

Research Article

Effect of Tea Waste on Some Chemical Properties of an Alkaline Soil with Clay Loam Texture

Azadeh Abdari¹ , Mahdi Shorafa² , Mostafa Mazreati³ 

1-Corresponding Author, Department of Soil Science Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: azadeh.abdari@ut.ac.ir

2-Department of Soil Science Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: mshorafa@ut.ac.ir

3-Department of Textile Engineering, College of Technology and Engineering, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran. E-mail: mo.mazreati@gmail.com

Received: August 28, 2025

Revised: September 29, 2025

Accepted: October 5, 2025

Published: October 25, 2025

Extended Abstract

Background and Objectives

The rising consumption of chemical fertilizers and pesticides has introduced significant challenges to agricultural production, including soil degradation, reduced water retention, and the proliferation of pests and diseases. Consequently, the agricultural community is exploring sustainable solutions, such as the use of organic fertilizers, which can help maintain soil health and enhance fertility. Tea, recognized as a valuable global commodity, generates substantial waste during its production and processing stages. If effectively managed, these wastes can not only reduce environmental pollution but also create additional income opportunities through the conversion of waste into value-added products. Tea cultivation holds considerable socio-economic importance, particularly in developing countries, with global consumption reaching approximately 5 million tons in 2013. Over recent decades, the global tea industry has experienced rapid growth, with production increasing by about 19 million tons from 1992 to 2022. The growing demand for tea has resulted in the generation of significant amounts of waste, including pruned stems, buds, leaves, and residues from processing. These wastes are often burned or improperly disposed of, leading to potential soil, water, and air pollution. Proper management of tea waste can transform it into valuable resources. Sustainable and effective utilization of this waste is critical for managing tea production by-products. Tea waste generally contains the same components as the primary tea, offering similar biological activities. Due to their accessibility and high potential, tea wastes can serve as a rich source of organic matter to enhance soil fertility. With nutrient deficiencies prevalent in many soils and the high cost of chemical fertilizers, recycling agricultural waste is seen as an important solution. This process can supply essential nutrients for plants and improve overall soil fertility. Additionally, the use of organic wastes mitigates environmental issues and pollution, while the recycling and repurposing of these wastes can enhance soil organic matter. Thus, the recycling of agricultural and other organic wastes is vital for maintaining soil health, increasing food security, and generating additional income, positioning it as an effective strategy for sustainable crop production that can enhance both environmental and agricultural conditions.

Materials and Methods

In this study, soil samples with a clay loam texture were collected from a depth of 0-25 cm at the Research Farm of the Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran. The physical and chemical properties of the soil were evaluated using standard laboratory methods. The tea waste, including leaves, stems, and wood,

was obtained from Lahijan and characterized. The tea waste was sieved through a 4 mm mesh and added to soil columns at weight ratios of 0%, 1%, 2%, and 4%. Statistical analyses and mean comparisons were conducted using SAS software. The experiment included 24 columns, divided into two sets of 12 for chemical assessments before and after incubation. Treatments involved three replicates and four levels of tea waste mixed with 3 kg of soil.

Results

The variance analysis indicated that the addition of tea waste significantly influenced soil chemical properties. Specifically, soil pH levels decreased with increasing percentages of tea waste, with the 4% treatment showing the most substantial increase in acidity. Electrical conductivity also demonstrated significant changes, particularly before and after the incubation period. The addition of tea waste led to a notable increase in organic matter and nitrogen content, enhancing the nutrient status of the soil. Additionally, the levels of potassium and phosphorus in the soil increased significantly with the incorporation of tea waste, indicating improved these nutrients availability. These findings are consistent with previous studies, reinforcing the notion that tea waste can effectively improve soil quality and promote sustainable agricultural practices. The results illustrate that tea waste can serve as a sustainable solution for improving soil properties and providing essential nutrients, thereby contributing to enhanced agricultural productivity.

Conclusion

This study showed that adding tea waste to soil can significantly improve its quality. Key improvements include increased levels of organic matter, nitrogen, phosphorus, and potassium in the soil. These enhancements contribute to better soil health and fertility, making tea waste a valuable organic resource for sustainable farming. Using tea waste as a natural soil amendment helps reduce reliance on chemical fertilizers and supports environmental sustainability in agricultural practices.

Key words: Bioavailability, Nutrients, Organic fertilizer, Soil acidity, Waste management.

Author Contributions

Conceptualization, M.S. and A.A.; methodology, M.S., A.A. and M.M.; software, M.S., A.A. and M.M.; validation, M.S.; formal analysis, M.S. and A.A.; investigation, M.S., S.A., and M.M.; resources, A.A.; data curation, M.S. and A.A.; writing-original draft preparation, A.A.; writing-review and editing, M.S. and A.A.; visualization, A.A.; supervision, M.S.; project administration, A.A. and M.S.; funding acquisition, M.S. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Data Availability Statement

Data is available on reasonable request from the authors.

Acknowledgements

This paper is published as a part of a Master's thesis supported by the Vice Chancellor for Research and Technology of the University of Tehran, Iran. The authors are thankful to the University of Tehran for financial supports.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Cite this article: Abdari, A., Shorafa, M., & Mazreati, M. (2025). Effect of tea waste on some chemical properties of an alkaline soil with clay loam texture. *Journal of Soil and Plant Science*, 35(3), 57–77. <https://doi.org/10.22034/sps.2025.67742.1017>

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.



Copyright © 2025 The Authors.
Publisher: The University of Tabriz

OPEN ACCESS
JOURNALS



<https://doi.org/10.22034/sps.2025.67742.1017>

E-ISSN: 3092-6106

<https://sps.tabrizu.ac.ir>

مقاله پژوهشی

تأثیر ضایعات چای بر برخی ویژگی‌های شیمیایی یک خاک قلیایی با بافت لوم رسی

آزاده آبداری^۱، مهدی شرفا^۲✉، مصطفی مزرعتی^۳ 

۱- گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. azadeh.abdari@ut.ac.ir رایانامه:

۲- نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. mshorafa@ut.ac.ir رایانامه:

۳- گروه مهندسی نساجی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

رایانامه: mo.mazreati@gmail.com

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۷/۰۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۰۶

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۸/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۱۳

چکیده

افزایش مصرف کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها در کشاورزی باعث تخریب خاک و کاهش کیفیت تولیدات کشاورزی شده است. در این راستا، استفاده از ضایعات چای به عنوان یک منبع غنی از مواد آلی می‌تواند به حفظ خاک و افزایش باروری آن کمک کند. افزایش قابل توجه ضایعات چای در کشور به عنوان یک منبع آلی، پتانسیل بهبود ویژگی‌های شیمیایی خاک را دارد. در این پژوهش، از یک نمونه خاک قلیایی با بافت لوم رسی به مقدار ۳ کیلوگرم و نسبت‌های وزنی صفر، ۱، ۲ و ۴ درصد ضایعات چای برای بررسی تأثیر آن‌ها بر ویژگی‌های شیمیایی خاک استفاده شد. آزمایش در ستون‌های پلاستیکی به قطر ۱۲ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۲ سانتی‌متر انجام شد. پس از مقایسه نمونه‌های خاک قبل از انکوباسیون و بعد از یک دوره ۶ ماهه انکوباسیون در دمای ۲۵ درجه سلیسیوس و رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای (۱۶/۵ درصد حجمی)، نتایج نشان داد که افزودن ضایعات چای بر ویژگی‌های شیمیایی خاک تأثیر معناداری داشت. به طور خاص، تیمار ۴ درصد ضایعات چای بهترین نتایج را در کاهش pH و افزایش عناصر غذایی نشان داد. این یافته‌ها بیانگر پتانسیل بالای ضایعات چای به عنوان یک کود آلی مؤثر در بهبود کیفیت خاک و افزایش بهره‌وری آن است. استفاده بهینه از این ضایعات می‌تواند به عنوان یک راهکار پایدار در مدیریت پسماندها و بهبود تولیدات کشاورزی مطرح شود.

واژه‌های کلیدی: اسیدیته خاک، زیست‌فراهمی، عناصر غذایی، کود آلی، مدیریت پسماند.

استناد به این مقاله: آبداری، آ.، شرفا، م. و مزرعتی، م. (۱۴۰۴). تأثیر ضایعات چای بر برخی ویژگی‌های شیمیایی یک خاک قلیایی با بافت لوم رسی. نشریه دانش خاک و گیاه، ۳۵(۳)، ۷۷-۵۵.

<https://doi.org/10.22034/sps.2025.67742.1017>

مقدمه

افزایش مصرف کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها چالش‌هایی مانند تخریب خاک، کاهش ظرفیت نگهداری آب و شیوع بیماری‌ها را برای تولیدات کشاورزی به وجود آورده است. در نتیجه، جامعه کشاورزی به دنبال راه‌حلهایی مانند استفاده از کودهای آلی به عنوان یک گزینه اقتصادی و دوست‌دار محیط‌زیست می‌باشد تا به حفظ خاک، افزایش باروری و تقویت فعالیت ریزجاندان خاک کمک کند (Yin *et al.*, 2025). چای به عنوان یک محصول با ارزش جهانی، در فرایند تولید و فرآوری خود ضایعات زیادی تولید می‌کند که در صورت مدیریت صحیح می‌تواند به درآمدزایی بیشتر نیز کمک کند. تبدیل این ضایعات به محصولات با ارزش، تحقق اهداف توسعه پایدار را به همراه دارد (Seth *et al.*, 2023). کشت چای با توجه به جایگاه آن به عنوان یکی از حیاتی‌ترین محصولات با مصرف جهانی ۵ میلیون تن در سال ۲۰۱۳ از اهمیت اجتماعی-اقتصادی قابل‌توجهی در کشورهای در حال توسعه برخوردار است (Gamage *et al.*, 2025). در طول دهه‌های گذشته، صنعت چای جهانی، رشد سریعی را تجربه کرده است، به‌طوری که از سال ۱۹۹۲ تا ۲۰۲۲، تولید چای حدود ۱۹ میلیون تن افزایش یافته است (Zhang *et al.*, 2025). روند روزافزون مصرف چای سبب تولید مقادیر زیادی ضایعات چای شده است که شامل ساقه‌های هرس شده، جوانه‌ها، برگ چای و بقایای ناشی از فرایند چای‌سازی می‌باشد. این ضایعات معمولاً سوزانده یا به‌طور غیرمناسب دفع می‌شوند. عدم مدیریت صحیح این ضایعات می‌تواند خطر آلودگی منابع خاک، آب و هوا را به همراه داشته باشد اما مدیریت و بهره‌برداری مناسب از ضایعات چای می‌تواند آن‌ها را به منابع ارزشمند تبدیل کند. در حقیقت استفاده پایدار و مؤثر از این ضایعات یک موضوع حیاتی در مدیریت پسماندهای چای است. ضایعات چای معمولاً همان اجزای موجود در چای اصلی و فعالیت‌های زیستی مشابه چای تازه را دارد (Wang *et al.*, 2024).

ضایعات چای به دلیل فراهمی آسان و پتانسیل بالایشان، می‌توانند به عنوان منبعی غنی از مواد آلی برای افزایش باروری خاک مورد استفاده قرار گیرند (Sembiring *et al.*, 2025). با توجه به کمبود عناصر غذایی در خاک و هزینه بالای کودهای شیمیایی، بازیافت ضایعات کشاورزی به عنوان یک راه‌حل مهم در نظر گرفته می‌شود. این فرایند می‌تواند به تأمین عناصر غذایی برای گیاهان کمک کرده و به بهبود حاصلخیزی خاک منجر شود. همچنین، استفاده از ضایعات آلی به کاهش مشکلات زیست‌محیطی و آلودگی کمک می‌کند و فرایند بازیافت و استفاده مجدد از این ضایعات می‌تواند ماده آلی خاک را افزایش دهد. در نتیجه، بازیافت ضایعات کشاورزی و دیگر ضایعات آلی به حفظ سلامت خاک، افزایش امنیت غذایی و ایجاد درآمد اضافی کمک می‌کند و به عنوان یک راه‌برد مؤثر در تولید پایدار محصولات کشاورزی شناخته می‌شود که می‌تواند به بهبود وضعیت محیط‌زیست و کشاورزی یاری رساند (Chatterjee *et al.*, 2017). با افزایش حجم تولید چای در چند دهه اخیر، تغییر شیوه‌های مدیریت ضایعات چای، شامل استفاده از کودهای آلی و زیستی، مالچ‌پاشی و کشت مخلوط، در حال افزایش است. این شیوه‌ها می‌توانند خواص فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک را بهبود بخشند، خطرات ناشی از مواد شیمیایی را کاهش دهند و کیفیت خاک را افزایش دهند (Le *et al.*, 2021). در ایران نیز میزان ضایعات چای به دلیل افزایش سطح زیرکشت و برداشت‌های سنتی و غیرمکانیزه در مزارع چای، حجم زیادی از آن‌ها به عنوان پسماند باقی می‌ماند (Mahaly *et al.*, 2018). با توجه به این که تأمین عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف از طریق کودهای شیمیایی به‌تنهایی کافی نیست، استفاده از ضایعات کشاورزی می‌تواند گزینه بهتری برای تأمین این عناصر و حفظ ذخایر کربن آلی خاک، رشد ریشه گیاهان و افزایش تولید محصولات کشاورزی محسوب شود (Sial *et al.*, 2019). از این رو، استفاده بهینه از ضایعات چای نه تنها به کاهش مشکلات زیست‌محیطی

ناشی از انباشت ضایعات کمک می‌کند بلکه می‌تواند به‌عنوان یک راهکار پایدار برای بهبود کیفیت خاک و افزایش بهره‌وری محصولات کشاورزی مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه، نمونه‌هایی از یک خاک با بافت لوم رسی از عمق صفر تا ۲۵ سانتی‌متری در مزرعه تحقیقاتی دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران جمع‌آوری شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ ارائه داده شده است. برای اندازه‌گیری pH و قابلیت هدایت الکتریکی نمونه‌ها از pH متر و دستگاه سنجش قابلیت هدایت الکتریکی استفاده شد (Page *et al.*, 1982). برای اندازه‌گیری مقدار کربن آلی از روش Walkley & Black (1934)، برای اندازه‌گیری غلظت سدیم محلول خاک از روش عصاره اشباع خاک (Rhoades, 1982) و برای اندازه‌گیری نیتروژن کل خاک از روش کج‌دال (Bremner & Mulvaney, 1982) استفاده شد. مقدار فسفر قابل‌جذب گیاه در خاک از روش اولسن (Olsen & Sommers, 1982)، پتاسیم قابل‌جذب گیاه در خاک از روش آمونیوم استات و مقدار سدیم و پتاسیم محلول خاک با دستگاه فلیم فتومتر اندازه‌گیری شدند (Klute & Dirksen, 1986). برای اندازه‌گیری آهن و روی قابل‌جذب گیاه در خاک از روش عصاره‌گیری با DTPA-TEA استفاده شد و مقدار آهن و روی موجود در عصاره‌ها با دستگاه جذب اتمی مدل Shimadzu-AA 6400 قرائت شد (Lindsay & Norvell, 1978). برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند جرم مخصوص ظاهری خاک از روش استوانه (Blake & Hartge, 1986)، جرم مخصوص حقیقی خاک از روش پیکنومتر (Carter *et al.*, 2007) و بافت خاک از روش هیدرومتری استفاده شد (Klute *et al.*, 1986).

در این پژوهش از ضایعات خام چای لاهیجان، شامل برگ چای، ساقه و چوب آن استفاده شد. ویژگی‌های آن اندازه‌گیری گردید که در جدول ۲ نشان داده شده است. ضایعات چای از الک ۴ میلی‌متری عبور داده شد و به نسبت‌های صفر، ۱، ۲ و ۴ درصد وزنی به ستون‌های خاک اضافه شد (Glab *et al.*, 2018). تحلیل آماری داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد. در این آزمایش، ۲۴ ستون شامل دو مجموعه ۱۲ تایی برای انجام آزمایش‌های شیمیایی قبل و بعد از انکوباسیون آماده گردید. تیمارها شامل ۳ تکرار و چهار سطح ضایعات چای با نسبت‌های وزنی صفر، ۱، ۲ و ۴ درصد بودند که به‌ترتیب با وزن‌های ۰، ۳۰، ۶۰ و ۱۲۰ گرم ضایعات چای به ۳ کیلوگرم خاک مخلوط شدند. ستون‌هایی از جنس پلاستیک با قطر ۱۲ و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر تهیه شد که انتهای آن‌ها با تور سیمی بسته گردید تا از خروج خاک جلوگیری شود و زهکشی مناسبی با اضافه کردن حدود ۲ سانتی‌متر شن بادی در انتهای ستون‌ها ایجاد گردید. خاک‌ها پس از هواخشک شدن از الک ۲ میلی‌متری (برای انجام آزمایش‌های شیمیایی) و از الک ۴ میلی‌متری (برای پر کردن ستون‌ها) عبور داده شدند. پس از مخلوط شدن خاک با ضایعات چای، ستون‌ها تا ارتفاع ۲۰ سانتی‌متری از این مخلوط پر شدند. نهایتاً، ستون‌های آماده شده از پایین به بالا اشباع شده و به مدت ۶ ماه در اتاق انکوباسیون نگهداری گردیدند. در طول این مدت، ستون‌ها با آبیاری منظم در رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای و دمای ۲۵ درجه سلسیوس نگهداری شدند.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه.

رس	سیلت	شن	بافت	pH	ECe	جرم مخصوص ظاهری	جرم مخصوص حقیقی
(%)	(%)	(%)	-	-	(dS/m)	(g/cm ³)	(g/cm ³)
۳۸	۳۰	۳۲	لوم رسی	۸/۱۱	۱/۲۷	۱/۴	۲/۵۷

ادامه جدول ۱.

پتاسیم قابل جذب	نیتروژن کل	سدیم محلول	پتاسیم محلول	فسفر قابل جذب	کربنات کلسیم معادل	ماده آلی
(mg/kg)	(%)	(meq/L)	(meq/L)	(mg/kg)	(%)	(%)
۱۱۲/۰۵	۰/۱۲۴	۲/۱	۰/۳۶	۱۷/۴۵	۶/۵	۰/۸۵

جدول ۲- ویژگی‌های شیمیایی ضایعات چای مورد استفاده.

pH	ECe	پتاسیم	نیتروژن	فسفر	آهن	روی	کربن آلی
-	(dS/m)	(%)	(%)	(%)	(mg/kg)	(mg/kg)	(%)
۵/۷۵	۱/۸۲	۰/۷۹	۱/۹۳	۰/۱۷۱	۲۱۱/۷۱	۲۶/۵۰	۴۸/۳

نتایج و بحث

اثر ضایعات چای بر pH خاک

در این پژوهش تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر ضایعات چای بر مقدار pH معنادار نبوده است (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمارهای ۱ و ۲ درصد ضایعات چای بر pH خاک نسبت به تیمار ۴ درصد تأثیر معناداری نداشتند. مقادیر pH به دست آمده برای تیمارها به این ترتیب بود: تیمار شاهد (۸/۵۶)، تیمار ۱ درصد (۸/۵۳)، تیمار ۲ درصد (۸/۳۳) و تیمار ۴ درصد (۷/۸۹). در تجزیه واریانس بعد از انکوباسیون که در جدول ۴ ارائه شده، نتایج نشان داد که pH عصاره اشباع خاک با افزایش درصد ضایعات چای کاهش یافت و این تغییر از لحاظ آماری در سطح احتمال یک درصد معنادار بود. در این حالت، تیمار ۴ درصد ضایعات چای با pH (۷/۸۹) بیشترین تأثیر را داشت. به علاوه، تیمار شاهد با pH (۸/۱۳) و تیمار ۱ درصد چای با pH (۸/۱۰) در یک گروه قرار گرفتند و سه تیمار ضایعات چای با یکدیگر تفاوت آماری معنادار داشتند، به طوری که تیمار ۴ درصد ضایعات چای کمترین pH را در خاک ایجاد نمود (شکل ۱). یافته‌های این تحقیق با نتایج مطالعات قبلی همخوانی داشت. به عنوان مثال، در پژوهش (Kazemi & Padash, 2014) که تأثیر ضایعات چای بر یک نوع گیاه زینتی بررسی شد، کاهش pH در بسترهای کشت حاوی ضایعات چای و کمپوست فضولات کرم ابریشم مشاهده گردید. همچنین، این بسترها رشد بهتری نسبت به سایر بسترهای کشت داشتند. علاوه بر این، (Ahmadidehaj et al., 2012) نیز در مقایسه بسترهای مختلف، کمترین pH را برای ضایعات چای گزارش کردند. (Saberi et al., 2012) دریافتند که افزودن ضایعات چای به خاک بر تغییر pH خاک تأثیر قابل ملاحظه‌ای نداشت.

جدول ۳ - تجزیه واریانس تأثیر درصدهای ضایعات چای بر خصوصیات شیمیایی خاک قبل از انکوباسیون

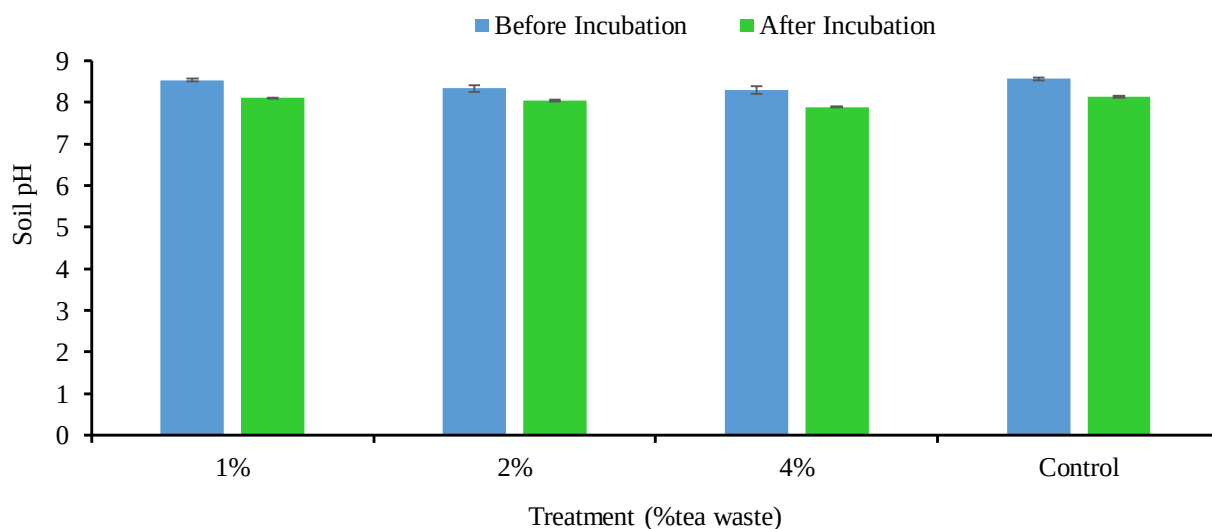
منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		pH	EC	ماده آلی	نیتروژن	پتاسیم محلول
تیمار	3	0.0556 ^{ns}	0.41496 ^{**}	1.4359 ^{**}	0.0053 ^{**}	1.8051 ^{**}
خطا	8	3.704	16.94	126.8	183.4	40.26
ضریب تغییرات (%)	-	1.45	10.79	7.43	3.29	20.12

^{ns} و ^{**}، به ترتیب عدم معناداری و معنادار در سطح احتمال یک درصد.

جدول ۴ - تجزیه واریانس تأثیر درصدهای ضایعات چای بر خصوصیات شیمیایی خاک بعد از انکوباسیون

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		pH	EC	ماده آلی	نیتروژن	پتاسیم محلول
ضایعات چای	3	0.0352 ^{**}	0.01126 ^{ns}	2.8535 ^{**}	0.00662 ^{**}	0.3834 ^{**}
خطا	8	47.48	0.4436	349.4	15.94	270.7
ضریب تغییرات (%)	-	0.3387	19.95	4.79	10.08	6.42

^{ns} و ^{**}، به ترتیب عدم معناداری و معنادار در سطح احتمال یک درصد.



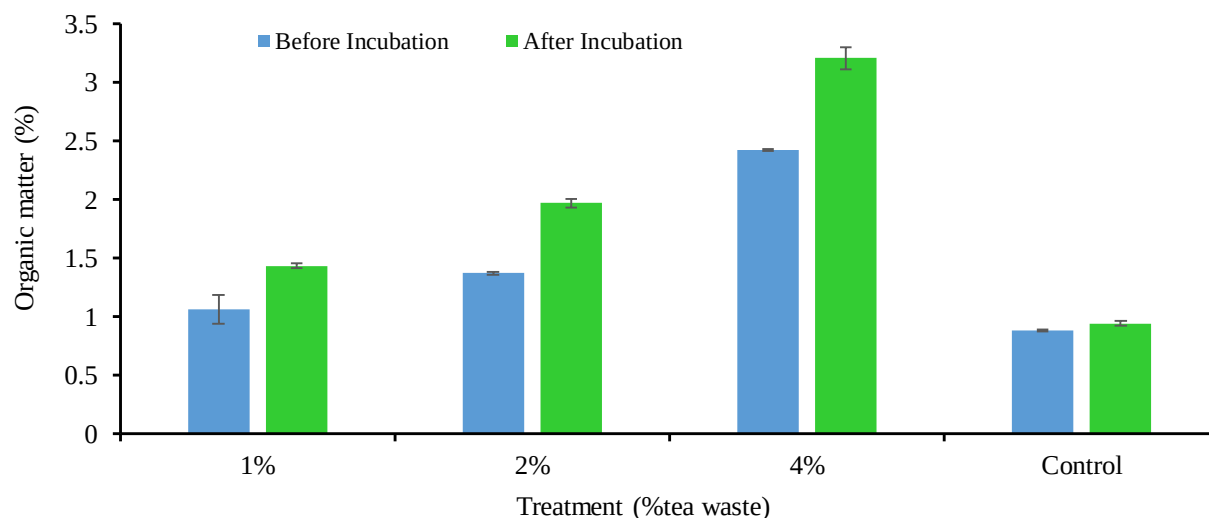
شکل ۱- اثر ضایعات چای در شرایط قبل و بعد از انکوباسیون بر pH محلول خاک.

در آزمایش‌های انجام شده به وسیله Sial et al. (2019)، مقادیر pH خاک برای کلیه تیمارها با افزایش ضایعات چای، حداکثر کاهش pH را نشان دادند. این یافته به دلیل آزادسازی ترکیبات اسیدی از ضایعات چای به خاک است که می‌تواند موجب کاهش pH خاک شود. نتایج تجزیه واریانس قبل از انکوباسیون نشان داد که EC عصاره اشباع خاک قبل از دوره انکوباسیون از لحاظ آماری در سطح احتمال یک درصد معنادار بود (جدول ۳) و با افزایش سطح ضایعات چای از صفر به ۱، ۲ و ۴ درصد، EC عصاره اشباع خاک به ترتیب افزایش یافت، به این ترتیب که مقدار EC عصاره اشباع خاک در تیمار شاهد (۱/۰۱ دسی‌زیمنس بر متر)، تیمار ۱ درصد (۱/۳۹ دسی‌زیمنس بر متر)، تیمار ۲ درصد (۱/۴۷ دسی‌زیمنس بر متر) و تیمار ۴ درصد (۱/۹۲ دسی‌زیمنس بر متر) بود. نتایج تجزیه واریانس بعد از انکوباسیون نشان

داد که EC عصاره اشباع خاک بعد از انکوباسیون از لحاظ آماری در سطح احتمال ۵ درصد معنادار نبود (جدول ۴). کمترین EC عصاره اشباع خاک در تیمار ۱ درصد (۰/۷۱)، تیمار ۲ درصد (۰/۷۹)، تیمار شاهد (۰/۸۳) و تیمار ۴ درصد (۰/۸۵) دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد ضمن اینکه روند افزایشی در تمام تیمارها دیده شد ولی تفاوت آن‌ها معنادار نبود. در نتیجه، EC عصاره اشباع خاک بعد از انکوباسیون نسبت به قبل از انکوباسیون در تمامی تیمارها با کاهش همراه بود ضمن اینکه این کاهش معنادار نبود (جدول ۴). مشاهدات Ahmadidehaj et al. (2012) نشان داد که ضایعات چای بیشترین میزان قابلیت هدایت الکتریکی را در مقایسه با سایر بسترهای زئولیت و پرلیت برای گیاهان گوجه‌فرنگی داشت.

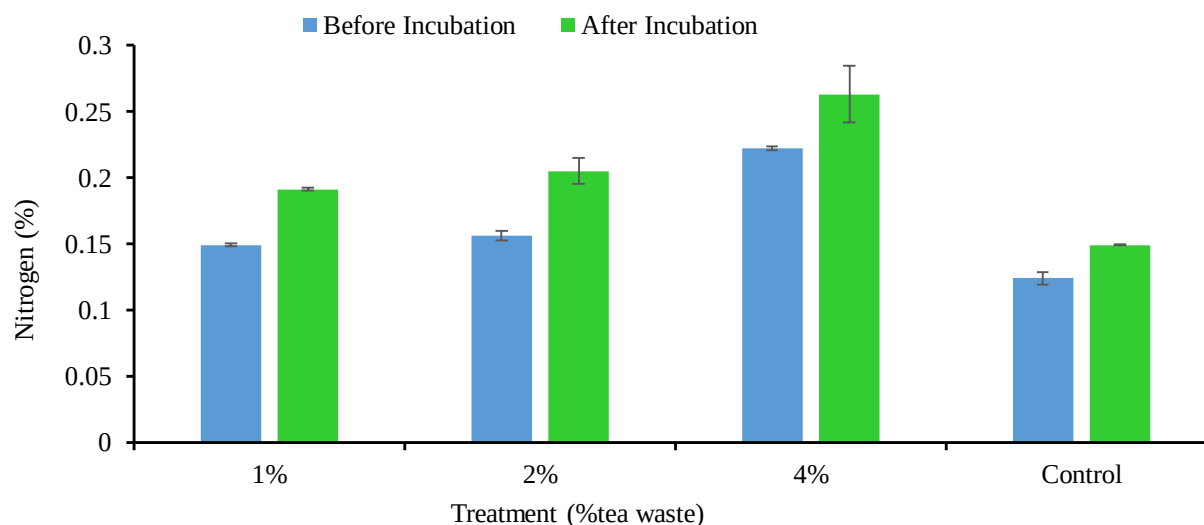
اثر ضایعات چای بر درصد ماده آلی و نیتروژن خاک

تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر ضایعات چای بر درصد ماده آلی و نیتروژن خاک معنادار بود (جدول ۳). با اضافه کردن تیمارهای ۱، ۲ و ۴ درصد ضایعات چای، قبل از دوره انکوباسیون روند افزایشی در درصد ماده آلی خاک مشاهده شد. با این حال، بین تیمار شاهد با ۰/۸۷ درصد ماده آلی و تیمار ۱ درصد ضایعات چای با ۱/۰۵ درصد ماده آلی، تفاوت معناداری وجود نداشت (شکل ۲). مقادیر درصد ماده آلی در تیمار شاهد (۰/۸۷ درصد)، تیمار ۱ درصد ضایعات چای (۱/۰۵ درصد)، تیمار ۲ درصد ضایعات چای (۱/۳۷ درصد) و تیمار ۴ درصد ضایعات چای (۲/۴۲ درصد) بود و کمترین و بیشترین آن مربوط به ترتیب تیمارهای ۱ و ۴ درصد داشت (شکل ۲). ماده آلی خاک بعد از دوره انکوباسیون همچنان از لحاظ آماری در سطح احتمال یک درصد معنادار بود، به این ترتیب که با اضافه کردن تیمارهای ۱، ۲ و ۴ درصد ضایعات چای، روند افزایشی در ماده آلی خاک بعد از انکوباسیون مشاهده شد (جدول ۴). این افزایش در دوره بعد از انکوباسیون بیشتر از قبل انجام شد و این یافته نشان‌دهنده بهبود مستمر ماده آلی خاک به دلیل افزودن ضایعات چای از همان ابتدا بود. همچنین، بررسی نشان داد که تیمارهای شاهد (۰/۹۴ درصد ماده آلی)، ۱ درصد (۱/۴۳ درصد)، ۲ درصد (۱/۹۶ درصد) و ۴ درصد ضایعات (۳/۲۰ درصد) تفاوت معناداری نسبت به یکدیگر داشتند، که این موضوع بیانگر اثرگذاری مثبت دوره انکوباسیون و تجزیه بهتر ضایعات چای نسبت به قبل از انکوباسیون بود. کمترین و بیشترین مقدار ماده آلی خاک به ترتیب مربوط به تیمار شاهد و تیمار ۴ درصد ضایعات چای بودند (شکل ۲).



شکل ۲- اثر ضایعات چای در شرایط قبل و بعد از انکوباسیون بر درصد ماده آلی خاک.

اثر ضایعات چای بر مقدار نیتروژن قبل از دوره انکوباسیون در سطح احتمال یک درصد معنادار بود (جدول ۳) و با افزایش درصد ضایعات چای، مقدار نیتروژن روند افزایشی داشت، به طوری که مقدار نیتروژن در تیمار شاهد (۰/۱۲۴)، تیمار ۱ درصد ضایعات چای (۰/۱۴۹ درصد)، تیمار ۲ درصد ضایعات چای (۰/۱۵۶ درصد) و تیمار ۴ درصد ضایعات چای (۰/۲۲۲ درصد) بود (شکل ۳). همچنین، تیمارهای ۱ و ۲ درصد با یکدیگر تفاوت معناداری نداشتند. مقدار نیتروژن بعد از دوره انکوباسیون در سطح احتمال یک درصد معنادار بود که نشان می‌دهد با اضافه شدن سطح ضایعات چای، روند افزایشی مشابه قبل از انکوباسیون ادامه داشت، به طوری که مقدار نیتروژن در تیمار شاهد (۰/۱۴۹ درصد)، تیمار ۱ درصد (۰/۱۹۱ درصد)، تیمار ۲ درصد (۰/۲۰۵ درصد) و تیمار ۴ درصد (۰/۲۶۳ درصد) بود. همچنین، تیمارهای ۱ و ۲ درصد هم قبل و هم بعد از انکوباسیون با یکدیگر تفاوت معناداری نداشتند. بنابراین، تیمار ۴ درصد ضایعات چای به عنوان بهترین گزینه برای افزایش نیتروژن خاک شناخته شد (شکل ۳).



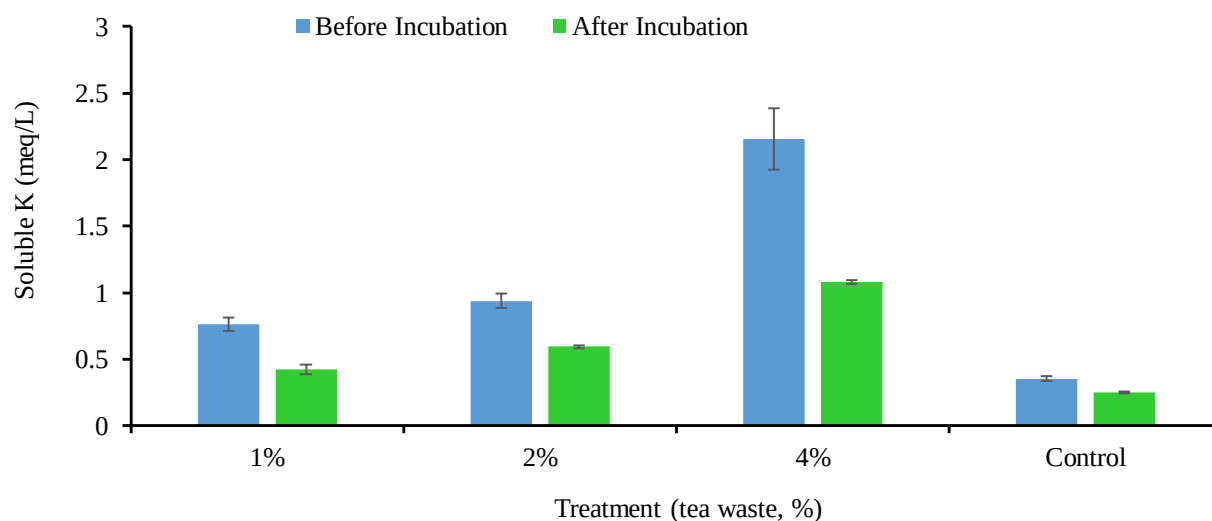
شکل ۳- اثر ضایعات چای در شرایط قبل و بعد از انکوباسیون بر درصد نیتروژن خاک.

مطالعات مشابه نشان داده‌اند که استفاده از ضایعات چای در افزایش ماده آلی و نیتروژن خاک تأثیر قابل‌توجهی دارد. برای مثال، بررسی انجام‌شده در خاک‌های مناطق چای‌خیز آفریقا نشان داد که افزودن ضایعات چای به خاک، کربن زیست‌توده میکروبی را تا ۸۴ درصد و نیتروژن زیستی را تا ۷۹ درصد افزایش داد (Kisinyo *et al.*, 2021). این تغییرات با افزایش فعالیت آنزیم‌های خاک و بهبود چرخه مواد آلی همراه بود که به‌طور مستقیم باعث ارتقای حاصلخیزی خاک شد. در مطالعه دیگری، کاربرد کمپوست ضایعات چای سبز در کنار باکتری ازتوباکتر، سبب افزایش نیتروژن معدنی و رشد بهتر بوته چای گردید (Wulansari *et al.*, 2021). در این مطالعه تأکید شده است که ترکیب ضایعات چای با ریزجانداران سودمند می‌تواند چرخه نیتروژن را به شکل پایداری فعال کند. در پژوهشی مشابه، نشان داده شد که تجزیه ضایعات چای در شرایط آزمایشگاهی، سرعت معدنی شدن نیتروژن را افزایش داد و باعث تولید نیتروژن قابل‌جذب به‌وسیله گیاهان شد (Mendoza & Torres, 2025). این یافته به‌ویژه در خاک‌های با ماده آلی کم، در بهبود تغذیه گیاه و افزایش عملکرد آن نقش مؤثری دارد. در مجموع، یافته‌های این مطالعات تأکید دارند که ضایعات چای

نه تنها منبعی غنی از کربن آلی و نیتروژن هستند، بلکه با تحریک فعالیت‌های میکروبی خاک، در بلندمدت به پایداری حاصلخیزی آن کمک می‌کنند.

اثر ضایعات چای بر غلظت پتاسیم و سدیم محلول خاک

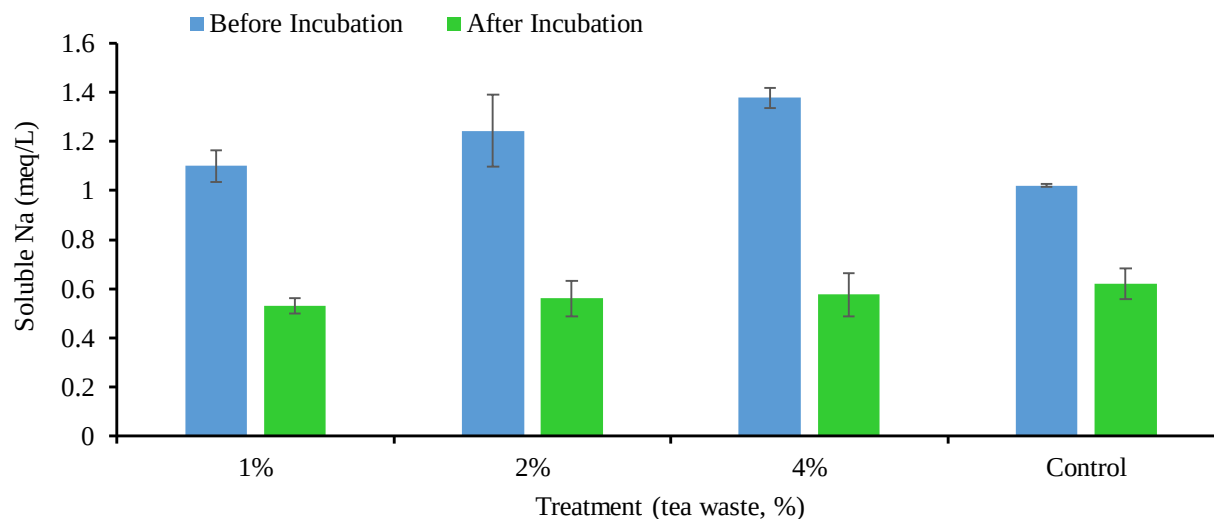
تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر ضایعات چای بر غلظت پتاسیم محلول خاک معنادار و بر غلظت سدیم محلول خاک غیرمعنادار بود (جدول ۳). اثر ضایعات چای بر پتاسیم محلول عصاره اشباع خاک قبل از دوره انکوباسیون از لحاظ آماری در سطح احتمال یک درصد معنادار شد. با افزایش سطح ضایعات چای، غلظت پتاسیم محلول روند افزایشی داشت، به طوری که تیمارهای ۱ درصد (۷۶ میلی‌اکی‌والان بر لیتر) و ۲ درصد (۹۳ میلی‌اکی‌والان بر لیتر) در یک گروه قرار گرفتند. کمترین و بیشترین غلظت پتاسیم مربوط به تیمار شاهد (۳۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر) و تیمار ۴ درصد (۱۵۲ میلی‌اکی‌والان بر لیتر) بود (شکل ۴). نتایج تجزیه واریانس بعد از انکوباسیون نیز نشان داد که غلظت پتاسیم محلول خاک با اضافه کردن سطح ضایعات چای روند افزایشی از خود نشان داد، اما تفاوت معناداری بین تیمارها مشاهده نشد و همگی در یک گروه قرار گرفتند، به این ترتیب که غلظت پتاسیم در تیمار شاهد (۲۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر)، تیمار ۱ درصد (۴۲ میلی‌اکی‌والان بر لیتر)، تیمار ۲ درصد (۵۹ میلی‌اکی‌والان بر لیتر) و تیمار ۴ درصد (۱۰۸ میلی‌اکی‌والان بر لیتر) بود (شکل ۴).



شکل ۴- اثر ضایعات چای در شرایط قبل و بعد از انکوباسیون بر غلظت پتاسیم محلول خاک.

نتایج تجزیه واریانس قبل از انکوباسیون برای غلظت سدیم محلول نشان داد که قبل از دوره انکوباسیون، اثر ضایعات چای بر غلظت سدیم محلول عصاره اشباع خاک در سطح احتمال ۵ درصد معنادار نبود (جدول ۳) اما مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تنها تیمار ۴ درصد ضایعات چای نسبت به تیمار شاهد معنادار بود (شکل ۵). غلظت سدیم محلول خاک در تیمار شاهد (۱۰۲ میلی‌اکی‌والان بر لیتر) و تیمار ۱ درصد (۱۱۰ میلی‌اکی‌والان بر لیتر)، ۲ درصد (۱۲۴ میلی‌اکی‌والان بر لیتر) و ۴ درصد (۱۳۷ میلی‌اکی‌والان بر لیتر) بود که کمترین و بیشترین آن‌ها مربوط به دو تیمار ۱ و ۴ درصد بودند. نتایج تجزیه واریانس بعد از انکوباسیون نیز نشان داد که غلظت سدیم محلول عصاره اشباع خاک پس از دوره انکوباسیون نیز همانند قبل از انکوباسیون در سطح احتمال ۵ درصد برای تیمار ۱ درصد ضایعات چای

نسبت به شاهد معنادار نبود و تیمارهای شاهد و ۱ درصد در یک گروه قرار گرفتند، به طوری که غلظت سدیم در تیمار ۱ درصد (۰/۵۳ میلی‌اکی‌والان بر لیتر)، شاهد (۰/۶۲ میلی‌اکی‌والان بر لیتر) و تیمار ۲ درصد (۰/۵۶ میلی‌اکی‌والان بر لیتر) و ۴ درصد (۰/۵۷ میلی‌اکی‌والان بر لیتر) ثبت شد (شکل ۵).



شکل ۵- اثر ضایعات چای در شرایط قبل و بعد از انکوباسیون بر غلظت سدیم محلول خاک.

مطالعات مختلف نشان داده‌اند که استفاده از ضایعات چای می‌تواند در افزایش غلظت پتاسیم و سدیم محلول خاک تأثیر قابل‌توجهی داشته باشد. برای مثال، در مطالعه‌ای، افزودن ضایعات چای به خاک‌های شور سبب افزایش نسبت پتاسیم به سدیم گیاه اسفناج گردید که نشان‌دهنده بهبود جذب پتاسیم و کاهش اثرهای منفی شوری بود (Abdolahi Arshad *et al.*, 2023). همچنین، افزودن ضایعات برگ چای سیاه به خاک باعث افزایش غلظت سدیم محلول خاک می‌شود که می‌تواند به بهبود ساختار خاک و افزایش فراهمی گیاه به عناصر غذایی کمک کند (Mezher & Almehanya, 2024). در مطالعه‌ای دیگر مشخص شد که با افزایش سن باغات چای، پایداری تجمعات خاک کاهش و آزادسازی پتاسیم از تجمعات بزرگ‌تر افزایش یافت، که نشان‌دهنده نقش ضایعات چای در بهبود فراهمی پتاسیم در خاک بود (Li *et al.*, 2020). علاوه بر این، ضایعات چای حاوی مقادیر قابل‌توجهی پتاسیم است و استفاده از آن به عنوان کمپوست می‌تواند به افزایش غلظت پتاسیم خاک و بهبود رشد گیاهان کمک کند (Yıldırım *et al.*, 2025).

اثر ضایعات چای بر فسفر قابل جذب گیاه در خاک

تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر ضایعات چای بر فسفر قابل جذب گیاه در خاک قبل و بعد از انکوباسیون معنادار بود (جدول‌های ۵ و ۶). با افزایش سطح مصرفی ضایعات چای، مقدار فسفر قابل جذب روند افزایشی داشت (شکل ۶)، با این حال، بر اساس تحلیل‌های آماری، تیمارهای ۱، ۲ و ۴ درصد ضایعات چای با یکدیگر تفاوت معناداری نداشتند و در یک گروه‌بندی قرار گرفتند. در این راستا، بیشترین و کمترین مقدار فسفر قابل جذب مربوط به تیمار ۴ درصد (۲۱/۵۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و تیمار شاهد (۱۷/۴۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود. همچنین، تیمارهای ۱ درصد و ۲ درصد به ترتیب دارای مقادیر (۱۷/۹۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و (۱۹/۰۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) فسفر بودند. نتایج فسفر قابل جذب بعد از دوره انکوباسیون نسبت به قبل از آن با افزایش درصد ضایعات چای روند افزایشی بیشتری داشت و این تغییر از

لحاظ آماری در سطح احتمال یک درصد معنادار بود. به‌طور خاص، تیمار شاهد (۱۵/۹۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، تیمار ۱ درصد (۱۸/۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، تیمار ۲ درصد (۲۳/۰۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و تیمار ۴ درصد (۲۷/۶۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) تفاوت معناداری با یکدیگر داشتند (شکل ۶).

جدول ۵- تجزیه واریانس تأثیر درصدهای ضایعات چای بر خصوصیات شیمیایی خاک قبل از انکوباسیون.

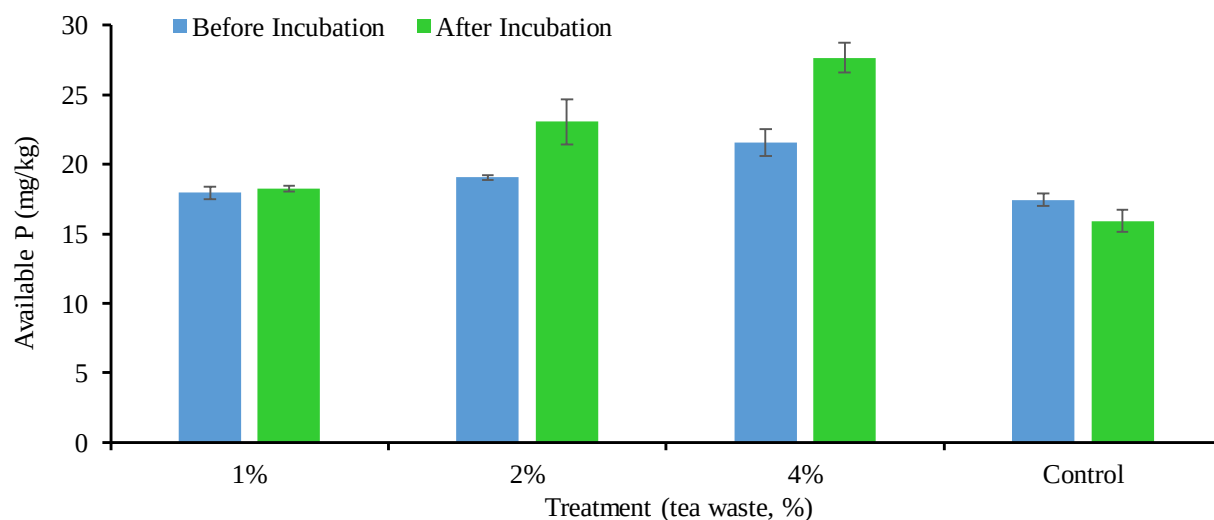
منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		فسفر قابل‌جذب	C/N	پتاسیم قابل‌جذب	آهن قابل‌جذب
تیمار	3	9.993**	9.475**	14265.7**	546.1**
خطا	8	10.007	0.1	332.1	26.15
ضریب تغییرات (%)	-	5.26	0.01	3.49	13.72

**, معنادار در سطح احتمال یک درصد.

جدول ۶- تجزیه واریانس تأثیر درصدهای ضایعات چای بر خصوصیات شیمیایی خاک بعد از انکوباسیون.

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		فسفر قابل‌جذب	C/N	پتاسیم قابل‌جذب	آهن قابل‌جذب
تیمار	3	81.64**	20.52**	13733.3**	397.6**
خطا	8	24.89	0.1	75.94	29.73
ضریب تغییرات (%)	-	8.53	0.01	6.61	16.70

ns و **, به‌ترتیب عدم‌معناداری و معنادار در سطح احتمال یک درصد.



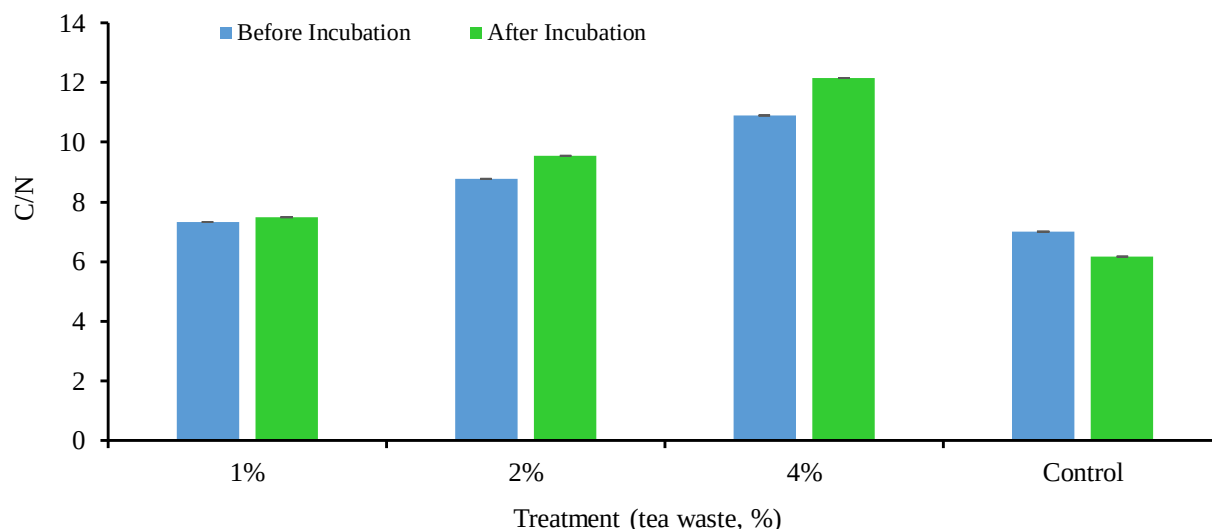
شکل ۶- اثر ضایعات چای در شرایط قبل و بعد از انکوباسیون بر فسفر قابل‌جذب گیاه در خاک.

مطالعات مختلف نشان داده‌اند که استفاده از ضایعات چای می‌تواند بر افزایش فسفر قابل‌جذب در خاک تأثیر قابل‌توجهی داشته باشد. برای مثال، افزودن بیوپچار حاصل از ضایعات چای به خاک باغات چای باعث افزایش ظرفیت جذب فسفر و کاهش رهاسازی آن شد، که نشان‌دهنده بهبود پایداری فسفر در خاک است (Zhao et al., 2022). همچنین، افزودن

ضایعات چای، کمپوست و بیوپار آن به خاک در شرایط تنش شوری سبب افزایش غلظت فسفر گیاه اسفناج گردید که نشان‌دهنده بهبود فراهمی فسفر در شرایط نامساعد بود (Abdolahi Arshad et al., 2023). البته با افزایش سن باغات چای، غلظت فسفر قابل‌جذب در خاک افزایش می‌یابد، که نشان‌دهنده نقش ضایعات چای در بهبود فراهمی فسفر در خاک است (Wang et al., 2013). علاوه بر این، استفاده از کمپوست اسیدی چای باعث افزایش فراهمی فسفر و عملکرد پنبه در خاک‌های آهکی می‌شود (Luo et al., 2021). در مجموع، یافته‌های این مطالعات تأکید دارند که ضایعات چای نه تنها منبعی غنی از فسفر هستند، بلکه با تحریک فعالیت‌های میکروبی خاک، در بلندمدت به پایداری حاصلخیزی آن کمک می‌کنند. در مطالعه مشابه دیگر مشخص گردید که استفاده از ضایعات چای به‌طور قابل‌توجهی غلظت پروتئین، عملکرد و سطح فسفر را افزایش می‌دهد و اصلاح‌کننده‌های آلی مانند ضایعات چای می‌توانند در بهبود عملکرد و کیفیت تغذیه‌ای گیاه چای مؤثر باشند و به عنوان جایگزینی پایدار برای کودهای شیمیایی عمل نمایند (Bakoğlu and Catal., 2025). نتایج ما نشان داد که افزودن ضایعات چای سبب افزایش مقادیر فسفر قابل‌جذب در خاک گردید. این یافته با تحقیق Morikawa & Saigusa (2008) همخوانی داشت که نشان می‌دهد بازیافت ضایعات چای می‌تواند به افزایش فراهمی به عناصر غذایی، از جمله آهن و فسفر در خاک‌های قلیایی کمک کند.

اثر ضایعات چای بر نسبت C/N خاک

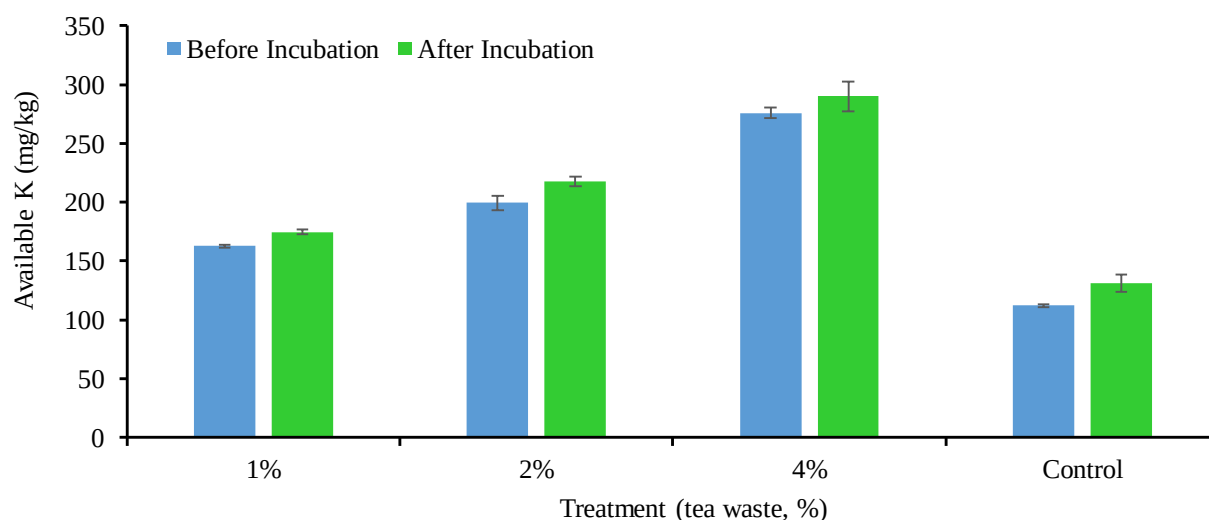
تجزیه واریانس نشان داد که اثر ضایعات چای بر نسبت کربن به نیتروژن بل و بعد از انکوباسیون معنادار بود (جدول‌های ۵ و ۶). با افزایش سطح مصرفی ضایعات چای، نسبت کربن به نیتروژن نیز روند افزایشی داشت، به‌طوری‌که در تیمار شاهد (۷/۰۱)، تیمار ۱ درصد (۷/۳۱)، تیمار ۲ درصد (۸/۷۸) و تیمار ۴ درصد (۱۰/۹) درصد بود که نشان می‌دهد تمامی تیمارها با یکدیگر تفاوت معناداری داشتند (شکل ۷). نسبت کربن به نیتروژن بعد از دوره انکوباسیون نیز در سطح احتمال یک درصد معنادار بود و با افزایش سطح مصرفی ضایعات چای، نسبت کربن به نیتروژن روند افزایشی را نشان داد به‌طوری‌که مقدار نسبت کربن به نیتروژن در تیمار شاهد (۶/۱۷)، تیمار ۱ درصد (۷/۴۸)، تیمار ۲ درصد (۹/۵۶) و تیمار ۴ درصد (۱۲/۱۶) بود و همه تیمارها با یکدیگر تفاوت معناداری داشتند. همچنین، نتایج غلظت پتاسیم قابل‌جذب نیز قبل از دوره انکوباسیون در سطح احتمال یک درصد معنادار گردید و با افزایش سطح مصرفی ضایعات چای، مقدار پتاسیم قابل‌جذب نیز روند افزایشی از خود نشان داد. در این راستا، کمترین مقدار پتاسیم قابل‌جذب به تیمار شاهد (۱۱۲/۰۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، مربوط بود و مقدار آن در تیمار ۱ درصد (۱۶۲/۸۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، ۲ درصد (۱۹۹/۴۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و ۴ درصد (۲۷۵/۹۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود (شکل ۷).



شکل ۷- اثر ضایعات چای در شرایط قبل و بعد از انکوباسیون بر نسبت C/N خاک.

اثر ضایعات چای بر پتاسیم قابل جذب گیاه در خاک

اثر ضایعات چای بر مقدار پتاسیم قابل جذب گیاه در خاک بعد از دوره انکوباسیون در سطح احتمال یک درصد معنادار بود و مانند قبل از انکوباسیون، تیمارها با یکدیگر تفاوت معناداری داشتند (جدول ۵). مقدار پتاسیم قابل جذب نسبت به قبل از انکوباسیون افزایش یافت و با افزایش سطح مصرفی ضایعات چای روند افزایشی داشت (شکل ۸). غلظت پتاسیم قابل جذب در تیمار شاهد (۱۳۱/۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، تیمار ۱ درصد (۱۷۴/۷۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، تیمار ۲ درصد (۲۱۷/۶۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و تیمار ۴ درصد (۲۸۹/۹۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود. کمترین و بیشترین آن به ترتیب متعلق به دو تیمار ۱ و ۴ درصد بود (شکل ۸).



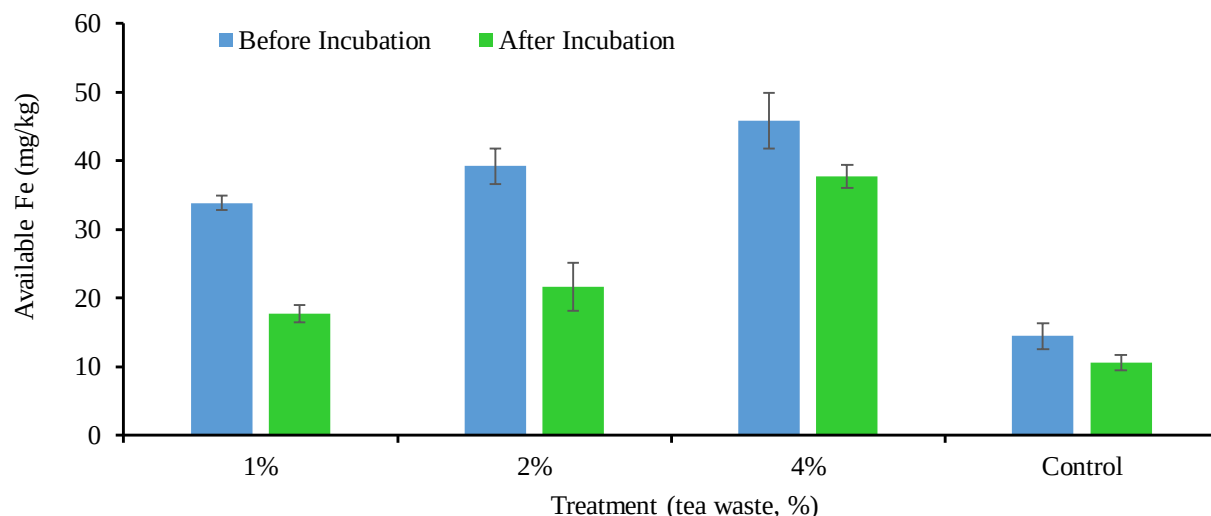
شکل ۸- اثر ضایعات چای در شرایط قبل و بعد از انکوباسیون بر پتاسیم قابل جذب گیاه در خاک.

این نتایج با تحقیقات مشابه همخوانی داشت، به عنوان مثال، در مطالعه‌ای که توسط Wang et al. (2020) انجام شد، مشخص شد که کشت چای در افزایش مقدار کربن، نیتروژن و فسفر خاک مفید بود. بهبود عناصر غذایی خاک و جذب عناصر غذایی به وسیله چای، به کاهش آلودگی خاک و جبران عناصر غذایی کمک می‌کند. همچنین، در پژوهش Sial et al. (2019) جذب کل نیتروژن به طور قابل توجهی پس از کاربرد ضایعات بهبود یافت و در تیمار با بیشترین مقدار ضایعات چای، اثرهای معناداری در سطح احتمال ۵ درصد بر کربن آلی خاک، فسفر و پتاسیم قابل جذب مشاهده گردید. در یک آزمایش، پس از مخلوط کردن ضایعات با خاک، بیشترین میزان فسفر، پتاسیم و کلسیم در مخلوط حاوی سه قسمت کمپوست ضایعات چای و یک قسمت خاک مشاهده شد (Hassanpour & Ramezan, 2013).

بنابراین، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی عناصر غذایی موجود در چای می‌تواند وضعیت تغذیه‌ای گیاهان را بهبود بخشد (Koné et al., 2010). همچنین، آزمایش‌های Mahaly et al. (2018) نشان داد که دفع پسماند رسوب لجن باقی‌مانده‌های برگ چای شامل عناصر غذایی مهم گیاه مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم بود که در این آزمایش‌ها افزایش یافتند و نسبت C/N نیز با گذشت زمان افزایش یافت. در آزمایش‌های Wang et al. (2019) مشخص شد که کیفیت بستر در مزارع چای ۲۳ ساله به اوج خود رسید و پس از این زمان، کیفیت و نسبت C/N بستر کاهش معناداری را نشان داد که علت آن پیری طبیعی گیاهان چای بود. مطالعات مختلف نشان داده‌اند که استفاده از ضایعات چای می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر نسبت C/N و افزایش پتاسیم قابل جذب در خاک داشته باشد. برای مثال، در مطالعه‌ای استفاده از بیوپچار حاصل از ضایعات چای باعث کاهش نسبت C/N شد که نشان‌دهنده بهبود تجزیه مواد آلی و افزایش فعالیت میکروبی در خاک بود (Sial et al., 2019). در مطالعه‌ای دیگر گزارش شد که افزودن ضایعات برگ چای سیاه به خاک باعث افزایش غلظت پتاسیم قابل جذب گیاه در خاک شد که می‌تواند به بهبود تغذیه گیاه و افزایش عملکرد محصول کمک کند (Mezher & Almehanya, 2024). علاوه بر این، ضایعات چای باعث افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و بهبود فراهمی پتاسیم در خاک می‌شود که به افزایش حاصلخیزی خاک و بهبود رشد گیاهان کمک می‌کند (Zhao et al., 2022).

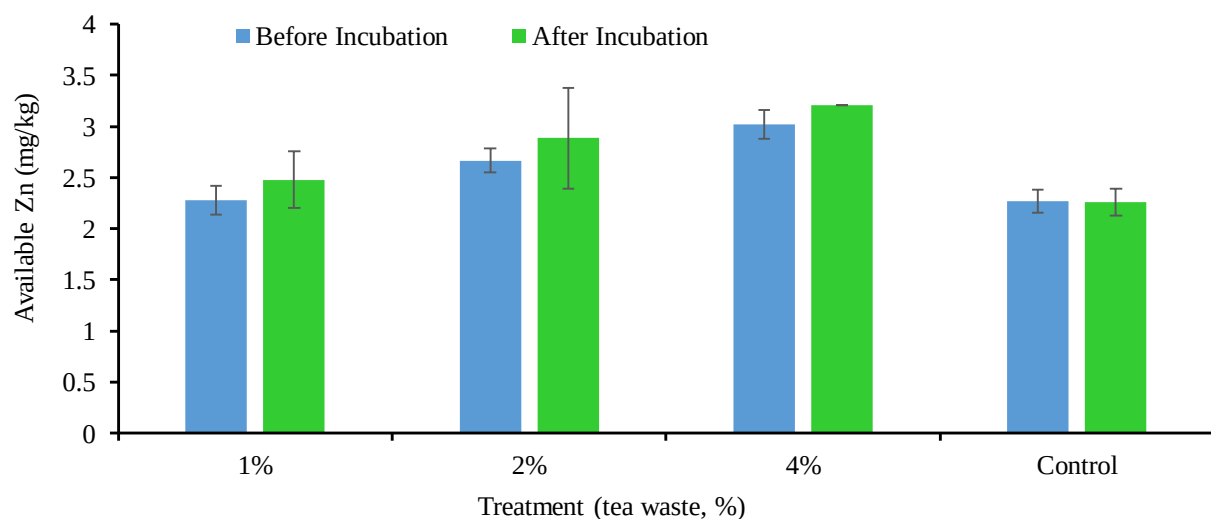
اثر ضایعات چای بر آهن و روی قابل جذب گیاه در خاک

تجزیه واریانس نشان داد که اثر ضایعات چای بر مقدار آهن قابل جذب گیاه در خاک قبل از دوره انکوباسیون از لحاظ آماری در سطح احتمال یک درصد معنادار شد (جدول ۵). مقادیر آهن قبل از دوره انکوباسیون با افزایش سطح مصرفی ضایعات چای، روند افزایشی داشت. مقدار آن در تیمار ۲ درصد، ۳۹/۱۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم و تیمار ۱ درصد ۳۳/۸۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. بیشترین مقدار آهن در تیمار ۴ درصد (۴۵/۷۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و کمترین مقدار آن در تیمار شاهد (۱۴/۴۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد. اثر ضایعات چای بر مقدار آهن بعد از دوره انکوباسیون نیز در سطح احتمال یک درصد معنادار گردید. در این حالت، تیمار ۱ درصد (۱۷/۶۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و تیمار ۲ درصد (۲۱/۶۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) تفاوت معناداری با یکدیگر نداشتند. کمترین مقدار آهن مربوط به تیمار شاهد (۱۰/۵۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و بیشترین مقدار مربوط به تیمار ۴ درصد (۳۷/۷۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود. به طور کلی، مقدار آهن هم قبل و هم بعد از انکوباسیون با اضافه کردن درصدهای مختلف ضایعات چای افزایش یافت (شکل ۹).



شکل ۹- اثر ضایعات چای در شرایط قبل و بعد از انکوباسیون بر آهن قابل جذب گیاه در خاک.

تجزیه واریانس نشان داد که اثر ضایعات چای بر مقدار روی قابل جذب گیاه در خاک بعد از دوره انکوباسیون از لحاظ آماری معنادار نبود (جدول ۶). با افزایش سطح مصرفی ضایعات چای، مقدار روی روند افزایشی داشت و مقدار آن در تیمار شاهد (۲/۲۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، ۱ درصد (۲/۲۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، ۲ درصد (۲/۶۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و ۴ درصد (۳/۰۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود. کمترین و بیشترین آن در تیمار ۱ و ۴ درصد ضایعات چای بود. مقدار روی قبل از دوره انکوباسیون از لحاظ آماری در سطح احتمال یک درصد معنادار بود (جدول ۵) و با افزایش سطح مصرفی ضایعات چای، بین تیمارهای شاهد و ۱ و ۲ درصد تفاوت معناداری وجود نداشت. مقدار روی با اضافه شدن درصد ضایعات چای مصرفی، روند افزایشی کمی داشت. مقدار روی قابل جذب در تیمارهای شاهد (۲/۲۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، ۱ درصد (۲/۴۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، ۲ درصد (۲/۸۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و ۴ درصد (۳/۲۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود. کمترین و بیشترین آن در تیمار شاهد و ۴ درصد ضایعات چای مشاهده شد (شکل ۱۰).



شکل ۱۰- اثر ضایعات چای در شرایط قبل و بعد از انکوباسیون بر روی قابل جذب گیاه در خاک.

در پژوهش (Yaylali & Tüysüz, 2009) برای بررسی تجمع فلزهای سنگین در خاکی که شامل ضایعات چای بود، همبستگی منفی بین pH و زیست‌فراهمی مس، سرب، روی، منگنز و آلومینیم در گیاه چای وجود داشت. در یک پژوهش، استفاده از ضایعات چای به عنوان بستر کشت قارچ، مقدار بالای آهن در مواد بستر را نشان داد که تأثیر معنادار مثبتی بر عملکرد داشت و بر غلظت سدیم، پتاسیم و روی نیز معنادار بود (Gulser & Peksen, 2003). لازم به ذکر است که غلظت کل فلزهای موجود در برگ چای با توجه به نوع چای (سبز یا سیاه) متفاوت است و احتمالاً تحت تأثیر عواملی نظیر سن برگ چای، ترکیب ژنتیکی گیاه، شرایط خاک، بارندگی و ارتفاع قرار دارد. در واقع، غلظت فلز موجود در برگ چای به نوع چای (سبز یا سیاه) و شرایط زمین‌شناسی وابسته است (Street et al., 2006). همچنین، در بررسی (Pakfetrat et al., 2020) عصاره چای، آهن و روی را در همه نمونه‌ها به‌طور قابل‌توجهی افزایش داد. Abedini et al. (2014) گزارش کردند که غلظت عناصر کم‌مصرف مثل آهن در بسترهایی که شامل چای به همراه مواد دیگر بود، افزایش قابل‌توجهی نسبت به سایر تیمارها داشتند. در مطالعه مشابه، Karak et al. (2017) گزارش کردند که میزان مس، آهن و روی از نمونه‌های چای سیاه تولید شده در آسام (هند) و آفریقای جنوبی متفاوت بود که نشان‌دهنده تفاوت مقدار آهن و روی در ضایعات مختلف چای بر حسب نوع گیاه، تعداد سال کشت شده، اقلیم منطقه و غیره بود. در حقیقت، هیچ‌یک از نمونه‌های چای بررسی شده در پژوهش‌های مختلف هند، استرالیا، انگلستان و ایالات متحده آمریکا دارای مقدار مشخصی از آهن و روی نیستند و طیف گسترده‌ای از آهن و روی در چای یافت شد که علت آن را می‌توان به ترکیب شیمیایی چای تولید شده در باغ‌های مختلف چای نسبت داد.

در تحقیقات مشابه، افزودن کمپوست ضایعات چای به خاک‌های قلیایی باعث افزایش آهن قابل‌جذب گیاه شد که به بهبود تغذیه گیاهان در شرایط خاک‌های با pH بالا کمک می‌کند (Morikawa & Saigusa, 2008). همچنین، گزارش شده که افزودن ضایعات برگ چای سیاه به خاک باعث افزایش غلظت روی گیاه گندم شد که می‌تواند به بهبود کیفیت تغذیه‌ای محصولات کشاورزی کمک کند (Mezher & Almeahanya, 2024). علاوه بر این، استفاده از ضایعات چای غنی‌شده با آهن و روی به عنوان کود در مرحله پنجه‌زنی برنج باعث افزایش غلظت آهن و روی در دانه‌های برنج گردید که نشان‌دهنده نقش ضایعات چای در بهبود غلظت مواد معدنی محصولات کشاورزی است (Morikawa & Saigusa, 2011). یافته‌های Bakoğlu & Çatal (2025) نشان داد که استفاده از ضایعات چای نه تنها بر کیفیت خاک تأثیر می‌گذارد، بلکه می‌تواند بر غلظت پروتئین، فیبر و عناصر معدنی همچون پتاسیم، فسفر و آهن در چای نیز مؤثر باشد. Zhang et al. (2025) به تأثیر مدیریت خاک و استفاده از ضایعات چای بر کیفیت نهایی چای اشاره دارند و نشان می‌دهند که بهبود شرایط خاک می‌تواند سبب افزایش کیفیت محصولات کشاورزی شود. این نتایج به‌خوبی با یافته‌های ما که نشان‌دهنده بهبود کیفیت خاک و در نهایت افزایش کیفیت گیاهان، پس از افزودن ضایعات چای به خاک است، همخوانی دارد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش به‌طور واضح نشان داد که افزودن ضایعات چای به خاک بر ویژگی‌های شیمیایی خاک اثرهای مثبت و معناداری داشت. این اثرها به‌طور خاص در بهبود کیفیت شیمیایی خاک، افزایش غلظت عناصر غذایی و عملکرد بهتر خاک قابل‌توجه بود. استفاده از ضایعات چای سبب کاهش pH و کاهش قابلیت هدایت الکتریکی (EC) خاک شد. همچنین، افزودن ضایعات چای موجب افزایش معنادار غلظت عناصر غذایی مانند آهن، روی، فسفر و پتاسیم قابل‌جذب، همچنین نیتروژن و ماده آلی در خاک شد. این افزایش عناصر غذایی به بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاهان و در نتیجه افزایش تولید

محصولات کشاورزی کمک می‌کند. علاوه بر این، بهبود عملکرد عناصر غذایی پرمصرف (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) و عناصر غذایی کم‌مصرف (آهن و روی) در خاک نسبت به خاک شاهد مشاهده شد. این بهبود کیفیت خاک و غلظت عناصر غذایی در نهایت می‌تواند سبب افزایش عملکرد و کیفیت محصولات کشاورزی شود. این یافته‌ها تأکید می‌کند که ضایعات چای نه تنها به عنوان یک منبع آلی ارزشمند برای بهبود کیفیت خاک عمل می‌کند، بلکه می‌تواند به عنوان یک راهکار پایدار در کشاورزی مدرن مورد استفاده قرار گیرد. به کارگیری این ضایعات به عنوان یک افزودنی طبیعی می‌تواند به بهبود سلامت خاک، افزایش بهره‌وری کشاورزی و کاهش نیاز به کودهای شیمیایی کمک کند و در عین حال باعث حفاظت از محیط‌زیست و پایداری کشاورزی شود.

تشکر و قدردانی

از حمایت‌های مادی و معنوی گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تهران تشکر می‌شود.

تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافی وجود ندارد و این مسئله مورد تأیید نویسندگان مقاله است.

منابع مورد استفاده

References

- Abdollahi Arshad, M., Rangzan, N., & Nadian Ghomsheh, H. (2023). Effect of spent tea waste, compost and biochar on some growth parameters and concentration of nitrogen, phosphorus and potassium in spinach (*Spinacia oleracea* L.) under salinity stress. *Journal of Plant Nutrition*, 47(7), 1029–1044. <https://doi.org/10.1080/01904167.2023.2292763>
- Abedini Abkeshri, H., Hashem Abadi, D., & Kavyani, B. (2014). Effect of root inoculation with phosphate-solubilizing bacteria in different planting substrates on some physiological indices and micro nutrient concentrations in *Pelargonium peltatum* cv. Red blizard. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 9(36), 58-70. (In Persian with English Abstract)
- Ahmadidehaj, M., Qasemnejad, M., Zavarah, M., & Shiri, M. (2012). Effect of tea waste and zeolite as a soilless cultivation substrate on growth and quality of tomato fruit. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 22(2), 56-65. (In Persian with English Abstract)
- Bakoğlu, A., & Çatal, M. İ. (2025). Impact of organic materials (tea waste and farm manure) on yield, protein content, fiber fractions, and mineral composition of tea plants in an organic system. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 56(4), 1232-1246. <https://doi.org/10.1080/00103624.2025.2452172>
- Blake, G. R., & Hartge, K. H. (1986). Bulk density. Pp. 363-382. In: A. Klute (Ed.), *Methods of soil analysis*. Part 1- *Physical and mineralogical methods*. Second ed., Agronomy Monograph 9, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, WI, USA.
- Bremner, J. M., & Mulvaney, C. S. (1982). Nitrogen- total. Pp. 595-624. In: A. L. Page, R. H. Miller, & D. R. Keeney (Eds.). *Methods of soil analysis*. Part 2, *Chemical and microbiological properties*. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, WI, USA.
- Carter, M., Gregorich, E., Adl, S., Acosta-Mercado, D. R., Anderson, T., & Lynn, D. H. (2007). *Soil sampling and methods of analysis*. CRC Press, 1264 pages.
- Chatterjee, R., Gajjala, S., & Thirumdasu, R. K. (2017). Recycling of organic wastes for sustainable soil health and crop growth. *International Journal of Waste Resources*, 7(3). <https://doi.org/10.4172/2252-5211.1000296>

- Gamage, D. N., Peiris, T., Kasthuriarachchi, I., Mohotti, K. M., & Biswas, A. (2025). Enhancing soil resilience to climate change: Long-term effects of organic amendments on soil thermal and physical properties in tea-cultivated Ultisols. *Sustainability*, 17(3), 1184. <https://doi.org/10.3390/su17031184>
- Glab, T., Źabiński, A., Sadowska, U., Gondek, K., Kopeć, M., Mierzwa-Hersztek, M., & Tabor, S. (2018). Effects of co-composted maize, sewage sludge, and biochar mixtures on hydrological and physical qualities of sandy soil. *Geoderma*, 315(1), 27-35. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.11.034>
- Gulser, C., & Peksen, A. (2003). Using tea waste as a new casing material in mushroom (*Agaricus bisporus* (L.) Sing.) cultivation. *Bioresource Technology*, 88, 153–156. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(02\)00279-1](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(02)00279-1)
- Hassanpour Asil, M., & Ramezan, D. (2013). Investigating the effect of scratching different cover soils on the production of button mushrooms. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 44(4), 1-8. (In Persian with English Abstract)
- Karak, T., Paul, R., Kutu, F., Mehra, A., Khare, P., Dutta, A., Bora, K., & Boruah, R. (2017). Comparative assessment of copper, iron, and zinc contents in selected Indian (Assam) and South African (Thohoyandou) tea (*Camellia sinensis* L.) samples and their infusion: A quest for health risks to consumer. *Biological Trace Element Research*, 175, 475–487. <https://doi.org/10.1007/s12011-016-0783-3>
- Kazemi, Sh., & Padash Dehkadeh, S. (2014). Study of the effects of silkworm manure compost on the growth characteristics of ornamental plant *Syngonium podophyllum*. In *First National Congress on Flowers and Ornamental Plants*, Karaj: National Research Institute of Flowers and Ornamental Plants, Mahalat, Iran. (In Persian with English Abstract)
- Kisinyo, P., et al. (2021). Carbon mineralization dynamics of organic materials and their usage in the restoration of degraded tropical tea-growing soil. *Agronomy*, 11(6), 1191. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061191>
- Klute, A., & Dirksen, C. (1986). Hydraulic conductivity and diffusivity- laboratory methods. Pp. 687-734. In: A. Klute (Ed.), *Methods of soil analysis. Part 1, Physical and mineralogical methods*. Second ed., Agronomy Monograph 9, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, WI, USA.
- Koné, S. B., Dionne, A., Tweddell, R. J., Antoun, H., & Avis, T. J. (2010). Suppressive effect of non-aerated compost teas on foliar fungal pathogens of tomato. *Biological Control*, 52, 167-173. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2009.10.018>
- Le, V. S., Lesueur, D., Herrmann, L., Hudek, L., Quyen, L. N., & Brau, L. (2021). Sustainable tea production through agroecological management practices in Vietnam: A review. *Journal of Environmental Sustainability*, 4, 589–604. <https://doi.org/10.1007/s42398-021-00182-w>
- Lindsay, W. L., & Norvell, W. A. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42, 421-428. <https://doi.org/10.2136/sssaj1978.03615995004200030014x>
- Luo, T., Zhu, Y., Lu, W., Chen, L., Min, T., Li, J., & Wei, C. (2021). Acidic compost tea enhances phosphorus availability and cotton yield in calcareous soils by decreasing soil pH. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science*, 71(8), 657-666. <https://doi.org/10.1080/09064710.2021.1933161>
- Mahaly, M., Senthilkumar, A. K., Arumugam, S., & Kaliyaperumal, C. (2018). Vermicomposting of distillery sludge waste with tea leaf residues. *Sustainable Environment Research*, 28, 223-227. <https://doi.org/10.1016/j.serj.2018.06.002>
- Mendoza, C., & Torres, F. (2025). Nitrogen mineralization in soils amended with tea leaf waste. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 25(1), 150–163.
- Mezher, Z. Y., & Almeahanya, F. H. (2024). Effect of potassium nitrate and black tea leaf waste on the chemical composition of wheat (*Triticum aestivum* L.). *SABRAO Journal of Breeding and Genetics*, 56(3), 1316–1323. <http://doi.org/10.54910/sabrao2024.56.3.39>

- Morikawa, C. K., & Saigusa, M. (2008). Recycling coffee and tea wastes to increase plant available Fe in alkaline soils. *Plant and Soil*, 304(1-2), 249–255. <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9544-1>
- Morikawa, C. K., & Saigusa, M. (2011). Recycling coffee grounds and tea leaf wastes to improve the yield and mineral content of grains of paddy rice. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(11), 2108–2111. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4444>
- Olsen, S. R., & Sommers, L. E. (1982). Phosphorus. In A. L. Page, R. H. Miller, & D. R. Keeney (Eds.), *Methods of soil analysis Part 2, chemical and microbiological properties*. Second ed., Agronomy Monograph 9, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, WI, USA.
- Page, A. L., Miller, R. H., & Keeney, D. R. (1982). *Methods of soil analysis Part 2, Chemical and microbiological properties*. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, WI, USA.
- Pakfetrat, S., Amiri, S., Radi, M., Abedi, E., & Torri, L. (2020). The influence of green tea extract as the steeping solution on nutritional and microbial characteristics of germinated wheat. *Food Chemistry*, 127288. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127288>
- Rhoades, J. D. (1982). Soluble salts. In A. L. Page (Ed.), *Methods of soil analysis Part 2, chemical and microbiological properties* (pp. 167-178). American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, WI, USA.
- Saberi, S., Minaei, S., Almasi, M., & Barghai, A. (2012). Effect of tea waste application as compost on some physical properties of soil. In: *First National Conference on Strategies for Achieving Sustainable Development*, Ministry of Interior, Tehran, Iran. (In Persian with English Abstract)
- Semiring, M., Mukhlis, M., Razali, R., & Hidayat, B. (2025). Exploring the diversity of cellulolytic microorganisms from tea factory waste and evaluating their potential in breaking down tea waste. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 26(1). <https://doi.org/10.13057/biodiv/d260137>
- Seth, D., Athparia, M., Singh, A., Rathore, D., Venkatramanan, V., Channashettar, V., Prasad, S., Maddirala, S., Sevda, S. & Kataki, R. (2023). Sustainable environmental practices of tea waste- A comprehensive review. *Environmental Science and Pollution Research*, 32, 1-19. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-30848-3>
- Sial, T., Liu, J., Zhao, Y., Khan, M., Lan, Z., Zhang, J., Kumbhar, F., Akhtar, K., & Rajpar, I. (2019). Co-application of milk tea waste and NPK fertilizers to improve sandy soil biochemical properties and wheat growth. *Molecules*, 24, 423. <https://doi.org/10.3390/molecules24020423>
- Street, R., Szakova, J., Drabek, O., & Mladkova. (2006). The status of micronutrients (Cu, Fe, Mn, Zn) in tea and tea infusions in selected samples imported to the Czech Republic. *Czech Journal of Food Sciences*, 24, 62–71. <https://doi.org/10.17221/3301-CJFS>
- Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37, 29-38. <https://doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003>
- Wang, S., Li, T., Zheng, Z., & Chen, H. (2019). Soil aggregate-associated bacterial metabolic activity and community structure in different aged tea plantations. *Science of the Total Environment*, 654, 1023–1032. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.145>
- Wang, S., Zhang, Z., & Ye, S. (2020). Response of soil fertility characteristics in water-stable aggregates to tea cultivation age in hilly region of southern Guangxi, China. *Catena*, 191, 104578. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104578>
- Wang, Z., Ahmad, W., Zhu, A., Zhao, S., Ouyang, Q., & Chen, Q. (2024). Recent advances review in tea waste: High-value applications, processing technology, and value-added products. *Science of the Total Environment*, 946, 174225. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174225>
- Wulansari, R., et al. (2021). Evaluation growth of tea seedling and population of azotobacter sp. from application compost of green tea factory waste. *International Journal of Natural Resource Ecology and Management*, 6(3), 119–125. <https://doi.org/10.11648/j.ijnrem.20210603.17>

- Yaylalı Abanuz, G., & Tüysüz, N. (2009). Heavy metal contamination of soils and tea plants in the eastern Black Sea region, NE Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 59, 131-144. <https://doi.org/10.1007/s12665-009-0154-2>
- Yin, J., Wang, J., Zhao, L., Cui, Z., Yao, S., Li, G., & Yuan, J. (2025). Compost tea: Preparation, utilization mechanisms, and agricultural applications potential—A comprehensive review. *Environmental Technology & Innovation*, 104137. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2025.104137>
- Yıldırım, G. H., Ay, E. B., & Şahin, M. D. (2025). The effects of tea wastes prepared using different composting methods on the seedling growth and selected biochemical properties of maize (*Zea mays* var. Indurata). *Food Science & Nutrition*, 13(8), e70670. <https://doi.org/10.1002/fsn3.70670>
- Zhang, S., Yamashita, H., & Ikka, T. (2025). Exploring from soil acidification to neutralization in tea plantations: Changes in soil microbiome and their impacts on tea quality. *Reviews in Agricultural Science*, 13(1), 66-80. https://doi.org/10.7831/ras.13.1_66
- Zhao, J.-J., Huang, X.-H., Hua, L.-L., Zhou, S.-S., Jiang, W., Tang, Y.-C., & Qian, J. (2022). Effects of tea residue biochar on phosphorus adsorption-desorption in soil. *Polish Journal of Environmental Studies*, 31(3), 2461–2471. <https://doi.org/10.15244/pjoes/143357>