیمارهای آزمایش دوم در دو مرحله میانی و پایانی دوره

خصوصیات اندازه گیری شده گیاه %			خصوصیات اندازه گیری شده خاک					تیمار و تکرار	مرحله
N	P	K	N %	Pav mg/kg	Kav mg/kg	pH	EC dS/m		
۳/۱۱	۰/۴۶	۳/۹۰	۰/۱۳	۲۴/۲۳	۴۰۵/۲۵	۷/۶۹	۳/۵۸	R1	میان دوره
۳/۰۶	۰/۳۲	۳/۷۳	۰/۱۳	۱۰/۳۰	۴۶۱/۰۰	۷/۹۸	۳/۲۸	R2	
۲/۷۳	۰/۳۶	۳/۱۸	۰/۱۲	۱۹/۷۳	۳۵۹/۵۰	۸/۱۹	۴/۴۸	R3	
۳/۳۰	۰/۳۶	۳/۲۳	۰/۱۵	۱۷/۳۰	۳۲۰/۰۰	۸/۲۶	۳/۶۴	B+	
۲/۶۹	۰/۳	۳/۱	۰/۱۱	۹/۸	۳۱۶	۷/۶۳	۳/۲۳	حداقل	
۳/۳۵	۰/۴۷	۳/۹	۰/۱۵	۳۹/۱	۴۶۹	۸/۳۳	۴/۶۴	حداکثر	
۳/۰۵	۰/۳۷	۳/۵۱	۰/۱۳	۱۷/۸۹	۳۸۶/۴۴	۸/۰۳	۳/۷۴	میانگین	
۰/۲	۰/۰۶	۰/۳۲	۰/۰۱	۸/۷۱	۴۹/۰۸	۰/۲۲	۰/۵۲	انحراف معیار	
۲/۵۰	۰/۴۲	۱/۰۰	۰/۰۷	۱۴/۶۳	۲۱۴/۹۳	۷/۴۶	۲/۵۱	R1	پایان دوره
۲/۴۱	۰/۴۲	۱/۰۶	۰/۰۶	۱۳/۲۶	۲۲۷/۳۸	۷/۴۶	۲/۲۹	R2	
۲/۳۶	۰/۴۱	۰/۹۷	۰/۰۶	۲۴/۹۱	۱۵۷/۶۳	۷/۴۵	۲/۰۱	R3	
۱/۹۳	۰/۴۳	۰/۹۹	۰/۰۷	۵/۱۹	۱۶۴/۷۶	۷/۵۶	۲/۲۶	B+	
۱/۷۷	۰/۴۰	۰/۹۰	۰/۰۶	۵/۰۱	۱۵۵/۲۶	۷/۳۴	۱/۸۲	حداقل	
۲/۵۳	۰/۴۴	۱/۱۰	۰/۰۷	۲۶/۲۶	۲۲۸/۶۷	۷/۶۶	۲/۹۹	حداکثر	
۲/۳۰	۰/۴۲	۱/۰۰	۰/۰۶	۱۴/۵۰	۱۹۱/۱۷	۷/۴۸	۲/۲۶	میانگین	
۰/۲۳	۰/۰۱	۰/۰۶	۰/۰۰	۷/۲۶	۳۱/۵۰	۰/۰۹	۰/۳۷	انحراف معیار	
۱/۷۷	۰/۳۰	۰/۹۰	۰/۰۶	۵/۰۱	۱۵۵/۲۶	۷/۳۴	۱/۸۲	حداقل کل	
۳/۳۵	۰/۴۷	۳/۹۰	۰/۱۵	۳۹/۱۰	۴۶۹/۰۰	۸/۳۳	۴/۶۴	حداکثر کل	
۲/۶۸	۰/۴۰	۲/۲۶	۰/۱۰	۱۶/۱۹	۲۸۸/۸۱	۷/۷۶	۳/۰۰	میانگین کل	
۰/۴۴	۰/۰۵	۱/۲۹	۰/۰۳	۷/۶۱	۴۰۸/۴۴	۰/۳۳	۰/۸۶	انحراف معیار کل	

مقایسه میانگین تیمارهای آزمایش دوم

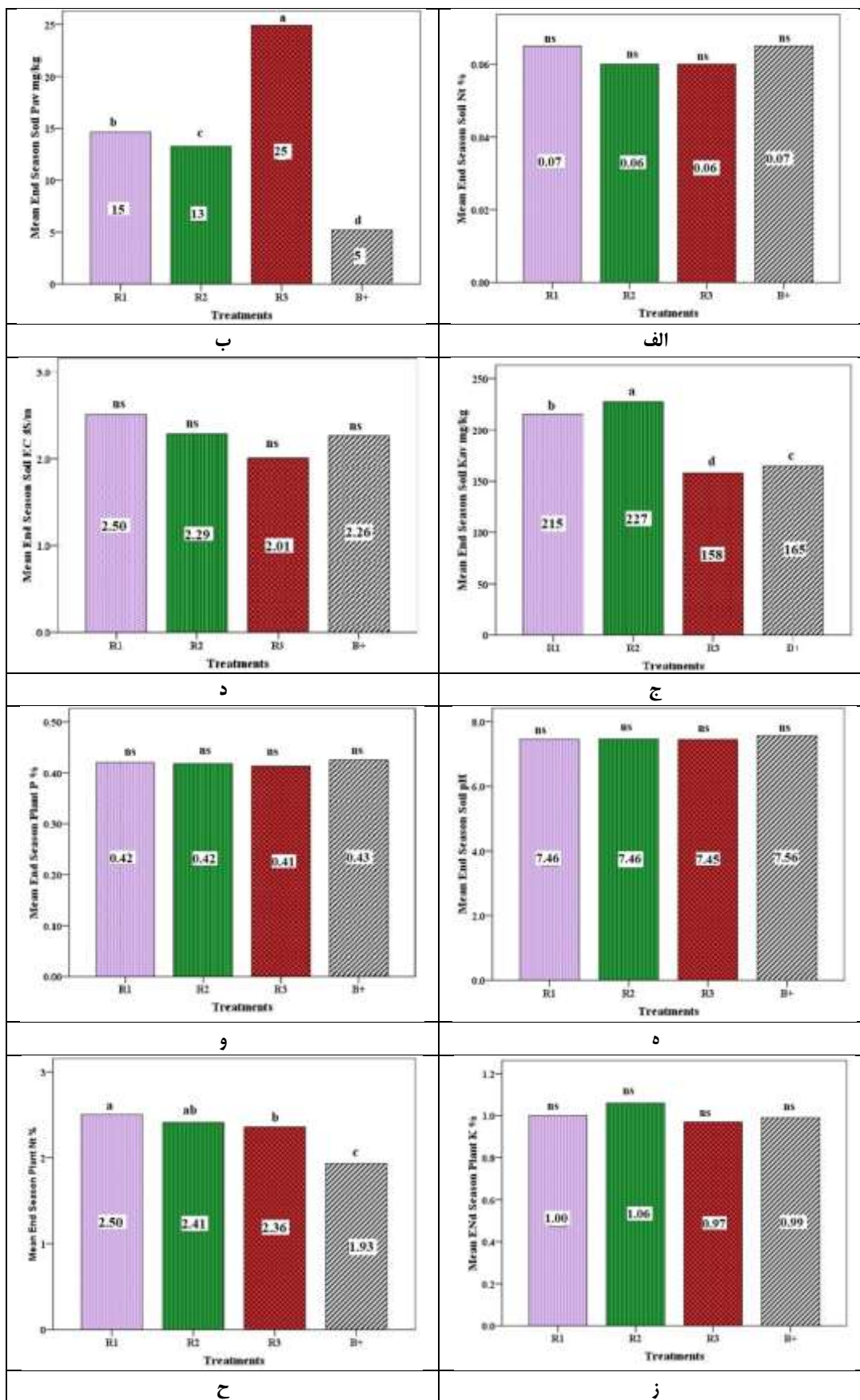
شکل ۴ نتایج مقایسه میانگین های تیمارهای مورد مطالعه آزمایش دوم را در مرحله میان دوره ارائه کرده است. شکل ۴ نشان می دهد که اختلاف بین تیمارها در همه خصوصیات مورد مطالعه در سطح احتمال (p=95%) معنی دار شده است. با وجود این اثر تیمارها در خصوصیات مختلف متفاوت است. تیمار شاهد (B+) از نظر نیتروژن کل خاک (شکل ۴-الف) ($p > 0.05$)، pH خاک (شکل ۴-ه) ($p < 0.01$)، و درصد نیتروژن کل گیاه (شکل ۴-ج) ($p < 0.01$) بیشترین مقادیر را داشت. فسفر قابل دسترس خاک (شکل ۴-ب) ($p > 0.05$)، در تیمار R1، و پتاسیم قابل دسترس خاک (شکل ۴-د) ($p < 0.01$) در تیمار R2، قابلیت هدایت الکتریکی خاک (شکل ۴-د) ($P < 0.01$) در تیمار R3، درصد فسفر کل گیاه (شکل ۴-و) ($p < 0.01$) در تیمار R1، درصد پتاسیم کل گیاه (شکل ۴-ز) ($p < 0.01$) در تیمار R2 و R1 بیشترین مقادیر را داشتند.

مقایسه میانگین تیمارهای اعمال شده در مرحله پایان دوره آزمایش دوم در شکل ۵ ارائه شده است. میانگین درصد نیتروژن کل خاک (شکل ۵-الف) ($p > 0.05$)، میانگین EC (شکل ۵-د) ($p > 0.05$)، pH ($p > 0.05$)، pH خاک (شکل ۵-ه) ($p < 0.01$)، درصد فسفر گیاه (شکل



شکل ۴- مقایسه میانگین خصوصیات اندازه گیری شده در میان دوره رشد تیمارها در آزمایش دوم

الف- میانگین درصد نیتروژن کل خاک؛ ب- میانگین فسفر قابل دسترس mg/kg ؛ ج- میانگین پتاسیم قابل دسترس mg/kg ؛ د- میانگین قابلیت هدایت الکتریکی dS/m ؛ ه- میانگین pH خاک؛ و- میانگین درصد فسفر کل گیاه؛ ز- میانگین درصد پتاسیم کل گیاه؛ ح- میانگین درصد نیتروژن کل گیاه؛ حروف انگلیسی معنی داری را نشان می دهند.



شکل ۵. مقایسه خصوصیات اندازه‌گیری شده در پایان دوره رشد تیمارها در آزمایش دوم

الف- میانگین درصد نیتروژن کل خاک؛ ب- میانگین فسفر قابل دسترس mg/kg ؛ ج- میانگین پتاسیم قابل دسترس mg/kg ؛ د- میانگین قابلیت هدایت الکتریکی dS/m ؛ ه- میانگین pH خاک؛ و- میانگین درصد فسفر کل گیاه؛ ز- میانگین درصد پتاسیم کل گیاه؛ ح- میانگین درصد نیتروژن کل گیاه؛ حروف انگلیسی معنی‌داری را نشان می‌دهند.

۵-و) ($p > 0.05$)، درصد پتاسیم گیاه (شکل ۵-ز) ($p > 0.05$)، اختلاف معنی‌دار نداشتند. بین مقادیر فسفر قابل دسترس خاک (شکل ۵-ب) ($p < 0.01$)، پتاسیم قابل دسترس خاک (شکل ۵-ج) ($p < 0.01$)، درصد نیتروژن کل گیاه (شکل ۵-ح) ($p < 0.01$)، در تیمارهای اعمال شده اختلاف معنی‌دار وجود دارد. در مورد فسفر قابل دسترس تیمار R3، پتاسیم قابل دسترس تیمار R2، و فسفر جذب شده گیاه تیمار R1 بیشترین مقادیر را نشان دادند. معنی‌دار نشدن اختلاف میانگین اغلب تیمارها نشان می‌دهد که تیمار شاهد (B+) قادر است به تنهایی اغلب خصوصیات خاک را بدون نیاز به کودهای رایج NPK تامین کند.

همبستگی‌های خصوصیات مورد مطالعه در آزمایش دوم

جدول ۷ ضرایب همبستگی پیرسون بین خصوصیات مورد مطالعه در آزمایش دوم را در میان دوره رشد گیاه نشان می‌دهد. مقدار فسفر قابل دسترس در خاک در میان دوره رشد تنها با درصد فسفر گیاه ($r = -0.629$ و $p < 0.01$) همبستگی داشت. همچنین درصد نیتروژن کل خاک و پتاسیم قابل دسترس خاک در میان دوره رشد به ترتیب تنها با درصد نیتروژن گیاه ($r = 0.813$ و $p < 0.01$)؛ و درصد پتاسیم گیاه ($r = 0.792$ و $p < 0.01$) همبستگی داشتند. قابلیت هدایت الکتریکی خاک با درصد نیتروژن گیاه ($r = -0.732$ و $p < 0.01$) و درصد پتاسیم گیاه ($r = -0.642$ و $p < 0.01$) دارای همبستگی منفی و معنی‌دار بود. pH خاک با درصد فسفر گیاه ($r = -0.636$ و $p < 0.01$)؛ و درصد پتاسیم گیاه ($r = -0.918$ و $p < 0.01$) دارای همبستگی منفی و معنی‌دار بود.

جدول ۷- نتایج ضرایب همبستگی پیرسون و برهم‌کنش خصوصیات مورد مطالعه در آزمایش دوم در میان دوره

Correlations	Soil Pav (mg/kg)	Soil Nt (%)	Soil Kav (mg/kg)	Soil EC (dS/m)	Soil pH	Plant P (%)	Plant Nt (%)	Plant K (%)
Soil Pav (mg/kg)	۱							
Soil Nt (%)	-۰/۱۴۲ ns	۱						
Soil Kav (mg/kg)	-۰/۲۸۸ ns	-۰/۴۲۵ ns	۱					
Soil EC (dS/m)	-۰/۳۰۳ ns	-۰/۵۷۴ ns	-۰/۴۹۵ ns	۱				
Soil pH	-۰/۲۴۵ ns	-۰/۲۹۷ ns	-۰/۶۲۳**	-۰/۳۹۴ ns	۱			
Plant P (%)	-۰/۶۲۹**	-۰/۰۷۲ ns	-۰/۱۰۸ ns	-۰/۰۰۲ ns	-۰/۶۳۶**	۱		
Plant Nt (%)	-۰/۰۱۱ ns	-۰/۸۱۳*	-۰/۱۴۲ ns	-۰/۷۳۳**	-۰/۰۸۲ ns	-۰/۱۲۴ ns	۱	
Plant K (%)	-۰/۰۲۶ ns	-۰/۲۶۷ ns	-۰/۷۹۲**	-۰/۶۴۳**	-۰/۹۱۸**	-۰/۴۰۹ ns	-۰/۲۰۰ ns	۱

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed). * . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed). Ns. Non significant.

جدول ۸- نتایج ضرایب همبستگی پیرسون و برهم‌کنش خصوصیات مورد مطالعه در پایان دوره

Correlations	Soil Pav (mg/kg)	Soil Nt (%)	Soil Kav (mg/kg)	Soil EC (dS/m)	Soil pH	Plant P (%)	Plant Nt (%)	Plant K (%)
Soil Pav (mg/kg)	۱							
Soil Nt (%)	-۰/۳۷۸ ns	۱						
Soil Kav (mg/kg)	-۰/۱۷۱ ns	-۰/۰۴۰ ns	۱					
Soil EC (dS/m)	-۰/۷۰۱**	-۰/۲۴۹ ns	-۰/۷۵۴**	۱				
Soil pH	-۰/۰۶۷ ns	-۰/۲۷۴ ns	-۰/۷۷۳**	-۰/۳۹۹ ns	۱			
Plant P (%)	-۰/۵۱۸*	-۰/۵۱۸ ns	-۰/۰۴۱ ns	-۰/۱۸۱ ns	-۰/۰۲۵ ns	۱		
Plant Nt (%)	-۰/۶۲۳**	-۰/۲۰۶ ns	-۰/۶۰۷*	-۰/۰۵۲ ns	-۰/۷۳۳**	-۰/۴۱۱ ns	۱	
Plant K (%)	-۰/۱۸۶ ns	-۰/۰۹۲ ns	-۰/۴۹۰ ns	-۰/۳۶۸ ns	-۰/۲۱۸ ns	-۰/۵۴۹*	-۰/۱۷۱ ns	۱

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed). * . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed). ns. Non significant.

جدول ۸ ضرایب همبستگی پیرسون خصوصیات مورد مطالعه در آزمایش دوم را در پایان دوره رشد گیاه نشان می‌دهد. فسفر قابل دسترس خاک در پایان دوره رشد در آزمایش دوم دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار با قابلیت هدایت الکتریکی خاک ($r = 0.701$ و $p < 0.01$)، و همبستگی منفی و معنی‌دار با درصد فسفر کل گیاه ($r = -0.518$ و $p < 0.05$) می‌باشد. ولی دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار با درصد نیتروژن کل گیاه ($r = 0.623$ و $p < 0.01$)، است. درصد نیتروژن کل خاک با هیچیک از خصوصیات مورد مطالعه همبستگی معنی‌دار نشان نداد. اما پتاسیم قابل دسترس خاک در پایان دوره این آزمایش با قابلیت هدایت الکتریکی خاک ($r = -0.754$ و $p < 0.01$)، همچنین با pH



خاک ($p < 0.01$ و $r = -0.773$)، همبستگی منفی و معنی‌دار دارد. لیکن پتاسیم قابل دسترس با درصد نیتروژن کل گیاه همبستگی مثبت و معنی‌دار ($p < 0.05$ و $r = 0.607$) دارد که در واقع به رشد بیشتر گیاه در شرایط فراهمی پتاسیم مربوط است که موجب جذب بیشتر نیتروژن هم شده است. قابلیت هدایت الکتریکی خاک با سایر پارامترها همبستگی معنی‌دار نشان نداد. درصد پتاسیم کل گیاه در پایان دوره این آزمایش با سایر پارامترها به غیر از درصد فسفر گیاه ($p < 0.05$ و $r = 0.549$) همبستگی نداشت.

مقایسه نتایج همبستگی‌های پیرسون در میان دوره و پایان دوره آزمایش دوم نشان داد که همبستگی فسفر قابل دسترس در میان دوره با درصد فسفر گیاه مثبت و معنی‌دار است که در پایان دوره منفی و معنی‌دار شده است که می‌تواند به کاهش دسترسی فسفر در پایان دوره باشد. همبستگی مثبت و معنی‌دار فسفر قابل دسترس با نیتروژن گیاه در پایان دوره نشان‌دهنده ضرورت وجود فسفر برای تامین رشد ناشی از جذب نیتروژن را نشان می‌دهد. معنی‌دار شدن نیتروژن کل خاک با نیتروژن گیاه و عدم معنی‌داری آن در پایان دوره حاکی از نیاز بیشتر به نیتروژن در مرحله رویشی و در دسترس بودن آن در میان دوره می‌باشد. پتاسیم قابل دسترس در هر دو مرحله با EC و pH همبستگی منفی داشتند که دلایل آن قبلاً ذکر شد. پتاسیم قابل دسترس در میان دوره دارای همبستگی مثبت با درصد پتاسیم گیاه بود ولی در پایان دوره غیرمعنی‌دار شد که احتمالاً به نیاز بیشتر به پتاسیم در مرحله رویشی و فراهمی کافی آن در میان دوره و کاهش فراهمی در پایان دوره مرتبط است. قابلیت هدایت الکتریکی خاک با درصد نیتروژن و پتاسیم گیاه در میان دوره همبستگی منفی و معنی‌دار داشت که نقش کاهنده EC بر روی جذب این عناصر را نشان می‌دهد. این اثر در پایان دوره با توجه کاهش EC معنی‌دار نشده است.

نتیجه‌گیری

این تحقیق با هدف مقایسه میزان اثرگذاری کود آلی-معدنی کندرهش بر خصوصیات حاصلخیزی خاک با کودهای رایج در دوره رشد گیاه ذرت انجام پذیرفت. هدف این بود که مشخص شود: ۱- افزودن مقادیر متفاوت کود آلی-معدنی کندرهش به همراه مقادیر ثابت از کودهای پرمصرف مرسوم چه تاثیری بر بهبود خصوصیات خاک و مقادیر جذب عناصر پرمصرف توسط گیاه دارد؟ ۲- افزودن مقدار ثابتی از کود آلی-معدنی کندرهش به همراه مقادیر ثابت از کودهای رایج عناصر پرمصرف چه تاثیری بر بهبود خصوصیات خاک و مقادیر جذب عناصر پرمصرف توسط گیاه دارد؟

اندازه‌گیری‌ها و تجزیه‌های آزمایشگاهی خصوصیات خاک در آزمایش اول و دوم نشان داد که در مرحله میان دوره کاربرد مقادیر مختلف کود آلی-معدنی کندرهش به همراه مقادیر ثابت از کودهای پرمصرف (آزمایش اول)، تاثیرگذاری آنها را بهبود بخشید. کود آلی-معدنی کندرهش باعث بهبود خصوصیات حاصلخیزی خاک و همچنین مقادیر NPK جذب شده توسط گیاه شد. هرچند کاربرد کود آلی-معدنی کندرهش به تنهایی، در آزمایش دوم هم نتایج بهتری در مقایسه با کودهای رایج به تنهایی بر جای گذاشت. بیشترین تاثیرگذاری کود آلی-معدنی کندرهش بر مقدار نیتروژن خاک و در درجه دوم بر فسفر خاک بود که در خاک قبل از کاشت کمبود شدید داشتند. در مورد پتاسیم که در خاک به مقدار کافی وجود داشت تاثیر گذاری اگر چه مثبت بود ولی معنی‌دار نشد. در نتیجه گیری نهایی می‌توان گفت کاربرد کود آلی-معدنی کندرهش به تنهایی یا همراه با ۵۰ درصد از کودهای رایج می‌تواند در اصلاح خصوصیات حاصلخیزی خاک و جذب عناصر پرمصرف بسیار مناسب باشد.

ملاحظات اخلاقی

حامی مالی

مقاله حاضر با حمایت مالی و معنوی معاونت پژوهشی دانشگاه تهران انجام شد. حمایت مالی از این پژوهش از طرف دانشگاه تهران، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی در قالب طرح تحقیقاتی با مشارکت دانشجویی نویسنده چهارم و همچنین پژوهانه برای سایر نویسندگان انجام شده است.

مشارکت نویسندگان

جمع‌آوری داده‌ها: دکتر احمد حیدری، دکتر حسین مسریدحسینی، دکتر آیدا بخشی خرمدره، شاکر عمری‌زاده، نعمت نظری و ارمین صانعی؛ تهیه گزارش پژوهش: دکتر احمد حیدری؛ تحلیل داده‌ها: دکتر احمد حیدری، دکتر حسین مسریدحسینی
نویسندگان به طور مساوی در کلیه مراحل طراحی و انجام پژوهش، گردآوری داده‌ها، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، تحلیل و تفسیر اطلاعات و نتایج، تهیه پیشنویس مقاله، بررسی و کنترل نتایج، اصلاح، بازبینی و نهایی‌سازی مقاله مشارکت داشتند.

مشارکت نویسندگان در مقاله مستخرج از پایان نامه تقریباً به شکل زیر باشد:
 نویسنده اول: استاد مشاور: تهیه و آماده‌سازی نمونه‌ها، انجام آزمایش و گردآوری داده‌ها، انجام محاسبات، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، تحلیل و تفسیر اطلاعات و نتایج، تهیه پیشنویس مقاله
 نویسنده دوم: استاد راهنمای پایان‌نامه، طراحی پژوهش، نظارت بر مراحل انجام پژوهش، بررسی و کنترل نتایج، اصلاح، بازبینی و نهایی‌سازی مقاله
 نویسنده سوم: استاد مشاور پایان‌نامه، مشارکت در طراحی پژوهش، نظارت بر پژوهش، مطالعه و بازبینی مقاله
 نویسنده چهارم: دانشجو، مشارکت در تهیه داده و آنالیزهای آزمایشگاهی.

اعلامیه هوش مصنوعی مولد و فناوری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی در فرایند نگارش
 در نوشتن این مقاله از هوش مصنوعی استفاده نشده است.

بیانیه دسترسی به داده‌ها

داده‌هایی پژوهش حاضر از طریق درخواست از نویسندگان قابل دسترسی است.

سپاسگزاری

از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تهران و جهاد دانشگاهی استان سمنان به خاطر حمایت مالی / حمایت معنوی / همکاری در اجرای پژوهش حاضر سپاسگزاری می‌شود.

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

این پژوهش کد اخلاق را به شماره از کمیته اخلاق دانشکده/دانشگاه تهران دریافت کرده است.
 نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنهاست.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

منابع

- امیری، هیمین؛ (۱۳۹۶). طراحی و ساخت سامانه تولید پلت کنترل رهش بر پایه کود کمپوست. رساله دکتری پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران.
 حیدری، احمد؛ میر سید حسینی، حسین و بخشی خرمدره، آیدا؛ (۱۴۰۴). بررسی کارایی کود جدید ساخته شده توسط جهاد دانشگاهی واحد سمنان بر پارامترهای رشد گیاه ذرت در شرایط گلخانه‌ای و مزرعه‌ای. دانشکده کشاورزی - دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی - دانشگاه تهران.
 رضانی تازآباد، مهیار و معتمدی، الهه؛ (۱۴۰۴). تهیه کودهای آهسته - رهش اوره با استفاده از پوشش‌دهی توسط واکس‌های گیاهی و سنتزی. به‌زرعی کشاورزی. ۶۷ (۱) ۶۷-۵۷. <https://doi.org/10.22059/jci.2024.367630.2863>
 ریحانی تبار، عادل، راجی، مریم، خلخال، کمال، همتی، آرش و ساریخانی محمدرضا؛ (۱۴۰۳). ارزیابی شاخص‌های هوموسی شدن و جوانه‌زنی بذر و غلظت برخی عناصر در کمپوست مشترک کود دامی و مواد آلی جنگلی تحت تأثیر مصرف بیوجار چوبی، لئوناردیت و زغال سنگ، مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۵ (۵) ۷۱۳-۶۹۷.
 ساریخانی، محمدرضا، علی اصغر زاد ناصر، و خوشرو بهمن؛ (۱۳۹۷). بررسی اثربخشی باکتری‌های حل‌کننده فسفات در قالب کود میکروبی فسفات بر گیاه ذرت. تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۹ (۱) ۸۱-۷۱.
 سرلکی، احسان، کیانمهر، محمدحسین، کرمانی، علی ماشاالله؛ (۱۴۰۰). پیشرفت‌های اخیر و روندهای تحقیقاتی در کودهای پایدار زیستی بر پایه لیگنین: فناوریهای تولید، سازوکارهای فرآیند و ارزیابی عملکرد. تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۲: ۲۳۰۱-۲۲۷۹.
 سیف‌الهی، ا.؛ خانمیرزایی، ع.؛ صفاری، و.ر.؛ فروزش، پ.؛ صفاری، م.؛ (۱۴۰۴). بررسی تأثیر مواد هیومیکی استخراجی از لئوناردیت بر سینتیک واجذب و شکل‌های شیمیایی نیکل در یک خاک آهکی آلوده به نیکل، مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۶ (۶)، ۱۵۵۵-۱۵۶۹. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2025.393048.669918>
 عباسی عیسی‌کان، ریحانه؛ دولتی، بهنام؛ سپهر، ابراهیم؛ پیری، مرضیه؛ (۱۴۰۴). تأثیر لئوناردیت بر ویژگی‌های جذب و واجذب بور در خاک‌های آهکی، مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۶ (۱) ۵۴-۴۳.
 قادری، جلال؛ اخیانی، احمد؛ خلخال، کمال؛ (۱۴۰۳). تحلیل وضعیت تغذیه‌ای چغندر قند در شهرستان شاهرود با روش تشخیص چندگانه عناصر غذایی



(CND). پژوهش‌های خاک، ۳۸ (۴) ۳۱۵-۳۳۰.

قدسی، محمدحسن؛ (۱۳۹۹). اثر مدیریت تغذیه و مصرف زئولیت بر رشد و عملکرد دانه دو رقم ذرت در شرایط کم‌آبیاری. رساله دکتری دانشگاه گیلان.

نقی‌زاده، مهدی؛ رمرودی، محمود؛ گلوی، محمد؛ سیاه‌سر، براتعلی؛ حیدری، مصطفی؛ و مقصودی مود، علی‌اکبر؛ (۱۳۹۱). تاثیر کاربرد انواع کود فسفوری شیمیایی و زیستی بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت و خلر در کشت مخلوط. علوم گیاهان زراعی ایران. ۴۳ (۲) ۲۱۵-۲۰۳.

REFERENCES

- Abbasi Esakan, R., Dovlati, B., Sepehr, E., Piri, M., (2025) The effect of leonardite on the adsorption and desorption characteristics of boron in calcareous soils, Iranian Journal of Soil and Water Research, 56 (1), 43-54. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.382955.669798> . (In Persian).
- Amiri, H. (2017). Design and construction of control release pellet produce system based on compost fertilizer. PhD Thesis, College of Aboreyhan, University of Tehran. Iran. (In Persian).
- Catherine, M.G., Stephen R.G., and Eugene V.M. (2012). Plant Salt Tolerance. In: Wesley W.W., and Kenneth KT., (Eds), Agricultural Salinity Assessment and Management, Second Edition. American Society of Civil Engineers.
- FAO. 2019. International Code of Conduct for the Sustainable Use and Management of Fertilizers. Rome. (<http://www.fao.org/3/ca5253en/ca5253en.pdf>)
- FERTILIZER RECOMMENDATION TABLE. <http://extension.psu.edu/agronomy-guide>
- Ghaderi, J., Akhyani A. and Khalkhal, K. (2025). Analysis of sugar beet nutritional status in Shahroud county using the compositional nutrient diagnosis (CND) method. Iranian J. Soil Research (Soil and Water Sci.) 38(4). <https://doi.org/10.22092/IJSR.2025.367639.765> . (In Persian).
- Ghodsi, M.H. (2020). Effects of nutrient management and zeolite use on the growth and yield of tow corn species under low irrigation condition. *PhD. Thesis*. Guilan University. (In Persian).
- Heidari, A., Mirseyed Hoseini, H., Bakhshi Khorramdarreh, A. (2025). Investigating the efficiency of the new fertilizer made by the Semnan Branch of Jihad Daneshgahi on the parameters of corn plant growth in greenhouse and field conditions. Agriculture faculty, University of Tehran. Iran. (In Persian).
- HOME/CORN/FERTILIZERS FOR CORN/ TABLE FERTILIZERS FOR CORN. <https://cals.cornell.edu/field-crops/corn/fertilizers-corn/table-fertilizers-corn>.
- Olsen, SR. and Sommers, LE., (1982). Phosphorus. p. 403-430. In: A.L. Page, R.H. Miller, and D.R. Keeney (eds.) Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
- Ramazanoglu, E., Almarie, V., Suzer, MH., Shan, J., Wei, Z., Cullu, MA., Bol, R., & Senbayram, M. (2024). Interactive effects of soil salinity and nitrogen fertilizer types on nitrous oxide and ammonia fluxes. *Geoderma Regional*, 38, e00831. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2024.e00831>
- Ramezani Tazehabad, M., and Motamedi, E. (2025). Preparation of Slow-Release Urea Fertilizers via Coating by Natural and Synthetic Waxes. *Journal of Crops Improvement*, 27 (1), 57-67. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2024.367630.2863> . (In Persian).
- Reyhanitabar, A., Raji, M., Khalkhal, K., Hemati, A., & Sarikhani, M. (2024) Evaluation of humification and seed germination indices and concentration of some elements in the co-composting of manure and forest organic materials under the influence of using wood biochar, leonardite, and coal, Iranian Journal of Soil and Water Research, 55(5), 697-713. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.373171.669672> . (In Persian).
- Sarikhani, M., Aliasgharzad, N., Khoshro, B., (2018). Investigating the effectiveness of phosphate dissolving bacteria in the form of phosphate microbial fertilizer on corn plant. Iranian Journal of Soil and Water Research, 55(5), 697-713. (In Persian).
- Sarlaki, E., Kianmehr, M.H., Kermani, A.M. (2021). Recent advances and research trends in the eco-friendly lignin-based fertilizers: Production technologies, process mechanisms and performance appraisal. Iranian Journal of Soil and Water Research, 52(8), 2279-2301. <https://dx.doi.org/10.22059/ijswr.2021.323230.668961> . (In Persian).
- Seifollahi, I., Khanmirzaei, A., Saffari, V. R., Foroozesh, P., & Saffari, M. (2025). Investigation of the effects of leonardite-derived humic substances on nickel desorption kinetics and chemical forms in a calcareous nickel-contaminated soil., Iranian Journal of Soil and Water Research, 56 (6), 1555-1569. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2025.393048.669918> . (In Persian).
- Skjemstad, JO., and Reeve, R., (1976). The determination of nitrogen in soils by rapid high-temperature kjeldahl digestion and autoanalysis. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 7, 229-239.

- Soil Survey Staff. (2009). Soil Survey Field and Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report No. 51, Version 1.0. R. Burt (ed.). U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.
- Taghizadeh, M., Ramroodi, M., Golvi, M., Syahsar, B., Heydari, M. and Maghsoodi Moud, A.A. (2012). The effect of using various types of chemical and biological phosphorous fertilizers on the yield and yield components of corn and sorghum in mixed cultivation. Iranian Journal of Crop Sciences. 43(2) 203-215. (In Persian).
- United States Salinity Laboratory Staff, (1954). Saline and Alkali Soils. Agriculture Handbook No. 60, United States Department of Agriculture.
- Walkley, AJ. and Black, IA., (1934) Estimation of soil organic carbon by the chromic acid titration method. Soil Sci. 37, 29-38.
- Weil, RR., and Brady, NC., (2017). Soil Water: Characteristics and Behavior, In: The Nature and Properties of Soils, 15th edition, ISBN 978-0-13-325448-8, published by Pearson Education.