



Effect Of Vermicompost Integration With Nitrogen, Sulfur, And Manganese On Fruit Yield, Some Agronomic Traits, And Water Use Efficiency Of Cucumber Under Greenhouse Conditions

Nosratollah Najafi^{1✉}, Hakimeh Hajilou², Mohammad Reza Sarikhani³

1. Corresponding Author, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

E-mail: n-najafi@tabrizu.ac.ir

2. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran. E-mail: hajilouhakime@yahoo.com

3. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran. E-mail: rsarikhani@yahoo.com

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article	To investigate effects of vermicompost (VC), nitrogen (N), sulfur (S), and manganese (Mn) on fruit yield, some agronomic traits, and water use efficiency (WUE) of cucumber (<i>Cucumis sativus</i> L.), an experiment was conducted on the basis of a completely randomized design with 16 treatments and 3 replications under greenhouse conditions. The treatments included control, N: using 150 mg N/kg soil as urea, Mn: using 13 mg Mn/kg soil as $MnSO_4 \cdot 2H_2O$, S: using 500 mg elemental S/kg soil, N+Mn, N+S, S+Mn, N+S+Mn, VC: using 30 g VC/kg soil, VC+N, VC+Mn, VC+S, VC+N+S, VC+N+Mn, VC+S+Mn, and VC+N+S+Mn. In this research, traits such as fresh and dry weights of fruit, fruit volume, fruit length, fruit diameter, fresh and dry weights of shoot and root, plant height, biological yield, number of leaves, and WUE were measured. The results showed that applications of urea and manganese sulfate fertilizers in soil significantly increased shoot dry matter, plant height, fruit diameter, and fruit length of cucumber, but did not have significant effects on other studied characteristics. Application of S in soil significantly increased plant height, fruit diameter and length of cucumber, but did not have significant effect on other studied characteristics. Application of VC significantly increased fresh and dry weights of fruit, fruit length, fruit diameter, fruit volume, number of fruits, number of leaves, plant height, fresh and dry weights of shoot, biological yield, and WUE. The highest values of all studied traits were observed in the integrated treatment of VC+N+Mn+S. In general, in order to increase yield of cucumber and reduce using chemical fertilizers, integrated application of vermicompost and chemical fertilizers of urea, manganese sulfate, and elemental sulfur could be recommended in similar conditions.
Article history: Received: 9 November 2024 Received in revised form: 29 December 2024 Accepted: 15 January 2025 Published online: Summer 2025	
Keywords: Chemical fertilizer, Compost, Integrated plant nutrition management, Organic fertilizer, Urea.	

Cite this article: Najafi, N., Hajilou, H. & Sarikhani, M. R. (2025). Effect Of Vermicompost Integration With Nitrogen, Sulfur, And Manganese On Fruit Yield, Some Agronomic Traits, And Water Use Efficiency Of Cucumber Under Greenhouse Conditions. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 56 (2), 205-221. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2025.385023.2225>



© The Author(s).

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2025.385023.2225>

Publisher: The University of Tehran Press.

Extended Abstract

Introduction

Cucumber (*Cucumis sativus* L.) is one of the most popular vegetables in the world, which is widely cultivated and used as fruit, salads, and in different foods in Iran. The quality and yield of cucumber fruit could be improved by application of organic and chemical fertilizers. Organic fertilizers alone cannot provide all nutrients needed for crops because the rate of nutrients release in organic fertilizers is slow and time-consuming. Chemical fertilizers can provide all nutrients needed by crops, but their inappropriate using may pollute environment, increase production cost, and decrease the quality of agricultural products. So, combined application of organic and chemical fertilizers is recommended in integrated plant nutrition management system. This system not only improves chemical, biological, and physical characteristics of soil, but also reduces negative effects of chemical fertilizers. So, this research was conducted to investigate effects of

integrated application of vermicompost (VC), nitrogen (N), sulfur (S), and manganese (Mn) on fruit yield, some agronomic traits, and water use efficiency (WUE) of cucumber plant.

Material and Methods

The experiment was conducted on the basis of a completely randomized design with 16 treatments and 3 replications under greenhouse conditions. The treatments included control, N: using 150 mg N/kg soil as urea, Mn: using 13 mg Mn/kg soil as $\text{MnSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, S: using 500 mg elemental S/kg soil, N+Mn, N+S, S+Mn, N+S+Mn, VC: using 30 g VC/kg soil, VC+N, VC+Mn, VC+S, VC+N+S, VC+N+Mn, VC+S+Mn, and VC+N+S+Mn. The seeds of cucumber plant cv. Nagene were cultivated in plastic pots containing 9 kg sandy loam calcareous soil. During the plant growth period, fresh and dry weights of fruit, fruit volume, fruit length, fruit diameter, amount of water used, and at the end of growth period, fresh and dry weights of shoot and root, plant height, biological yield, number of leaves, and WUE were measured.

Results and discussion

The results showed that applications of urea and manganese sulfate fertilizers in soil significantly increased shoot dry matter, plant height, fruit diameter, and fruit length of cucumber, but did not have significant effects on other studied characteristics. Application of elemental sulfur in soil significantly increased plant height, fruit diameter, and fruit length of cucumber, but did not have significant effect on other studied characteristics. Application of vermicompost significantly increased fresh and dry weights of fruit, fruit length, fruit diameter, fruit volume, number of fruits, number of leaves, plant height, fresh and dry weights of shoot, biological yield, and WUE of cucumber plant. The highest values of all studied traits were observed in the integrated treatment of VC+N+Mn+S.

Conclusion

In terms of dry matters of fruit and shoot, there was a synergistic effect between nitrogen-sulfur, nitrogen-manganese, and nitrogen-vermicompost, which indicates the superiority of integrated treatments. The combination of chemical fertilizers (nitrogen, sulfur, and manganese) with vermicompost as a method of integrated management of soil fertility and plant nutrition, increased the growth of plant root and shoot, and improved the fruit characteristics, and the water use efficiency of cucumber plants. In general, in order to increase yield of cucumber and reduce using chemical fertilizers, vermicompost integration with chemical fertilizers (as urea, manganese sulfate, and elemental sulfur) could be recommended in similar conditions. Considering that this research was conducted in greenhouse conditions, the results may be different from field conditions. Therefore, it is suggested to conduct this research in field conditions as well. Also, it is suggested to investigate the residual effects of vermicompost and chemical fertilizers such as sulfur and manganese on the growth, yield, and water use efficiency of subsequent plants that are cultivated in rotation.

Author Contributions

Nosratollah Najafi: Writing – review & editing the research proposal and manuscript for this publication, supervision, validation, and project administration. **Hakimeh Hajilou:** Made a major contribution to the proposal and the experimental work, Investigation and data collection, validation, formal analysis. **Mohammad Reza Sarikhani:** Writing – review & editing the research proposal and manuscript for this publication.

Data Availability Statement

The authors declare that all the data supporting the findings of this research are available within the article.

Acknowledgment

This paper is published as a part of a M.Sc. Thesis supported by the Vice Chancellor for Research and Technology of the University of Tabriz, Iran. The authors are thankful to the University of Tabriz for financial supports.

Ethical considerations

This article does not contain any studies involving human and animal subjects.

Conflict of interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.



تأثیر تلفیق ورمی کمپوست با نیتروژن، گوگرد و منگنز بر محصول میوه، برخی صفات زراعی و کارایی مصرف آب خیار در شرایط گلخانه‌ای

نصرت اله نجفی^۱ | حکیمه حاجیلو^۲ | محمدرضا ساریخانی^۳

۱. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: n-najafi@tabrizu.ac.ir

۲. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: hajilouhakime@yahoo.com

۳. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: sarikhani@yahoo.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله:	برای بررسی تأثیر ورمی کمپوست، نیتروژن، گوگرد و منگنز بر محصول میوه، برخی صفات زراعی و کارایی مصرف آب در خیار (<i>Cucumis sativus</i> L.)، آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۱۶ تیمار و ۳ تکرار در شرایط گلخانه‌ای انجام شد. تیمارها شامل Control: شاهد، N: مصرف ۱۵۰ میلی گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک از منبع اوره، Mn: مصرف ۱۳ میلی گرم منگنز بر کیلوگرم خاک از منبع منگنز سولفات، S: مصرف ۵۰۰ میلی گرم گوگرد عنصری بر کیلوگرم خاک، N+Mn، N+S، Mn+S، Mn+N+S، VC: مصرف ۳۰ گرم ورمی کمپوست بر کیلوگرم خاک، VC+N، VC+Mn، VC+S، VC+N+S، VC+S+Mn، VC+N+Mn+S و VC+N+Mn+S بودند. در این پژوهش، صفاتی نظیر وزن تر و خشک میوه، حجم میوه، طول میوه، قطر میوه، وزن تر و خشک شاخساره و ریشه، ارتفاع بوته، محصول زیستی، تعداد برگ و کارایی مصرف آب اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که مصرف کودهای اوره و منگنز سولفات در خاک، ماده خشک شاخساره، ارتفاع بوته، قطر میوه و طول میوه خیار را به‌طور معنادار افزایش داد اما بر سایر صفات مورد مطالعه معنادار نبود. مصرف گوگرد عنصری در خاک، ارتفاع بوته، قطر و طول میوه خیار را به‌طور معنادار افزایش داد اما بر سایر صفات مورد مطالعه معنادار نبود. مصرف ورمی کمپوست وزن تر و خشک میوه، طول میوه، قطر میوه، حجم میوه، تعداد میوه، تعداد برگ، ارتفاع بوته، وزن تر و خشک شاخساره، محصول زیستی و کارایی مصرف آب را به‌طور معنادار افزایش داد. بیشترین مقدار تمامی صفات مورد مطالعه در تیمار تلفیقی VC+N+Mn+S مشاهده شد. به‌طور کلی، برای افزایش عملکرد و کاهش مصرف کودهای شیمیایی، مصرف تلفیقی ورمی کمپوست و کودهای شیمیایی اوره، منگنز سولفات و گوگرد عنصری در شرایط مشابه توصیه می‌شود.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۱۹	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۰/۰۹	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۲۶	
تاریخ انتشار: تابستان ۱۴۰۴	
کلیدواژه‌ها:	
اوره، کمپوست، کود آلی، کود شیمیایی، مدیریت تلفیقی تغذیه گیاه.	

استناد: نجفی، نصرت اله؛ حاجیلو، حکیمه و ساریخانی، محمدرضا (۱۴۰۴). تأثیر تلفیق ورمی کمپوست با نیتروژن، گوگرد و منگنز بر محصول میوه، برخی صفات زراعی و کارایی مصرف آب خیار در شرایط گلخانه‌ای. نشریه علوم باغبانی ایران، ۵۶ (۳)، ۲۲۱-۲۰۵. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2025.385023.2225>



© نویسندگان.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2025.385023.2225>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

با توجه به افزایش روزافزون جمعیت جهان، نیاز مردم به میوه‌ها و به‌ویژه سبزی‌ها روز به روز افزایش می‌یابد. همچنین، میوه و سبزی بخش مهمی از رژیم غذایی انسان را تشکیل می‌دهند و در این میان خیار سبز با نام علمی *Cucumis sativus* L. نقش مهمی دارد (Bidarig, 2007). در سال زراعی ۱۴۰۱، سطح زیر کشت و میزان تولید خیار گلخانه‌ای در ایران به ترتیب حدود ۸/۲ هزار هکتار و ۱/۶ میلیون تن با میانگین عملکرد ۱۹۱ تن در هکتار بود که بعد از سیب، پرتقال، انگور و خرما از نظر تولید در میان محصولات باغبانی در مقام پنجم قرار داشت. در همان سال، سطح زیر کشت و میزان تولید خیار گلخانه‌ای در استان آذربایجان شرقی به ترتیب ۶۳ هکتار و ۱۲۰۲۳ تن با میانگین عملکرد ۱۸۹/۵ تن در هکتار بود (Anonymous, 2023). به روش‌های مختلف می‌توان تولید محصولات کشاورزی از جمله خیار را افزایش داد و یکی از این روش‌ها، مصرف کودهای شیمیایی، آلی و زیستی است. کودهای شیمیایی تنها کودی هستند که تمام نیاز گیاه به عناصر غذایی مختلف را می‌توانند تأمین کنند اما در صورت مصرف نامناسب، اثرهای منفی جانبی مانند آلودگی خاک و آب و محیط‌زیست، افزایش هزینه تولید، خطر مسمومیت گیاهان و کاهش کیفیت محصولات کشاورزی، آسیب به سلامتی انسان و دام، کاهش ذخایر معدنی مانند سنگ فسفات، کاهش مواد آلی خاک، تغییر pH خاک، کاهش تنوع زیستی در خاک و کاهش کیفیت و سلامت خاک را ممکن است به دنبال داشته باشند (FAO, 2006; Najafi, 2016; Najafi, 2021). همچنین، ۳۰ تا ۴۰ درصد از کودهای شیمیایی نیتروژن مصرف‌شده، به‌وسیله گیاهان جذب می‌شود و بقیه آن از طریق فرایندهای مختلف مانند آبشویی، رواناب، تصعید آمونیاک، نیترات‌زدایی و فرسایش خاک به هدر می‌رود یا اینکه به‌وسیله رس‌ها در خاک تثبیت می‌شود (Mahajan & Gupta, 2009). از طرف دیگر، هر یک از کودهای آلی و زیستی به‌تنهایی نمی‌توانند تمام عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان را تأمین و پایداری تولید محصولات کشاورزی را تضمین کنند (Alley & Vanlauwe, 2009; Markarian et al., 2016; Najafi, 2016). بنابراین، مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاهان، به‌صورت «تلفیق بهینه کودهای آلی، شیمیایی و زیستی عناصر غذایی و استفاده هوشمندانه از آن‌ها در یک نظام کشت یا تناوب زراعی ویژه با هدف استفاده از منابع بومی خاک برای دستیابی به محصول بهینه و حفظ آن بدون آسیب رساندن به زیست‌بوم خاک و محیط‌زیست» تعریف شده‌است (Alley & Vanlauwe, 2009; Mahajan & Gupta, 2009) که در راستای کشاورزی پایدار بوده و می‌تواند ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک را بهبود بخشیده و میزان کربن آلی و عناصر غذایی خاک را افزایش دهد. این روش به‌صورت‌های مختلف اجرا می‌شود که یکی از آن‌ها مصرف توأم کودهای آلی و شیمیایی است که نه تنها ویژگی‌های شیمیایی، زیستی و فیزیکی خاک را اصلاح می‌کند بلکه اثرهای منفی کودهای شیمیایی را نیز کاهش می‌دهد (Adediran et al., 2005; Najafi, 2016).

ورمی‌کمپوست یا کرم‌پوسال نوعی کود آلی زیستی است که بر اثر عبور مداوم و آرام مواد آلی از دستگاه گوارش کرم خاکی (*Eisenia fetida*)، مواد آلی تجزیه و به ترکیب‌های نسبتاً پایدار تبدیل می‌شوند. همچنین، مخاط دستگاه گوارش، ویتامین‌ها و آنزیم‌ها نیز به آن افزوده شده و از دستگاه گوارش کرم خاکی به‌صورت یک ماده ضدعفونی شده، بی‌بو و غنی از عناصر غذایی مختلف دفع می‌شود (Suthar, 2009; Anonymous, 2011). فرایند تولید ورمی‌کمپوست به‌دلیل سادگی نسبی روش تولید و نقشی که در مدیریت پسماندها و ضایعات کشاورزی دارد، در بسیاری از کشورها از اواسط قرن بیستم بیشتر مورد توجه قرار گرفت (Sharma & Garg, 2019). مقدار ورمی‌کمپوست توصیه شده در خاک‌های ایران، ۵ تا ۱۰ تن در هکتار است (Esmaili Behbahani et al., 2019). با وجود مزیت‌های فراوان این کود آلی، به‌دلیل قیمت بالای آن در بازار، مصرف آن در مقادیر زیاد صرفه اقتصادی ندارد و مصرف مقادیر کم آن نیز نمی‌تواند تمام نیازهای تغذیه‌ای گیاهان را تأمین نماید. بنابراین، لازم است این کود آلی با کودهای شیمیایی و زیستی تلفیق شود تا نقص‌های آن‌ها برطرف گردد و تغذیه گیاه بهینه باشد. نیتروژن به‌عنوان یک عنصر غذایی پرمصرف، از عوامل‌های اصلی تعیین‌کننده رشد و تولید محصولات کشاورزی است و کمبود آن در خاک‌های کشاورزی جهان از جمله ایران بیشترین فراوانی را دارد. این عنصر در ساختمان کلروفیل، آمینواسیدها،

پروتئین‌ها، آنزیم‌ها، کوآنزیم‌ها (ویتامین‌ها)، نوکلئیک اسیدها (DNA و RNA)، هورمون‌های گیاهی (اکسین‌ها و سیتوکینین‌ها) و حامل‌های انرژی (ATP و ADP) شرکت دارد. همچنین، نیتروژن در فرایندهای مختلف مانند قوه نامیه بذر و سرعت جوانه‌زنی آن، رشد رویشی گیاه، گل‌دهی، تشکیل میوه، رسیدگی و کیفیت محصولات کشاورزی نقش اساسی دارد (Marschner, 2012; Havlin et al., 2013). کود اوره به دلیل ارزان بودن و درصد نیتروژن بالا رایج‌ترین کود نیتروژنی مورد استفاده در کشاورزی است (Ma et al., 2019).

گوگرد یکی از عناصر غذایی پرمصرف مورد نیاز گیاهان است که در ساختمان آمینواسیدها، پروتئین‌ها، آنزیم‌ها، ویتامین‌ها، فردوکسین، تیوسیانات‌ها، برخی گلیکوزیدها و غیره شرکت می‌کند و در بهبود کمیت و کیفیت محصولات کشاورزی نقش مهمی دارد. برای مثال، ترکیب‌های گوگرددار تیول بو و مزه ویژه‌ای را در گیاهان خانواده *Cruciferae* و *Liliaceae* ایجاد می‌کنند (Marschner, 2012). گوگرد عنصری، ارزان‌ترین کود گوگردی است که به عنوان یک پسماند در صنعت پتروشیمی و پالایش گاز در ایران و جهان تولید می‌شود. گوگرد عنصری پس از مصرف در خاک‌های قلیایی و آهکی، اکسید شده و به سولفوریک اسید تبدیل می‌شود. کاتالیست این فرایند باکتری‌ها، آکتینومیسیت‌ها و قارچ‌های مختلف هستند. مصرف گوگرد عنصری به همراه کودهای آلی مانند ورمی کمپوست با ایجاد رطوبت و تهویه مناسب و افزایش جمعیت ریزجانداران اکسیدکننده گوگرد از جمله قارچ‌ها، سبب افزایش سرعت اکسایش گوگرد در خاک و تبدیل آن به سولفوریک اسید می‌شود. سولفوریک اسید تولید شده نه تنها به عنوان منبع سولفات مورد نیاز گیاهان عمل می‌کند، بلکه با کاهش pH خاک زیست‌فراهمی عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف مختلف را افزایش می‌دهد (Havlin et al., 2013).

منگنز یکی از عناصر غذایی کم‌مصرف مورد نیاز گیاهان است که در تشکیل کلروفیل و آزادسازی اکسیژن در فرایند فتوسنتز، در واکنش‌های اکسایش-کاهش، در فعالیت آنزیم‌ها به عنوان کوفاکتور فلزی، در سوخت‌وساز نیتروژن، قندها، چربی‌ها و پروتئین‌ها، در فرایند تنفس یاخته‌ها و در تقسیم یاخته‌ها نقش دارد. در خاک‌های آهکی و فقیر از مواد آلی ممکن است کمبود منگنز در گیاهان ایجاد شود (Marschner, 2012; Havlin et al., 2013). مصرف توأم کودهای آلی و منگنز می‌تواند فراهمی منگنز در خاک و کارایی مصرف آن به وسیله گیاهان را افزایش دهد (Najafi et al., 2012). با توجه به خشکسالی‌ها و کمبود منابع آب مناسب برای آبیاری، ضروری است که محصولات کشاورزی با مصرف آب کم تولید شوند. برای دستیابی به این هدف، افزایش کارایی مصرف آب (WUE) اهمیت زیادی دارد.^۱

پیشینه پژوهش

بررسی منابع نشان داد که اثر کودهای ورمی کمپوست، اوره، منگنز سولفات و گوگرد به تنهایی بر رشد و تولید محصول میوه خیار مطالعه شده است اما اثر مصرف تلفیقی آن‌ها بر محصول میوه، برخی صفات زراعی و کارایی مصرف آب خیار مطالعه نشده است. برای مثال، نتایج تعدادی از بررسی‌های انجام شده در اینجا بیان می‌شود. Crawford et al. (1989) گزارش کردند که کمبود منگنز در گیاه خیار سبب کاهش وزن تر و خشک شاخساره، کاهش غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم و افزایش غلظت آهن، مس و منگنز شاخساره و در نهایت تغییر ترکیب شیمیایی خیار شد. وقتی در شرایط کمبود منگنز، سرعت رشد گیاه بیشتر از سرعت جذب منگنز و انتقال آن به شاخساره کاهش می‌یابد، بر اثر وقوع پدیده اثر تغلیظ، غلظت منگنز شاخساره افزایش می‌یابد (Marschner, 2012). Rostamzadeh et al. (2013) مشاهده کردند که با مصرف کود اوره، قطر و طول میوه خیار سبز به طور معنادار افزایش یافت. Ma et al. (2019) گزارش کردند که بیشترین محصول میوه خیار با مصرف تلفیقی اوره و نترات (۵۰-۵۰) در کشت هیدروپونیک به دست آمد. Bello et al. (2023) مشاهده کردند که تعداد میوه، قطر میوه، محصول میوه و کارایی مصرف آب خیار با مصرف کود نیتروژن به میزان ۷۰ کیلوگرم N بر هکتار افزایش و در سطوح بالاتر (۱۰۰ کیلوگرم N بر هکتار) کاهش یافت. Zhao et al. (2017) افزایش محصول میوه خیار پس از مصرف ورمی کمپوست

^۱-Water use efficiency

^۲-Concentration effect

را گزارش کردند. Salehabadi et al. (2014) و Tith et al. (2021) مشاهده کردند که طول و وزن میوه خیار و محصول زیستی آن با مصرف ورمی کمپوست افزایش یافت. پس از مصرف ورمی کمپوست در بستر کشت، افزایش ارتفاع بوته، ماده خشک شاخساره، تعداد برگ، تعداد میوه و محصول زیستی خیار به وسیله Azarmi et al. (2009) گزارش شد. باتوجه به مطالب ذکر شده، هدف این پژوهش، بررسی تأثیر تلفیق ورمی کمپوست با نیتروژن، گوگرد و منگنز بر محصول میوه، برخی صفات زراعی و کارایی مصرف آب خیار در شرایط گلخانه‌ای بود. نظر به اینکه، اوره رایج‌ترین کود نیتروژن مصرفی در ایران است، از این کود به عنوان منبع نیتروژن استفاده شد. همچنین، از منگنز سولفات به عنوان منبع منگنز و از گوگرد عنصری تولید داخل کشور به عنوان منبع گوگرد و اصلاحگر خاک استفاده شد.

روش‌شناسی پژوهش

نمونه‌برداری و تعیین ویژگی‌های خاک

این پژوهش در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه پیام نور واحد بنیس در شهرستان شبستر و آزمایشگاه‌های گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تبریز اجرا شد. خاک مورد استفاده در این پژوهش، به صورت تصادفی از عمق صفر تا ۲۵ سانتی‌متری نقاط مختلف مزرعه تحقیقاتی دانشگاه پیام نور واحد بنیس با طول جغرافیایی $38^{\circ}12'0''/3''$ شرقی و عرض جغرافیایی $45^{\circ}43'14''/2''$ شمالی نمونه‌برداری و نمونه مرکب آماده شده به آزمایشگاه منتقل گردید. پس از هوا خشک شدن، خاک از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن تعیین گردید. بافت خاک به روش هیدرومتری (Gee & Or, 2002)، کلسیم کربنات معادل به روش خنثی‌سازی با اسید و تیتر کردن با سود (Allison & Moodie, 1965)، کربن آلی خاک به روش اکسایش تر (Nelson & Sommers, 1996)، pH خاک در تعلیق ۱:۱ آب به خاک (Thomas, 1996)، EC در عصاره تعلیق ۱:۱ آب به خاک (Rhoades, 1996)، فسفر قابل جذب گیاه در خاک به روش اولسن (Kuo, 1996)، Cu، Fe، Mn و Zn قابل جذب به روش عصاره‌گیری با DTPA و با دستگاه جذب اتمی (Lindsay & Norvell, 1987) و K و Na قابل جذب به روش عصاره‌گیری با آمونیوم استات و قرائت با دستگاه فلیم فتومتر (Jones, 2001) تعیین شدند. در جدول ۱ برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک مورد مطالعه ارائه شده است. این خاک آهکی غیرشور، نسبتاً درشت بافت و فقیر از نظر ماده آلی، نیتروژن، آهن و منگنز بود (Hazelton and Murphy, 2016).

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در پژوهش حاضر.

بافت خاک	شن	سیلت	رس	کربن آلی (%)	کلسیم کربنات معادل (CCE)	pH (1:1)	EC (1:1) (dS/m)
لوم شنی	۷۶	۸	۱۶	۰/۶	۱۸/۳	۷/۶	۰/۶

جدول ۱. ادامه								
غلظت عنصر قابل جذب گیاه در خاک (mg/kg)								
N کل (%)	P	K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn
۰/۱۱	۲۴	۲۵۰	۱۱۱	۱۲۵۶	۹۹	۱/۱	۰/۲۴	۱/۱
								Cu
								۰/۹

ورمی کمپوست مورد استفاده در این پژوهش از کارگاه تولید ورمی کمپوست شرکت پارما به شماره ثبت ۲۵۳ در شهرستان شبستر، استان آذربایجان شرقی تهیه شد که از کود دامی تولید شده بود. ورمی کمپوست پس از هوا خشک شدن از الک یک میلی‌متری عبور داده شد و برخی ویژگی‌های شیمیایی آن از قبیل pH، EC و غلظت کل عناصر تعیین (Westerman, 1990; Peters, 2003) و نتایج در جدول‌های ۲ و ۳ ارائه شد. باتوجه به نشریه شماره ۱۳۷۲۴ سازمان ملی استاندارد ایران (Anonymou, 2011)، این ورمی کمپوست از نظر کیفیت در مجموع می‌تواند در حد درجه یک ارزیابی شود. برخی ویژگی‌های

شیمیایی آب آبیاری مورد استفاده در این پژوهش تعیین و در جدول ۴ ارائه شد. این آب برای آبیاری گیاهان محدودیت خاصی نداشت (Ayers & Westcott, 1985).

جدول ۲. برخی ویژگی‌های شیمیایی ورمی کمپوست مورد استفاده در پژوهش حاضر.

C/N	نیتروژن کل (%)	کربن آلی (%)	EC _(1:5) (dS/m)	pH _(1:5)
۱۳/۸	۱/۶۵	۲۲/۸	۴/۹۵	۷/۴

جدول ۳. غلظت کل عناصر در ورمی کمپوست مورد استفاده در پژوهش حاضر.

Mn	Zn	Cu	Fe	Na	K	Ca	Mg	P
(mg/kg dw)				(mg/g dw)				
۳۶۶	۲۴۴	۲۶۸	۵۱۹۹	۳/۹	۱۱/۷	۵/۵	۲/۳	۶/۰

جدول ۴. نتایج تجزیه شیمیایی آب آبیاری مورد استفاده در پژوهش حاضر.

EC (dS/m)	pH	غلظت عنصر (mg/L)								
		Na	Cu	Zn	Mn	Fe	Mg	Ca	P	K
۰/۴۳	۷/۶۸	۳/۸	۰/۰۵	۰/۸	۰/۰۳	۰/۱	۷	۴/۸	۰/۰۶	۳/۸

آزمایش گلخانه‌ای در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار و ۱۶ تیمار شامل Control: شاهد، N: مصرف ۱۵۰ میلی گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک از منبع اوره $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ ، Mn: مصرف ۱۳ میلی گرم منگنز بر کیلوگرم خاک از منبع منگنز سولفات $(\text{MnSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ ، S: مصرف ۵۰۰ میلی گرم گوگرد عنصری بر کیلوگرم خاک، N+Mn: نیتروژن + منگنز، N+S: نیتروژن + گوگرد، Mn+S: منگنز + گوگرد، N+Mn+S: نیتروژن + منگنز + گوگرد، VC: مصرف ۳۰ گرم ورمی کمپوست بر کیلوگرم خاک، VC+N: ورمی کمپوست + نیتروژن، VC+Mn: ورمی کمپوست + منگنز، VC+S: ورمی کمپوست + گوگرد، VC+N+S: ورمی کمپوست + نیتروژن + منگنز + گوگرد، VC+S+Mn: ورمی کمپوست + منگنز + گوگرد، VC+N+Mn: ورمی کمپوست + نیتروژن + منگنز و VC+N+Mn+S: ورمی کمپوست + نیتروژن + منگنز + گوگرد. برای اعمال تیمارها، ۹ کیلوگرم از خاک مورد مطالعه توزین و در یک تشت بزرگ ریخته شد. سپس ۲۷۰ گرم ورمی کمپوست به آن افزوده شد و خوب مخلوط گردید. سپس مقدار آب مورد نیاز برای رساندن رطوبت خاک داخل تشت به ظرفیت مزرعه‌ای کم کم به آن افزوده شد و خوب مخلوط گردید تا خاک کاملاً همگن شود. در تیمارهای دارای گوگرد، کود گوگرد عنصری به صورت پودر به خاک خشک داخل تشت افزوده و خوب مخلوط شد تا به طور یکنواخت در خاک توزیع شود. در مورد تیمارهای دارای کودهای شیمیایی نیتروژن و منگنز، تمام منگنز سولفات و نصف کود اوره مورد نیاز در آب حل شدند و حجم معینی از محلول آن‌ها به خاک موجود در تشت کم کم افزوده و خوب به هم زده شد تا کود در تمام خاک به طور یکنواخت توزیع شود و هم‌زمان رطوبت خاک نیز به حدود ظرفیت مزرعه‌ای برسد. سپس خاک تیمار شده داخل تشت به داخل گلدان‌ها منتقل شد. در تیمارهای تلفیقی، کودهای شیمیایی ابتدا با ورمی کمپوست مخلوط شدند و سپس ورمی کمپوست غنی شده با خاک خوب مخلوط شد. نصف دیگر کود اوره، در ابتدای مرحله تشکیل میوه، به صورت محلول به خاک گلدان‌ها افزوده شد.

برای کشت گیاهان، از گلدان‌های پلاستیکی به قطر دهانه ۲۸ سانتی متر و ارتفاع ۳۰ سانتی متر استفاده شد. ابتدا بذریه خیار (*Cucumis sativus* L.) رقم ناگین با محلول سدیم هیپوکلریت ۰/۵ درصد ضدعفونی شدند. سپس درون چند لایه پارچه متقالی تمیز و مرطوب نگهداری شدند تا جوانه بزنند. سپس، سوراخ‌هایی به عمق ۵ سانتی متر در خاک داخل گلدان ایجاد و با پیت خزه برای رشد بهتر بذرها، پر شدند و در داخل هر یک از آن‌ها، یک عدد بذر جوانه دار شده خیار قرار داده شد. گیاهان در

گلخانه‌ای با نور طبیعی و دمای 25 ± 5 درجه سلسیوس در طول روز و دمای 20 ± 5 درجه سلسیوس در طول شب و با رطوبت نسبی ۷۰-۵۰ درصد نگهداری شدند. میوه‌های خیار در طول فصل رشد برداشت و وزن تر آن‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتالی تعیین شد. حجم میوه‌ها نیز پس از برداشت به وسیله استوانه مدرج اندازه‌گیری شد. برای این کار، داخل استوانه مدرج ۵۰۰ میلی‌لیتری، حجم معینی آب ریخته شد. سپس میوه‌ها به آرامی به داخل استوانه وارد و تغییر حجم آب استوانه به عنوان حجم میوه در نظر گرفته شد. جرم مخصوص ظاهری میوه‌های تر خیار از تقسیم وزن تر هر میوه (بر حسب گرم) به حجم آن میوه (بر حسب سانتی‌متر مکعب) محاسبه شد. همچنین، طول میوه‌های برداشت شده با استفاده از متر با دقت سانتی‌متر و قطر میوه‌های برداشت شده با استفاده از کولیس با دقت میلی‌متر اندازه‌گیری شدند. همچنین، تعداد کل میوه‌های برداشت شده از هر بوته شمارش شد. قبل از برداشت گیاهان، تعداد برگ‌های موجود در هر بوته شمارش و یادداشت گردید. در پایان دوره رشد شاخساره از محل طوقه قطع شد و وزن تر آن یادداشت شد. برای جداسازی ریشه از خاک داخل هر گلدان، مخلوط خاک و ریشه روی یک الک ریخته شد و با فشار آب، خاک شسته شد و ریشه‌ها روی الک ماندند. برای تعیین ماده خشک میوه‌ها، ریشه و شاخساره گیاهان خیار، ابتدا هر یک از اندام‌ها، با آب مقطر شسته شدند و سپس در داخل پاکت‌های کاغذی قرار داده شدند و در آون فن‌دار به مدت ۷۲ ساعت و در دمای ۷۰ درجه سلسیوس نگهداری شدند تا خشک شوند. سپس با ترازوی دیجیتالی وزن خشک هر یک از آن‌ها تعیین شد (Westerman, 1990). محصول زیستی از مجموع ماده خشک میوه و شاخساره گیاه محاسبه شد (Donald & Hamblin, 1976). به طور کلی، هر تیمار شامل سه گلدان بود و آزمایش ۴۸ گلدان داشت.

در طول دوره رشد، آبیاری گلدان‌ها به صورت دستی و با استفاده از استوانه مدرج و به طور یکسان برای کلیه واحدهای آزمایشی و با استفاده از آب لوله‌کشی شده دانشگاه پیام نور واحد بنیس انجام شد. حجم آب آبیاری مصرفی به صورت روزانه با استوانه مدرج تعیین و یادداشت شد. در پایان دوره رشد، کارایی مصرف آب به صورت زیر از نسبت محصول زیستی خیار در هر گلدان به مقدار آب مصرف شده (مجموع تبخیر و تعرق) در آن گلدان محاسبه شد (Kramer & Boyer, 1995).

$$WUE (g/L) = \frac{\text{محصول زیستی}}{\text{مقدار آب مصرف شده}}$$

در پژوهش حاضر، اثر تیمارها بر وزن تر و خشک میوه، حجم میوه، طول میوه، قطر میوه، وزن تر و خشک شاخساره و ریشه، ارتفاع بوته، محصول زیستی، تعداد برگ و کارایی مصرف آب بررسی شد. تحلیل آماری داده‌ها شامل آزمون نرمال بودن توزیع داده‌ها، تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها با نرم‌افزار MSTATC و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel انجام و میانگین‌ها با آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند.

یافته‌های پژوهش

وزن تر و خشک میوه خیار

تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارها بر وزن تر و خشک میوه خیار در سطح احتمال یک درصد معنادار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که مصرف کودهای نیتروژن، گوگرد و منگنز به تنهایی بر وزن تر و خشک میوه خیار اثر معنادار نداشت اما مصرف ورمی‌کمپوست به تنهایی و برخی تیمارهای تلفیقی وزن تر و خشک میوه خیار را نسبت به شاهد به طور معنادار افزایش دادند. بیشترین وزن خشک میوه خیار در تیمار تلفیقی VC+N+S+Mn مشاهده شد. بیشترین وزن تر میوه خیار نیز در تیمار تلفیقی VC+N+S+Mn مشاهده شد هر چند که با تیمارهای VC+N+Mn، VC+N+S، VC+N و VC+N+S+Mn تفاوت معنادار نداشت. از نظر ماده خشک میوه، میان نیتروژن - گوگرد، نیتروژن - منگنز و نیتروژن - ورمی‌کمپوست

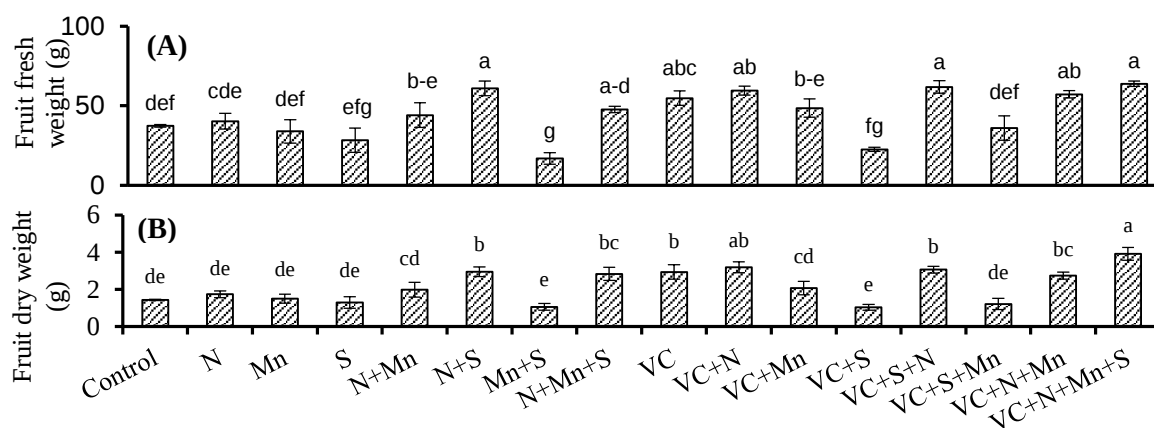
¹-Biological yield

اثر متقابل هم‌افزایی مشاهده شد. افزایش ماده خشک میوه در حضور ورمی کمپوست بیشتر از کودهای شیمیایی بود (شکل ۱).

جدول ۵- تجزیه واریانس تأثیر تیمارها بر ویژگی‌های میوه خیار رقم ناگین.

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						جرم مخصوص
		وزن تر	وزن خشک	طول	قطر	تعداد	حجم	درصد آب
تیمار	۱۵	۶۴۳**	۲/۵**	۸/۹**	۰/۳۹**	۰/۲۲**	۵۶۲**	۰/۰۷ ^{ns}
خطا	۳۲	۷۱/۴	۰/۲۳	۰/۶۱	۰/۰۴	۰/۱	۹۱/۷	۰/۰۰۳
CV (%)	-	۱۸/۹	۲۲	۷/۰۴	۱۱/۱	۲۰	۲۲	۰/۵۷

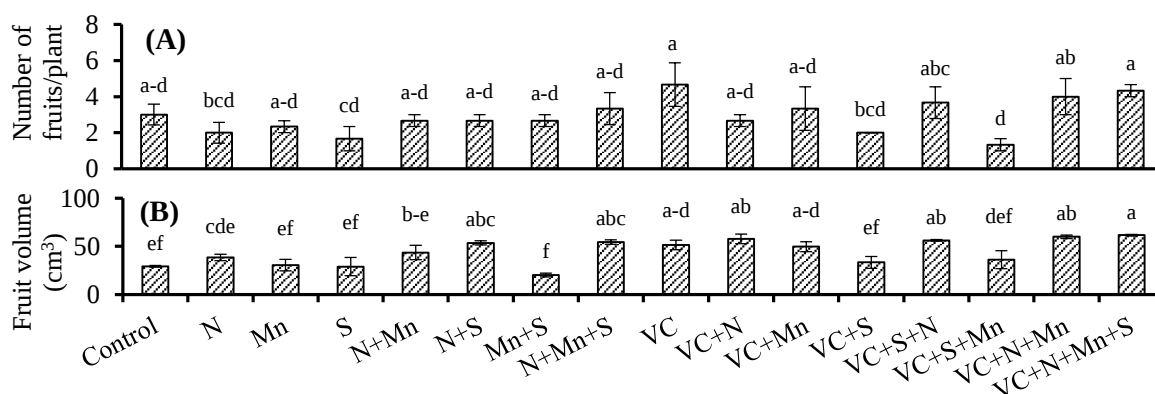
**, معنادر در سطح احتمال یک درصد، ^{ns}، غیرمعنادر



شکل ۱. تأثیر ورمی کمپوست (VC)، نیتروژن (N)، گوگرد (S)، منگنز (Mn) و تلفیق آن‌ها بر وزن تر (A) و خشک (B) میوه خیار رقم ناگین.

تعداد و حجم میوه خیار

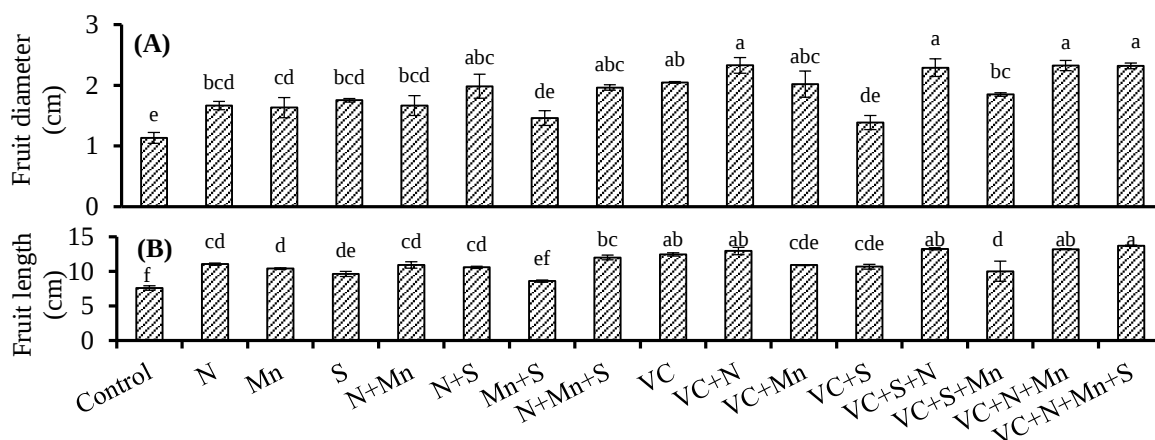
تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارها بر تعداد و حجم میوه خیار در سطح احتمال یک درصد معنادر بود (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که مصرف کودهای نیتروژن، گوگرد و منگنز به‌تنهایی بر تعداد و حجم میوه خیار اثر معنادر نداشت اما مصرف ورمی کمپوست به‌تنهایی و برخی تیمارهای تلفیقی میانگین حجم میوه خیار را نسبت به شاهد به‌طور معنادر افزایش دادند. بیشترین تعداد میوه خیار در تیمار تلفیقی VC+N+S+Mn مشاهده شد هر چند با برخی تیمارها تفاوت معنادر نداشت. بیشترین حجم میوه خیار در تیمار ورمی کمپوست به‌تنهایی مشاهده شد که با برخی تیمارها از جمله VC+N+S+Mn تفاوت معنادر نداشت (شکل ۲).



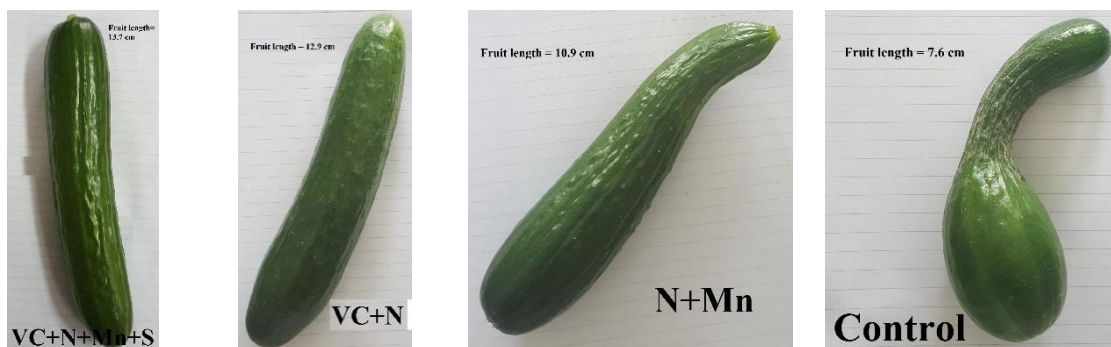
شکل ۲. تأثیر ورمی کمپوست (VC)، نیتروژن (N)، گوگرد (S)، منگنز (Mn) و تلفیق آن‌ها بر تعداد (A) و حجم (B) میوه خیار رقم ناگین.

قطر و طول میوه خیار

تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارها بر قطر و طول میوه خیار در سطح احتمال یک درصد معنادار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که مصرف ورمی کمپوست، نیتروژن، گوگرد و منگنز به تنهایی و در تیمارهای تلفیقی قطر و طول میوه خیار را نسبت به شاهد به طور معنادار افزایش دادند به استثنای تیمارهای VC+S و S+Mn در مورد قطر میوه و تیمار S+Mn در مورد طول میوه که با شاهد تفاوت معنادار نداشتند. بیشترین قطر و طول میوه خیار در تیمار تلفیقی VC+N+S+Mn مشاهده شد هر چند با برخی تیمارها تفاوت معنادار نداشتند (شکل ۳).



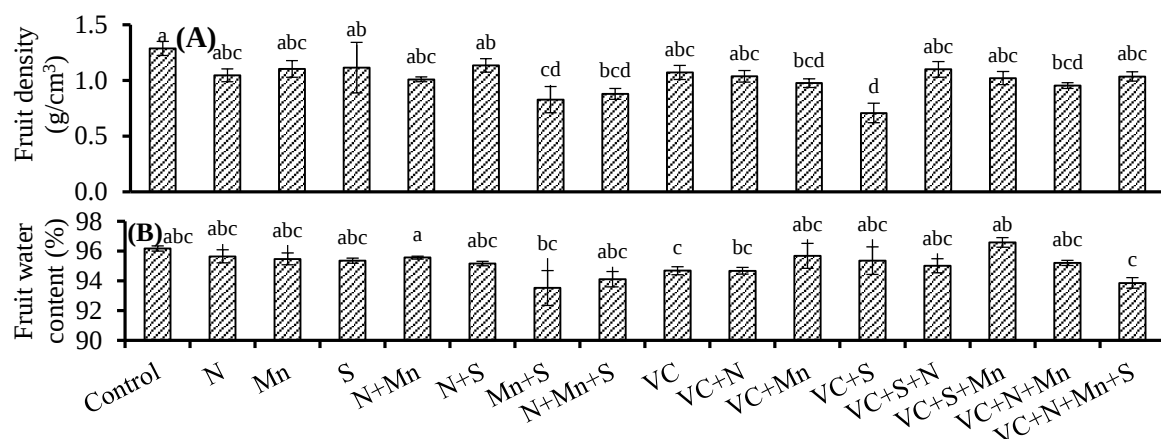
شکل ۳. تأثیر ورمی کمپوست (VC)، نیتروژن (N)، گوگرد (S)، منگنز (Mn) و تلفیق آن‌ها بر قطر (A) و طول (B) میوه خیار رقم ناگین.



شکل ۴. وضعیت ظاهری و میانگین طول میوه‌های خیار رقم ناگین در برخی تیمارها

جرم مخصوص و درصد آب میوه

تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارها بر جرم مخصوص و درصد آب میوه معنادار نبود (جدول ۵). Bayat et al. (2023) نیز گزارش کردند که مصرف کود مرعی و کودهای شیمیایی اوره و آمونیوم سولفات و تلفیق آن‌ها بر درصد آب میوه خیار اثر معنادار نداشت. باین حال، مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بین برخی تیمارها از نظر جرم مخصوص و درصد آب میوه تفاوت معنادار وجود داشت. میانگین جرم مخصوص میوه ۱/۰۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب و میانگین مقدار آب میوه، ۹۵ درصد بود (شکل ۵). جرم مخصوص بیشتر و درصد آب کمتر میوه خیار ممکن است به غلظت بیشتر مواد معدنی موجود در آن مربوط باشد.



شکل ۵. تأثیر ورمی کمپوست (VC)، نیتروژن (N)، گوگرد (S)، منگنز (Mn) و تلفیق آن‌ها بر جرم مخصوص (A) و مقدار آب (B) میوه خیار رقم ناگین.

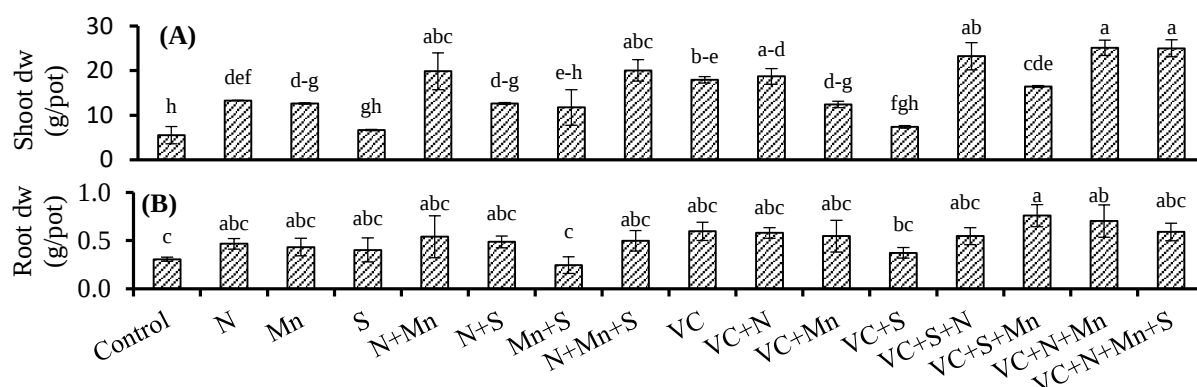
ماده خشک شاخساره

تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارها بر ماده خشک شاخساره در سطح احتمال یک درصد معنادار بود (جدول ۶). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمارهای اوره، منگنز سولفات و ورمی کمپوست ماده خشک شاخساره را نسبت به شاهد به‌طور معنادار افزایش دادند اما اثر گوگرد عنصری معنادار نبود. در میان تیمارهای تلفیقی، به‌استثنای Mn+S و VC+S سایر تیمارهای تلفیقی ماده خشک شاخساره خیار را به‌طور معنادار نسبت به شاهد افزایش دادند. بیشترین ماده خشک شاخساره خیار در تیمارهای تلفیقی VC+N+Mn و VC+N+Mn+S مشاهده شد که با برخی تیمارها تفاوت معنادار نداشتند. نوع اثر متقابل نیتروژن - گوگرد و نیتروژن - منگنز از نظر اثر بر ماده خشک شاخساره خیار هم‌افزایی بود (شکل ۶-۸).

جدول ۶. تجزیه واریانس تأثیر تیمارها بر ماده خشک ریشه و شاخساره، محصول زیستی، ارتفاع بوته، تعداد برگ و کارایی مصرف آب در گیاه خیار رقم ناگین.

منبع تغییر	درجه آزادی	ماده خشک شاخساره	ماده خشک ریشه	میانگین مربعات			تعداد برگ	کارایی مصرف آب
				نسبت ماده خشک شاخساره به ریشه	محصول زیستی	ارتفاع بوته		
تیمار	۱۵	۱۱۷/۲**	۰/۰۵ ^{ns}	۰/۰۶۲ ^{ns}	۳۱۸/۲**	۲۰۴۰**	۵۲/۷**	۰/۷**
خطا	۳۲	۱۱/۷	۰/۰۴	۰/۰۵۸	۲۶/۷	۱۶۵/۱	۶/۲	۰/۰۵
CV (%)	-	۲۲	۳۸/۱	۱۶/۰	۲۳/۴	۱۴/۶	۱۴/۲	۱۹/۷

**، معنادار در سطح احتمال یک درصد، ^{ns}، غیرمعنادار



شکل ۶. تأثیر ورمی کمپوست (VC)، نیتروژن (N)، گوگرد (S)، منگنز (Mn) و تلفیق آن‌ها بر ماده خشک شاخساره (A) و ماده خشک ریشه (B) خیار رقم ناگین.

ماده خشک ریشه و نسبت ماده خشک شاخساره به ریشه

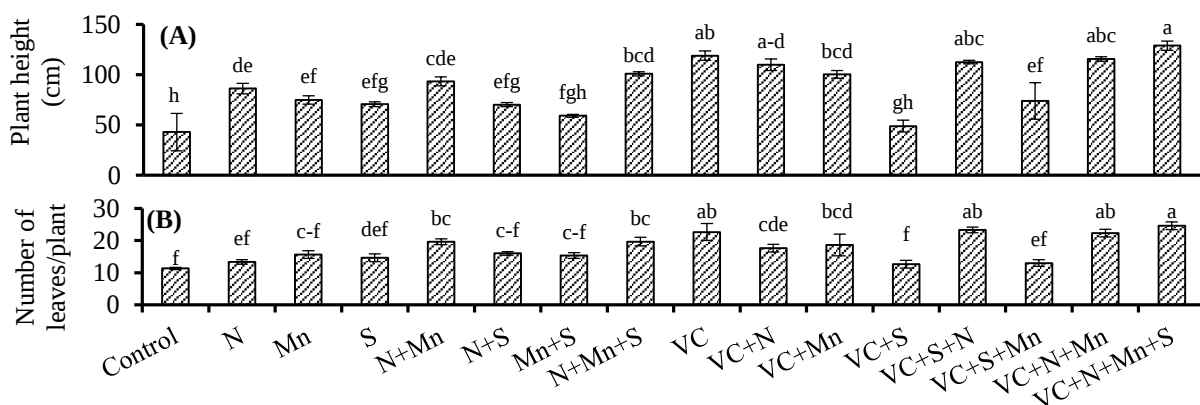
تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارها بر ماده خشک ریشه و نسبت ماده خشک شاخساره به ریشه گیاه خیار معنادار نبود (جدول ۶) مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بین هیچ یک از تیمارها از نظر نسبت ماده خشک شاخساره به ریشه تفاوت معنادار وجود نداشت اما از نظر ماده خشک ریشه میان برخی تیمارها تفاوت معنادار وجود داشت. فقط دو تیمار تلفیقی VC+S+Mn و VC+N+Mn توانستند ماده خشک ریشه خیار را نسبت به شاهد به‌طور معنادار افزایش دهند و سایر تیمارها اثر معنادار نداشتند (شکل ۶-B).

ارتفاع بوته خیار

تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارها بر ارتفاع بوته خیار در سطح احتمال یک درصد معنادار بود (جدول ۶). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که مصرف ورمی کمپوست، اوره، منگنز سولفات و گوگرد عنصری و تلفیق این کودها با یکدیگر ارتفاع بوته خیار را نسبت به شاهد افزایش داد به‌استثنای تیمارهای VC+S و Mn+S که با شاهد تفاوت معنادار نداشتند. بیشترین ارتفاع بوته خیار در تیمار تلفیقی VC+N+S+Mn مشاهده شد هر چند که با برخی تیمارها تفاوت معنادار نداشت (شکل ۷-A). نتایج نشان داد که میان ارتفاع بوته خیار و غلظت برخی عناصر غذایی در شاخساره، ماده خشک ریشه و شاخص کلروفیل برگ‌ها در گیاه خیار رقم ناگین همبستگی‌های معنادار وجود داشت (جدول ۷).

جدول ۷. ضریب همبستگی خطی (r) میان ارتفاع بوته خیار و غلظت برخی عناصر غذایی در شاخساره، ماده خشک ریشه و شاخص کلروفیل برگ‌ها در گیاه خیار رقم ناگین.

Chlorophyll index	Root dw	Zn	Cu	Mn	Fe	Ca	Mg	N
0.87**	0.69**	0.53*	0.66**	0.58*	0.71**	0.62*	0.89**	0.79**



شکل ۷. تأثیر ورمی کمپوست (VC)، نیتروژن (N)، گوگرد (S)، منگنز (Mn) و تلفیق آن‌ها بر ارتفاع بوته (A) و تعداد برگ‌های (B) خیار رقم ناگین.

تعداد برگ خیار

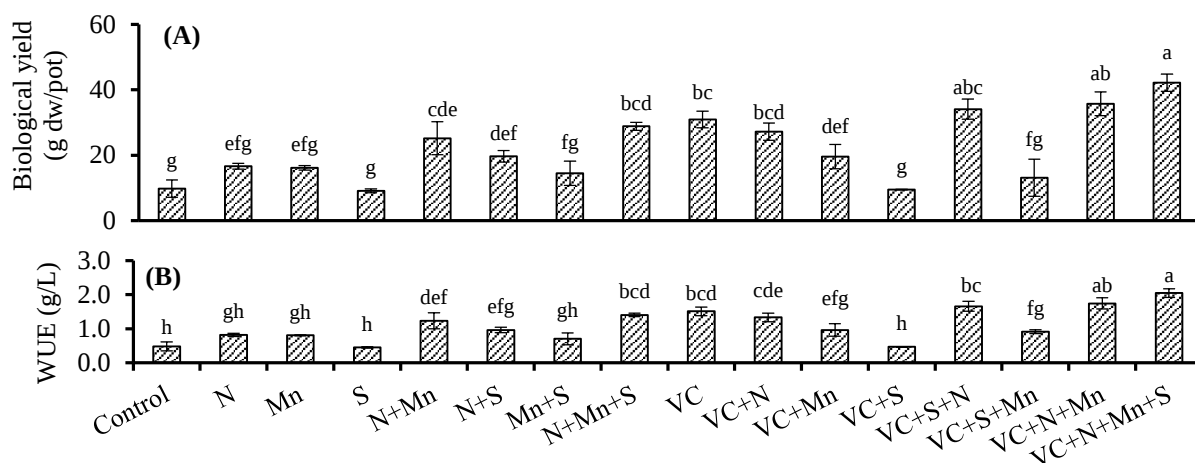
تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارها بر تعداد برگ در بوته خیار در سطح احتمال یک درصد معنادار بود (جدول ۶). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که مصرف اوره، منگنز سولفات و گوگرد عنصری در خاک بر تعداد برگ در بوته خیار اثر معنادار نداشت اما مصرف ورمی کمپوست و اغلب تیمارهای تلفیقی، تعداد برگ در بوته خیار را نسبت به شاهد به‌طور معنادار افزایش دادند. بیشترین تعداد برگ در بوته خیار در تیمار VC+N+Mn+S مشاهده شد هر چند که با برخی تیمارها از جمله ورمی کمپوست به‌تنهایی تفاوت معنادار نداشت (شکل ۷-B).

محصول زیستی خیار

تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارها بر محصول زیستی خیار در سطح احتمال یک درصد معنادار بود (جدول ۶). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اثر مصرف اوره، منگنز سولفات و گوگرد عنصری در خاک بر محصول زیستی خیار معنادار نبود اما مصرف ورمی کمپوست و اغلب تیمارهای تلفیقی، محصول زیستی خیار را نسبت به شاهد به‌طور معنادار افزایش دادند. بیشترین محصول زیستی خیار در تیمار تلفیقی VC+N+Mn+S مشاهده شد هر چند که با برخی تیمارها از جمله ورمی کمپوست به‌تنهایی تفاوت معنادار نداشت (شکل ۸-A).

کارایی مصرف آب

تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارها بر کارایی مصرف آب خیار در سطح احتمال یک درصد معنادار بود (جدول ۶). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که مصرف اوره، منگنز سولفات و گوگرد عنصری در خاک بر کارایی مصرف آب خیار اثر معنادار نداشت اما مصرف ورمی کمپوست و اغلب تیمارهای تلفیقی، کارایی مصرف آب خیار را نسبت به شاهد به‌طور معنادار افزایش دادند. بیشترین کارایی مصرف آب خیار در تیمار VC+N+Mn+S مشاهده شد هر چند که با تیمار VC+N+Mn تفاوت معنادار نداشت (شکل ۸-B).



شکل ۸. تأثیر ورمی کمپوست (VC)، نیتروژن (N)، گوگرد (S)، منگنز (Mn) و تلفیق آن‌ها بر محصول زیستی (A) و کارایی مصرف آب (B) خیار رقم ناگین.

بحث

وزن تر و خشک میوه خیار

مشابه نتایج بررسی ما، Zhao *et al.* (2017) نیز افزایش محصول میوه خیار پس از مصرف ورمی کمپوست را گزارش کردند. Tith *et al.* (2021) گزارش نمودند که مصرف ورمی کمپوست سبب افزایش وزن میوه خیار شد. Salehabadi *et al.* (2014) مشاهده کردند که وزن میوه خیار با مصرف ورمی کمپوست افزایش یافت. در مطالعه آنان، مصرف ورمی کمپوست باعث کاهش pH خاک شد. Bello *et al.* (2023) مشاهده کردند که محصول میوه خیار با مصرف کود نیتروژن به میزان ۷۰ کیلوگرم N بر هکتار افزایش و در سطوح بالاتر (۱۰۰ کیلوگرم N بر هکتار) کاهش یافت. Adhikari *et al.* (2016) گزارش کردند که وزن میوه فلفل شیرین با مصرف ورمی کمپوست افزایش یافت. Saeidnejad & Rezvani Moghaddam (2011) افزایش محصول دانه زیره سبز را با مصرف ورمی کمپوست مشاهده کردند. ورمی کمپوست از طریق افزایش ظرفیت نگهداری آب و عناصر غذایی در خاک و ایجاد یک محیط مناسب برای رشد ریشه، باعث تسهیل جذب عناصر غذایی به وسیله گیاه می‌شود (Sangwan *et al.*, 2008; Wang *et al.* 2021). همچنین، مصرف ورمی کمپوست با افزایش غلظت کلروفیل‌های مختلف، سبب افزایش شدت فتوسنتز، افزایش ساخت کربوهیدرات‌ها (Gholami *et al.* 2019) و افزایش ماده خشک میوه می‌شود. افزایش محصول میوه خیار با مصرف ورمی کمپوست به وسیله Wang *et al.* (2021) نیز گزارش شده است. آنان کاهش pH خاک قلیایی مورد مطالعه و افزایش غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم و کربن آلی خاک را پس از مصرف ورمی کمپوست در خاک مشاهده کردند.

باتوجه به ترکیب شیمیایی ورمی کمپوست (جدول‌های ۲ و ۳)، بهبود تغذیه نیتروژن، فسفر و سایر عناصر غذایی گیاه خیار در حضور ورمی کمپوست (Gholami *et al.* 2019) می‌تواند ماده خشک میوه خیار را افزایش دهد. در تأیید این نظر، بررسی روابط همبستگی میان صفات مورد مطالعه نشان داد که غلظت نیتروژن میوه با ماده خشک میوه هم‌بستگی مثبت و معنادار داشت ($r=0.62^{**}$). با این حال، Daneshvar *et al.* (2023) گزارش کردند که مصرف ورمی کمپوست سبب کاهش رشد و محصول کرفس شد و دلیل آن را آزادسازی کند نیتروژن به وسیله این کود آلی اعلام کردند که به نظر می‌رسد ناشی از نسبت بالای کربن به نیتروژن آن باشد. همچنین، آنان افزایش محصول کرفس با مصرف کود اوره را گزارش دادند. Asadi *et al.* (2024) گزارش نمودند که مصرف ورمی کمپوست و کودهای NPK بر وزن تک میوه خیار اثر معنادار نداشت اما محصول میوه خیار را به طور معنادار افزایش داد که می‌تواند ناشی از افزایش تعداد میوه در بوته باشد. Rostamzadeh *et al.* (2013) مشاهده

کردند که با مصرف اوره و اوره با پوشش گوگردی^۱ (SCU) محصول میوه خیار سبز در هر بوته به طور معنادار افزایش یافت و این افزایش در حضور SCU بیشتر بود. با توجه به نقش نیتروژن در تشکیل کلروفیل و نقش گوگرد در پایداری آن (Marschner, 2012)، در حضور SCU هر دو عنصر غذایی مورد نیاز گیاه تأمین می شود و در کنار هم باعث رشد بهتر گیاه می شوند. همچنین، هدررفت نیتروژن در حضور SCU کاهش و کارایی مصرف آن افزایش می یابد. از طرف دیگر، بر اثر اکسایش گوگرد موجود در SCU، pH خاک کاهش و زیست فراهمی عناصر غذایی پرمصرف و کم مصرف افزایش می یابد (Havlin et al., 2013). نتیجه فرایندهای مذکور افزایش رشد گیاه و تولید میوه آن است.

برتر بودن تیمارهای تلفیقی در افزایش وزن تر و خشک میوه خیار با نتایج Bayat et al. (2023) مطابقت داشت. آنان مشاهده کردند که بیشترین محصول خیار از تلفیق کود مرغی با کودهای شیمیایی اوره یا آمونیوم سولفات به دست آمد. Rafiei et al. (2014) بیشترین محصول دانه سویا را با مصرف توأم کود آلی و نیتروژن تولید کردند. Goudarzi et al. (2022) بیشترین محصول میوه فیسالیس را با مصرف تلفیقی کودهای آلی از جمله ورمی کمپوست، زیستی و شیمیایی مشاهده کردند. همچنین، آنان بیان داشتند که فعالیت آنٹی اکسیدانی و غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم گیاه در این تیمار به طور معنادار افزایش یافت. Olowoake et al. (2021) بیشترین وزن میوه خیار را در تیمار تلفیقی ورمی کمپوست + نیتروژن مشاهده کردند. Asadi et al. (2024) گزارش کردند که بیشترین محصول میوه خیار در تیمار تلفیقی ورمی کمپوست + کودهای NPK بود هر چند که با کود ورمی کمپوست به تنهایی تفاوت معنادار نداشت. به طور کلی، مصرف ورمی کمپوست در خاک با بهبود ویژگی های شیمیایی، فیزیکی و زیستی خاک، افزایش زیست فراهمی عناصر غذایی، بهبود تغذیه گیاه، افزایش غلظت انواع کلروفیل، بهبود کارایی فتوسنتز، افزایش کارایی مصرف آب و افزایش رشد ریشه گیاه سبب افزایش تولید محصول می شود (Manzoor et al., 2024).

در مورد برتر بودن تیمارهای تلفیقی، دلایل مختلفی می توان ذکر کرد که به تعدادی از آن ها در اینجا اشاره می شود. ۱- تلفیق ورمی کمپوست با نیتروژن سبب کاهش نسبت کربن به نیتروژن و افزایش سرعت تجزیه آن می شود که می تواند نیاز گیاه به عناصر غذایی مختلف را در طول دوره رشد بهتر تأمین نماید (Havlin et al., 2013). نیتروژن در ساختمان کلروفیل، ATP، DNA، RNA، آنزیم ها و هورمون های رشد اکسین و سیتوکینین وجود دارد و سبب افزایش تقسیم یاخته ها و افزایش تولید محصول میوه خیار می شود (Marschner, 2012). تلفیق ورمی کمپوست با گوگرد، با حفظ رطوبت و اکسیژن کافی در خاک و افزایش جمعیت ریز جانداران اکسید کننده گوگرد مانند قارچ ها، سبب افزایش سرعت اکسایش گوگرد و افزایش میزان سولفوریک اسید تولید شده در خاک و افزایش زیست فراهمی عناصر غذایی پرمصرف و کم مصرف، بهبود رشد و تولید محصول میوه خیار می شود (Germida and Janzen, 1993; Havlin et al., 2013). تلفیق ورمی کمپوست با منگنز سبب افزایش زیست فراهمی منگنز می شود. با توجه به نقش منگنز در افزایش شدت فتوسنتز گیاه (Marschner, 2012)، این کار سبب افزایش تولید محصول میوه خیار می شود. به طور کلی، تلفیق ورمی کمپوست با کودهای شیمیایی نیتروژن، گوگرد و منگنز به عنوان یک راهبرد مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه، با رفع نواقص ورمی کمپوست، سبب افزایش رشد ریشه و شاخساره گیاه خیار و افزایش محصول میوه آن می شود (Najafi, 2016). برتر بودن تیمارهای تلفیقی از نظر بسیاری از صفات مورد مطالعه در این پژوهش نشان می دهد که کود آلی ورمی کمپوست به تنهایی برای تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه کافی نیست و با سایر گزارش ها در مورد اثر کودهای آلی بر رشد و تولید محصولات کشاورزی مطابقت دارد (Abbasi et al., 2012; Abbasi et al., 2020). همچنین، یکی دیگر از دلایل برتری تیمار تلفیقی ممکن است به افزایش مقاومت گیاهان خیار در برابر بیماری ها مربوط باشد. برای مثال، Eskandari et al. (2020) مشاهده کردند که مصرف کود منگنز سولفات سبب کاهش بیماری قارچی Anthracnose در بوته های خیار

^۱-Sulfur-coated urea

شد. Jia et al. (2024) گزارش نمودند که افزودن گوگرد عنصری به خاک، مقاومت گیاه خیار را در برابر سفیدک پودری بهبود بخشید.

تعداد و حجم میوه خیار

مشابه نتایج بررسی ما، Azarmi et al. (2009)، Salehabadi et al. (2014) و Tith et al. (2021) نیز گزارش کردند که تعداد میوه خیار در هر بوته با مصرف ورمی کمپوست افزایش یافت. در تیمارهای دارای ورمی کمپوست، جوانه‌زنی بهتر و رشد و توسعه بیشتر شاخساره باعث افزایش تعداد میوه در بوته خیار می‌شود (Salehabadi et al., 2014). Bello et al. (2023) مشاهده کردند که تعداد میوه خیار با مصرف کود نیتروژن به میزان ۷۰ کیلوگرم N بر هکتار افزایش و در سطوح بالاتر (۱۰۰ کیلوگرم N بر هکتار) کاهش یافت. Mirzaei Talarposhti et al. (2009) مشاهده کردند که مصرف ورمی کمپوست باعث افزایش تعداد میوه‌های متوسط و درشت و کاهش تعداد میوه‌های ریز گوجه‌فرنگی شد. همچنین، بیشترین تعداد میوه گوجه‌فرنگی با مصرف ورمی کمپوست به دست آمد. Rostamzadeh et al. (2013) افزایش تعداد میوه خیار را با مصرف کود نیتروژن و افزایش سطح مصرفی مشاهده کردند. Asadi et al. (2024) بیشترین تعداد میوه خیار را با مصرف توأم ورمی کمپوست و کودهای NPK به دست آوردند. Islam et al. (2017) نیز بیشترین تعداد میوه گوجه‌فرنگی را با مصرف تلفیقی ورمی کمپوست و کودهای شیمیایی مشاهده کردند. دلایل برتر بودن تیمار تلفیقی در بخش وزن تر و خشک میوه خیار بحث شد.

قطر و طول میوه خیار

Bello et al. (2023) مشاهده کردند که قطر میوه خیار با مصرف کود نیتروژن به میزان ۷۰ کیلوگرم N بر هکتار افزایش و در سطوح بالاتر (۱۰۰ کیلوگرم N بر هکتار) کاهش یافت. Islam et al. (2017) گزارش کردند که قطر میوه گوجه‌فرنگی با مصرف تلفیقی ورمی کمپوست و کودهای شیمیایی افزایش یافت. Tith et al. (2021) گزارش کردند که مصرف ورمی کمپوست سبب افزایش طول میوه خیار شد. Salehabadi et al. (2014) بیشترین قطر میوه خیار را در تیمارهای تلفیقی ورمی کمپوست و کودهای شیمیایی مشاهده کردند. Olowoake et al. (2021) بیشترین قطر میوه خیار را با مصرف تلفیقی ورمی کمپوست و کودهای NPK به دست آوردند. Goudarzi et al. (2022) مشاهده کردند که بیشترین قطر میوه فیسالیس در تیمار تلفیقی کودهای آلی از جمله ورمی کمپوست، زیستی و شیمیایی بود. Rostamzadeh et al. (2013) مشاهده کردند که با مصرف کود نیتروژن از منابع اوره و SCU، قطر و طول میوه خیار سبز به‌طور معنادار افزایش یافت و این افزایش در حضور SCU بیشتر بود. باتوجه‌به نقش نیتروژن در ساختمان کلروفیل، برخی هورمون‌های رشد (اکسین و سیتوکینین)، نوکلئیک اسیدها (DNA و RNA)، حامل‌های انرژی (ATP)، آمینواسیدها، پروتئین‌ها، آنزیم‌ها و کوآنزیم‌ها (Marschner, 2012; Havlin et al. 2013)، بهبود تغذیه نیتروژن گیاه بر اثر مصرف ورمی کمپوست و کود اوره سبب افزایش شدت فتوسنتز و افزایش تقسیم باخته‌ها و در نتیجه باعث افزایش طول و قطر میوه خیار می‌شود. در تأیید این مطلب، بررسی روابط همبستگی میان صفات مورد مطالعه نشان داد که غلظت نیتروژن میوه با طول و قطر میوه همبستگی مثبت و معنادار داشت ($r=0.61^{**}$). در شکل ۴، وضعیت ظاهری و میانگین طول میوه‌های خیار در برخی تیمارها مشاهده می‌شود. ظاهراً میوه خیار در تیمار شاهد دارای کمبود نیتروژن و پتاسیم است که باعث سبزدی و بدشکلی آن شده‌است. دلایل برتر بودن تیمار تلفیقی در بخش وزن تر و خشک میوه خیار بحث شد.

ماده خشک شاخساره

پس از مصرف ورمی کمپوست در بستر کشت، افزایش ماده خشک شاخساره خیار به‌وسیله Azarmi et al. (2009) نیز گزارش شده‌است. Nemati & Ghasemi (2018) اعلام نمودند که مصرف ورمی کمپوست رشد شاخساره خیار را نسبت به شاهد به‌طور معنادار افزایش داد. Gholami et al. (2019) بیشترین ماده خشک شاخساره، بیشترین غلظت کلروفیل و عناصر غذایی گیاه کاسنی را در تیمار تلفیقی ورمی کمپوست + هیومیک اسید مشاهده کردند. Sainz et al. (1998) گزارش دادند که

مصرف ورمی کمپوست با بهبود جذب عناصر غذایی پرمصرف و کم مصرف به وسیله گیاهان خیار و شبدر قرمز، سبب افزایش ماده خشک شاخساره آن‌ها شد. (Atiyeh *et al.* (2001) بیان داشتند که ورمی کمپوست حاصل از کود مرغی به دلیل تحریک تولید تنظیم کننده‌ها یا هورمون‌های رشد می‌تواند ماده خشک شاخساره گیاه گوجه‌فرنگی را افزایش دهد. Arancon *et al.* (2004) افزایش ماده خشک شاخساره گیاه فلفل در حضور ورمی کمپوست را به بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک داخل گلدان، افزایش جمعیت ریزجانداران مفید خاک و تولید مواد محرک رشد گیاه به وسیله ورمی کمپوست نسبت دادند. (Talarposhti & Rostami (2017) بیان کردند که افزایش ماده خشک شاخساره گوجه‌فرنگی پس از مصرف ورمی کمپوست به بهبود زیست‌فراهمی عناصر غذایی خاک، بهبود ساختمان خاک، افزایش فعالیت آنزیم‌ها مانند آمیلاز، لیپاز و سلولاز در خاک و افزایش غلظت هورمون‌های رشد مربوط است. دلایل برتر بودن تیمار تلفیقی در بخش وزن تر و خشک میوه خیار بحث شد.

ماده خشک ریشه و نسبت ماده خشک شاخساره به ریشه

مشابه نتایج بررسی ما، (Nemati & Ghasemi (2018 گزارش کردند که مصرف ورمی کمپوست بر ماده خشک ریشه و نسبت ماده خشک شاخساره به ریشه گیاه خیار اثر معنادار نداشت. (Dulal *et al.* (2021 گزارش کردند که مصرف ورمی کمپوست ماده خشک ریشه گیاه تربچه را افزایش داد. (Mirzaei Talarposhti *et al.* (2009 مشاهده کردند که مصرف ورمی کمپوست و کودهای شیمیایی باعث افزایش ماده خشک ریشه گیاه گوجه‌فرنگی شد. (Edwards & Burrows (1988 افزایش رشد ریشه و شاخساره گیاه در حضور ورمی کمپوست را به افزایش غلظت تنظیم کننده‌های رشد از قبیل اکسین، سیتوکینین، جبریلین و ویتامین B₁₂ موجود در ورمی کمپوست نسبت دادند. عدم تغییر معنادار نسبت ماده خشک شاخساره به ریشه خیار در تیمارهای مختلف نشانگر این است که اثر این تیمارها بر سرعت رشد ریشه و شاخساره نسبتاً یکسان بوده و پاسخ ریشه و شاخساره به این تیمارها نسبتاً مشابه بوده‌است.

ارتفاع بوته خیار

پس از مصرف ورمی کمپوست در بستر کشت، افزایش ارتفاع بوته خیار به وسیله (Azarmi *et al.* (2009 و Tith *et al.* (2021)، افزایش ارتفاع بوته گوجه‌فرنگی به وسیله (Joshi *et al.* (2010، افزایش ارتفاع گیاه عروسک پشت پرده به وسیله (Mohammadi *et al.* (2014، افزایش ارتفاع بوته فلفل شیرین به وسیله (Adhikari *et al.* (2016 و افزایش ارتفاع بوته تربچه به وسیله (Dulal *et al.* (2021 نیز گزارش شده‌است. (Asadi *et al.* (2024 بیشترین ارتفاع بوته خیار را با مصرف توأم ورمی کمپوست و کودهای NPK به دست آوردند. (Islam *et al.* (2017 بیشترین ارتفاع بوته گوجه‌فرنگی را با مصرف تلفیقی ورمی کمپوست و کودهای شیمیایی به دست آوردند. (Daneshvar *et al.* (2023 مشاهده کردند که مصرف اوره سبب افزایش ارتفاع بوته کرفس شد. به دلیل حضور ریزجانداران مختلف مانند قارچ‌ها، باکتری‌ها و آکتینومیسیت‌ها در ورمی کمپوست، این کود آلی فعالیت میکروبی بالایی دارد و این ریزجانداران می‌توانند تنظیم کننده‌های رشد گیاه مانند اکسین را تولید نمایند که سبب افزایش ریشه‌زایی و افزایش ارتفاع گیاه می‌شود (Tomati *et al.*, 1988; Frankenberger & Arshad, 2020). (Tomati & Galli (1995 نیز بیان داشتند که افزایش غلظت موادی شبیه به اکسین پس از مصرف ورمی کمپوست در خاک سبب افزایش ارتفاع گیاه می‌شود. همچنین، از آنجا که آمینواسید تریپتوفان پیش‌ماده ساخت هورمون اکسین (ایندول استیک اسید) است و برای ساخت تریپتوفان عنصر غذایی کم مصرف روی (Zn) لازم است، با مصرف ورمی کمپوست جذب روی بهتر شده و تریپتوفان و اکسین بیشتری ساخته می‌شود. همچنین، باتوجه به نقش نیتروژن در ساختمان هورمون‌های رشد اکسین و سیتوکینین، بهبود تغذیه نیتروژن گیاه با مصرف اوره و ورمی کمپوست سبب افزایش تولید این هورمون‌ها و افزایش ارتفاع گیاه می‌شود (Marschner, 2012). همچنین، با مصرف گوگرد عنصری در خاک و تبدیل آن به سولفوریک اسید بر اثر اکسایش آن، pH خاک کاهش و زیست‌فراهمی روی افزایش می‌یابد که از این راه نیز می‌تواند بر ساخت هورمون اکسین اثر داشته باشد (Havlin *et al.*, 2013) و با افزایش غلظت اکسین ارتفاع بوته را افزایش دهد. بررسی روابط همبستگی میان صفات مورد مطالعه در پژوهش حاضر نشان داد که ارتفاع بوته با غلظت عناصر غذایی مختلف همبستگی‌های مثبت و معنادار داشت (جدول

۷). جدول ۷ نشان می‌دهد که ارتفاع بوته خیار با غلظت عناصر غذایی، ماده خشک ریشه و شاخص کلروفیل برگ‌ها همبستگی‌های مثبت و معنادار داشت. بنابراین، بهبود جذب عناصر غذایی به‌وسیله ریشه گیاه خیار و بهبود شدت فتوسنتز در تیمارهای تلفیقی یکی از دلایل افزایش ارتفاع بوته در این تیمارها است. همچنین، دلایل برتر بودن تیمار تلفیقی در بخش وزن تر و خشک میوه خیار بحث شد. افزایش ارتفاع بوته پس از مصرف کود منگنز سولفات به نقش این عنصر در فرایند فتوسنتز و ساخت کلروفیل در برگ‌های جوان مربوط است که باعث افزایش شدت فتوسنتز و افزایش انتقال مواد فتوسنتزی بیشتر به ساقه‌ها می‌شود و در نهایت ارتفاع گیاه افزایش می‌یابد (Marschner, 2012).

تعداد برگ خیار

پس از مصرف ورمی‌کمپوست در بستر کشت، افزایش تعداد برگ خیار به‌وسیله Azarmi et al. (2009) و Tith et al. (2021)، افزایش تعداد برگ گوجه فرنگی به‌وسیله Joshi et al. (2010) افزایش تعداد برگ گیاه عروسک پشت پرده به‌وسیله Mohammadi et al. (2014) و افزایش تعداد برگ گیاه تربچه به‌وسیله Dulal et al. (2021) نیز گزارش شده‌است. بهبود زیست‌فراهمی عناصر غذایی مختلف در تیمار تلفیقی ورمی‌کمپوست و کودهای شیمیایی و افزایش غلظت هورمون‌های تنظیم‌کننده رشد و فعالیت ریزجانداران باعث تعداد برگ در بوته می‌شود (Atiyeh et al., 2001). دلایل برتر بودن تیمار تلفیقی در بخش وزن تر و خشک میوه خیار بحث شد.

محصول زیستی خیار

پس از مصرف ورمی‌کمپوست در بستر کشت، افزایش محصول کل خیار به‌وسیله Azarmi et al. (2009) و Tith et al. (2021) و افزایش محصول میوه گوجه فرنگی به‌وسیله Joshi et al. (2010) و Islam et al. (2017) نیز گزارش شده‌است. Zaller et al. (2007) مشاهده کردند که مصرف ورمی‌کمپوست در بستر کشت هیدروپونیک محصول زیستی سه رقم گوجه‌فرنگی را نسبت به شاهد افزایش داد. Islam et al. (2017) بیشترین محصول میوه گوجه فرنگی را با مصرف تلفیقی ورمی‌کمپوست و کودهای شیمیایی به دست آوردند. Ahmadinejad et al. (2013) مشاهده کردند که تلفیق کمپوست پسماند شهری، لجن فاضلاب شهری و کود دامی با اوره محصول زیستی گندم را نسبت به شاهد به‌طور معنادار افزایش داد. Esmaili Behbahani et al. (2019) بیشترین محصول دانه کتان روغنی را با مصرفی تلفیقی ورمی‌کمپوست، اوره و هیومیک اسید به دست آوردند.

مصرف ورمی‌کمپوست به‌عنوان یک کود آلی-زیستی با افزایش تنوع و فعالیت ریزجانداران مفید خاک و عرضه پیوسته عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن به گیاه، بهبود شدت فتوسنتز، بهبود فعالیت آنزیم‌ها در خاک، تولید هورمون‌ها و مواد محرک رشد گیاه، سبب افزایش محصول زیستی می‌شود (Manzoor et al., 2024). Rafiei et al. (2014) بیشترین محصول زیستی سویا را با مصرف توأم کود آلی و نیتروژن به‌دست آوردند. آنان بیان داشتند که گیاهان برای تولید زیست‌توده و افزایش محصول به ذخیره مناسب نیتروژن در بافت‌های خود نیاز دارند. بنابراین، تیمار تلفیقی کود آلی و نیتروژن با فراهمی بیشتر نیتروژن برای گیاه، محصول زیستی آن را افزایش می‌دهد (Rafiei et al., 2014). Wang et al. (2021) گزارش کردند که مصرف ورمی‌کمپوست + بیوپار محصول میوه خیار را نسبت به شاهد به‌طور معنادار افزایش و غلظت نترات میوه را به‌طور معنادار کاهش داد. Tith et al. (2021) بیان نمودند که مصرف ورمی‌کمپوست با بهبود pH خاک، افزایش زیست‌فراهمی عناصر غذایی و افزایش جمعیت ریزجانداران (باکتری‌ها) سبب بهبود رشد و محصول خیار شد. دلایل برتر بودن تیمار تلفیقی در بخش وزن تر و خشک میوه خیار بحث شد.

کارایی مصرف آب

نتایج بررسی ما نشان داد که با مصرف توأم ورمی‌کمپوست، نیتروژن، منگنز و گوگرد می‌توان با مصرف آب کمتر، محصول خیار بیشتری تولید کرد. بیشتر بودن کارایی مصرف آب در تیمارهای تلفیقی را می‌توان به افزایش ماده خشک میوه و شاخصاره خیار نسبت داد (شکل‌های ۱ و ۶). در تأیید این نظر، بررسی روابط همبستگی نشان داد که میان کارایی مصرف آب و ماده

خشک میوه و شاخساره خیار همبستگی‌های مثبت و معناداری وجود داشت. (Hashemabadi & Kashi, 2004) بیان داشتند که گستردگی ریشه‌های خیار کمتر از سایر کدوئیان است و بیشترین جذب عناصر غذایی به‌وسیله ریشه‌های این گیاه از عمق ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متری انجام می‌شود. بنابراین، برای جذب کافی عناصر غذایی و تأمین نیاز گیاه لازم است آب کافی در خاک وجود داشته باشد. کود آلی ورمی کمپوست با افزایش سرعت نفوذ و ظرفیت نگهداری آب در خاک، کاهش آبشویی عناصر غذایی از خاک، افزایش رشد ریشه‌ها، سبب بهبود جذب عناصر غذایی به‌وسیله گیاه و افزایش رشد گیاه می‌شود. در نتیجه، کارایی مصرف آب نیز افزایش می‌یابد (Havlin et al., 2013; Nazarideljou & Heidari, 2014). Bello et al. (2023) مشاهده کردند که کارایی مصرف آب خیار برای تولید محصول میوه با مصرف کود نیتروژن به میزان ۷۰ کیلوگرم N بر هکتار افزایش و در سطوح بالاتر (۱۰۰ کیلوگرم N بر هکتار) کاهش یافت. Abbasi et al. (2012) گزارش کردند که مصرف کودهای آلی و شیمیایی به‌تنهایی و توأم با یکدیگر، کارایی مصرف آب گیاه برنج را نسبت به شاهد به‌طور معنادار افزایش دادند. در یک بررسی دیگر، Abbasi et al. (2013) مشاهده نمودند که کودهای آلی در افزایش کارایی مصرف آب گیاه برنج موفق‌تر از کودهای شیمیایی بودند. همچنین، بیشترین کارایی مصرف آب گیاه برنج در تیمارهای تلفیق کودهای آلی و شیمیایی به‌دست آمد. Ahmadinejad et al. (2013) نیز بیشترین کارایی مصرف آب گیاه گندم را در تیمارهای تلفیق کودهای آلی با اوره مشاهده کردند. Mohammadnejad et al. (2015) گزارش نمودند که با مصرف دو نوع کمپوست در یک خاک فشرده‌شده، کارایی مصرف آب گیاه ذرت به‌طور معنادار نسبت به شاهد افزایش یافت. Najafi et al. (2020) بیشترین کارایی مصرف آب گیاه یونجه را با مصرف کمپوست لجن فاضلاب مشاهده کردند. Kazemalilou et al. (2023) گزارش کردند که کارایی مصرف آب گیاه آفتابگردان با مصرف کمپوست لجن فاضلاب به‌طور معنادار نسبت به شاهد افزایش یافت.

به‌طور کلی، مصرف ورمی کمپوست در خاک سبب بهبود رشد ریشه، افزایش جذب آب و عناصر غذایی، افزایش سطح برگ‌ها، افزایش غلظت کلروفیل و سایر رنگدانه‌ها، افزایش هدایت روزنه‌ای، افزایش فتوسنتز، افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی، کاهش تولید اتیلن، کاهش تنش اکسیداتیو و در نهایت افزایش رشد شاخساره گیاه می‌شود. در نتیجه، کارایی مصرف آب گیاه افزایش می‌یابد (Manzoor et al., 2024). همچنین، دلایل برتر بودن تیمار تلفیقی در بخش وزن تر و خشک میوه خیار بحث شد. تلفیق کودهای شیمیایی نیتروژن، گوگرد و منگنز با کود آلی ورمی کمپوست به‌عنوان یک روش مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه، با رفع نواقص ورمی کمپوست، سبب افزایش رشد ریشه و شاخساره گیاه و افزایش کارایی مصرف آب می‌شود (Najafi, 2016).

نتیجه‌گیری

نتایج بررسی ما نشان داد که از نظر ماده خشک میوه و ماده خشک شاخساره، میان نیتروژن - گوگرد، نیتروژن - منگنز و نیتروژن - ورمی کمپوست اثر متقابل هم‌افزایی وجود داشت که نشانگر برتر بودن تیمارهای تلفیقی است. تلفیق کودهای شیمیایی (نیتروژن، گوگرد و منگنز) با کود آلی ورمی کمپوست به‌عنوان یک روش مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه، با رفع نواقص ورمی کمپوست، سبب افزایش رشد ریشه و شاخساره گیاه، میزان محصول میوه خیار و افزایش کارایی مصرف آب گیاه خیار گردید. باتوجه‌به این‌که این پژوهش در شرایط گلخانه‌ای انجام شد، ممکن است نتایج حاصل از آن با شرایط مزرعه‌ای متفاوت باشد. بنابراین، پیشنهاد می‌شود این پژوهش در شرایط مزرعه‌ای نیز انجام شود. همچنین، پیشنهاد می‌شود اثرهای باقی‌مانده ورمی کمپوست و کودهای شیمیایی مانند گوگرد و منگنز بر رشد، میزان محصول و کارایی مصرف آب گیاهان بعدی که در تناوب کشت می‌شوند، بررسی شوند.

منابع

- احمدی‌نژاد، راشد، نجفی، نصرت اله، علی‌اصغرزاد، ناصر، و اوستان، شاهین. (۱۳۹۲). اثر کودهای آلی و نیتروژن بر کارایی مصرف آب، عملکرد و ویژگی‌های رشد گندم (رقم الوند). *دانش آب و خاک*، ۲۳(۲)، ۱۹۷-۱۷۷.
- اسدی، قربانعلی، خرم‌دل، سرور، هاتفی فرجیان، محمدحسن، و مومن، علی. (۱۴۰۲). بررسی مقایسه کودهای آلی و شیمیایی بر ویژگی‌های رشدی و عملکرد خیار (*Cucumis sativus* cv. Super Dominus). *تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک*، ۵(۳)، ۷۲۰-۷۰۵.
- اسماعیلی بهبهانی، رضوان، فاتح، اسفندیار، آینه‌بند، امیر (۱۳۹۸). ارزیابی ویژگی‌های رشدی کتان روغنی (*Linum usitatissimum* L.) با کاربرد کودهای آلی و نیتروژن. *دانش کشاورزی و تولید پایدار*، ۲۹(۱)، ۱۵۰-۱۳۷.
- بیات، فریبا، پرویزی، خسرو، و مالکی، رسول. (۱۴۰۲). اثر ترکیب کودهای شیمیایی و مرغی بر عملکرد، تجمع نیترات، رنگ و سفتی بافت دو رقم خیار. *علوم باغبانی ایران*، ۵۴(۱): ۴۸-۳۳.
- بی‌نام (۱۳۸۹). کرم‌پوسال (ورمی کمپوست)-ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی. استاندارد ملی شماره ۱۳۷۲۴، سازمان ملی استاندارد ایران، تهران.
- بی‌نام. (۱۴۰۲). آمارنامه کشاورزی سال ۱۴۰۱-محصولات باغبانی و گلخانه‌ای. مرکز آمار، فناوری اطلاعات و ارتباطات، وزارت جهادکشاورزی، تهران.
- بیدریغ، سیروس. (۱۳۸۶). کشت خیار، گوجه‌فرنگی و توت‌فرنگی در گلخانه. چاپ دوم، نشر علوم کشاورزی، تهران، ایران.
- رستم‌زاده، اعظم، گلچین، احمد، و محمدی، جعفر. (۱۳۹۲). تأثیر منابع و مقادیر مختلف نیتروژن بر راندمان مصرف نیتروژن و عملکرد خیار سبز. *دانش آب و خاک*، ۲۳(۱)، ۲۶-۱۵.
- رفیعی، امیرحسن، آقاعلیخانی، مجید، و مدرس ثانوی، سیدعلی محمد. (۱۳۹۳). بازتاب سوپا به مقدار کاربرد نیتروژن در سیستم‌های تغذیه‌ای متداول، آلی و تلفیقی. *دانش کشاورزی و تولید پایدار*، ۲۴(۲)، ۱۸-۱.
- عباسی، معصومه، نجفی، نصرت اله، علی‌اصغرزاد، ناصر، و اوستان، شاهین. (۱۳۹۲). اثر شرایط آب خاک و مصرف لجن فاضلاب، کود مرغی و کودهای شیمیایی بر ویژگی‌های رشد و کارایی مصرف آب گیاه برنج در یک خاک آهکی. *دانش آب و خاک*، ۲۳(۱)، ۱۸۹-۲۰۸.
- عباسی، معصومه، نجفی، نصرت اله، علی‌اصغرزاد، ناصر، و اوستان، شاهین. (۱۳۹۱). اثر شرایط رطوبتی خاک و کودهای آلی و شیمیایی بر ویژگی‌های رشد و کارایی مصرف آب گیاه برنج در یک خاک قلیایی غیرآهکی. *روابط خاک و گیاه (علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای)*، ۳(۱۱): ۱۷-۱.
- گودرزی، زهرا، احتشام‌نیا، عبدالله، مومیوند، حسن، و راجی، محمدرضا. (۱۴۰۱). تأثیر کودهای آلی و شیمیایی بر صفات بیوشیمیایی، عناصر غذایی و عملکرد میوه فیسالیس (*Physalis peruviana* L.). *علوم باغبانی ایران*، ۵۳(۳)، ۷۹۵-۸۰۶.
- مارکاریان، شاکه، نجفی، نصرت اله، علی‌اصغرزاد، ناصر، و اوستان، شاهین. (۱۳۹۴). اثر متقابل باکتری *Ensifer meliloti* و *Sinorhizobium meliloti* و فسفر بر برخی ویژگی‌های رشد گیاه یونجه در شرایط کمبود آب در خاک. *زیست‌شناسی خاک*، ۳(۲)، ۱۶۳-۱۷۸.
- محمدنژاد، آرش، نجفی، نصرت اله، و نیشابوری، محمدرضا. ۱۳۹۴. تأثیر سه نوع کود آلی بر ویژگی‌های رشد و کارایی مصرف آب ذرت در سطوح مختلف فشردگی خاک. *مدیریت خاک و تولید پایدار*، ۵(۲)، ۴۷-۲۵.
- محمدی، حسین، تبریزی، لیلا، و صالحی، رضا. (۱۳۹۳). اثر نسبت‌های مختلف ورمی کمپوست در بستر کشت بر رشد نشای عروسک پشت‌پرده (*Physalis peruviana* L.). *علوم باغبانی ایران*، ۴۵(۴)، ۳۹۰-۳۸۳.
- میرزایی تالارپشتی، رضا، کامبوزیا، جعفر، صباحی، حسین، و مهدوی دامغانی، عبدالمجید. (۱۳۸۸). اثر کاربرد کودهای آلی بر خصوصیات فیزیکی‌وشیمیایی خاک و تولید محصول و ماده خشک گوجه‌فرنگی. *پژوهش‌های زراعی ایران*، ۷(۱)، ۲۶۸-۲۵۷.
- میرزایی تالارپشتی، رضا، و رستمی، مجید. (۱۳۹۵). تأثیر کودهای آلی و شیمیایی بر ویژگی‌های رشدی، عملکرد و اجزای عملکرد گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum* L.). *پژوهش‌های زراعی ایران*، ۱۴(۴)، ۶۸۵-۶۷۵.
- نجفی، نصرت اله. (۱۳۹۵). مدیریت تغذیه نیتروژن گیاهان در کشت‌های گلخانه‌ای و هیدروپونیک. *چهارمین کنگره ملی هیدروپونیک و*

تولیدات گلخانه‌ای، ۱۵ تا ۱۷ شهریور ماه ۱۳۹۵، دانشگاه ولی عصر رفسنجان، رفسنجان، ایران.

نجفی، نصرت اله. (۱۳۹۹). کاربرد کودهای کندرها یا با رهایش کنترل شده فسفری، راهکاری برای افزایش کارایی فسفر و کاهش مخاطرات زیست محیطی. مدیریت اراضی، ۸(۲): ۱۷۹-۱۵۵.

نجفی، نصرت اله، محمودی، شهاب، نیشابوری، محمدرضا، و ریحانی تبار، عادل. (۱۳۹۹). اثر رطوبت خاک و لجن فاضلاب بر کارایی مصرف آب و غلظت برخی عناصر در گیاه یونجه. پژوهش‌های خاک، ۳۴(۱): ۸۰-۶۱.

نجفی، نصرت اله، مردمی، سنیه، و اوستان، شاهین. (۱۳۹۱). تغییرات آهن، روی، مس و منگنز قابل استخراج با DTPA پس از غرقاب و کاربرد لجن فاضلاب و کود دامی در دو خاک مختلف. تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۳(۱): ۲۲-۹.

نعمتی، نیره، و قاسمی، سمیه. (۱۳۹۷). تأثیر ورمی کمپوست غنی شده با سویه‌های متحمل به شوری استرپتومایسس بر رشد و تغذیه خیار تحت تنش شوری. روابط خاک و گیاه (علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای)، ۹(۲): ۹۴-۸۱.

هاشم‌آبادی، داود، و کاشی، عبدالکریم. (۱۳۸۳). بررسی تأثیر سطوح مختلف کود نیتروژن و کود مرغی روی صفات کمی و کیفی خیار پاییزه. تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی، ۸(۲): ۳۳-۲۵.

References

- Abbasi, M., Najafi, N., Aliasgharzad, N., & Oustan, S. (2012). Effects of soil water conditions and organic and chemical fertilizers on growth characteristics and water use efficiency of rice in an alkaline non-calcareous soil. *Journal of Soil and Plant Interactions*, 3(3), 1–17. (In Persian with English abstract)
- Abbasi, M., Najafi, N., Aliasgharzad, N., & Oustan, S. (2013). Effects of soil water conditions, sewage sludge, poultry manure and chemical fertilizers on the growth characteristics and water use efficiency of rice plant in a calcareous soil. *Water and Soil Science*, 23(1), 189–208. (In Persian with English abstract)
- Adediran, J.A., Taiwo, L.B., Akande, M.O., Sobulo, R.A. & Idowu O.J. (2005). Application of organic and inorganic fertilizer for sustainable maize and cowpea yields in Nigeria. *Journal of Plant Nutrition*, 27(7), 1163–1181.
- Adhikari, P., Khanal, A., & Subedi, R. (2016). Effect of different sources of organic manure on growth and yield of sweet pepper. *Advances in Plants & Agriculture Research*, 3(5), 00111.
- Ahmadinejad, R., Najafi, N., Aliasgharzad, N., & Oustan, S. (2013). Effects of organic and nitrogen fertilizers on water use efficiency, yield and the growth characteristics of wheat (*Triticum aestivum* cv. Alvand). *Water and Soil Science*, 23(2), 177–194. (In Persian with English abstract)
- Alley, M.M., & Vanlauwe, B. (2009). *The role of fertilizers in integrated plant nutrient management*. International Fertilizer Industry Association, Paris, France.
- Allison, L.E., & Moodie, C.D. (1965). Carbonates. Pp. 1379–1398. In: Black C.A. (Ed.). *Methods of soil analysis*. Part 2. *Chemical and microbiological properties*. Monograph No. 9, ASA, SSSA, Madison, WI, USA.
- Anonymous. (2011). *Vermicompost: Physical and chemical specifications*. First Edition, Iran National Standards Organization, No. 13724, Karaj, Iran. (In Persian with English abstract)
- Anonymous. (2023). *Statistics of agricultural crops production in Iran, year 2022*. Volume 3, *Horticultural and Greenhouse Crops*. Statistics, Information and Communication Technology Center, Ministry of Agriculture Jihad, Tehran, Iran. (In Persian with English abstract)
- Arancon, N.Q., Edwards, C.A., Atiyeh, R., & Metzger, J.D. (2004). Effects of vermicomposts produced from food waste on the growth and yields of greenhouse peppers. *Bioresource Technology*, 93(2), 139–144.
- Asadi, G., Khorramdel, S., Hatefi Farajian, M.H., & Momen, A. (2024). Study of comparison of organic and chemical fertilizers on growth characteristics and yield of cucumber (*Cucumis sativus* cv. Super Dominus). *Crop Science Research in Arid Regions*, 5(3), 707–720. (In Persian with English abstract)
- Atiyeh, R.M., Edwards, C.A., Subler, S., & Metzger, J.D. (2001). Pig manure vermicompost as a component of a horticultural bedding plant medium: effects on physicochemical properties and plant growth. *Bioresource Technology*, 78(1), 11–20.
- Ayers, R.S. & Westcott D.W. (1985). *Water quality for agriculture*. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 29. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Azarmi, R., Giglou, M.T., & Hajieghrari, B. (2009). The effect of sheep-manure vermicompost on quantitative and qualitative properties of cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown in the greenhouse. *African Journal of Biotechnology*, 8(19), 953–957.
- Bayat, F., Parvizi, K., & Maleki, R. (2023). The effect of chemical fertilizers and poultry manure combination on yield, nitrate accumulation, color and firmness of two cucumber cultivars. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 54 (1), 33–48. (In Persian with English abstract)

- Bello, A.S., Huda, S., Chen, Z.H., Khalid, M.F., Alsafran, M., & Ahmed, T. (2023). Evaluation of nitrogen and water management strategies to optimize yield in open field cucumber (*Cucumis sativus* L.) production. *Horticulturae*, 9(12), 1336.
- Bidarig S. (2007). *Cultivation of cucumber, tomato, and strawberry in the greenhouse*. Second Edition, Agricultural Sciences Publications, Tehran, Iran. (In Persian with English abstract)
- Bindraban, P. S., Dimkpa, C., Nagarajan, L., Roy, A., & Rabbinge, R. (2015). Revisiting fertilisers and fertilisation strategies for improved nutrient uptake by plants. *Biology and Fertility of Soils*, 51(8), 897–911.
- Crawford, T.W., Stroehlein, J.L., & Kuehl, R.O. (1989). Manganese and rates of growth and mineral accumulation in cucumber. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 114(2), 300–306.
- Daneshvar, H., Babalar, M., Díaz-Pérez, J.C., Nambeesan, S., Delshad, M., & Tabrizi, L. (2023). Evaluation of organic and mineral fertilizers on plant growth, minerals, and postharvest quality of celery (*Apium graveolens* L.). *Journal of Plant Nutrition*, 46(8), 1712–1729.
- Dhaliwal, S. S., Naresh, R. K., Mandal, A., Singh, R., & Dhaliwal, M. K. (2019). Dynamics and transformations of micronutrients in agricultural soils as influenced by organic matter build-up: A review. *Environmental and Sustainability Indicators*, 1, 100007.
- Donald, C.M., & Hamblin, J. (1976). The biological yield and harvest index of cereals as agronomic and plant breeding criteria. *Advances in Agronomy*, 28, 361–405.
- Dulal, D., Baral, D., Poudel, A., Kafle, K., & Shrestha, B. (2021). Effect of different doses of vermicompost on growth, yield and quality of radish (*Raphanus sativus* L. cv. Mino Early). *Archives of Agriculture and Environmental Science*, 6(3), 354–359.
- Edwards, C.A., & Burrows, I. (1988). The potential of earthworm composts as plant growth media. Pp: 211–219. In: Edwards C.A. and Neuhauser E.F. (Eds.). *Earthworms in waste and environmental management*. SPB Academic Publication CO., The Hague, The Netherlands.
- Eskandari, S., Höfte, H., & Zhang, T. (2020). Foliar manganese spray induces the resistance of cucumber to *Colletotrichum lagenarium*. *Journal of Plant Physiology*, 246, 153129.
- Esmaili Behbahani, R., Fateh, E., & Ayneband, A. (2019). Evaluation of growth characteristics of flax (*Linum usitissimum* L.) with application of organic and nitrogen fertilizers. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 29(1), 137–150. (In Persian with English abstract)
- FAO. 2006. *Plant nutrition for food security. A guide for integrated nutrient management*. FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin No 16. Rome, Italy.
- Frankenberger Jr, W. T., & Arshad, M. (2020). *Phytohormones in soils microbial production & function*. CRC Press, Boca Raton, USA.
- Gee, G.W., & Or, D. (2002). Particle size analysis. Pp. 201–214. In: Dane J.H. and Topp G.C. (Eds), *Methods of soil analysis*. Part 4. *Physical methods*. SSSA Book Series No. 5, Madison, WI. USA.
- Germida, J.J., & Janzen, H.H. (1993). Factors affecting the oxidation of elemental sulfur in soils. *Fertilizer Research*, 35, 101–114.
- Gholami, H., Ghani, A., Fard, F.R., Saharkhiz, M.J., & Hazrati, H. (2019). Changes in photosynthetic pigments and uptake of some soil elements by chicory supplied with organic fertilizers. *Acta Ecologica Sinica*, 39(3), 250–256.
- Goudarzi, Z., Ehteshamnia, A., Mumivand, H., & Raji, M. (2022). The effect of organic and chemical fertilizers on biochemical traits, nutritional elements and yield of Physalis fruit (*Physalis peruviana* L.). *Iranian Journal of Horticultural Science*, 53(3), 795–806. (In Persian with English abstract)
- Hashemabadi, D., & Kashi, A. (2004). Effects of different levels of nitrogen and poultry manure on quantitative and qualitative characteristics of autumn growing cucumber. *Journal of Crop Production and Processing*, 8(2), 25–33. (In Persian with English abstract)
- Havlin, J.L., Tisdale, S.L., Nelson, W.L. & Beaton, J.D. (2013). *Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management*. 8th Edition, Pearson, Upper Saddle River, New Jersey, USA.
- Hazelton, P. and Murphy, B. (2016). *Interpreting soil test results: What do all the numbers mean?* CSIRO Publishing, Australia.
- Islam, M. A., Islam, S., Akter, A., Rahman, M. H., & Nandwani, D. (2017). Effect of organic and inorganic fertilizers on soil properties and the growth, yield and quality of tomato in Mymensingh, *Bangladesh. Agriculture*, 7(3), 18.
- Jia, H., Wang, Z., Kang, X., Wang, J., Wu, Y., Yao, Z., Zhou, Y., Li, Y., Fu, Y., Huang, Y., Shi, J., & Shang, Z. (2024). Adding sulfur to soil improved cucumber plants' resistance to powdery mildew. *Agronomy*, 14(8), 1799.
- Jia, H., Wang, Z., Kang, X., Wang, J., Wu, Y., Yao, Z., Zhou, Y., Li, Y., Fu, Y., Huang, Y., Shi, J., & Shang,

- Z. (2024). Adding sulfur to soil, improved cucumber plants' resistance to powdery mildew. *Agronomy*, 14(8), 1799.
- Jones, J.B. (2001). *Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis*. CRC Press LLC, Boca Raton, Florida, USA. 363 Pages.
- Joshi, R., & Vig, A. P. (2010). Effect of vermicompost on growth, yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). *African Journal of Basic & Applied Sciences*, 2(3-4), 117-123.
- Kazemalilou, S., Najafi, N., Reyhanitabar, A., Ghaffari, M., & Azadmard-Damirchi, S. (2023). Sewage sludge and phosphorus increase seed yield, oil and protein concentrations and water use efficiency of sunflower under different levels of water supply. *Gesunde Pflanzen*, 75(6), 2865-2877.
- Kramer, P.J. & Boyer J.S. (1995). *Water relations of plants and soils*. Academic Press Inc, Florida, USA.
- Kuo, S. (1996). Phosphorus. Pp. 869-918. In: Sparks, D.L. (Ed.) *Methods of soil analysis. Part 3-Chemical methods*. Book Series No. 5, SSSA and ASA, Madison, WI, USA.
- Lindsay, W.L., & Norvell, W. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42(3), 421-428.
- Ma, C., Ban, T., Yu, H., Li, Q., Li, X., Jiang, W., & Xie, J. (2019). Urea addition promotes the metabolism and utilization of nitrogen in cucumber. *Agronomy*, 9(5), 262.
- Mahajan, A., & Gupta, R. D. (Eds.). (2009). *Integrated nutrient management (INM) in a sustainable rice—wheat cropping system*. Springer, Dordrecht, the Netherlands.
- Manzoor, A., Naveed, M.S., Ali, R.M.A., Naseer, M.A., Maqsood, U.H., Saqib, M., Hussain, S., & Farooq, M. (2024). Vermicompost: A potential organic fertilizer for sustainable vegetable cultivation. *Scientia Horticulturae*, 336, 113443.
- Markarian Sh., Najafi N., Aliasgharzad N., Oustan S. 2016. Interactive effects of *Ensifer meliloti* (*Sinorhizobium meliloti*) and phosphorus on some growth characteristics of alfalfa under soil water deficit conditions. *Journal of Soil Biology*, 3(2): 163-178. (In Persian with English abstract)
- Marschner P. (2012). *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. Third Edition, Academic Press, London, UK.
- Mirzaei Talarposhti, Kambouzia, J., Sabahi, H., & Mahdavi, D. (2009). Effect of different organic fertilizers on soil physicochemical properties, production and biomass yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 7(1), 259-270. (In Persian with English abstract)
- Mirzaei Talarposhti, R.M., & Rostami, M. (2017). Effects of chemical and organic fertilizers on growth, yield and yield component of tomato (*Lycopersicon sculentum* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 14(4), 675-685. (In Persian with English abstract)
- Mohammadi, H., Tabrizi, L., & Salehi, R. (2014). Effect of different ratio of vermicompost in culture media on seedling growth of gooseberry (*Physalis peruviana* L.). *Iranian Journal of Horticultural Science*, 45(4), 383-390. (In Persian with English abstract)
- Mohammadnejad, A., Najafi, N., & Nishabouri, M. R. (2015). Effects of three types of organic fertilizers on the growth characteristics and water use efficiency of corn at different levels of soil compaction. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 5(2): 25-47. (In Persian with English abstract)
- Najafi N. 2016. Management of nitrogen nutrition of hydroponics and greenhouse plants. *Forth National Congress of Hydroponics and Greenhouse Products*, 5-7 September, Vali-e-Asr Rafsanjan University, Rafsanjan, Iran. (In Persian with English abstract)
- Najafi, N. (2021). Sustained/controlled-release phosphorus fertilizers: An option for enhancing phosphorus use efficiency in agriculture and abating the environmental hazards. *Land Management Journal*, 8(2), 155-179. (In Persian with English abstract)
- Najafi, N., Mahmoudi, S., Neyshabouri, M.R., & Reyhanitabar, A. (2020). Effects of soil moisture and sewage sludge on water use efficiency and concentrations of some elements in alfalfa. *Iranian Journal of Soil Research*, 34(1), 61-79. (In Persian with English abstract)
- Najafi, N., Mardomi, S., & Oustan, S. (2012). Changes in DTPA extractable copper, iron, manganese and zinc after waterlogging and application of sewage sludge and animal manure in two different soils. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 43(1): 9-22. (In Persian with English abstract)
- Nazarideljou, M. J., & Heidari, Z. (2014). Effects of vermicompost on growth parameters, water use efficiency and quality of zinnia bedding plants (*Zinnia elegance* 'Dreamland Red') under different irrigation regimes. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 1(2), 141-150.
- Nelson, D.W., & Sommers, L.E. (1996). Total carbon, organic carbon and organic matter. Pp. 961-1010. In: Sparks D.L., Page A.L., Helmke P.A., Loeppert R.H., Soltanpour P.N., Tabatabai M.A., Johnston C.T. and Sumner M.E. (Eds). *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods*. Soil Science Society of America Book Series 5, Madison, USA.

- Nemati, N., & Ghasemi, S. (2018). The effect of vermicompost enriched with salt tolerant strains of streptomyces on the growth and nutrition of cucumber under salinity stress. *Journal of Soil and Plant Interactions*, 9(2), 81–94. (In Persian with English abstract)
- Olowoake, A. A., Wahab, A. A., Lawal, O. O., & Subair, S. K. (2021). Impact of vermicompost and its residual effect on soil properties, nutrient uptake and yield of cucumber (*Cucumis sativus* L.). *International Journal of Organic Agriculture Research and Development*, 17(1), 1–19.
- Peters, J. (2003). *Recommended methods of manure analysis*. Cooperative Extension publishing, University of Wisconsin, USA.
- Rafiei, A.H., Aghaalkhani, M., & Modares Sanavy, S.A.M. (2014). Soybean response to nitrogen application rates in conventional, organic and integrated fertilizing system. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 24(2), 1–18. (In Persian with English abstract)
- Rhoades, J.D. (1996). Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. Pp. 417–434. In: Sparks D.L. (Ed.) *Methods of soil analysis. Part 3-Chemical methods*. Book Series No. 5, SSSA and ASA, Madison, WI, USA.
- Rostamzadeh, A., Gholchin, A., & Mohammadi, J. (2013). The effects of different sources and rates of nitrogen on nitrogen use efficiency and cucumber yield. *Water and Soil Science*, 23(1), 15–26. (In Persian with English abstract)
- Saeidnejad, A.H., & Rezvani Moghaddam, P. (2011). Investigation the effect of compost, vermicompost, cow and sheep manures on yield, yield components and essence percentage of cumin (*Cuminum cyminum*). *Journal of Horticultural Science*, 24(2), 142–148. (In Persian with English abstract)
- Sainz, M.J., Taboada-Castro, M.T., & Vilarino, A. (1998). Growth, mineral nutrition and mycorrhizal colonization of red clover and cucumber plants grown in a soil amended with composted urban wastes. *Plant and Soil*, 205, 85–92.
- Salehabadi Gh., Azimzadeh S.M., & Tatary M. (2014). Effect of organic fertilizers on cucumber (*Cucumis sativus* L.) yield. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 7(11), 808–814.
- Sangwan, P., Kaushik, C.P., & Garg, V.K. (2008). Vermiconversion of industrial sludge for recycling the nutrients. *Bioresource Technology*, 99(18), 8699–8704.
- Sharma, K., & Garg, V.K. (2019). Vermicomposting of waste: a zero-waste approach for waste management. Pp. 133–164. In: Taherzadeh, M.J., Bolton K., Wong, J., & Pandey, A. (Eds.) *Sustainable resource recovery and zero waste approaches*. Elsevier Science.
- Suthar, S. (2009). Impact of vermicompost and composted farmyard manure on growth and yield of garlic (*Allium stivum* L.) field crop. *International Journal of Plant Production*, 3(1), 27–38.
- Thomas, G.W. (1996). Soil pH and soil acidity. Pp. 475–489. In: Sparks D.L. (Ed.) *Methods of soil analysis. Part 3-Chemical methods*. Book Series No. 5, SSSA and ASA, Madison, WI, USA.
- Tith, S., Duangkaew, P., Laosuthipong, C., & Monkhung, S. (2021). Vermicompost efficacy in improvement of cucumber (*Cucumis sativus* L.) productivity, soil nutrients, and bacterial population under greenhouse condition. *Asia-Pacific Journal of Science and Technology*, 27, 1–9.
- Tomati, U., & Galli, E. (1995). Earthworms, soil fertility and plant productivity. *Acta Zoologica Fennica*, (196), 11–14.
- Tomati, U., Grappelli, A., & Galli, E. (1988). The hormone-like effect of earthworm casts on plant growth. *Biology and Fertility of Soils*, 5, 288–294.
- Wang, F., Wang, X., & Song, N. (2021). Biochar and vermicompost improve the soil properties and the yield and quality of cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown in plastic shed soil continuously cropped for different years. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 315, 107425.
- Westerman, R.L. (1990). *Soil testing and plant analysis*. 3rd Edition, Soil Science Society of America Book Series No. 3, Madison, WI, USA.
- Zaller, J. G. (2007). Vermicompost as a substitute for peat in potting media: Effects on germination, biomass allocation, yields and fruit quality of three tomato varieties. *Scientia Horticulturae*, 112(2), 191–199.
- Zhao, H.T., Li, T.P., Zhang, Y., Hu, J., Bai, Y.C., Shan, Y.H., & Ke, F. (2017). Effects of vermicompost amendment as a basal fertilizer on soil properties and cucumber yield and quality under continuous cropping conditions in a greenhouse. *Journal of Soils and Sediments*, 17, 2718–2730.
- Zhao, H.T., Li, T.P., Zhang, Y., Hu, J., Bai, Y.C., Shan, Y.H., & Ke, F. (2017). Effects of vermicompost amendment as a basal fertilizer on soil properties and cucumber yield and quality under continuous cropping conditions in a greenhouse. *Journal of Soils and Sediments*, 17, 2718–2730.