



Comparing the Efficiency of a Slow-Release Organic-Mineral Fertilizer with Common Fertilizers on Forage Corn Yield in the Field

Ahmad Heidari¹✉ | Hosein Mir Seyed Hoseini² | Aida Bakhshi Khorramdarreh³

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

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: May. 1, 2026

Revised: July. 4, 2026

Accepted: Aug. 11, 2026

Published online: Oct. 23, 2026

Keywords:

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

ABSTRACT

The aim of this study was to determine the efficiency of a Leonardite-based slow-release organic-mineral fertilizer for corn nutrition in comparison with common fertilizers in two experiments, with a completely randomized block design. The first experiment included corn fertilizer requirement plus (B=0, T1=300, T2=500, and T3=800 kg/ha) of slow-release fertilizer. The second experiment included 500 kg/ha of slow-release fertilizer plus (B+=0, R1=50, R2=75, and R3=100) percent of corn NPK requirement, in 4 replications and a total of 32 plots in the field. The results showed that the efficiency of nitrogen, phosphorus, and potassium in the second experiment was higher than their efficiency in the first experiment. The higher efficiency of nitrogen, phosphorus, and potassium when using slow-release fertilizer, led to increase the end- season yield. The use of slow-release fertilizer, in addition to increasing the efficiency of NPK and yield, also caused a significant decrease in pH, which probably helped improve the availability of trace nutrients. The efficiency of nitrogen, phosphorus, and potassium in the mid season of both experiments, when the plant is not fully established, was very low, but in the end season, the efficiency of nitrogen, phosphorus, and potassium increased sharply. Overall, the highest efficiency of nitrogen (N=66.68%) was obtained in the R3, phosphorus (P=85.19%) in the B+, and potassium in the R3 (K=8.87%) treatments of the second experiment. As a general conclusion, it can be stated that the tested slow-release fertilizer can be used as a complete or auxiliary fertilizer in corn nutrition with appropriate yield.

Cite this article: Heidari, A., Mir Seyed Hoseini, H., & Bakhshi Khorramdarreh, A. (2026). Investigation of growth parameters of forage corn and the effectiveness of a slow-release organic-mineral fertilizer compared to traditional fertilizers under field conditions., *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 57 (8), 1845-1867. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2026.413564.670129>

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.



DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2026.413564.670129>

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

The goal of the research was to evaluate the effectiveness of a slow-release organic-mineral fertilizer in order to provide recommendations for farmers. Additionally, the study aimed to identify the fertilizer's limitations and its relative advantages compared to standard fertilizers commonly used. The performance of the slow-release organic-mineral fertilizer was tested in a field environment. The research comprised two independent statistical experiments, each designed to assess the fertilizer's effectiveness in the field in 4 replications and a total of 32 plots.

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 32 plots.

Results

The results of the plant parameter measurements taken at the mid-term and end of two experiments indicated significant differences ($p=95\%$) in plant height, fresh weight, and yield (fresh weight) between the two experiments. However, the average plant height did not differ significantly between the experiments. The notable differences in plant fresh weight, dry weight, and crop yield (measured in T/ha) at the end of the growth period were primarily attributed to the varying types and amounts of fertilizers used. An interesting observation at the mid-term stage was that in the first experiment, increasing the amount of slow-release organic-mineral fertilizer from 300 kg/ha (T1) to 500 kg/ha (T2) and 800 kg/ha (T3) led to a decrease in yield, with the highest yield coming from the control treatment (B), which had no slow-release organic-mineral fertilizer. Conversely, in the second experiment, reducing the amount of conventional fertilizers from 100% (R1) to 75% (R2) and then to 50% (R3) resulted in increased yields. However, the control treatment (B+), which contained only the slow-release organic-mineral fertilizer, experienced a sharp drop, resulting in the lowest yield. Thus, during the intermediate stage, the conventional fertilizer treatment (B) yielded the best results, while the slow-release organic-mineral fertilizer treatment (B+) yielded the least. In the end-of-period results, treatments containing the slow-release organic-mineral fertilizer, combined with 100% (R1) and 50% (R3) of conventional fertilizers, showed the highest yields. Notably, the control treatment of slow-release organic-mineral fertilizer (B+) experienced a significant increase compared to the intermediate stage, surpassing the yield of the conventional fertilizer treatment (B). Based on the end-of-period results, it can be concluded that using slow-release organic-mineral fertilizer as a supplement to conventional fertilizers was very effective, leading to an increase in crop yield by 45% to 49% in treatments R3 and R1 compared to conventional fertilizers. Additionally, using slow-release organic-mineral fertilizer alone resulted in an approximate 8% yield increase compared to conventional fertilizers.

Conclusions

The use of slow-release fertilizer, in addition to increasing the efficiency of NPK and yield, also caused a significant decrease in pH, which probably helped improve the availability of trace nutrients. The efficiency of nitrogen, phosphorus, and potassium in the mid season of both experiments, when the plant is not fully established, was very low, but in the end season, the efficiency of nitrogen, phosphorus, and potassium increased sharply. Overall, the highest efficiency of nitrogen ($N=66.68\%$) was obtained in the R3, phosphorus ($P=85.19\%$) in the B+, and potassium in the R3 ($K=8.87\%$) treatments of the second experiment. As a general conclusion, it can be stated that the tested slow-release fertilizer can be used as a complete or auxiliary fertilizer in corn nutrition with appropriate yield.

Funding

The study was funded by the University of Tehran, Country Iran, and Grant No. 99332826.

Authorship contribution

"Conceptualization, Dr. Ahmad Heidari and Dr. Mir Seyed Hoseini; methodology, Dr. Ahmad Heidari and Dr. Mir Seyed Hoseini; software, Dr. Ahmad Heidari; validation, Dr. Ahmad Heidari, and Dr. Mir Seyed

Hoseini; formal analysis, Dr. Aida Bakhshi; investigation, Ahmad Heidari; resources, Ahmad Heidari; data curation, Dr. Aida Bakhshi; writing—original draft preparation, Ahmad Heidari; writing—review and editing, Ahmad Heidari; visualization, Ahmad Heidari; supervision, Ahmad Heidari; project administration, Ahmad Heidari; funding acquisition, Ahmad Heidari. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.”

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

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

The authors would like to thank anonymous referees for their constructive comments. The authors would like to thank anonymous reviewers for their valuable suggestions in manuscript revision.

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.

مقایسه کارایی یک کود آلی-معدنی کندرھش با کودهای رایج بر عملکرد ذرت علوفه‌ای در مزرعه

احمد حیدری^۱ | حسین میرسیدحسینی^۲ | آیدا بخشی خرمدره^۳

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:

۳. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه:

mirseyed@ut.ac.iraida_bakhshi@ut.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۲/۱۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۴/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۵/۲۰

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۸/۱

واژه‌های کلیدی:

کود کندرھش،

کارایی کود،

تغذیه ذرت علوفه‌ای،

نیاز کودی.

هدف این تحقیق تعیین میزان کارایی کود آلی-معدنی کندرھش مبتنی بر لئوناردیت در مقایسه با کودهای رایج برای تغذیه ذرت در قالب دو آزمایش با طرح بلوک کاملاً تصادفی بود. آزمایش اول شامل نیاز کودی ذرت باضافه ($B=0$ ، $T_1=300$ ، $T_2=500$ و $T_3=800$ kg/ha) کود کندرھش، و آزمایش دوم شامل 500 kg/ha کود کندرھش، باضافه ($B=0$ ، $R_1=50$ ، $R_2=75$ و $R_3=100$ درصد نیاز ذرت به NPK) در ۴ تکرار و مجموعاً ۳۲ کرت در مزرعه بود. نتایج نشان داد که کارایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم در آزمایش دوم، بیش از کارایی آنها در آزمایش اول بود. بالاتر بودن کارایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم هنگام استفاده از کود آلی-معدنی کندرھش به عنوان کود اصلی، باضافه مقادیر متفاوت از کودهای رایج موجب افزایش عملکرد پایان دوره نیز شد. کاربرد کود کندرھش به عنوان کود اصلی علاوه بر افزایش کارایی عناصر غذایی NPK و افزایش عملکرد، موجب کاهش معنی دار pH نیز شد که احتمالاً به بهبود دسترسی عناصر غذایی کم مصرف نیز کمک کرده است. میزان کارایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم در مرحله میان دوره هر دو آزمایش که گیاه کاملاً استقرار نیافته است، بسیار پایین است، ولی در مرحله پایان دوره میزان کارایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم به شدت افزایش یافت. در مجموع بیشترین کارایی نیتروژن ($66/68\%$) در تیمار R_3 ، فسفر ($85/19\%$) در تیمار شاهد $B+$ ، و پتاسیم در تیمار R_3 ($87/8\%$) در آزمایش دوم به دست آمد. به عنوان نتیجه گیری کلی می توان بیان داشت که کود آلی-معدنی کندرھش مورد آزمایش می تواند به عنوان یک کود کامل یا کمکی در تغذیه ذرت با عملکرد مناسب مورد استفاده قرار گیرد.

استناد: حیدری، احمد؛ میرسیدحسینی، حسین؛ و بخشی خرمدره؛ آیدا (۱۴۰۵). بررسی پارامترهای رشد ذرت علوفه‌ای و کارایی یک کود آلی-معدنی کندرھش در

مقایسه با کودهای رایج در شرایط مزرعه‌ای، مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۷ (۸)، ۱۸۴۵-۱۸۶۷.

<https://doi.org/10.22059/ijswr.2026.413564.670129>

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2026.413564.670129>

مقدمه

استفاده از کودهای شیمیایی رایج برای جبران برداشت عناصر غذایی توسط محصولات کشاورزی و همچنین آبشویی عناصر، روشی متداول و ضروری می‌باشد. حلالیت زیاد کودهای رایج مصرفی موجب رهائش سریع عناصر غذایی و آبشویی آنها، تثبیت توسط ذرات جامد و سپس حذف عناصر غذایی از خاک طی فرایند فرسایش و عدم دسترسی آنها برای گیاه می‌شود. این مشکل باعث هدررفت کود، افزایش هزینه‌ها و آلودگی محیط زیست می‌شود. برای رفع مشکل هدررفت کودهای مصرفی روش‌های متعددی وجود دارد که از جمله آنها استفاده از مواد آلی جهت پوشش دهی و کاهش حلالیت آنها در آب است (رمضانی تازه‌آباد و معتمدی، ۱۴۰۴). تولید کودهای کند-رهش که عناصر غذایی را با سرعت کنترل شده و در زمان مناسب آزاد می‌کنند، روش نسبتاً جدیدی است که می‌تواند تا حد زیادی مشکل هدررفت و آبشویی عناصر غذایی کودهای شیمیایی را برطرف سازد (سلیمی و همکاران، ۱۴۰۱) که یکی از اولویت‌های صنایع تولید کود و همچنین کشاورزان و بهره‌برداران و متخصصین محیط زیست است. بنابراین یکی از راه حل‌های کنترل میزان آلودگی ناشی از کودهای شیمیایی، ارائه فرمولاسیون کودهایی با عملکرد کندرهش می‌باشد (رمضانی تازه‌آباد و معتمدی، ۱۴۰۴). امیری (۱۳۹۶) بیان داشت که با فشرده‌سازی و متراکم نمودن مواد زیستی به صورت پلت و یا گرانول و غنی‌سازی این مواد با کودهای شیمیایی، می‌توان کود کنترل‌رهش تهیه نمود. از دیگر روش‌های مقابله با فقدان کودهای شیمیایی برگرداندن بقایای گیاهی به خاک و استفاده از کودهای آلی نظیر ورمی-کمپوست می‌باشد (پوراسماعیل و همکاران، ۱۴۰۴). یکی از مواد کودی که برای اصلاح خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها و تولید کودهای کندرها به کار برده شده است، لئوناردیت (Leonardite) می‌باشد (ریحانی تبار و همکاران، ۱۴۰۳؛ عباسی عیسی‌کان و همکاران، ۱۴۰۴). لئوناردیت یک شبه‌کانی (Mineraloid) نرم با سطوح براق و شیشه‌ای، و بقایای گیاهی هوموسی‌شده با رنگ سیاه تا قهوه‌ای است که به راحتی در محلول‌های قلیایی حل می‌شود. این کانی محصول اکسیداسیون لیگنیت (زغال سنگ زرد تا قهوه‌ای تیره و به ندرت سیاه) است که از لایه‌های بالایی معادن روباز و نزدیک به سطح زمین به دست می‌آید. این کانی غنی از اسید هیومیک (تا ۹۰٪) است و به عنوان اصلاح‌کننده خاک، تثبیت‌کننده یونی در تصفیه آب، پاک‌سازی محیط‌های آلوده و همچنین به عنوان افزودنی نرم‌کننده در حفاری استفاده می‌شود (<https://www.leonarditeproducts.com/Agriculture>). لئوناردیت حاوی اسید هیومیک و اسید فولویک زیاد است و مشابه لیگنیت، دارای گروه‌های عاملی متعدد مانند کربوکسیل، هیدروکسیل و کربونیل است که حاوی مقادیر قابل توجهی نیتروژن، فسفر، پتاسیم و سایر عناصر کم مصرف است، که برای تولید کودهای کندرها مورد توجه قرار گرفته است. لئوناردیت یک جاذب ارزان قیمت است که به دلیل فراوانی طبیعی، تخریب پذیری کم و سازگاری آن با محیط زیست، پتانسیل بالایی برای استفاده در کشاورزی و محیط زیست دارد (عباسی عیسی‌کان و همکاران، ۱۴۰۴).

بر اساس تعریفی که (FAO, 2019) ارائه کرده است کود به مواد یا ترکیبات شیمیایی یا طبیعی گفته می‌شود که برای تأمین مواد غذایی گیاهان، از طریق خاک، شاخ و برگ، آب در سیستم‌های شالیکاری، کودآبیاری، هیدروپونیک یا عملیات آبی‌پروری به کار برده می‌شود. با توجه به تعریف فوق کودها انواع مختلفی دارند که شامل کودهای شیمیایی و معدنی، کودهای آلی می‌باشند (FAO, 2019). کود معدنی به کودهایی اطلاق می‌شود که غنی از مواد غذایی هستند که به شکل صنعتی و با فرآیندهای شیمیایی، استخراج از معادن یا آسیاب مکانیکی مواد غنی از عناصر و ترکیبات، تولید می‌شوند. با توجه این موضوع اگرچه اوره یک ماده آلی است، اما بر اساس این تعریف به عنوان یک کود معدنی شناخته می‌شود (FAO, 2019). همچنین، کودهای آلی ترکیبات غنی از کربن هستند که از مواد آلی (کودهای دامی فرآوری شده یا خام)، کمپوست، ورمی کمپوست، لجن فاضلاب و سایر مواد آلی، یا مواد مخلوط مورد استفاده برای تأمین مواد غذایی گیاه را شامل می‌شود (FAO, 2019). با توجه به تعاریف مذکور، ترکیبات آلی-معدنی که حاوی مقادیر کافی مواد آلی بوده، و در عین حال مواد معدنی با قابلیت تأمین عناصر غذایی گیاهان، بخش قابل توجهی از آنها را تشکیل داده است و می‌توان به عنوان کودهای آلی-معدنی در نظر گرفت.

رمضانی تازه‌آباد و معتمدی (۱۴۰۴)، در تحقیقی تحت عنوان تهیه کودهای کندرهش اوره با استفاده از پوشش‌دهی توسط واکس‌های گیاهی و سنتزی نتیجه گرفتند که واکس کارنوبا (حاصل از نخل کارنوبا *Copernicia prunifera*) به عنوان ماده مورد استفاده برای پوشش‌دهی اوره، اثربخش بوده و زمان رهائش نیتروژن از اوره را به شکل قابل ملاحظه‌ای افزایش داد. این ماده به علت غیرسمی و بی‌خطر بودن می‌تواند به عنوان پوشش برای تهیه کودهای آهسته‌رهش اوره به کار برده شود. سرلکی و همکاران (۱۴۰۰)، در مطالعه مروری خود بیان داشتند که تولید کودهای بر پایه لیگنین به دلیل ویژگی‌های کندرهش و ترکیبات شیمیایی و ویژگی‌های منحصر به فرد،



انحلال آهسته، قابلیت جذب بالا، زیست‌سازگاری، زیست‌تجزیه‌پذیری، غیرفرار بودن، پایداری بلندمدت، آبشویی و آلودگی کمتر، بازده کودی بیشتر، قیمت پایین و فعالیت بیولوژیکی، می‌توانند به عنوان حامل‌های کندر هش و اصلاح کننده خاک مورد توجه قرار گیرند. سرلکی و همکاران (۱۴۰۰)، اضافه کردند که 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. آذربایجانی (۱۴۰۲)، در مطالعه خود سنتز و ارزیابی کودهای آهسته‌رهش NPK با قابلیت نگهداری آب را به عنوان روشی برای کنترل آلودگی ناشی از کودهای شیمیایی مورد بررسی قرار داده و تولید کودهای کندر هش را توصیه نمود. آذربایجانی (۱۴۰۲) همچنین یک کود آهسته‌رهش بر پایه سدیم آلزینات و پلی‌استایرن را پیشنهاد داد که به دلیل داشتن خاصیت هیدروژلی می‌تواند آب و مواد مغذی را جذب نموده و در خود حفظ کند. همچنین 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. امیری (۱۳۹۶)، که فشرده‌سازی و متراکم نمودن مواد زیستی به صورت پلت و یا گرانول، و غنی‌سازی این مواد با کودهای شیمیایی، موجب کنترل رهش شدن کود و افزایش رشد، کلروفیل و عملکرد گیاه ریحان می‌شود. سیف‌الهی و همکاران (۱۴۰۴)، گزارش دادند که کاربرد هیومیک اسید منجر به افزایش ۵۲ درصدی و جذب نیکل می‌شود و در مقایسه کاربرد ترکیب هیومیک اسید-فولویک اسید، و فولویک اسید به تنهایی، به ترتیب موجب کاهش ۱۳ و ۳۵ درصدی و جذب 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. مساله‌ای که می‌تواند در توسعه روش‌های پایدار مدیریت آلودگی فلزات سنگین، از جمله تثبیت شیمیایی یا فرآیند گیاه‌پالایی، مورد بهره‌برداری قرار گیرد. عباسی عیسی‌کان و همکاران (۱۴۰۴)، گزارش نمودند که استفاده از لئوناردیت باعث افزایش ظرفیت و جذب بور در خاک‌ها شده و تأثیر ۴ درصد لئوناردیت، نسبت به ۲ درصد بیش‌تر است. ریحانی‌تبار و همکاران (۱۴۰۳)، گزارش نمودند که با توجه به هزینه‌های مواد اولیه، زغال‌سنگ تیمار مناسبی برای تسریع تولید و بهبود کیفیت کمپوست می‌باشد و از لئوناردیت به دلیل درصد بالای مواد هیومیک می‌توان در انتهای کمپوست‌شدن به منظور غنی‌سازی و بهبود کیفیت کمپوست تولید شده استفاده نمود. قدسی (۱۳۹۹) اثر مدیریت تغذیه و مصرف زئولیت بر رشد و عملکرد دانه دو رقم ذرت در شرایط کم‌آبیاری 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.

حیدری و همکاران (۱۴۰۴) گزارش نمودند که کاربرد کود کندر هش به عنوان یک کود کامل با اضافه مقادیری از کودهای استاندارد بسیار موثر بوده و عملکرد ذرت علوفه‌ای را نسبت به کاربرد کودهای رایج به تنهایی، بین ۴۵ تا ۴۹ درصد افزایش داده است. همچنین کاربرد کود کندر هش آلی-معدنی به تنهایی و بدون کودهای رایج توانست عملکرد ذرت را حدود ۸ درصد نسبت به کودهای رایج افزایش دهد. بررسی کارایی (Efficiency) کود کندر هش آلی-معدنی نشان داد که در پایان دوره رشد ذرت علوفه‌ای، نسبت بازیافت نیتروژن، فسفر و پتاسیم به حد نهایی خود رسیده است. نیتروژن و فسفر که کمبود آنها در خاک مورد استفاده دیده شد، بیش‌ترین کارایی و بازیافت را داشتند ولی پتاسیم که در خاک به اندازه کافی وجود داشت کم‌ترین کارایی و بازیافت را نشان داد.

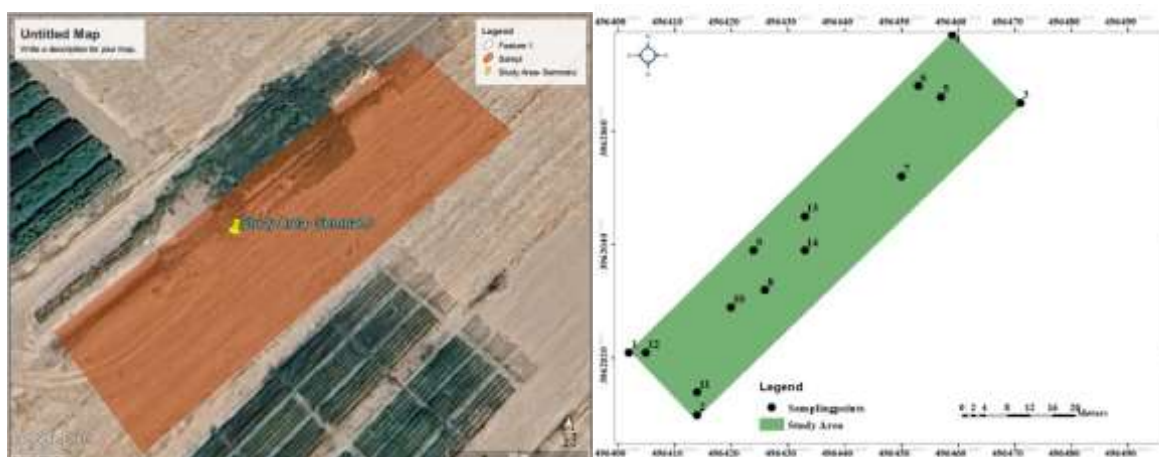
استفاده از لئوناردیت در تولید کودهای کندر هش علیرغم اهمیتی که دارد کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج به دست آمده از تحقیقات قبلی گاهی تفاوت‌های شدیداً متناقضی را نشان داده‌اند، ولی لئوناردیت به عنوان ماده آلی دارای ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی منحصر به فرد، که در تغذیه گیاهان و عملکرد محصول نقش دارد مورد بررسی دقیق قرار نگرفته است. اهداف این مطالعه عبارت بودند از: ۱- ارزیابی کارایی کود آلی-معدنی کندر هش مبتنی بر لئوناردیت به عنوان کود مکمل بر عملکرد گیاه ذرت علوفه‌ای در شرایط مزرعه‌ای، در مقایسه با کاربرد کودهای رایج به تنهایی و ۲- ارزیابی کارایی کود آلی-معدنی کندر هش به عنوان کود اصلی بر عملکرد ذرت علوفه‌ای، همراه با مقادیر متفاوت از کودهای رایج. لذا این مطالعه برای آزمون دو فرض زیر انجام پذیرفت: فرض اول: افزودن کود آلی-معدنی کندر هش به همراه مقادیر رایج از کودهای استاندارد موجب افزایش عملکرد ذرت علوفه‌ای می‌شود. فرض دوم: استفاده از مقدار ثابتی از کود آلی-معدنی کندر هش به همراه مقادیر متفاوت از کودهای استاندارد، عملکرد ذرت علوفه‌ای را افزایش می‌دهد.

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 نمونه برداری 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 تیمارها و انجام کشت اندازه گیری شدند. قبل از اقدام به کشت ذرت (۱۷ اردیبهشت ۱۴۰۴)، عملیات زراعی لازم شامل شخم، دیسک، و مالکشی انجام شد. سپس کودها با مقادیر معین، به صورت خطی در شیارهای ایجاد شده بر روی پشته‌ها توزیع و با یک لایه چند سانتی متری خاک پوشانده شدند. بذرها با فواصل ۲۰ سانتی متر در شیارهای ایجاد شده با فاصله ۷۵ سانتی متر، و عمق حدود ۱۰ سانتی متر، به صورت دستی، و با تراکم حدود ۶۷۰۰۰ بوته در هکتار، توزیع و بذرها با لایه ۳-۴ سانتی متری خاک پوشانده شدند. آبیاری در مزرعه با سیستم آبیاری نواری اجرا شد و میزان آب مصرفی آبیاری با نصب کنتور اندازه گیری شد. رطوبت خاک با سنجش مداوم همواره در محدوده بیش از ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای حفظ گردید. در هر کرت به طور میانگین تعداد ۱۶۰ بوته در وسعت ۲۱ مترمربع وجود داشت.



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

طراحی آزمایش

دو آزمایش مستقل در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی طراحی و اجرا گردید. در آزمایش اول مقادیر رایج کودهای شیمیایی پر مصرف (NPK) بر اساس نیاز کودی گیاه ذرت علوفه‌ای (۳۳۵ کیلوگرم نیتروژن، معادل ۷۳۰ کیلوگرم اوره)، ۷۶ کیلوگرم فسفر (معادل ۳۷۴ کیلوگرم سوپرفسفات‌تریپل)، 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 کندرھش آلی-معدنی مورد آزمون قرار گرفت. کود کندرھش آلی-معدنی یک گرانول فشرده شده از مواد آلی و معدنی بر پایه لئوناردیت بود. چهار تیمار: تیمار شاهد (B) شامل (مقادیر رایج کود شیمیایی + بدون کود کندرھش آلی-معدنی)، تیمار شامل T1 (مقادیر رایج کود شیمیایی + ۳۰۰ کیلوگرم کود کندرھش آلی-معدنی)، تیمار T2 شامل (مقادیر رایج کود شیمیایی + ۵۰۰ کیلوگرم کود کندرھش آلی-معدنی)، تیمار T3 شامل (مقادیر رایج کود شیمیایی + ۸۰۰ کیلوگرم کود کندرھش آلی-معدنی)، هر یک در ۴ تکرار اعمال شدند. در آزمایش دوم مقادیر یکسان کود آلی-معدنی کندرھش (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+ شامل (بدون مقادیر رایج کود شیمیایی + ۵۰۰ کیلوگرم کود کندرھش آلی-معدنی)، تیمار R1 شامل (۱۰۰ درصد مقادیر رایج کود شیمیایی + ۵۰۰ کیلوگرم کود کندرھش آلی-معدنی)، تیمار R2 شامل (۷۵ درصد مقادیر رایج کود شیمیایی + ۵۰۰ کیلوگرم کود کندرھش آلی-معدنی)، و تیمار R3 شامل (۵۰ درصد مقادیر رایج کود شیمیایی + ۵۰۰ کیلوگرم کود کندرھش 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 $(CO(NH_2)_2)$ ، ۴۶ درصد نیتروژن، سوپرفسفات تریپل $(Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O)$ ، 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 کندرھش

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 کندرھش 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 کندرهش آلی-معدنی

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

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 کندرهش با استفاده از روش والکلی-بلک اندازه‌گیری شد (Walkley & Black, 1934). اندازه‌گیری نیتروژن کل موجود در نمونه کود به روش کج‌لدال انجام شد. برای اندازه‌گیری پتاسیم و فسفر کل، 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 در نمونه عبور داده شده از الک ۲ میلی‌متری با روش هیدرومتری تعیین گردید (Gee and Bauder, 1986). 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 دسترس، از روش استات آمونیوم ۱ نرمال با pH ۷ استفاده شد (Soil Survey Staff, 2009). نیتروژن کل خاک و گیاه به ترتیب پس از هضم در اسید سولفوریک غلیظ و اسید سولفوسالیسیلیک به روش "کج‌لدال" تعیین شدند (Skjemstad and Reeve, 1976). پتاسیم و فسفر گیاه پس از سوزاندن در کوره ۵۰۰ درجه و هضم در اسید کلریدریک ۱ نرمال به ترتیب توسط فلیم‌فتومتر و اسپکتروفتومتر در دو رنگ آمیزی (آبی مولیبدن) و (زرد وانادیم) با دو طول موج (۸۸۰ nm) و (۴۷۰ nm)، تعیین شدند (Olsen & Sommer, 1982). مقدار فسفر قابل دسترس خاک هم با روش اولسن اندازه‌گیری شد (Olsen & Sommer, 1982).

اندازه‌گیری خصوصیات رشدی ذرت در مراحل میانی و پایانی رشد

علاوه بر اندازه‌گیری عناصر غذایی پرمصرف NPK، برای تعیین ارتفاع و وزن بوته‌های هر کرت در هر تیمار، ارتفاع و وزن ۱۰ بوته از هر کرت اندازه‌گیری و میانگین آنها به عنوان میانگین ارتفاع و وزن بوته در دو مرحله میانی و پایانی هر آزمایش در نظر گرفته شد. وزن تر بوته‌ها در هر کرت و وزن تر گیاه در هر کرت از حاصل ضرب میانگین وزن تر بوته در تعداد بوته در هر کرت به دست آمد. عملکرد تر و عملکرد خشک هر کرت بر حسب T/ha از حاصل ضرب وزن تر و خشک گیاه در هر کرت در عدد ۱۰ و تقسیم بر مساحت هر کرت بر حسب تن در هکتار به دست آمد (رابطه ۱).

$$\text{رابطه ۱)} \quad \text{مساحت کرت (مترمربع)} \times 10 / \text{وزن تر گیاه در هر کرت (کیلوگرم)} = \text{عملکرد (تن در هکتار)}$$

شاخص سطح برگ از طریق تصویربرداری رقومی از مساحت پوششی کل برگ‌های در یک بوته منتخب به صورت تصادفی از میان بوته‌های نمونه‌برداری شده در هفته ششم، و مرحله برداشت گیاه (هفته سیزدهم) انجام شد. برای این کار کلیه برگ‌های بوته مورد نظر قطع شده و به طور یکنواخت بر روی میز پهن شدند. با قرار دادن یک خط‌کش به عنوان مقیاس در کنار برگ‌های گسترده شده تصویر برداری دیجیتال از آنها انجام و با استفاده از نرم‌افزار ImageJ Thresholding و مساحت یابی انجام گردید. مساحت به دست آمده در تعداد بوته‌های هر کرت ضرب و به مساحت کرت (۲۱ مترمربع) تقسیم گردید تا شاخص سطح برگ به دست آید.

شاخص کلروفیل گیاه در مزرعه و در گلخانه در مرحله برداشت گیاه صورت گرفت. برای اندازه‌گیری شاخص کلروفیل گیاه از دستگاه SPAD مدل کونیکا-مینولتا (Konica-Minolta) استفاده شد. برای انجام این کار ۵ اندازه‌گیری از هر کرت انجام شد و میانگین آنها به عنوان شاخص کلروفیل گیاه در نظر گرفته شد.

تعیین مقادیر جذب شده عناصر پرمصرف NPK در میان‌دوره و پایان‌دوره

برای تعیین مقادیر جذب شده عناصر NPK توسط گیاه در مراحل میان‌دوره و پایان‌دوره از حاصل ضرب درصد اندازه‌گیری شده عناصر گیاه، در عملکرد وزن خشک محصول، در مراحل میانی و پایانی رشد استفاده شد.

تجزیه و تحلیل آماری نتایج

آنالیزهای آماری نتایج صحرایی به دست آمده از دو آزمایش مستقل طراحی شده و 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 نرم‌افزار SPSS انجام شد و برای تکمیل جداول و نمودارها از نرم‌افزار Excel 2016، استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج اندازه‌گیری خصوصیات خاک و آب

خصوصیات نمونه مرکب خاک و نمونه آب آبیاری مورد استفاده اندازه‌گیری شدند (جدول ۲). بافت خاک لوم_رسی بود که از نظر توزیع اندازه ذرات و قابلیت نگهداری آب خصوصیات مناسبی را دارد. بر اساس نظر (Weil and Brady, 2017) بیش‌ترین آب قابل دسترس برای گیاه در دو کلاس بافتی لوم سیلتی و لوم رسی وجود دارد. از نظر قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع، خاک مزرعه با EC برابر ۱/۶ dS/m در کلاس غیر شور، و از نظر pH کمی قلیایی (pH=۷/۸۸) است. کربن آلی خاک نسبتاً پایین (OC=۰/۶۱٪) و درصد کربنات کلسیم معادل (CCE) حدود ۸ درصد است. 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 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).

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 آبشویی 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).

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
	نیتروژن (Nt)		۰/۰۱
	پتاسیم قابل دسترس (Kav)	mg/kg	۳۹۴
	فسفر قابل دسترس (Pav)		۶
نمونه آب	قابلیت هدایت الکتریکی (EC)	dS/m	۰/۷۶
	واکنش آب (pH)	-	۷/۷۳

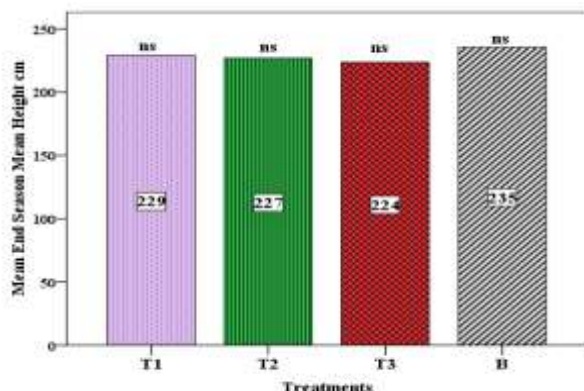


مقایسه نتایج اندازه‌گیری‌های پارامترهای گیاهی آزمایش اول در مرحله میانی و پایان دوره

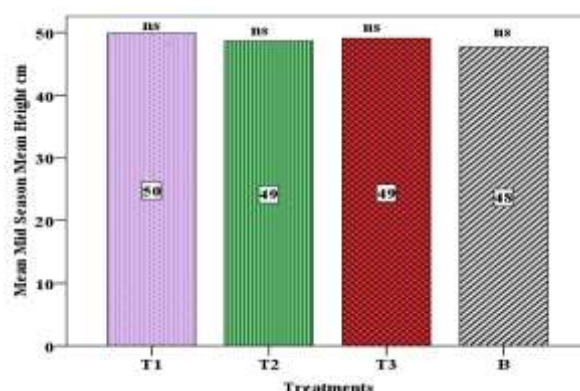
مقایسه آماری خصوصیات اندازه‌گیری شده

مقایسه آماری ارتفاع بوته‌ها در مراحل میان دوره و پایان دوره اختلاف معنی‌دار نشان نداد (شکل ۲ الف و ب). میانگین ارتفاع بوته‌ها در مرحله میان دوره (هفته ششم رشد گیاه، ۸ تا ۱۰ برگی) در کل طرح ۴۸/۸۴ cm (۴۳/۲۰ cm تا ۵۵/۶)، با انحراف معیار ۳/۴۰ cm می‌باشد (جدول ۳). بیش‌ترین ارتفاع در تیمار T1 (کودهای شیمیایی رایج + ۳۰۰ کیلو کود کندرهش) (۴۹/۹۰ cm) و کم‌ترین ارتفاع در تیمار شاهد (۴۷/۷۰ cm) ثبت گردید که نشان می‌دهد کاربرد کود کندرهش به عنوان کود مکمل به همراه کودهای رایج در همه تیمارها در مقایسه با کاربرد کودهای رایج به تنهایی در مرحله میان دوره ارتفاع بوته را افزایش داده است. میانگین ارتفاع بوته‌ها در مرحله پایان دوره (هفته سیزدهم) به ۲۲۸/۷۶ cm (۱۹۹/۴۰ تا ۲۶۷/۶۰)، با انحراف معیار ۲۱/۵۵ cm رسیده است. در این مرحله تیمار شاهد (۲۳۵/۴۳ cm) بیش‌ترین میانگین ارتفاع بوته و تیمار T3 (کودهای شیمیایی رایج + ۸۰۰ کیلو کود کندرهش) (۲۲۳/۶۳ cm) کم‌ترین ارتفاع را داشته‌اند. میانگین وزن تر بوته‌ها در مرحله میان دوره (هفته ششم رشد گیاه) ۰/۳۰ kg (۰/۲۲ تا ۰/۴۳) بود که در مرحله پایان دوره به ۱/۰۳ (۰/۸۱ تا ۱/۲۹) افزایش یافت (جدول ۳). با توجه به تعداد یکنواخت بوته‌ها در کرت‌ها وزن تر و وزن خشک کل بوته‌ها در هر کرت مضربی از وزن تر بوته‌ها بوده و روند تغییرات مشابه با آن داشتند (جدول ۳). در میان دوره آزمایش اول، تیمار شاهد (B) که حاوی کودهای رایج و بدون کود کندرهش بود، بیش‌ترین، و تیمار T3 (کودهای شیمیایی رایج + ۸۰۰ کیلو کود کندرهش) کم‌ترین وزن تر هر بوته، وزن تر و وزن خشک کل بوته‌ها در هر کرت را به خود اختصاص دادند، هر چند اختلاف تیمارها معنی‌دار نشد. در حالی که در مرحله "پایان دوره" تیمار شاهد (B) کم‌ترین وزن تر هر بوته، وزن تر و خشک کل بوته‌ها در هر کرت، را به خود اختصاص داد و بیش‌ترین مقدار در تیمار T3 (کودهای شیمیایی رایج + ۸۰۰ کیلو کود کندرهش) به دست آمد. افزایش وزن تیمارهای حاوی کود کندرهش در مقایسه با شاهد در پایان دوره را می‌توان به آزادسازی تدریجی عناصر غذایی از کود کندرهش و تاثیر مثبت آن نسبت داد. میانگین عملکرد هر کرت در در میان دوره آزمایش اول ۲۲/۵۱ T/ha (۱۶/۸۲ تا ۳۳/۰۱) بود که در پایان دوره به ۸۲/۳۹ T/ha رسید (جدول ۳). میانگین عملکرد تیمارها در میان دوره ۲۲/۵۱ T/ha (۲۰/۸۰ تا ۲۵/۰۰) بود که در پایان دوره به ۸۲/۳۹ رسید. مقایسه تفاوت عملکردها در هیچ کدام از مراحل میان دوره و پایان دوره معنی‌دار نشد (شکل ۲ ج و د). بیش‌ترین میزان عملکرد در مرحله میان دوره (۲۵ T/ha) در تیمار شاهد (B) که حاوی کودهای رایج بود به دست آمد و کم‌ترین عملکرد مربوط به تیمار T3 (کودهای شیمیایی رایج + ۸۰۰ کیلو کود کندرهش) بود که علاوه بر کودهای رایج حاوی ۸۰۰ کیلوگرم در هکتار کود کندرهش بود. این میزان عملکرد در پایان دوره کاملاً برعکس شد و تیمار شاهد کم‌ترین (T/ha) ۷۶/۴۶ و تیمار T3 (کودهای شیمیایی رایج + ۸۰۰ کیلو کود کندرهش) بیش‌ترین (۸۹/۹۷ T/ha) را به خود اختصاص دادند. که در مقایسه با میان دوره تاثیر کود کندرهش را اثبات می‌کند. این نتایج، با یافته‌های قدسی (۱۳۹۹) که مدیریت مناسب کود را باعث صرفه‌جویی در مصرف آب آبیاری و افزایش عملکرد دانه در ارقام دیررس و زودرس ذرت ذکر نمود مطابقت دارد.

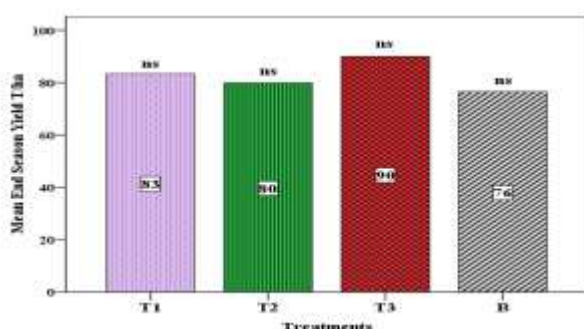
شاخص سطح برگ اندازه‌گیری شده تیمارها در مراحل میان دوره و پایان دوره فاقد اختلاف معنی‌دار بودند. با توجه به میزان کم توسعه برگ‌ها در مرحله میان دوره میانگین شاخص سطح برگ ۰/۰۷ (۰/۰۴ تا ۰/۱۰) به دست آمد که در پایان دوره به توجه به توسعه کامل برگ‌ها به ۰/۳۵ (۰/۱۸ تا ۰/۶۰) افزایش یافت. تیمار T1 (کودهای شیمیایی رایج + ۳۰۰ کیلو کود کندرهش) در هر دو مرحله بیش‌ترین شاخص سطح برگ و تیمار شاهد در مرحله میانی کم‌ترین و در مرحله پایانی مرتبه دوم بعد از تیمار T1 (کودهای شیمیایی رایج + ۳۰۰ کیلو کود کندرهش) را داشت. این ویژگی هم تاثیرگذاری مثبت کود کندرهش بر افزایش میزان شاخص سطح برگ را نشان می‌دهد که بر میزان عملکرد اثر گذاشته است (جدول ۳). جلیلی و همکاران (۱۴۰۱) با مقایسه روش‌های مختلف برآورد شاخص سطح برگ نتیجه گرفتند که حساسیت شاخص‌های گیاهی به شاخص سطح برگ در مراحل مختلف رشد یکسان نبوده و در مراحل اولیه و میانی رشد از اهمیت بالایی در برآورد شاخص سطح برگ دارند. در نظر گرفتن دوره‌های مختلف رشد گیاه و در نتیجه مقادیر مختلف شاخص سطح برگ در صحت و دقت اندازه‌گیری شاخص سطح برگ از اهمیت زیادی برخوردار است (اکبری و همکاران، ۱۳۹۹). شاخص کلروفیل در مرحله میان دوره تعیین نشد ولی نتایج شاخص کلروفیل در پایان دوره نشان داد که تیمار T1 (کودهای شیمیایی رایج + ۳۰۰ کیلو کود کندرهش) که کم‌ترین مقدار کود کندرهش را دریافت نموده است بیش‌ترین مقدار شاخص (۵۷/۷۸) و تیمار شاهد کم‌ترین مقدار شاخص (۵۴/۸۶) را به خود اختصاص دادند.



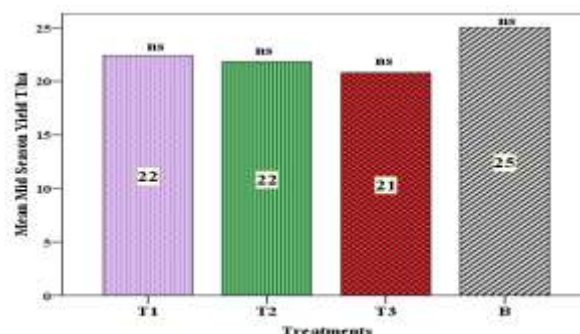
ب



الف



د



ج

شکل ۲. مقایسه میانگین ارتفاع بوته (cm) و عملکرد تیمارها (T/ha) در مرحله میان دوره و پایان دوره آزمایش اول. T1 (کودهای شیمیایی رایج + ۳۰۰ کیلو کود کندرهش)، T2 (کودهای شیمیایی رایج + ۵۰۰ کیلو کود کندرهش)، T3 (کودهای شیمیایی رایج + ۸۰۰ کیلو کود کندرهش)، شاهد (B) (کودهای شیمیایی رایج و بدون کود کندرهش)

جدول ۳. میانگین خصوصیات گیاهی اندازه گیری شده هر یک از تیمارهای آزمایش اول در مرحله میان دوره و پایان دوره

مرحله	تیمار*	میانگین ارتفاع بوته cm	میانگین وزن تر بوته هر بوته kg	وزن تر کل بوته ها در هر کرت kg (معادله ۱)	عملکرد خشک هر کرت T/ha	عملکرد هر کرت T/ha	شاخص سطح برگ	شاخص کلروفیل	میزان حذف عناصر غذایی kg/ha			عملکرد میانگین وزن تر تیمارها T/ha
									N	P	K	
میان دوره	T1	۴۹/۹۰	۰/۳۰	۴۷/۰۵	۳/۳۶	۲۲/۴۱	۰/۰۷	ND	۱۱۹/۴۹	۱۳/۵۷	۱۳۷/۹۰	۲۲/۴۰
	T2	۴۸/۶۵	۰/۲۹	۴۵/۸۵	۳/۲۷	۲۱/۸۳	۰/۰۷	ND	۱۱۴/۸۴	۱۴/۴۲	۱۲۰/۹۵	۲۱/۸۳
	T3	۴۹/۱۰	۰/۲۷	۴۳/۶۹	۳/۱۲	۲۰/۸۰	۰/۰۶	ND	۱۰۴/۴۶	۱۳/۸۱	۱۲۴/۵۹	۲۰/۸۰
	B	۴۷/۷۰	۰/۳۳	۵۲/۵۱	۳/۷۵	۲۵/۰۰	۰/۰۶	ND	۱۱۱/۱۲	۱۲/۹۸	۱۳۰/۷۲	۲۵/۰۰
حداقل												
حداکثر												
میانگین												
انحراف معیار												
پایان دوره	T1	۲۲۹/۱۳	۱/۰۴	۱۶۶/۶۰	۱۲/۵۰	۸۳/۳۰	۰/۴۲	۵۷/۷۸	۳۰۱/۹۸	۵۵/۶۰	۱۳۳/۱۴	۸۳/۳۰
	T2	۲۲۶/۸۸	۱/۰۰	۱۵۹/۶۶	۱۱/۹۷	۷۹/۸۳	۰/۲۹	۵۷/۲۹	۳۰۱/۳۴	۴۹/۹۶	۱۳۴/۵۶	۷۹/۸۳
	T3	۲۲۳/۶۳	۱/۱۳	۱۷۹/۹۴	۱۳/۵۰	۸۹/۹۷	۰/۳۳	۵۶/۷۰	۳۳۴/۱۴	۵۶/۵۴	۱۳۴/۸۰	۸۹/۹۷
	B	۲۳۵/۴۳	۰/۹۶	۱۵۲/۹۲	۱۱/۴۷	۷۶/۴۶	۰/۳۵	۵۴/۸۶	۲۸۳/۵۳	۴۷/۴۴	۱۱۷/۶۴	۷۶/۴۶
حداقل												
حداکثر												
میانگین												
انحراف معیار												
انحراف معیار												

* T1 (کودهای شیمیایی رایج + ۳۰۰ کیلو کود کندرهش)، T2 (کودهای شیمیایی رایج + ۵۰۰ کیلو کود کندرهش)، T3 (کودهای شیمیایی رایج + ۸۰۰ کیلو کود کندرهش)، شاهد (B) (کودهای شیمیایی رایج و بدون کود کندرهش)



خصوصیت دیگری که مورد بررسی قرار گرفت میزان جذب عناصر NPK بر حسب kg/ha بود، که از حاصلضرب عملکرد خشک گیاه (جدول ۳) در درصد عناصر اندازه گیری شده در گیاه (شکل ۳) به دست آمد. میانگین جذب عناصر NPK در مرحله میان دوره نیتروژن ۱۱۲/۴۸ (۸۴/۹۳ تا ۱۴۹/۴۸)، فسفر ۱۳/۶۹ (۹/۹۵ تا ۱۷/۸۲)، و پتاسیم ۱۲۸/۵۴ kg/ha (۹۱/۴۷ تا ۱۶۷/۹۵) به دست آمد. بیشترین مقدار جذب نیتروژن (۱۱۹/۴۹) و پتاسیم (۱۳۷/۹۰) در تیمار T1 (کودهای شیمیایی رایج + ۳۰۰ کیلو کود کندهش)، و بیشترین مقدار فسفر (۱۴/۴۲ kg/ha) در تیمار T2 (کودهای شیمیایی رایج + ۵۰۰ کیلو کود کندهش) به دست آمد. ولی کمترین مقادیر آنها به ترتیب در تیمارهای T3 (کودهای شیمیایی رایج + ۸۰۰ کیلو کود کندهش) برای نیتروژن (۱۰۴/۴۶)؛ T2 (کودهای شیمیایی رایج + ۵۰۰ کیلو کود کندهش) برای پتاسیم (۱۲۰/۹۵)؛ و شاهد (B) برای فسفر (۱۲/۹۸ kg/ha) بود. مقادیر فوق در مرحله پایان دوره ۳۰۵/۲۵ kg/ha (۲۳۴/۲۷ تا ۴۰۹/۱۴) نیتروژن، ۵۲/۳۸ kg/ha (۳۸/۵۸ تا ۷۲/۲۵) فسفر، و ۱۳۰/۰۳ kg/ha (۱۰۲/۲۹ تا ۱۸۹/۹۲) پتاسیم به دست آمد. بیشترین مقدار جذب نیتروژن در پایان دوره (۳۳۴/۱۴ kg/ha) و پتاسیم (۱۳۴/۸۰ kg/ha)، و فسفر (۵۶/۵۴ kg/ha) در تیمار T3 (کودهای شیمیایی رایج + ۸۰۰ کیلو کود کندهش) به دست آمد. ولی کمترین مقادیر آنها به ترتیب در تیمارهای T2 برای نیتروژن (۳۰۱/۳۴ kg/ha)، شاهد (B) برای پتاسیم (۱۱۷/۶۴ kg/ha)، و فسفر (۴۷/۴۴ kg/ha) بود.

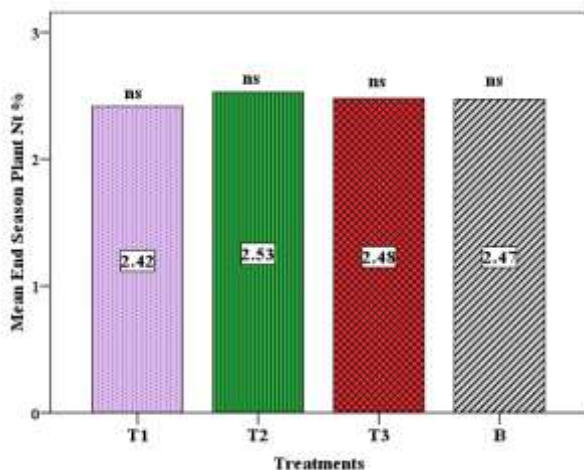
درصد نیتروژن جذب شده توسط گیاه در مرحله میان دوره در تیمار شاهد به صورت معنی دار کمتر از سایر تیمارها می باشد ولی در پایان دوره فاقد اختلاف معنی دار است (شکل ۳ الف و ب). این مسئله نشان می دهد که افزودن کود کندهش به جذب بیش تر نیتروژن هم در مرحله میان دوره و هم در مرحله پایان دوره کمک کرده است. درصد جذب فسفر گیاه در تیمارهایی که کود کندهش دریافت کرده اند هم در مرحله میان دوره و هم در مرحله پایان دوره بیش تر بود و اختلاف معنی دار با شاهد مشاهده شد (شکل ۳ ج و د). درصد پتاسیم جذب شده گیاه در تیمارهای حاوی کود کندهش در مرحله میان دوره و پایان دوره، نسبت به شاهد با اختلاف معنی دار بیش تر بود (شکل ۳ ه و و). سرلکی و همکاران (۱۴۰۰)، اظهار نمودند که کودهای بر پایه لیگنین به دلیل ویژگی های منحصر به فرد، و بازده کودی بیشتر می توانند به عنوان حامل های کندهش و اصلاح کننده خاک مورد استفاده قرار گیرند.

میانگین مقدار نیتروژن جذب شده توسط گیاه در پایان دوره (۳۰۵/۲۵ kg/ha) در مقایسه با میان دوره (۱۱۲/۴۸ kg/ha) تقریباً ۲/۷ برابر شد در حالیکه عملکرد تقریباً ۳/۷ برابر شده است. افزایش عملکرد باعث شده است درصد نیتروژن در پایان دوره، درصدهای کمتری را نشان دهد یعنی جذب نیتروژن در مرحله پایان دوره با همان سرعت میان دوره پیش نرفته است (شکل ۳ الف و ب). میانگین های مقادیر جذب شده فسفر در پایان دوره (۵۲/۳۸ kg/ha) نسبت به میان دوره (۱۳/۶۹ kg/ha) ۳/۸ برابر به دست آمده است که با عملکرد مطابقت دارد و درصدهای فسفر گیاه در میان دوره و پایان دوره تقریباً مشابه هستند (شکل ۳ ج و د). برخلاف نیتروژن و فسفر میانگین های مقادیر جذب شده پتاسیم در پایان دوره (۱۳۰/۰۳ kg/ha) نسبت به میان دوره (۱۲۸/۵۴ kg/ha) تغییر قابل توجهی ندارد (جدول ۳) که احتمالاً به میزان جذب کافی در مراحل اولیه رشد با توجه به تامین بیش از حد نیاز پتاسیم توسط کودهای رایج و کود کندهش و کاهش جذب در مراحل پایانی دوره رشد مربوط باشد. این کاهش جذب در مراحل پایانی باعث شده است که درصدهای تعیین شده در مراحل پایانی نسبت به میان دوره با توجه افزایش عملکرد کاهش شدیدی داشته باشند (شکل ۳ ه و و).

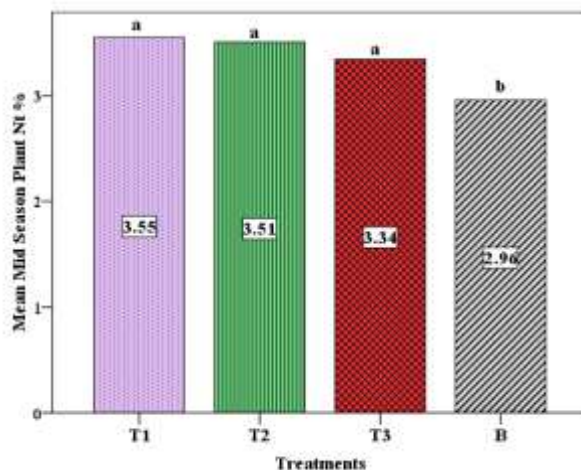
مقایسه نتایج اندازه گیری های پارامترهای گیاهی آزمایش دوم در مرحله میانی و پایان دوره

مقایسه آماری خصوصیات اندازه گیری شده

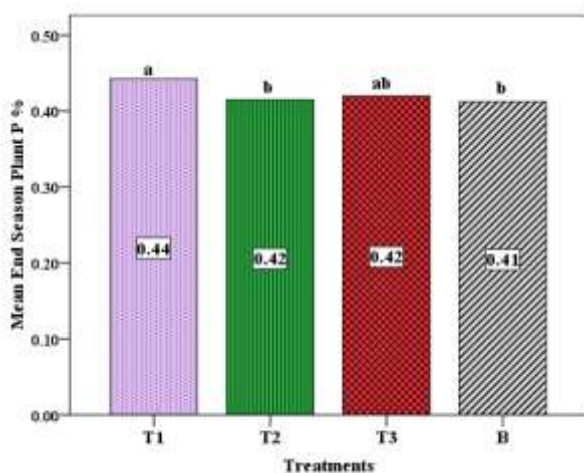
مقایسه آماری ارتفاع بوته ها در مراحل میان دوره و پایان دوره اختلاف معنی دار نشان نداد (شکل ۴ الف و ب). میانگین ارتفاع بوته ها در مرحله میان دوره آزمایش دوم ۴۵/۴۶ cm (۳۶/۴۰ تا ۵۲/۰۰)، می باشد. بیشترین میانگین ارتفاع در تیمار R1 (۱۰۰ درصد کود شیمیایی رایج + ۵۰۰ کیلو کود کندهش) (۴۸/۰۰ cm) و کمترین ارتفاع در تیمار شاهد B+ (۴۱/۴۰ cm) مشاهده شد (شکل ۴-الف). میانگین ارتفاع بوته ها در مرحله پایان دوره به ۲۴۲/۶۴ cm (۲۰۳/۱۰ تا ۲۷۲/۲۰)، رسیده است (شکل ۴-ب). در این مرحله تیمار R3 (۵۰ درصد کود شیمیایی رایج + ۵۰۰ کیلو کود کندهش) بیشترین میانگین ارتفاع بوته (۲۵۶/۸۰ cm) و تیمار R2 (۷۵ درصد کود شیمیایی رایج + ۵۰۰ کیلو کود کندهش) (۲۲۸/۹۸ cm) کمترین ارتفاع را داشتند. این نتایج نشان دادند که با وجود معنی دار نبودن اختلاف بین تیمارها در میان دوره و پایان دوره آزمایش دوم کاربرد کود کندهش به عنوان یک کود کامل به تنهایی، در مقایسه با کاربرد کودهای رایج، توانسته است رشد کافی ارتفاع بوته ها را بدون اختلاف معنی دار با سایر تیمارها فراهم نماید.



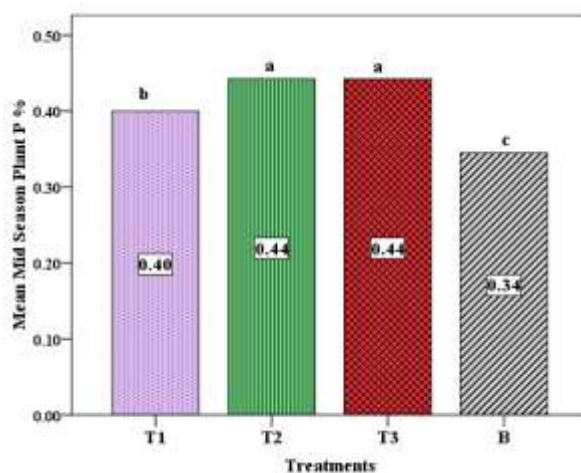
ب



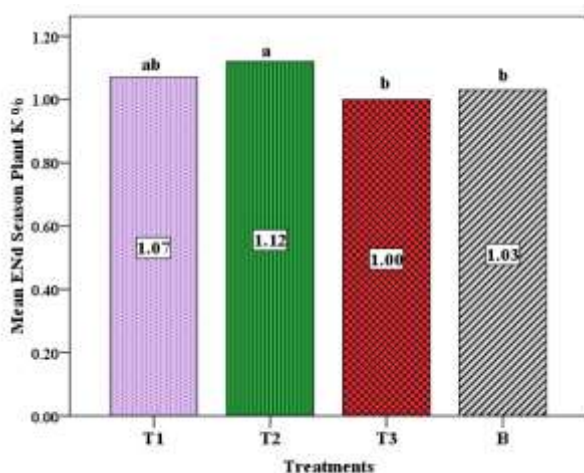
الف



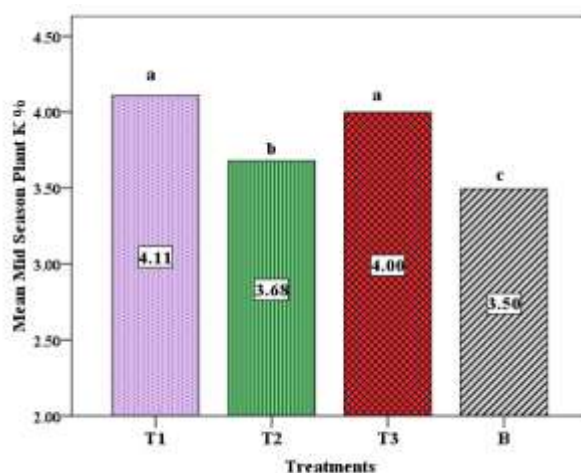
د



ج



ه



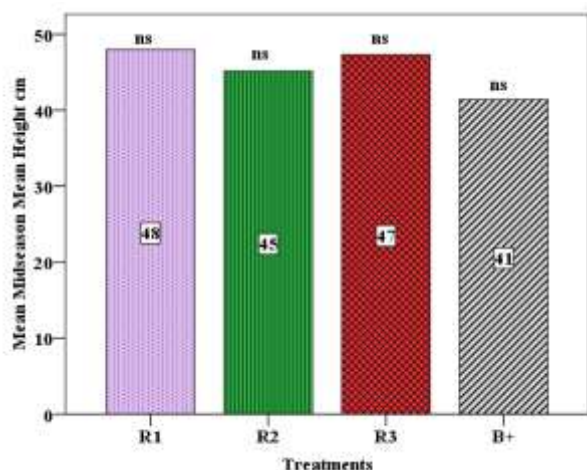
و

شکل ۳. مقایسه میانگین مقادیر جذب عناصر NPK بر حسب (kg/ha) در مرحله میان دوره و پایان دوره آزمایش اول. T1 (کودهای شیمیایی رایج + ۳۰۰ کیلو کود کندرهش)، T2 (کودهای شیمیایی رایج + ۵۰۰ کیلو کود کندرهش)، T3 (کودهای شیمیایی رایج + ۸۰۰ کیلو کود کندرهش)، شاهد (B) (کودهای شیمیایی رایج و بدون کود کندرهش)

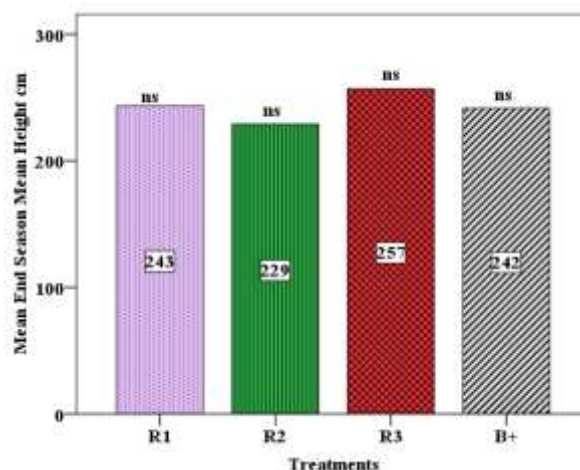
میانگین وزن تر بوته‌ها در هفته ششم رشد گیاه (۸ تا ۱۰ برگ) در مرحله میان دوره (kg ۰/۲۵ تا ۰/۱۴ تا ۰/۳۶) بود که در مرحله پایان دوره به ۱/۲۱ (kg ۰/۷۸ تا ۱/۲۱) افزایش یافت. با توجه به تعداد یکنواخت بوته‌ها در کرت‌ها وزن تر و وزن خشک کل بوته‌ها در



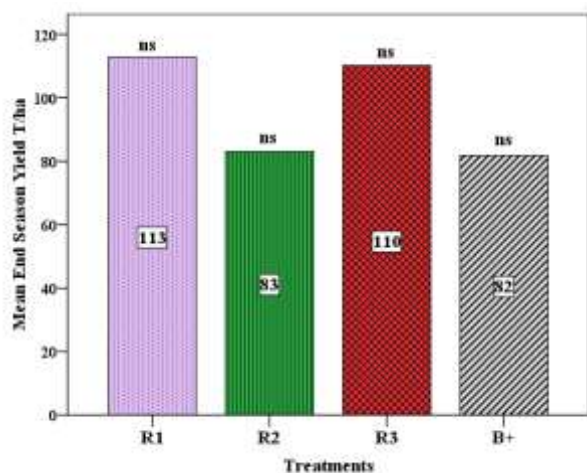
هر کرت مضرری از وزن تر بوته‌ها بوده و روند تغییرات مشابه با آن داشتند (جدول ۴). در میان دوره آزمایش دوم تیمار R1 (۱۰۰ درصد کود شیمیایی رایج + ۵۰۰ کیلو کود کندهش) بیش‌ترین (۰/۳۱ kg)، و تیمار B+ کم‌ترین (۰/۲۰ kg)، وزن تر هر بوته، وزن تر و خشک کل بوته‌ها در هر کرت، را به خود اختصاص دادند (جدول ۴)، هر چند اختلاف تیمارها معنی‌دار نشد. در حالی که در مرحله پایان دوره تیمار R1 (۱۰۰ درصد کود شیمیایی رایج + ۵۰۰ کیلو کود کندهش) بیش‌ترین (۱/۴۱ kg)، و تیمار شاهد (B+) کم‌ترین وزن تر هر بوته، وزن تر و خشک کل بوته‌ها در هر کرت، را به خود اختصاص دادند (جدول ۴). با وجود این معنی‌دار نشدن اختلاف شاهد با سایر تیمارهای قابلیت کود شاهد را به عنوان یک کود کامل جایگزین کودهای رایج نشان می‌دهد.



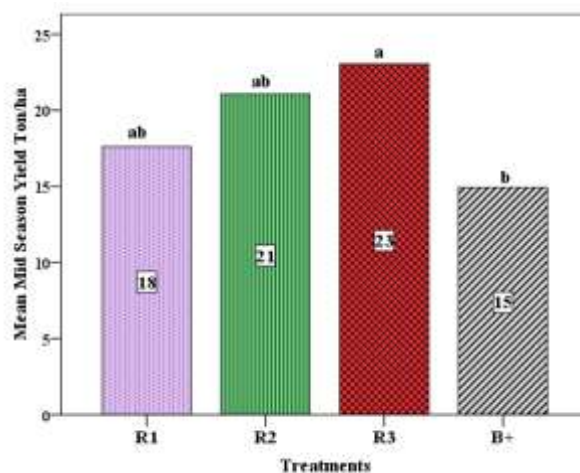
ب



الف



د



ج

شکل ۴. مقایسه میانگین ارتفاع بوته cm، و عملکرد تیمارها (T/ha) در مرحله میان دوره و پایان دوره آزمایش دوم. R1 (۱۰۰ درصد کود شیمیایی رایج + ۵۰۰ کیلو کود کندهش)، R2 (۷۵ درصد کود شیمیایی رایج + ۵۰۰ کیلو کود کندهش)، R3 (۵۰ درصد کود شیمیایی رایج + ۵۰۰ کیلو کود کندهش)، B+ (۵۰۰ کیلو کود کندهش بدون کودهای رایج)

میانگین عملکرد تر هر کرت در هفته ششم رشد گیاه در میان دوره آزمایش دوم T/ha ۱۹/۱۷ (۱۰/۵۸ تا ۲۷/۱۸) بود که در پایان دوره به T/ha ۹۶/۹۵ (۶۲/۴۰ تا ۱۳۰/۴۰) رسید (جدول ۴). میانگین عملکرد تیمارها (T/ha) در میان دوره T/ha ۱۹/۱۸ (۱۴/۹۴ تا ۲۳/۰۶) بود، که در پایان دوره T/ha ۹۶/۹۵ (۸۱/۸۰ تا ۱۱۲/۸۰) رسید. مقایسه میانگین عملکردها در مرحله میان دوره دارای اختلاف معنی‌دار بود و در مرحله پایان دوره معنی‌دار نشد (شکل ۴ ج و د). بیش‌ترین میزان عملکرد در مرحله میان دوره (۲۳ T/ha) در تیمار T3 (کودهای شیمیایی رایج + ۸۰۰ کیلو کود کندهش)، و کم‌ترین عملکرد (۱۵ T/ha) مربوط به تیمار شاهد (B+) بود. هر چند میزان عملکرد تیمارها در آزمایش دوم در پایان دوره معنی‌دار نشد و تیمار شاهد توانست عملکردی همانند سایر تیمارها داشته باشد (۸۱/۸۰ T/ha) ولی افزودن مقادیری کودهای رایج به عنوان مکمل کود کندهش توانست عملکرد بهتری در تیمارهای R1 (۱۰۰ درصد کود شیمیایی رایج + ۵۰۰ کیلو کود

کندرھش) به همراه ۱۰۰ درصد کودھای رایج و (به همراه ۵۰ درصد کودھای رایج) ایجاد نماید. واضح است که در صورت لزوم توصیه مقدار ۵۰ درصد از کودھای رایج به همراه کود کندرھش R3 (۵۰درصدکود شیمیایی رایج + ۵۰۰ کیلو کود کندرھش)، نسبت به R1 (۱۰۰درصدکود شیمیایی رایج + ۵۰۰ کیلو کود کندرھش) اقتصادی تر خواهد بود (شکل ۴-د). هرچند کاربرد کود کندرھش به تنهایی نیز عملکرد کافی خواهد داشت.

شاخص سطح برگ اندازه گیری شده تیمارها در مراحل میان دوره و پایان دوره فاقد اختلاف معنی دار بودند. با توجه به میزان کم توسعه برگ ها در مرحله میان دوره میانگین شاخص سطح برگ 0.08 (0.03 تا 0.13) به دست آمد که در پایان دوره به توجه به توسعه کامل برگ ها به 0.38 (0.10 تا 0.78) افزایش یافت. تیمار R2 (۷۵درصدکود شیمیایی رایج + ۵۰۰ کیلو کود کندرھش) در هر دو مرحله بیشترین شاخص سطح برگ و تیمار R1 (۱۰۰درصدکود شیمیایی رایج + ۵۰۰ کیلو کود کندرھش) کمترین مقدار شاخص را داشتند. این ویژگی هم تاثیرگذاری مثبت کاربرد کودهای رایج را به عنوان مکمل کود کندرھش بر افزایش میزان شاخص سطح برگ نشان داد که طبیعتاً بر عملکرد اثرگذار بوده است.

جدول ۴. میانگین خصوصیات گیاهی اندازه گیری شده در هر یک از تیمارهای آزمایش دوم در مزرعه

مرحله	تیمار	میانگین ارتفاع بوته cm	میانگین وزن تر هر بوته kg	وزن تر کل بوته ها در هر کرت kg (معادله ۱)	عملکرد خشک هر کرت T/ha	عملکرد تر هر کرت T/ha	شاخص سطح برگ	شاخص کلروفیل	میزان حذب عناصر غذایی kg/ha			میانگین عملکرد وزن تر تیمارها T/ha
									N	P	K	
میان دوره	R1	۴۸/۰۰	-/۲۳	۳۷/۰۰	۲/۶۴	۱۷/۶۲	-/۰۵	ND	۸۲/۲۲	۱۲/۱۰	۱۰۳/۲۶	۱۷/۶۲
	R2	۴۵/۱۵	-/۲۸	۴۴/۲۶	۳/۱۶	۲۱/۰۸	-/۰۹	ND	۹۶/۷۳	۹/۹۳	۱۱۸/۹۴	۲۱/۰۸
	R3	۴۷/۳۰	-/۳۱	۴۸/۴۲	۳/۴۶	۲۳/۰۶	-/۰۹	ND	۹۴/۵۳	۱۲/۵۹	۱۰۹/۸۴	۲۳/۰۶
	B+	۴۱/۴۰	-/۲۰	۳۱/۳۷	۲/۲۴	۱۴/۹۴	-/۰۷	ND	۷۳/۹۲	۷/۹۷	۷۲/۱۰	۱۴/۹۴
حداقل		۳۶/۴۰	-/۱۴	۲۲/۲۲	۱/۵۹	۱۰/۵۸	-/۰۳	ND	۵۱/۹۳	۵/۵۹	۵۰/۲۲	۱۴/۹۴
حداکثر		۵۲/۰۰	-/۳۶	۵۷/۰۸	۴/۰۸	۲۷/۱۸	-/۱۳	ND	۱۲۴/۸۲	۱۵/۰۹	۱۵۵/۰۴	۲۳/۰۶
میانگین		۴۵/۴۶	-/۲۵	۴۰/۲۶	۲/۸۸	۱۹/۱۷	-/۰۸	ND	۸۶/۸۵	۱۰/۶۵	۱۰۱/۰۴	۱۹/۱۸
انحراف معیار		۸/۴۱	-/۰۷	۱۱/۸۰	۰/۸۴	۵/۶۲	-/۰۳	ND	۲۷/۱۰	۳/۳۴	۳۱/۷۰	۶/۳۲
پایان دوره	R1	۲۴۳/۲۵	۱/۴۱	۲۲۵/۶۰	۱۶/۹۲	۱۱۲/۸۰	-/۳۰	۶۳/۰۱	۴۲۲/۸۲	۷۰/۶۲	۱۶۷/۷۶	۱۱۲/۸۰
	R2	۲۲۸/۹۸	۱/۰۴	۱۶۶/۰۰	۱۲/۴۵	۸۳/۰۰	-/۴۵	۵۱/۷۷	۲۹۹/۷۰	۵۱/۷۸	۱۳۱/۶۲	۸۳/۰۰
	R3	۲۵۶/۸۰	۱/۳۸	۲۲۰/۴۰	۱۶/۵۳	۱۱۰/۲۰	-/۳۹	۵۷/۴۶	۳۹۰/۱۳	۶۸/۰۹	۱۶۰/۲۳	۱۱۰/۲۰
	B+	۲۴۱/۵۵	۱/۰۲	۱۶۳/۶۰	۱۲/۲۷	۸۱/۸۰	-/۳۸	۵۸/۱۴	۲۳۸/۰۶	۵۲/۲۰	۱۲۱/۶۹	۸۱/۸۰
حداقل		۲۰۳/۱۰	-/۷۸	۱۲۴/۸۰	۹/۳۶	۶۲/۴۰	-/۱۰	۳۹/۹۰	۲۰۶/۵۳	۳۸/۹۵	۱۰۲/۸۰	۸۱/۸۰
حداکثر		۲۷۲/۲۰	۱/۶۳	۲۶۰/۸۰	۱۹/۵۶	۱۳۰/۴۰	-/۷۸	۶۶/۳۶	۴۸۸/۳۸	۸۱/۳۹	۱۹۱/۵۳	۱۱۲/۸۰
میانگین		۲۴۲/۶۴	۱/۲۱	۱۹۳/۹۰	۱۴/۵۴	۹۶/۹۵	-/۳۸	۵۷/۵۹	۳۳۷/۶۸	۶۰/۶۷	۱۴۵/۳۲	۹۶/۹۵
انحراف معیار		۱۸/۷۴	-/۲۵	۴۰/۴۹	۳/۰۴	۲۰/۲۵	-/۱۸	۵/۹۹	۸۹/۵۰	۱۲/۲۴	۲۸/۰۰	۱۶/۸۴

R1* (۱۰۰درصدکود شیمیایی رایج + ۵۰۰ کیلو کود کندرھش)، R2 (۷۵درصدکود شیمیایی رایج + ۵۰۰ کیلو کود کندرھش)، R3 (۵۰درصدکود شیمیایی رایج + ۵۰۰ کیلو کود کندرھش)، B+ (۵۰۰ کیلو کود کندرھش بدون کودهای رایج)

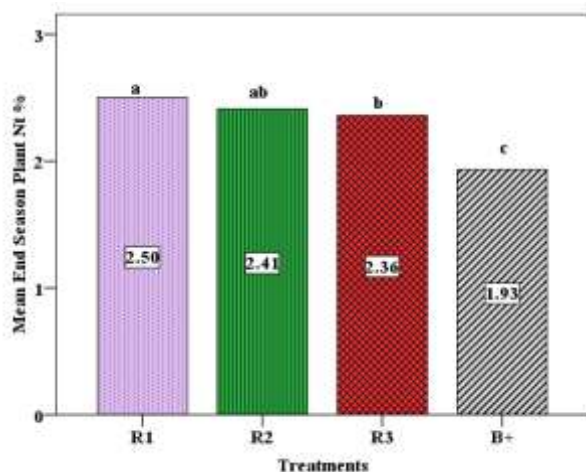
خصوصیت شاخص کلروفیل در مرحله میان دوره تعیین نشد ولی نتایج شاخص کلروفیل در پایان دوره نشان داد که تیمار R1 (۱۰۰درصدکود شیمیایی رایج + ۵۰۰ کیلو کود کندرھش) که بیشترین مقدار کودهای رایج را به همراه ۵۰۰ kg کود کندرھش دریافت نموده است بیشترین مقدار شاخص ($63/01$) و تیمار R2 (۷۵درصدکود شیمیایی رایج + ۵۰۰ کیلو کود کندرھش) کمترین مقدار شاخص ($51/77$) را به خود اختصاص دادند. تیمار B+ که فاقد کودهای رایج بود، با شاخص کلروفیل ($58/14$) میزان قابل قبول و نزدیک به حداکثر را نشان داد (جدول ۴).



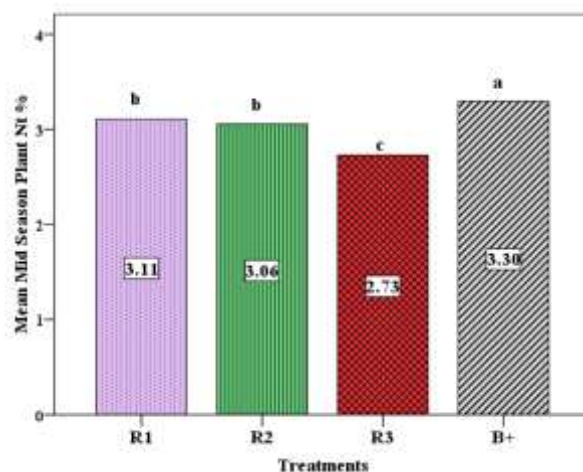
میانگین مقادیر جذب شده عناصر NPK در مرحله میان دوره ۸۶/۸۵ kg/ha (۵۱/۹۳ تا ۱۲۴/۸۲) نیتروژن، ۱۰/۶۵ kg/ha (۵/۵۹ تا ۱۵/۰۹) فسفر، و ۱۰۱/۰۴ kg/ha (۵۰/۲۲ تا ۱۵۵/۰۴) پتاسیم به دست آمد. بیشترین مقدار میانگین جذب نیتروژن (۹۶/۷۳ kg/ha) و پتاسیم (۱۱۸/۹۴ kg/ha) در تیمار R2 (۷۵ درصد کود شیمیایی رایج + ۵۰۰ کیلو کود کندر هس)، و بیشترین مقدار فسفر (۱۲/۵۹ kg/ha) در تیمار R3 (۵۰ درصد کود شیمیایی رایج + ۵۰۰ کیلو کود کندر هس) به دست آمد. ولی کمترین مقادیر آنها به ترتیب در تیمارهای B+ برای نیتروژن (۷۳/۹۲ kg/ha)، و پتاسیم (۷۰/۱۰ kg/ha)، و شاهد (B+) برای فسفر (۷/۹۷ kg/ha) بود. مقادیر فوق در مرحله پایان دوره ۳۳۷/۶۸ kg/ha (۲۰۶/۵۳ تا ۴۸۸/۳۸) نیتروژن، ۶۰/۶۷ kg/ha (۳۸/۹۵ تا ۸۱/۳۹) فسفر، و ۱۴۵/۳۲ kg/ha (۱۰۲/۸۰ تا ۱۹۱/۵۳) پتاسیم، به دست آمد. بیشترین مقدار جذب نیتروژن (۴۲۲/۸۲ kg/ha) و پتاسیم (۱۶۷/۷۶ kg/ha)، و فسفر (۷۰/۶۲ kg/ha) در پایان دوره در تیمار R1 (۱۰۰ درصد کود شیمیایی رایج + ۵۰۰ کیلو کود کندر هس) به دست آمد. ولی کمترین مقادیر آنها در تیمار B+ برای نیتروژن (۲۳۸/۰۶ kg/ha)، پتاسیم (۱۲۱/۶۹ kg/ha)، و فسفر (۵۲/۲۰ kg/ha) بود (جدول ۴). شکل ۵ مقایسات آماری میانگینهای مقادیر جذب عناصر را در دو مرحله میان دوره و پایان دوره آزمایش دوم نشان می دهد. همانطور که ملاحظه می شود درصد نیتروژن جذب شده توسط گیاه در مرحله میان دوره در تیمار شاهد به صورت معنی دار بیش از سایر تیمارها می باشد (شکل ۵-الف). با وجود این در پایان دوره درصد نیتروژن در تیمار B+ به صورت معنی داری کمتر از سایر تیمارها شده است (شکل ۵-ب). این مسئله نشان می دهد که افزودن کودهای رایج به همراه کندر هس در جذب نیتروژن توسط گیاه موثر خواهد بود. در مورد درصد فسفر گیاه در مرحله میان دوره بین تیمار B+ با سایر تیمارها اختلاف معنی دار وجود دارد و تیمار R1 (۱۰۰ درصد کود شیمیایی رایج + ۵۰۰ کیلو کود کندر هس) بیشترین درصد فسفر را دارد ولی در پایان دوره تیمارها فاقد اختلاف معنی دار هستند. از بین رفتن اختلاف معنی دار می تواند ناشی از آزاد شدن تدریجی فسفر از کود کندر هس باشد که در پایان دوره تیمار شاهد با سایر تیمارها یکسان شده است (شکل ۵ ج و د). درصد پتاسیم جذب شده توسط گیاه در مرحله میان دوره در تیمارهای حاوی کودهای رایج به صورت معنی دار نسبت به شاهد (B+) بیشتر بود ولی در پایان دوره اتلاف معنی داری با سایر تیمارها نداشت (شکل ۵ ه و و). به نوعی می توان گفت آزاد شدن تدریجی عناصر باعث اختلاف معنی دار در مرحله میان دوره و جبران اختلاف در مرحله پایان دوره شده است.

نکته حائز اهمیت در مقایسه مقادیر جذب شده عناصر (جدول ۴) و درصد عناصر در ماده خشک گیاه (شکل ۵) آن است که میانگین مقدار نیتروژن جذب شده توسط گیاه در پایان دوره (۳۳۷/۶۸ kg/ha) در مقایسه با میان دوره (۸۶/۸۵ kg/ha) تقریباً ۳/۹ برابر شده است در حالیکه عملکرد تقریباً ۵ برابر شده است. به همین دلیل درصد نیتروژن در پایان دوره مقادیر کمتری را نشان می دهند (شکل ۵ الف و ب). میانگینهای مقادیر جذب شده فسفر در پایان دوره (۶۰/۶۷ kg/ha) نسبت به میان دوره (۱۰/۶۵ kg/ha) ۵/۷ برابر به دست آمده است که با میزان افزایش عملکرد (۵ برابر) مطابقت بهتری دارد و درصدهای فسفر گیاه در میان دوره و پایان دوره تقریباً مشابه هستند (شکل ۵ ج و د). برخلاف نیتروژن و فسفر، میانگینهای مقادیر جذب شده پتاسیم در پایان دوره (۱۴۵/۳۲ kg/ha) نسبت به میان دوره (۱۰۱/۰۴ kg/ha) تنها ۱/۴ برابر شده است (جدول ۴) که متناسب با افزایش عملکرد نیست. این مسئله احتمالاً به میزان جذب کافی آن در مراحل اولیه رشد و تامین بیش از حد نیاز پتاسیم توسط کودهای رایج و کود کندر هس علاوه بر پتاسیم موجود در خاک، و کاهش جذب در مراحل پایانی دوره رشد مربوط باشد. این کاهش جذب در مراحل پایانی باعث شده است که درصدهای تعیین شده در مراحل پایانی نسبت به میان دوره با توجه افزایش عملکرد کاهش شدیدی داشته باشند (شکل ۵ ه و و).

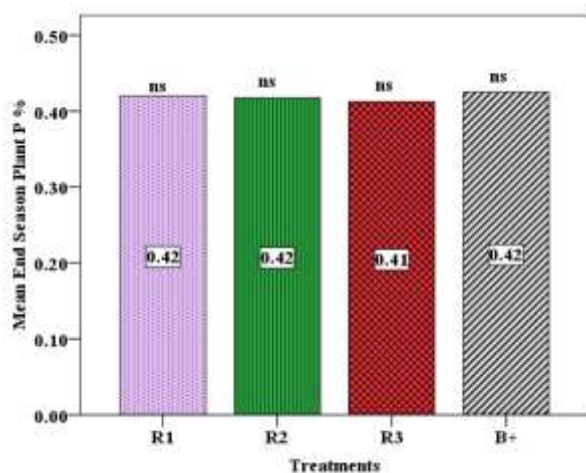
سرلکی و همکاران (۱۴۰۰)، در مطالعه کودهای پایدار زیستی بر پایه لیگنین نشان دادند که کودهای بر پایه لیگنین به دلیل ویژگیهای کندر هس و ترکیبات شیمیایی و ویژگیهای منحصر به فرد، انحلال آهسته، قابلیت جذب بالا، زیست سازگاری، زیست تجزیه پذیری، غیر فرار بودن، پایداری بلندمدت، آبشویی و آلودگی کمتر، بازده کودی بیشتر، قیمت پایین و فعالیت بیولوژیکی می توانند به عنوان حاملهای کندر هس، مواد پوششی کودها، و اصلاح کننده خاک مورد توجه قرار گیرند. (Azabajani 2021) نیز بیاد داشته است که داشتن خاصیت هیدروژلی کودهای آلی-معدنی کندر هس 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 گیرد.



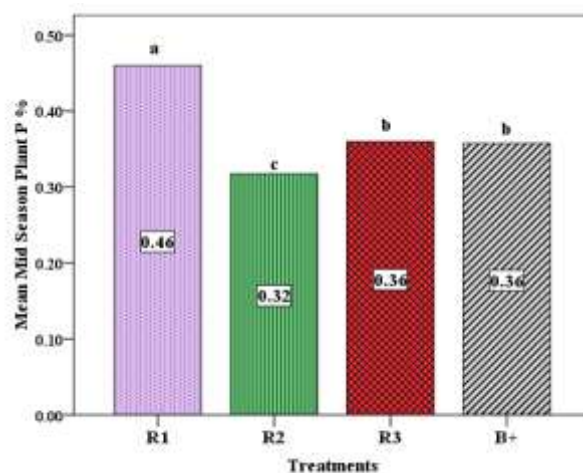
ب



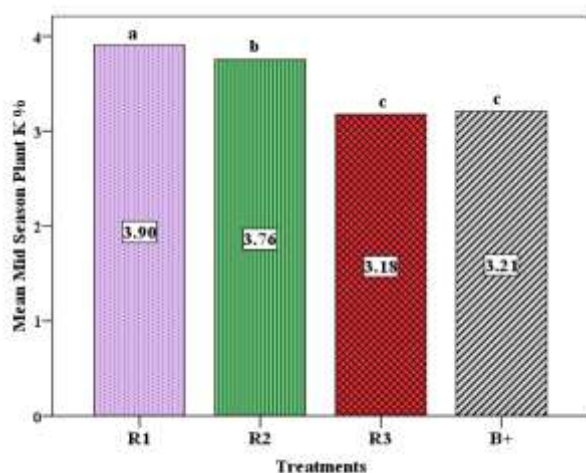
الف



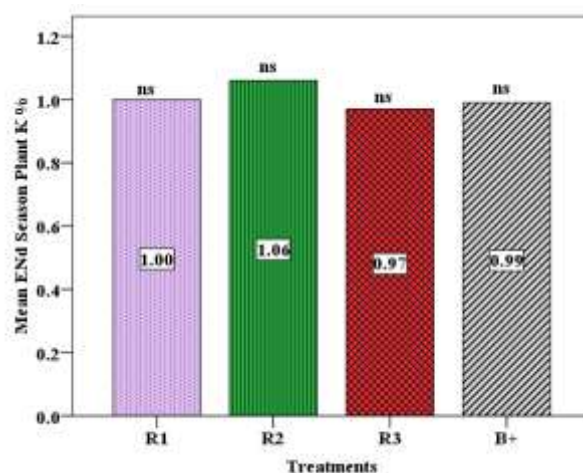
د



ج



و



ه

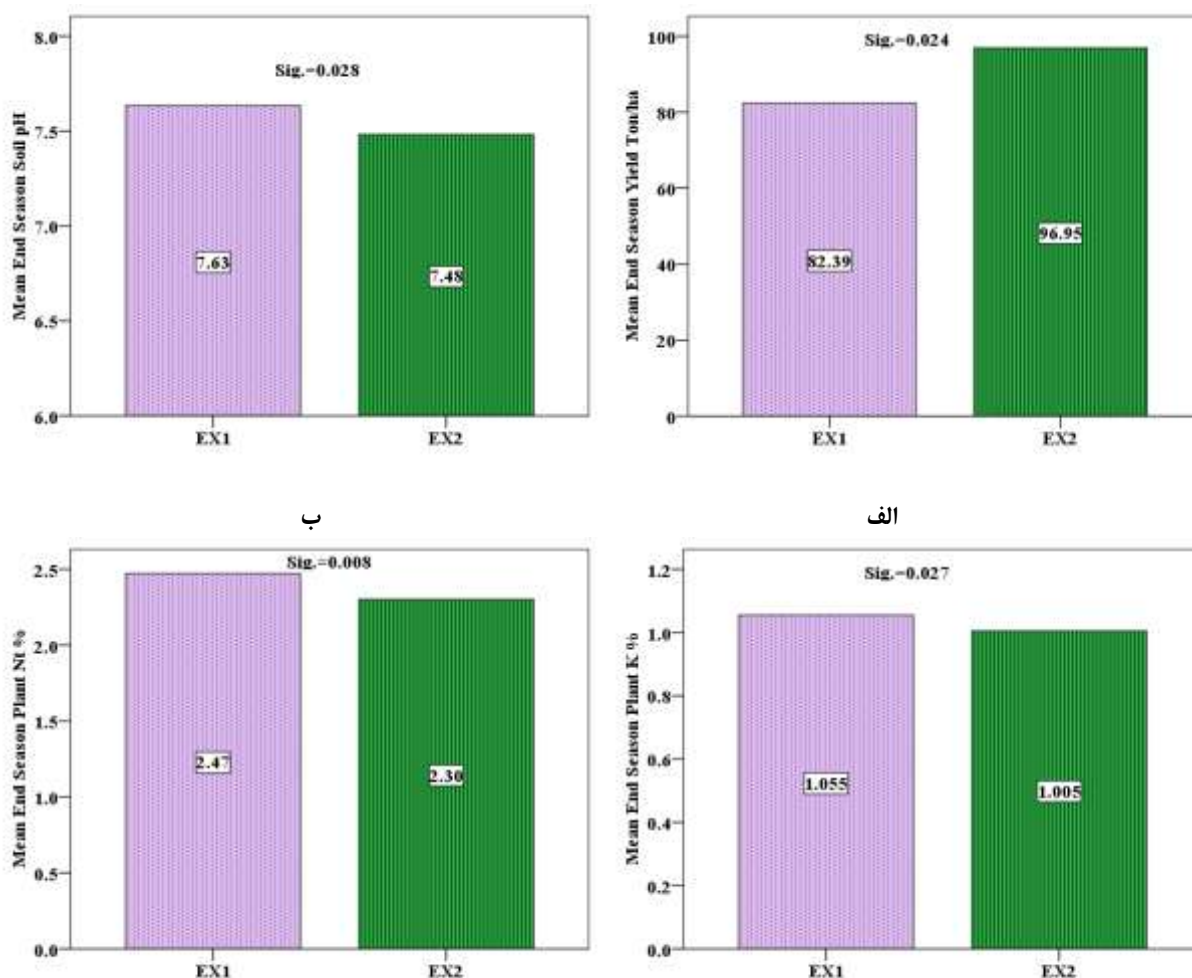
شکل ۵. مقایسه میانگین مقادیر جذب عناصر NPK بر حسب (kg/ha) در مرحله میان دوره و پایان دوره آزمایش دوم. R1 (۱۰۰ درصد کود شیمیایی رایج + ۵۰۰ کیلو کود کندر هشی)، R2 (۷۵ درصد کود شیمیایی رایج + ۵۰۰ کیلو کود کندر هشی)، R3 (۵۰ درصد کود شیمیایی رایج + ۵۰۰ کیلو کود کندر هشی)، B+ (۵۰۰ کیلو کود کندر هشی بدون کودهای رایج)

مقایسه آماری میانگین‌های دو آزمایش

شکل ۶ مقایسه میانگین نتایج عملکرد تر محصول، درصد نیتروژن گیاه، درصد پتاسیم گیاه و pH خاک به دست آمده از دو آزمایش (EX1 و EX2) را مورد مقایسه قرار داده است. لازم به ذکر است درصد فسفر گیاه در دو آزمایش فاقد اختلاف معنی‌دار بود و میانگین فسفر گیاه



در دو آزمایش حدود ۰/۴ درصد به دست آمد. با وجود این میانگین عملکرد تر محصول در آزمایش دوم به صورت معنی‌دار ($\text{Sig.}=0/024$) بیش از آزمایش اول به دست آمد (شکل ۶-الف). این نتیجه نشان داد که کاربرد ۵۰۰ کیلوگرم کود کندر هس به عنوان کود اصلی، به همراه مقادیر ۰، ۵۰ و ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز کودی گیاه ذرت از کودهای رایج، به عنوان کود کمکی، نتایج بهتری در مقایسه با کاربرد کودهای رایج به همراه مقدار ۳۰۰، ۵۰۰ و ۸۰۰ کیلوگرم کود کندر هس (به عنوان کود کمکی) ایجاد نمود.



شکل ۶. مقایسه میانگین نتایج عملکرد، درصد نیتروژن گیاه، درصد پتاسیم گیاه و pH خاک در آزمایش اول و دوم. آزمایش اول EX1 و آزمایش دوم EX2

همانگونه که در بخش ۳.۳.۱ بیان گردید، بهترین تیمار بدون اختلاف معنی‌دار با سایر تیمارها، تیمار R3 (۵۰ درصد کود شیمیایی رایج + ۵۰۰ کیلو کود کندر هس) بود که حاوی ۵۰۰ کیلوگرم کود کندر هس به همراه ۵۰ درصد نیاز کودی ذرت، از کودهای رایج بود. البته درصد نیتروژن گیاه ($\text{Sig.}=0/008$) (شکل ۶-ب) و درصد پتاسیم گیاه ($\text{Sig.}=0/027$) (شکل ۶-د) در آزمایش اول بیش از آزمایش دوم بود و فسفر جذب شده گیاه فاقد اختلاف معنی‌دار بود. pH خاک هم در آزمایش دوم به صورت معنی‌دار ($\text{Sig.}=0/028$) پایین‌تر از آزمایش اول بود (شکل ۶-ا). عملکرد بیش‌تر آزمایش دوم، علیرغم جذب کمتر نیتروژن و پتاسیم و عدم اختلاف از نظر فسفر، نشان می‌دهد که کود کندر هس مورد استفاده، در اصلاح سایر خصوصیات موثر در عملکرد محصول نیز تاثیر دارد که از جمله این خصوصیات می‌توان به pH خاک (شکل ۶-د) اشاره کرد که در آزمایش دوم به صورت معنی‌دار کم‌تر از آزمایش اول به دست آمد. کاهش pH می‌تواند بر بسیاری از خصوصیات دیگر از جمله دسترسی به عناصر کم مصرف را بهبود بخشیده و از این طریق بر عملکرد تاثیر بگذارد.

کارایی (Efficiency)

جدول ۵ کارایی (Efficiency) یا نسبت مقدار جذب شده به مقدار به کار برده شده کودهای مورد نظر است را در شرایط میان‌دوره و

پایان دوره کشت نشان می‌دهد.

جدول ۵. کارایی کودهای مورد بررسی در میان دوره و پایان دوره آزمایش اول و دوم در شرایط مزرعه

کارایی تیمارها	میان دوره %			پایان دوره %		
	N	P	K	N	P	K
T1	۱۰/۰۳	۳/۹۶	۲/۳۳	۴۰/۶۵	۵۱/۳۷	۷/۳۰
T2	۱۱/۴۵	۴/۱۶	۲/۴۰	۴۰/۴۵	۳۷/۹۳	۶/۹۶
T3	۹/۸۲	۲/۸۲	۲/۱۶	۴۴/۶۶	۳۳/۸۶	۶/۹۰
B	۶/۸۸	۴/۰۹	۱/۵۹	۳۸/۳۲	۶۵/۰۱	۶/۱۹
میانگین آزمایش اول	۹/۵۴	۳/۷۶	۲/۱۲	۴۱/۰۲	۴۷/۰۴	۶/۸۴
R1	۷/۱۱	۳/۲۶	۱/۷۱	۵۶/۷۵	۵۳/۶۱	۸/۶۷
R2	۷/۹۸	۲/۴۰	۱/۸۹	۴۵/۰۸	۴۵/۳۷	۷/۰۴
R3	۷/۹۹	۳/۲۳	۱/۶۹	۶۶/۶۸	۷۰/۵۶	۸/۸۷
B+	۸/۹۰	۲/۸۸	۱/۴۱	۵۵/۹۹	۸۵/۱۹	۷/۲۶
میانگین آزمایش دوم	۷/۹۹	۲/۹۴	۱/۶۷	۵۶/۱۲	۵۵/۳۶	۷/۴۰

T1 (کودهای شیمیایی رایج + ۳۰۰ کیلو کود کندرھش)، T2 (کودهای شیمیایی رایج + ۵۰۰ کیلو کود کندرھش)، T3 (کودهای شیمیایی رایج + ۸۰۰ کیلو کود کندرھش)، شاهد (B) (کودهای شیمیایی رایج و بدون کود کندرھش): R1 (۱۰۰ درصد کود شیمیایی رایج + ۵۰۰ کیلو کود کندرھش)، R2 (۷۵ درصد کود شیمیایی رایج + ۵۰۰ کیلو کود کندرھش)، R3 (۵۰ درصد کود شیمیایی رایج + ۵۰۰ کیلو کود کندرھش)، B+ (۵۰۰ کیلو کود کندرھش بدون کودهای رایج)

همانگونه که مشاهده می‌شود میزان کارایی (بازیافت) کودهای به کار برده شده در مرحله میان دوره که هنوز گیاه استقرار کامل نیافته است بسیار پایین است، ولی در مرحله پایان دوره درصد بازیافت نیتروژن، فسفر و پتاسیم به شدت افزایش یافته است. میانگین کارایی عناصر NPK در مرحله میان دوره آزمایش اول به ترتیب ۲/۱۲، ۳/۷۶ و ۹/۵۴ درصد بود که در مقایسه با آزمایش دوم ۱/۶۷، ۲/۹۴ و ۷/۹۹ درصد (جدول ۵) بالاتر می‌باشد. بیشترین کارایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم در مرحله میان دوره آزمایش اول، در تیمار T2 (کودهای شیمیایی رایج + ۵۰۰ کیلو کود کندرھش) ($N=۱۱/۴۵\%$ ، $P=۴/۱۶\%$ ، $K=۲/۴۰\%$) و کمترین مقادیر در مورد نیتروژن و پتاسیم در تیمار شاهد B ($N=۶/۸۸\%$ ، $K=۱/۵۹\%$) ولی در مورد فسفر $P=۲/۸۲\%$ ، در تیمار T3 (کودهای شیمیایی رایج + ۸۰۰ کیلو کود کندرھش) به دست آمد. مقادیر کارایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم در پایان دوره آزمایش اول با افزایش شدید به ترتیب به ۶/۸۴، ۴۷/۰۴ و ۴۱/۰۲ درصد رسید که بر خلاف مرحله میان دوره پایین تر از مقادیر مرحله دوم آزمایش دوم ۷/۴۰، ۵۵/۳۶ و ۵۶/۱۲ درصد بودند. در مرحله پایان دوره آزمایش اول بیشترین کارایی نیتروژن ($N=۴۴/۶۶\%$) در تیمار T3 (کودهای شیمیایی رایج + ۸۰۰ کیلو کود کندرھش)، فسفر ($P=۶۵/۰۱\%$) در تیمار شاهد B، و پتاسیم ($K=۷/۳۰\%$) در تیمار T1 (کودهای شیمیایی رایج + ۳۰۰ کیلو کود کندرھش) به دست آمد، و در آزمایش دوم بیشترین کارایی نیتروژن ($N=۶۶/۶۸\%$) در تیمار R1 (۵۰ درصد کود شیمیایی رایج + ۵۰۰ کیلو کود کندرھش)، فسفر ($P=۸۵/۱۹\%$) در تیمار شاهد B+، و پتاسیم در تیمار R1 (۵۰ درصد کود شیمیایی رایج + ۵۰۰ کیلو کود کندرھش) ($K=۸/۸۷\%$) به دست آمد. کمترین مقادیر کارایی در مرحله پایان دوره آزمایش اول در مورد نیتروژن و پتاسیم در تیمار شاهد B ($N=۳۸/۳۲\%$ ، $K=۶/۱۹\%$) ولی در مورد فسفر $P=۳۳/۸۶\%$ ، در تیمار T3 (کودهای شیمیایی رایج + ۸۰۰ کیلو کود کندرھش) به دست آمد، ولی در آزمایش دوم در مورد نیتروژن، فسفر و پتاسیم ($K=۷/۰۴\%$)، تیمار R1 (۷۵ درصد کود شیمیایی رایج + ۵۰۰ کیلو کود کندرھش) به دست آمد.

نتیجه گیری

این تحقیق با هدف ارزیابی کارایی کود آلی-معدنی کندرھش مبتنی بر لئوناردیت به عنوان کود مکمل، به همراه مقدار ثابت از کودهای رایج NPK به میزان نیاز کودی گیاه ذرت علوفه‌ای، و همچنین ارزیابی کارایی کود آلی-معدنی کندرھش به عنوان کود اصلی، همراه با مقادیر متفاوت (۰، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز کودی) از کودهای رایج بر عملکرد، در شرایط مزرعه‌ای به اجرا درآمد. نتایج نشان داد که کارایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم در صورت استفاده از ۵۰۰ کیلوگرم کود آلی-معدنی کندرھش به همراه (۰، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز کودی) از کودهای رایج؛ بیش از کارایی آنها هنگام کاربرد کودهای رایج به میزان نیاز کودی ذرت و استفاده از کود کندرھش به عنوان کود مکمل بود. بالاتر بودن کارایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم هنگام استفاده از کود آلی-معدنی کندرھش به عنوان کود اصلی، همراه با مقادیر متفاوت از کودهای رایج موجب افزایش عملکرد پایان دوره، در این روش استفاده از کودها شد. افزایش کارایی عناصر غذایی NPK



در کاربرد کود کندرهش به عنوان کود اصلی، ضمن افزایش عملکرد، موجب کاهش معنی‌دار pH و احتمالاً بهبود دسترسی به سایر عناصر غذایی، شد که در نهایت موجب افزایش عملکرد نسبت به استفاده از کودهای رایج به عنوان کود اصلی و کود کندرهش به عنوان کود مکمل شد.

مقایسه آماری تیمارهای دو آزمایش نشان داد که ارتفاع بوته‌ها و عملکرد تر محصول (به استثناء عملکرد مرحله میان‌دوره در آزمایش دوم)، در هیچ‌یک از تیمارهای مراحل میانی و پایانی دو آزمایش اختلاف معنی‌دار نداشتند. با وجود این عملکرد بیش‌تر کلی در آزمایش دوم (کود کندرهش + مقادیری از کودهای رایج)، نسبت به آزمایش اول (کودهای رایج + مقادیری از کود کندرهش) ناشی از کارایی بیش‌تر عناصر در آزمایش دوم نسبت به آزمایش اول است. درصد نیتروژن گیاه در تیمار شاهد (B) در میان‌دوره آزمایش اول کمتر از سایر تیمارها بود، که احتمالاً به فراهم شدن نیتروژن از بخش محلول نیتروژن کود کندرهش، مربوط می‌باشد ولی، از بین رفتن اختلاف معنی‌دار در پایان دوره و کاهش درصد نیتروژن گیاه کندرهش بودن بخش کم‌محلول نیتروژن در کود کندرهش مربوط می‌باشد. این تفسیر در خصوص آزمایش دوم هم که تیمار شاهد (B+) در میان‌دوره به صورت معنی‌دار درصد نیتروژن گیاه بیش‌تری دارد (فراهمی نیتروژن محلول بیش‌تر) ولی در پایان دوره درصد نیتروژن گیاه در آن کاهش یافته است مطابقت دارد. به عبارت دیگر نیتروژن کود کندرهش احتمالاً شامل دو بخش محلول و کم محلول می‌باشد. علیرغم اینکه اختلاف میانگین فسفر جذب شده گیاه در دو آزمایش معنی‌دار نبود، ولی اختلاف تیمارها در آزمایش اول هم در میان‌دوره و هم در پایان دوره معنی‌دار شد، که تیمار شاهد (B) در هر دو مرحله کم‌تر از سایر تیمارهای بود که باز هم موید تأمین بخشی از فسفر توسط کندرهش می‌باشد. در میان‌دوره آزمایش دوم درصد فسفر گیاه در تیمار شاهد (B+) در رتبه دوم قرار گرفت ولی در پایان دوره فاقد اختلاف معنی‌دار با سایر تیمارها بود. که احتمالاً با کاهش pH خاک و آزادسازی بیش‌تر فسفر در این آزمایش به مرور زمان و تا پایان دوره قابل تفسیر است. در مورد درصد پتاسیم گیاه هم در آزمایش اول و هم در آزمایش دوم در مرحله میان‌دوره بین تیمارها اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. ولی در مرحله پایان دوره اختلاف در آزمایش اول معنی‌دار بود ولی در آزمایش دوم معنی‌دار نشد. در عین حال در هر دو آزمایش درصد پتاسیم گیاه در پایان دوره به شدت نسبت به میان‌دوره کاهش نشان داد که احتمالاً به نیاز بیشتر گیاه ذرت به پتاسیم در مراحل ابتدایی رشد و همچنین فراهمی بیش از حد نیاز گیاه به پتاسیم، در محلول خاک مربوط می‌شود.

به عنوان نتیجه‌گیری کلی می‌توان بیان داشت که کود آلی-معدنی کندرهش مورد آزمایش می‌تواند به عنوان یک کود کامل در تغذیه ذرت با عملکرد مناسب مورد استفاده قرار گیرد. هر چند افزودن حدود ۵۰ درصد نیاز کودی گیاه ذرت به عناصر NPK به دلیل تأمین فرم‌های محلول‌تر عناصر خصوصاً در مرحله میان‌دوره باعث افزایش عملکرد به میزان قابل توجه شد. در نتایج پایان‌دوره تیمارهای R1 (۵۰ درصد کود شیمیایی رایج + ۵۰۰ کیلو کود کندرهش) و R1 (۱۰۰ درصد کود شیمیایی رایج + ۵۰۰ کیلو کود کندرهش) بالاترین عملکردها را نشان داده‌اند و تیمار شاهد کود آلی-معدنی کندرهش (B+) با افزایش شدید نسبت به مرحله میانی عملکردی بیش از تیمار شاهد کودهای رایج به تنهایی (B) ایجاد کرده است. بر مبنای نتایج پایان دوره می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد کود آلی-معدنی کندرهش به عنوان مکمل کودهای رایج بسیار موثر بوده و عملکرد را نسبت به کودهای رایج بین ۴۵ تا ۴۹ درصد در تیمارهای R1 (۵۰ درصد کود شیمیایی رایج + ۵۰۰ کیلو کود کندرهش) و R1 (۱۰۰ درصد کود شیمیایی رایج + ۵۰۰ کیلو کود کندرهش) افزایش داده است. در عین حال کاربرد کود آلی-معدنی کندرهش به تنهایی هم توانسته است عملکرد را حدود ۸ درصد نسبت به کودهای رایج افزایش دهد.

ملاحظات اخلاقی

حامی مالی

مقاله حاضر با حمایت مالی و معنوی معاونت پژوهشی دانشگاه تهران - دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی انجام شد. حمایت مالی از این پژوهش از طرف دانشگاه تهران، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی در قالب طرح پژوهشی نویسنده اول و همچنین پژوهانه برای سایر نویسندگان انجام شده است.

مشارکت نویسندگان

جمع‌آوری داده‌ها: احمد حیدری، حسین میرسیدحسینی و آیدا بخشی؛ تهیه گزارش پژوهش: احمد حیدری؛ تحلیل داده‌ها: احمد حیدری 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: تهیه و آماده سازی نمونه ها، انجام آزمایش و گردآوری داده ها، انجام محاسبات، تجزیه و تحلیل آماری داده ها، تحلیل و تفسیر اطلاعات و نتایج، تهیه پیش نویس مقاله

نویسنده دوم: استاد طراحی پژوهش، نظارت بر مراحل انجام پژوهش، بررسی و کنترل نتایج، اصلاح، بازبینی و نهایی سازی مقاله
نویسنده سوم: استاد مشاور پایان نامه، مشارکت در طراحی پژوهش، نظارت بر پژوهش، مطالعه و بازبینی مقاله

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 معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تهران به خاطر حمایت مالی / حمایت معنوی / همکاری در اجرای پژوهش حاضر 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.

فهرست منابع

آذربایجانی، ا.؛ (۱۴۰۲). سنتز و ارزیابی کودهای آهسته رهش NPK با قابلیت نگهداری آب. پایان نامه کارشناسی ارشد، موسسه آموزش عالی نقش جهان.

اکبری، ا.؛ درویشی بلورانی، ع.؛ نیسانی سامانی، ن.؛ حمزه، س.؛ صوفی زاده، س.؛ پیگناتی، ا.؛ (۱۳۹۹). استخراج شاخص سطح برگ ذرت علوفه ای با استفاده از روش عکس برداری رقومی نیم کروی (مطالعه موردی: مزارع قلعه نو، جنوب تهران). تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۱ (۶): ۱۳۴۰-۱۳۳۱.

امیری، هیمین.؛ (۱۳۹۶). طراحی و ساخت سامانه تولید پلت کنترل رهش بر پایه کود کمپوست. رساله دکتری پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران.
پوراسماعیل، ح.؛ دهمرده، م.؛ قنبری، ا.؛ (۱۴۰۴). ارزیابی اثر سیستم تلفیقی مدیریت کود آلی بر خصوصیات کیفی علوفه ذرت و شاخصهای فیزیکیوشیمیایی خاک. مجله به زراعی کشاورزی. ۲۷ (۱) ۴۰-۱۹. <https://doi.org/10.22059/jci.2025.376610.2883>

جلیلی، س.؛ پارسی نژاد، م.؛ دانشکار آراسته، پ.؛ (۱۴۰۱). برآورد شاخص سطح برگ ذرت علوفه ای با استفاده از شاخص های گیاهی مستخرج از تصاویر ماهواره ای، مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۳ (۸)، ۱۸۲۹-۱۸۱۳. <http://doi.org/10.22059/ijswr.2022.344920.669302>

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 گلخانه ای و مزرعه ای. دانشکده کشاورزی- دانشکده گان کشاورزی و منابع طبیعی- دانشگاه تهران.
رمضانی تازه آباد، مهیار و معتمدی، الهه؛ (۱۴۰۴). تهیه کودهای آهسته -رهش اوره با استفاده از پوشش دهی توسط واکس های گیاهی و سنتزی. به زراعی کشاورزی. ۶۷ (۱) ۶۷-۵۷. <https://doi.org/10.22059/jci.2024.367630.2863>

ریحانی تبار، ع.؛ راجی، م.؛ خلخال، ک.؛ همتی، آ.؛ و ساریخانی، م.؛ (۱۴۰۳). ارزیابی شاخص های هوموسی شدن و جوانه زنی 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.

سرلکی، احسان، کیانمهر، محمدحسین، کرمانی، علی ماشالله؛ (۱۴۰۰). پیشرفت های اخیر و روندهای تحقیقاتی در کودهای پایدار زیستی بر پایه لیگنین: فناوریهای تولید، سازوکارهای فرایند و ارزیابی عملکرد. تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۲: ۸، ۲۳۰۱-۲۲۷۹.

سلیمی، م.؛ معتمدی، ا.؛ متشعزاده، ب.؛ علیخانی، ح.؛ میرسیدحسینی، ح.؛ (۱۴۰۱). تولید کود اوره آهسته رهش به سه روش پوشش دهی با روتاری درام، سنتز هیدروژل همزمان و دو مرحله ای و بررسی عملکرد آنها در کشت گلخانه ای گوجه فرنگی. مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۳ (۸)، ۱۷۲۶-

<http://doi.org/10.22059/ijswr.2022.333757.669128>. ۱۷۱۵



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.

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

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.
- Akbari, E., Darvishi Boloorani, A., Neyrani Samany, N., Hamzeh S., Soufizadeh, S. and Pignatti S. (2020). Deriving the Leaf Area Index of Silage Maize Using Digital Hemispherical Photography Method (Case Study: Qaleh-Now Farms, South of Tehran). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51 (6), 13311340. 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. In Persian.
- Azarbayjani, A. (2023). Synthesis and evaluation of the slow-release NPK fertilizers with water retention capability. *MSc. Thesis*. Naghsh e Jahan Higher Education Institute. In Persian.
- FAO. 2019. The International Code of Conduct for the Sustainable Use and Management of Fertilizers. *FAO*. Rome.
- FERTILIZER RECOMMENDATION TABLE. <http://extension.psu.edu/agronomy-guide>
- Gee, G.W., & Bauder, J.W. (1986). Particle-size analysis. *Methods of soil analysis: Part 1 Physical and mineralogical methods*, 5, 383-411. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c15>
- 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.
- Hansen, N.C., Hopkins B.G., Ellsworth J.W. & Jolley V.D. (2006). Iron Nutrition in Field Crops. In: Larry L. Barton and Javier Abadia (eds.), *Iron Nutrition in Plants and Rhizospheric Microorganisms*. Springer, Netherlands.
- Heidari, A., Mirseyed Hosseiny, H., & Bakhshi, A., (2025). Assessing the efficiency of a new fertilizer produced by Semnan's Jihad Daneshgahi, on corn growth parameters under greenhouse and field conditions. *Technical Report*. Faculty of Agriculture, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran. In Persian.
- HOME/CORN/FERTILIZERS FOR CORN/ TABLE FERTILIZERS FOR CORN. <https://cals.cornell.edu/field-crops/corn/fertilizers-corn/table-fertilizers-corn>
- <https://www.leonarditeproducts.com/Agriculture>
- Jalili, S., Parsinejad, M., & Daneshkar Arasteh, P. (2022). Estimation of leaf area index of maize by vegetation indices extracted from satellite imaging. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 53 (8), 1813-1829. In Persian.
- Longnecker, N. (1994). Nutrient Deficiencies and Vegetative Growth. In: Mechanisms of plant growth and improved productivity: modern approaches. *Basra Amarjit S. editor. Marcel Dekker, Inc.* 270 Madison Avenue, New York, New York 10016.
- Pooresmael, H. A., Dahmardeh, M., & Ghanbari, A. (2025). The Evaluation of the Effect of Integrated Organic Fertilizer Management Systems on the Quality Traits of Corn Forage and Soil Physico-chemical Indicators. *Journal of Crops Improvement*, 27 (1), 19-40. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2025.376610.2883>. In Persian.
- Ramezani Tazehabad, M., & 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>

- Salimi, M., Motamedi, M., Motesharezedeh, B., Alikhani, H. A. & Mirseyed Hosseini, H. (2022). Production of slow release urea fertilizer by three methods of rotary drum coating, insitu and two-stage hydrogel synthesis and evaluation their performance in tomato greenhouse cultivation. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 53 (8), 1715-1726. 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 nickelcontaminated soil., *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 56 (6), 1555-1569. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2025.393048.669918>. In Persian.
- United States Salinity Laboratory Staff, (1954). Saline and Alkali Soils. Agriculture Handbook No. 60, *United States Department of Agriculture*.
- Weil, R.R., 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*.