Journal of Soil Management and Sustainable Production

Print ISSN: 2322-1267
Online ISSN: 2322-1275

Soil Science Society of Iran

Effect of integrated deep-hole fertilization management on some soil chemical and biological properties

Zaynab Abbasi-Karvaneh[1], Faranak Ranjbar[*2], Ali Beheshti-alagha[3], Rouhallah Sharifi[4], Hamidreza Chaghazardi[5]

1. M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, College of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: zeynababasi19960721@gmail.com
2. Corresponding Author, Assistant Prof., Dept. of Soil Science, College of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: f_ranjbar1980@yahoo.com
3. Associate Prof., Dept. of Soil Science, College of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: beheshtiali97@gmail.com
4. Assistant Prof., Dept. of Plant Protection, College of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: r.sharifi@razi.ac.ir
5. Assistant Prof., Dept. of Plant Genetics and Production, College of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: hamidrezachaghazardi@yahoo.com

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 09.20.2023
Revised: 05.05.2024
Accepted: 05.08.2024

Keywords:
Available Phosphorous,
Microbial respiration,
Organic matter,
Thiobacillus

ABSTRACT

Background and Objectives: Sustainable soil fertility management is one of the important components of soil management in the direction of sustainable agriculture. Accordingly, this research was conducted to investigate the effect of fertilizing fruit trees with different integrated treatments including organic, chemical, and biological fertilizers on some chemical and biological characteristics of the soil.

Materials and Methods: Before applying deep-hole fertilization treatments, soil samples were collected from two depths of 0-30 and 30-60 cm from the studied garden and their chemical (pH, EC, organic matter, and available phosphorus and potassium) and biological characteristics (basic respiration, microbial biomass carbon, substrate-induced respiration, and metabolic quotient) were determined. This research was conducted based on a factorial randomized complete block design. In early March 2020, experimental treatments were applied in the form of deep-hole fertilization as follows: completely rotten manure (A), manure + urea + ammonium phosphate + sequestrene iron chelate (B), manure + urea + ammonium phosphate + sequestrene + *Bacillus* liquid culture (C), manure + urea + ammonium phosphate + sequestrene + *Thiobacillus* + powdered sulfur (D), and manure + urea + ammonium phosphate + sequestrene + *Bacillus* + *Thiobacillus* + powdered sulfur (E). After harvesting the fruits in the summer of 2021, soil samples were taken from two depths of 0-30 and 30-60 cm from the inner wall of the fertilization holes using an auger. Chemical and biological characteristics in treated soils were measured and compared with those in control (before deep-hole fertilization).

Results: The range of pH varied from 7.24 to 7.56 at a depth of 0-30 cm and from 7.21 to 7.79 at a depth of 30-60 cm in treatment E and control, respectively. The results of the analysis of variance showed that the interaction effect of treatment and depth on soil pH value was significant ($P \leq 0.01$). The highest and lowest values of EC were observed in treatment E and control, respectively. The results of the analysis of variance showed that in addition to the effect of treatment, the effects of depth and

Uncorrected Proof

interaction of depth and treatment on the amount of soil organic matter were significant ($P \leq 0.01$). The organic and chemical fertilizers used in this study increased available phosphorus in treated soils compared to control. In addition, the ability of *Bacillus* and *Thiobacillus* bacteria to solubilize phosphate and reduce soil pH through sulfur oxidation were among the other factors that increased soil phosphorus in treatment E. There was a significant difference between the amount of available potassium in treatments and control ($P \leq 0.01$). With the increase in soil depth, the amount of basal respiration increased in the treated soils. The microbial biomass carbon at the depths of 0-30 and 30-60 cm was in the range of 550-668 and 493-724 mg C kg^{-1}, respectively, and the highest and lowest values in both depths were in treatment E and control.

Conclusion: The effect of treatments on increasing the amount of soil organic matter was significant. The amount of available phosphorus in the soil increased significantly compared to the control, while there was no significant difference between the values of this parameter in the treated soils. The amount of available potassium in the treated soils increased significantly compared to the control and this difference was more significant at the depth of 30-60 cm. The treatments significantly increased basal respiration, substrate-induced respiration, and microbial biomass carbon compared to the control, while their effect on metabolic quotient was not significant. The results showed that integrated fertilization management had the most significant impact on improving the chemical and biological quality of the soil.

Cite this article: Abbasi-Karvaneh, Zaynab, Ranjbar, Faranak, Beheshti-alagha, Ali, Sharifi, Rouhallah, Chaghazardi, Hamidreza. 2024. Effect of integrated deep-hole fertilization management on some soil chemical and biological properties. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 14 (3), 77-98.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/EJSMS.2024.21760.2120
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Uncorrected Proof

نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
شاپا چاپی: ۱۲۶۷-۲۳۲۲
شاپا آنلاین: ۱۲۷۵-۲۳۲۲
انجمن علوم خاک ایران

تأثیر مدیریت تلفیقی چالکود بر برخی ویژگی‌های شیمیایی و زیستی خاک

زینب عباسی کاروانه[۱]، فرانک رنجبر*[۲]، علی بهشتی آل آقا[۳]، روح‌الله شریفی[٤]، حمیدرضا چقازردی[٥]

۱. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: zeynababasi19960721@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: f_ranjbar1980@yahoo.com

۳. دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: beheshtiali97@gmail.com

٤. استادیار گروه گیاه‌پزشکی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه،ایران. رایانامه: r.sharifi@razi.ac.ir

۵. استادیار گروه مهندسی ژنتیک و تولید گیاهی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: hamidrezachaghazardi@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱٤۰۲/۰٦/۲۹
تاریخ ویرایش: ۱٤۰۳/۰۲/۱٦
تاریخ پذیرش: ۱٤۰۳/۰۲/۱۹

واژه‌های کلیدی:
تنفس میکروبی،
تیوباسیلوس،
فسفر فراهم،
ماده آلی

چکیده

سابقه و هدف: مدیریت پایدار حاصلخیزی خاک یکی از مؤلفه‌های مهم مدیریت خاک در راستای کشاورزی پایدار است که آگاهی از آن از طریق سنجش ویژگی‌های شیمیایی و زیستی امکان‌پذیر می‌باشد. بر این اساس، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر چالکود درختان میوه با تیمارهای تلفیقی مختلف از کودهای آلی، شیمیایی و زیستی بر برخی ویژگی‌های شیمیایی و زیستی خاک انجام گرفت.

مواد و روش‌ها: پیش از اعمال تیمارهای چالکود، نمونه‌های خاک از دو عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متری به‌صورت مرکب از باغ مورد مطالعه تهیه شدند و ویژگی‌های شیمیایی (pH، EC، ماده آلی و فسفر و پتاسیم فراهم) و زیستی (تنفس پایه، کربن زیست‌توده میکروبی، تنفس ناشی از سوبسترا و ضریب متابولیک) در آن‌ها اندازه‌گیری شدند. این پژوهش به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. اواسط اسفند ۱۳۹۸، تیمارهای آزمایشی به‌صورت چالکود در یک سوم بیرونی سایه‌انداز درختان به این صورت اعمال شدند: کود دامی کاملاً پوسیده (A)، کود دامی + اوره + دی آمونیوم فسفات + کلات آهن سکوسترین (B)، کود دامی + اوره + دی آمونیوم فسفات + کلات آهن سکوسترین + باکتری *باسیلوس* (C)، کود دامی + اوره + دی آمونیوم فسفات + کلات آهن سکوسترین + باکتری *تیوباسیلوس* + گوگرد پودری (D)، کود دامی + اوره + دی آمونیوم فسفات + کلات آهن سکوسترین + باکتری

Uncorrected Proof

باسیلوس + باکتری *تیوباسیلوس* + گوگرد پودری (E). پس از برداشت میوه‌ها در تابستان ۱۴۰۰، نمونه‌های خاک از دو عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متر و از دیواره داخلی محل چالکود با استفاده از اوگر تهیه شدند. ویژگی‌های شیمیایی و زیستی در خاک‌های تیمار شده اندازه‌گیری و با ویژگی‌های خاک قبل از چالکود (شاهد) مقایسه شدند.

یافته‌ها: دامنه pH در تیمار E و خاک شاهد به‌ترتیب از ۷/۲۴ تا ۷/۵۶ در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر و از ۷/۲۱ تا ۷/۷۹ در عمق ۶۰-۳۰ سانتی‌متری متغیر بود. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل تیمار و عمق بر pH خاک معنی‌دار بود ($P\leq$۰/۰۱). بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار EC به‌ترتیب در تیمار E و خاک شاهد مشاهده شد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که علاوه بر اثر تیمار، تأثیر عمق و اثر متقابل عمق و تیمار بر مقدار ماده آلی خاک معنی‌دار بود ($P\leq$۰/۰۱). کودهای آلی و شیمیایی باعث افزایش فسفر فراهم در خاک‌های تیمار شده نسبت به شاهد شدند. هم‌چنین، توانایی باکتری‌های *باسیلوس* و *تیوباسیلوس* در حل کردن فسفات و کاهش pH خاک از طریق اکسیداسیون گوگرد، از دیگر عوامل مؤثر بر افزایش فسفر خاک در تیمار E بود. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین مقدار پتاسیم فراهم در خاک‌های تیمار شده و شاهد تفاوت معنی‌داری وجود داشت ($P\leq$۰/۰۱). با افزایش عمق خاک، میزان تنفس پایه در خاک‌های تیمار شده، افزایش و در خاک شاهد، کاهش یافت. کربن زیست‌توده میکروبی در اعماق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متر به ترتیب در محدوده ۶۶۸-۵۵۰ و ۷۲۴-۴۹۳ میلی‌گرم کربن در کیلوگرم خاک قرار داشت و بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار در هر دو عمق به ترتیب در تیمار E و خاک شاهد به‌دست آمد.

نتیجه‌گیری: اثر تیمارهای چالکود بر افزایش مقدار ماده آلی خاک معنی‌دار بود. مقدار فسفر فراهم خاک پس از چالکود به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش پیدا کرد، در حالی‌که بین مقادیر این پارامتر در خاک‌های چالکود شده، تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. مقدار پتاسیم فراهم در خاک‌های چالکود شده به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش یافت و این تفاوت در عمق ۶۰-۳۰ سانتی‌متری چشمگیرتر بود. تیمارهای چالکود به‌طور معنی‌داری تنفس پایه، تنفس ناشی از سوبسترا و کربن زیست‌توده میکروبی را نسبت به شاهد افزایش دادند، در حالی‌که اثر آن‌ها بر ضریب متابولیک معنی‌دار نبود.

استناد: عباسی کاروانه، زینب، رنجبر، فرانک، بهشتی آل آقا، علی، شریفی، روح‌الله، چقازردی، حمیدرضا (۱۴۰۳). تأثیر مدیریت تلفیقی چالکود بر برخی ویژگی‌های شیمیایی و زیستی خاک. *نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار*، ۱۴ (۳)، ۹۸-۷۷.
DOI: 10.22069/EJSMS.2024.21760.2120

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
© نویسندگان.

Uncorrected Proof

مقدمه

در سال‌های اخیر، استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی و عدم توجه به اهمیت و اثرات مثبت مواد آلی در بهبود حاصلخیزی خاک‌های کشاورزی موجب آلودگی‌های محیطی و صدمات اکولوژیک، کاهش کیفیت تولیدات کشاورزی و از بین رفتن منابع تجدیدناپذیر مورد استفاده در تولید کودهای معدنی شده است. نگرانی‌های فزاینده عمومی در مورد سلامت انسان به سبب اثرات نامطلوب مواد شیمیایی مصنوعی خطرناک و استفاده گسترده از کودهای معدنی، بخش کشاورزی را تشویق به جستجوی جایگزین‌های ایمن و سازگار با محیط زیست کرده است (۱).

مصرف کودهای آلی و شیمیایی به‌صورت تلفیقی می‌تواند شرایط مناسب و ایده‌آل را برای رشد گیاه فراهم نماید. کودهای آلی با تولید هوموس، عوارض نامطلوب کودهای شیمیایی را کاهش و کارایی مصرف کود را افزایش می‌دهند (۲). یکی از مهم‌ترین اصول مدیریت خاک در نظام‌های کشاورزی پایدار، استفاده از بقایای محصولات زراعی، کودهای حیوانی، کمپوست‌ها و سایر کودهای آلی در جهت افزایش مواد آلی خاک می‌باشد. در مقابل اثرات کوتاه‌مدت کودهای شیمیایی در تغذیه گیاه، کودهای آلی در بازه زمانی طولانی‌تر، عناصر غذایی مورد نیاز را در اختیار گیاه قرار می‌دهند (۳). علاوه‌بر آن، کودهای آلی موجب بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند ساختمان و ظرفیت نگهداشت آب، ویژگی‌های شیمیایی خاک مانند افزایش کربن آلی و قابلیت دسترسی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه و هم‌چنین، ویژگی‌های زیستی خاک مانند افزایش زیست‌توده میکروبی، تنفس میکروبی و فعالیت آنزیم‌هایی مانند فسفاتاز، پروتئاز و دهیدروژناز می‌شوند (٤). لازم به ذکر است که ماده آلی در بیش‌تر خاک‌های ایران به‌جز مناطقی در شمال کشور، بسیار ناچیز (کم‌تر از یک درصد) است و با حد مطلوب آن (سه درصد)، فاصله زیادی دارد (۵).

کودهای زیستی نیز بخش ضروری از صنعت کشاورزی در عصر مدرن را تشکیل می‌دهند و برای تولید و اقتصاد کشاورزی در مقیاس جهانی از اهمیت زیادی برخوردار هستند. این کودها حاوی ریزجانداران زنده هستند که اگر در خاک و یا سطح ریشه یا بذر مورد استفاده قرار گیرند، موجب افزایش رشد گیاه خواهند شد. باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه (PGPR)[1] از جمله ریزجانداران مورد استفاده در ساختن کودهای زیستی محسوب می‌شوند. این گروه از باکتری‌ها قادر هستند از طریق روش‌های مستقیم یا غیرمستقیم بر رشد گیاه اثرگذار باشند. اثر مستقیم شامل تولید یا رهاسازی متابولیت‌های ثانویه مانند تنظیم‌گرها یا هورمون‌های رشدی و یا تسهیل جذب عناصر غذایی از محیط رشد گیاه است، اما اثر غیرمستقیم PGPR بر تحریک رشد گیاه زمانی رخ می‌دهد که اثرات زیان‌بار یک یا چندین عوامل بیماری‌زا کاهش یابد و یا به‌طورکامل متوقف شود (٦). این باکتری‌ها از راه‌های مختلف مانند تثبیت نیتروژن اتمسفری، تولید سیدروفورهای کلات‌کننده آهن و افزایش قابلیت دسترسی آن برای گیاهان، انحلال کانی‌های حاوی فسفر، تولید هورمون‌های رشد و سنتز برخی ترکیبات یا آنزیم‌های مؤثر بر رشد سبب افزایش رشد گیاهان می‌شوند. تحریک رشد گیاهان به‌وسیله این باکتری‌ها با افزایش مقاومت آن‌ها در برابر عوامل بیماری‌زای گیاهی همراه است (۷).

به‌طور خلاصه، مزایای کاربرد کودهای آلی و زیستی شامل عدم وابستگی به صنایع نفت و پتروشیمی، صرفه‌جویی در هزینه تأمین نهاده‌های تولید، کاهش در پرداخت یارانه تهیه و توزیع کود شیمیایی، کاهش مشکلات زیست‌محیطی و بهداشتی،

1- Plant growth-promoting rhizobacteria

Uncorrected Proof

حفظ و توسعه باروری خاک، تولید محصولات سالم و بدون آلودگی شیمیایی، عدم ایجاد آلودگی در خاک و آب، افزایش بهره‌وری اقتصادی و عملیاتی، افزایش حاصلخیزی خاک، ایجاد تعادل پایدار در سیستم‌های تولید کشاورزی و کاهش حجم کود مورد نیاز تا ۳٦ درصد معمول (صرفه‌جویی در هزینه‌های حمل، انبارداری، توزیع و مصرف) می‌باشند (٦).

کشاورزی سهم عمده‌ای از درآمد ملی را به خود اختصاص داده است. امروزه، افزایش جمعیت و تغذیه جمعیت رو به رشد، تلاش و نوآوری بیش‌تری را برای افزایش تولید محصولات کشاورزی می‌طلبد. برای اطمینان از تولید محصولات کشاورزی و باغی با کیفیت، رشد اقتصادی، حفظ و پایداری تنوع زیستی و تأمین نیاز غذایی جمعیت رو به رشد، روش‌های مدیریتی مناسب مورد نیاز هستند. حفظ و بهبود کیفیت حاصلخیزی خاک در طول زمان، چالشی برای کشاورزی مدرن محسوب می‌شود. از این‌رو، مدیریت پایدار حاصلخیزی خاک یکی از مؤلفه‌های مهم مدیریت خاک در راستای کشاورزی پایدار است. آگاهی از وضعیت حاصلخیزی خاک از طریق سنجش ویژگی‌های شیمیایی و زیستی امکان‌پذیر می‌باشد. بر این اساس، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر چالکود درختان میوه با تیمارهای تلفیقی مختلف از کودهای آلی، شیمیایی و زیستی بر برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی خاک انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

آنالیزهای شیمیایی و زیستی خاک: اواخر دی‌ماه ۱۳۹۸ و پیش از اعمال تیمارهای چالکود، نمونه‌های خاک از دو عمق ۳۰-۰ و ٦۰-۳۰ سانتی‌متری به‌صورت مرکب از باغ مورد مطالعه تهیه و سپس به آزمایشگاه منتقل شدند. بخشی از نمونه‌ها برای اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی، هواخشک و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. بخش دیگر به‌منظور اندازه‌گیری برخی شاخص‌های زیستی در دمای ٤ درجه سلسیوس در یخچال نگهداری گردید. ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی نمونه‌ها شامل بافت، pH، هدایت الکتریکی، کربنات کلسیم معادل، ماده آلی، فسفر و پتاسیم فراهم با روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شدند (۸). هم‌چنین، شاخص‌های زیستی شامل تنفس پایه[1] (۹)، کربن زیست‌توده میکروبی[2] (۱۰)، تنفس برانگیخته با سوبسترا[3] (۱۱) و ضریب متابولیک[4] (۱۲) مورد سنجش قرار گرفتند. کلاس بافت خاک در هر دو عمق از نوع رسی و کربنات کلسیم معادل در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر برابر ۲۱ درصد و در عمق ٦۰-۳۰ سانتی‌متر برابر ۲۹ درصد بود. سایر ویژگی‌های خاک قبل از چالکود به عنوان شاهد با ویژگی‌های خاک‌های تیمار شده با چالکودهای مختلف مورد مقایسه قرار گرفت.

تیمارهای کودی: این پژوهش به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با ۵ تیمار در ۳ بلوک به‌صورت جداگانه روی درختان هلو و شلیل با میانگین سنی ۷ ساله اجرا شد. اواسط اسفند ۱۳۹۸، تیمارهای آزمایشی به صورت چالکود در یک سوم بیرونی سایه‌انداز درختان به شرح زیر اعمال شدند:

۱) کود دامی کاملاً پوسیده (A)

۲) کود دامی + اوره + دی آمونیوم فسفات + کلات آهن سکوسترین (B)

۳) کود دامی + اوره + دی آمونیوم فسفات + کلات آهن سکوسترین + باکتری *باسیلوس* (C)

٤) کود دامی + اوره + دی آمونیوم فسفات + کلات آهن سکوسترین + باکتری *تیوباسیلوس* + گوگرد پودری (D)

1- Basal respiration
2- Microbial biomass carbon
3- Substrate-induced respiration
4- Metabolic quotient

Uncorrected Proof

۵) کود دامی + اوره + دی آمونیوم فسفات + کلات آهن سکوسترین + باکتری *باسیلوس* + باکتری *تیوباسیلوس* + گوگرد پودری (E)

کود گاوی کاملاً پوسیده به عنوان بستر اصلی چالکود درختان در تیمارهای مختلف مورد استفاده قرار گرفت. کودهای اوره، دی آمونیوم فسفات و سکوسترین ۱۳۸ به ترتیب به میزان ۱۰۰، ۵۰ و ۱۰۰ گرم برای هر اصله درخت در تیمارهای B تا E مورد استفاده قرار گرفتند. گوگرد پودری به میزان ۲۰۰ گرم برای هر درخت در تیمارهای D و E مورد استفاده قرار گرفت. کود اوره به صورت سرک در دو مرحله (بلافاصله پس از ریزش گلبرگ‌ها و فندقی شدن میوه) و در هر مرحله به میزان ۲۰۰ گرم در فصل بهار به خاک پای هر درخت در تیمارهای B تا E اضافه شد و پس از آن، آبیاری انجام گرفت. کودهای زیستی شامل بیوسولفور حاوی *تیوباسیلوس* به میزان ۵ گرم برای هر درخت در تیمارهای D و E و *باسیلوس* مایع حاوی 10^8 CFU/mL سویه INR7 و سویه ٥٦ در محیط کشت NB به میزان یک میلی‌لیتر در یک لیتر آب برای هر درخت در تیمارهای C و E به همراه چالکود استفاده شدند.

جمع‌آوری نمونه خاک‌های تیمار شده و آنالیز داده‌ها: پس از برداشت میوه‌ها در تابستان ۱٤۰۰، نمونه‌های خاک از دو عمق ۳۰-۰ و ٦۰-۳۰ سانتی‌متر و از دیواره داخلی محل چالکود با استفاده از اوگر برداشته شدند. نمونه‌برداری از پنج تیمار در سه بلوک برای درختان هلو و شلیل صورت گرفت؛ به طوری‌که ۱۵ نمونه مرکب (۵ تیمار در سه بلوک) برای عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر و ۱۵ نمونه مرکب برای عمق ٦۰-۳۰ سانتی‌متر برای انجام آزمایش‌های مورد نظر آماده شدند. ویژگی‌های شیمیایی شامل pH، هدایت الکتریکی، ماده آلی و فسفر و پتاسیم فراهم و ویژگی‌های زیستی شامل تنفس پایه، کربن زیست‌توده میکروبی، تنفس برانگیخته با سوبسترا و ضریب متابولیک در آن‌ها اندازه‌گیری شدند. ویژگی‌های بیوشیمیایی خاک‌های تیمار شده با ویژگی‌های خاک قبل از چالکود (شاهد) مقایسه شدند.

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد به کمک نرم‌افزار SAS انجام شد.

نتایج و بحث

تأثیر تیمارهای کودی و عمق بر ویژگی‌های شیمیایی خاک: نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای کودی مختلف و عمق بر ویژگی‌های شیمیایی خاک پس از چالکود درختان در جدول ۱، میانگین این پارامترها در هر تیمار در جدول ۲ و نتایج مقایسه میانگین در شکل‌های ۱ تا ۵ ارائه شده‌اند.

تأثیر تیمارهای کودی و عمق بر pH خاک: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین pH خاک در تیمارهای کودی و عمق‌های مختلف وجود داشت ($P\leq$۰/۰۱) (جدول ۱). دامنه این پارامتر در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری از ۷/۲٤ تا ۷/٥٦ و در عمق ٦۰-۳۰ سانتی‌متری از ۷/۲۱ تا ۷/۷۹ به ترتیب در تیمار E و خاک شاهد متغیر بود (در جدول ۲ و شکل ۱). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل تیمار کودی و عمق نیز بر مقدار pH خاک معنی‌دار بود ($P\leq$۰/۰۱) (جدول ۱). pH خاک معیاری از قلیائیت یا اسیدیته خاک و بیانگر فعالیت یون هیدروکسیل (OH^-) یا یون هیدروژن (H^+) است و یک راهنمای مناسب جهت تشخیص کمبودهای احتمالی عناصر در خاک به شمار می‌رود (۱۳).

Uncorrected Proof

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر تیمار کودی و عمق بر ویژگی‌های شیمیایی خاک.

Table 1. ANOVA (mean of squares) for the effect of fertilization treatment and depth on soil chemical properties.

پتاسیم فراهم Available K	فسفر فراهم Available P	ماده آلی OM	هدایت الکتریکی EC	pH	درجه آزادی Df	منابع تغییر S.O.V
1091^{ns}	3.235^{ns}	0.0199^{ns}	0.0019^{ns}	0.0005^{ns}	2	بلوک Block
3196^{**}	617.4^{**}	0.2036^{**}	0.0703^{**}	0.1696^{**}	5	تیمار کودی Fertilization treatment (F)
31524^{**}	0.0803^{ns}	2.9469^{**}	0.0071^{ns}	0.0022^{ns}	1	عمق Depth (D)
384.5^{ns}	22.11^{ns}	0.4469^{**}	0.0011^{ns}	0.0218^{**}	5	تیمار کودی×عمق F×D
627.5	10.33	0.0473	0.0020	0.0053	22	خطا Error
					35	کل Total

^{ns} و ** به ترتیب عدم معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

^{ns} and ** non-significant and significant at $P \leq 0.01$, respectively

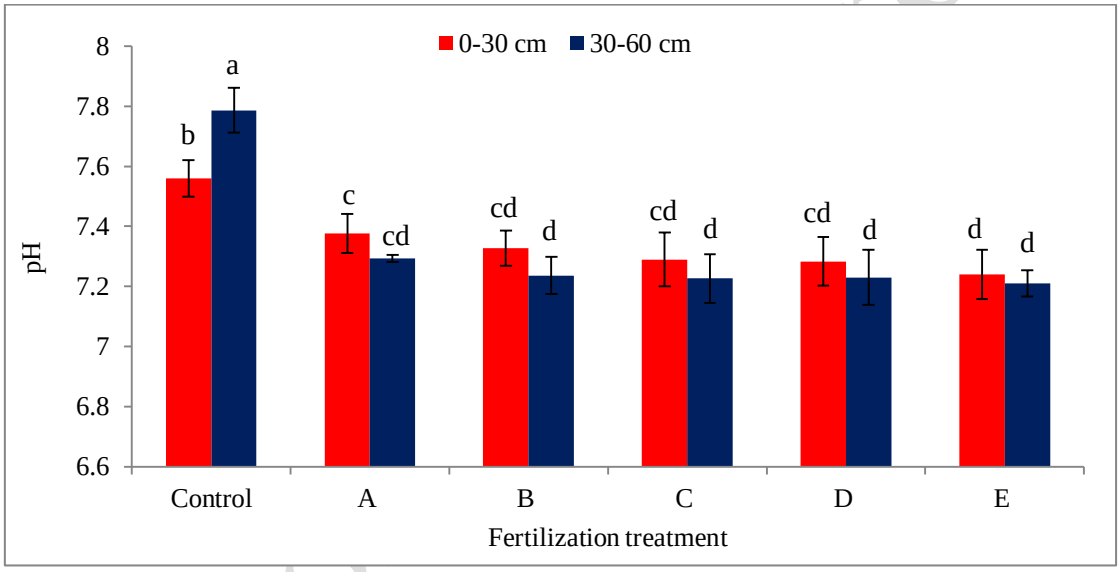
جدول ۲- ویژگی‌های شیمیایی خاک تأثیر تیمار کودی و عمق.

Table 2. Soil chemical properties as affected by fertilization treatment and depth.

پتاسیم فراهم Available K ($mg\ kg^{-1}$)	فسفر فراهم Available P ($mg\ kg^{-1}$)	ماده آلی OM (%)	هدایت الکتریکی EC ($dS\ m^{-1}$)	pH	عمق Depth (cm)	تیمارها Treatments
312	16.3	2.23	0.233	7.56	0-30	Control
231	8.5	1.69	0.215	7.79	30-60	
318	34.0	1.79	0.423	7.38	0-30	A
277	35.6	2.64	0.438	7.29	30-60	
334	35.3	1.83	0.438	7.33	0-30	B
285	37.1	2.66	0.467	7.24	30-60	
342	36.2	1.90	0.446	7.29	0-30	C
294	38.3	2.68	0.479	7.23	30-60	
366	37.1	2.06	0.484	7.28	0-30	D
294	38.6	2.75	0.536	7.23	30-60	
366	38.9	2.09	0.491	7.24	0-30	E
302	39.0	2.91	0.549	7.21	30-60	

Uncorrected Proof

به دنبال تجزیه مواد آلی توسط ریزجانداران خاک، مقدار زیادی اسید آلی تولید می‌شود که با گذشت زمان موجب کاهش pH خاک می‌گردد (۱٤). از سوی دیگر، تنفس ریزجاندران ریزوسفر و سلول‌های ریشه منجر به تولید گاز دی‌اکسید کربن می‌شود که یکی دیگر از عوامل افزایش اسیدیته خاک است (۱۵). فعالیت باکتری‌های *باسیلوس* و *تیوباسیلوس* در خاک و تولید اسیدهای آلی و متابولیت‌های ثانویه نیز موجب کاهش pH خاک می‌شود که افزایش فراهمی و جذب عناصری مانند نیتروژن و فسفر را به دنبال دارد. ریزجانداران با اکسیداسیون ناقص قندها و الکل‌ها و تولید اسید آلی به کاهش pH خاک کمک می‌کنند (۱٦). اکسایش گوگرد و تولید اسید سولفوریک نیز موجب کاهش pH در خاک می‌شود (۱۷). نتایج نشان داد که با افزایش عمق، مقدار pH خاک در همه تیمارها کاهش یافت. می‌توان گفت افزایش فشار جزئی گاز دی اکسید کربن در اثر تجزیه مواد آلی چالکود شده در لایه زیرین موجب افزایش حلالیت کربنات کلسیم و کاهش pH در لایه ۶۰-۳۰ سانتی‌متری خاک شده است.



شکل ۱- تأثیر تیمار کودی و عمق بر pH خاک.

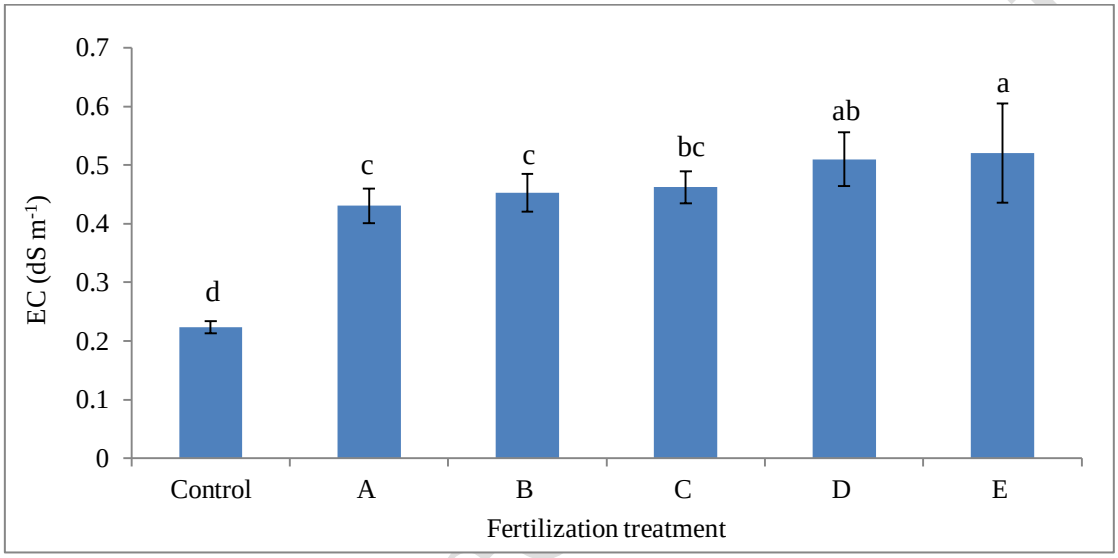
Figure 1. Effect of fertilization treatment and depth on soil pH.

حروف نامشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار (P≤۰/۰۵) بر اساس آزمون دانکن و میله‌ها بیانگر انحرف معیار می‌باشند

Dissimilar letters indicate significant difference (P≤0.05) according to Duncan test and bar show standard deviation

تأثیر تیمارهای کودی و عمق بر EC خاک: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای کودی مختلف بر EC خاک معنی‌دار بود (P≤۰/۰۱)، اما اثر عمق و اثر متقابل آن‌ها بر این پارامتر معنی‌دار نبود (جدول ۱). مقدار هدایت الکتریکی در خاک‌های شاهد و تیمار شده در شکل ۲ ارائه شده است. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار هدایت الکتریکی، ۰/۵۲ و ۰/۲۲ دسی‌زیمنس بر متر، به ترتیب مربوط به تیمار E و شاهد بود. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین EC شاهد و تیمار E وجود داشت (شکل ۲). رهاسازی کاتیون‌ها و آنیون‌های معدنی از کودهای دامی، اوره و دی آمونیوم فسفات، تفکیک اسیدهای آلی آزاد شده در اثر تجزیه کود دامی به بازهای مزدوج و تشکیل آنیون‌های آلی محلول،

افزایش حلالیت فسفر و پتاسیم در اثر فعالیت باکتری‌های *باسیلوس* و تبدیل گوگرد عنصری به آنیون سولفات در اثر فعالیت باکتری‌های *تیوباسیلوس* موجب افزایش هدایت الکتریکی شده است. از سوی دیگر، عوامل مؤثر بر کاهش pH در تیمار E، افزایش حلالیت عناصری مانند فسفر و آهن و در نتیجه، افزایش هدایت الکتریکی را به دنبال داشته است. احمدی و همکاران (۱۸) با بررسی تأثیر کود ورمی‌کمپوست به همراه گوگرد و باکتری *تیوباسیلوس* بر ویژگی‌های خاک گزارش کردند که کاربرد جداگانه و تلفیقی موارد ذکر شده موجب افزایش هدایت الکتریکی در خاک گردید. شهدی‌کومله (۲۰۲۰) بیان نمود که کاربرد باکتری‌های محرک رشد در خاک موجب افزایش هدایت الکتریکی شد (۱۵).



شکل ۲- تأثیر تیمار کودی بر EC خاک.

Figure 2. Effect of fertilization treatment on soil EC.

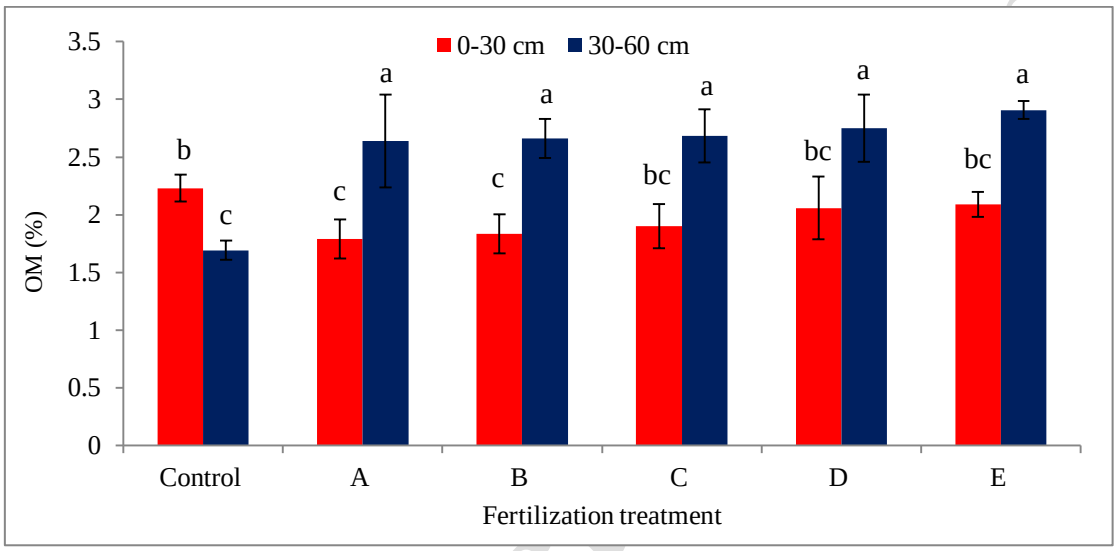
حروف نامشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار (P≤۰/۰۵) بر اساس آزمون دانکن و میله‌ها بیانگر انحرف معیار می‌باشند

Dissimilar letters indicate significant difference (P≤0.05) according to Duncan test and bar show standard deviation

تأثیر تیمارهای کودی و عمق بر ماده آلی خاک:

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تفاوت معنی‌داری از نظر مقدار ماده آلی خاک بین تیمارهای کودی و عمق‌های مختلف وجود داشت (P≤۰/۰۱) (جدول ۱). مقدار ماده آلی خاک در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری، از ۲/۰۹ تا ۲/۲۳ درصد متغیر بود که بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار آن به ترتیب برای خاک شاهد و تیمار E به‌دست آمد. دامنه این پارامتر در عمق ۶۰-۳۰ سانتی‌متری، ۲/۹۰-۱/۶۹ درصد بود که برخلاف لایه اول، بیش‌ترین مقدار در تیمار E و کم‌ترین مقدار در خاک شاهد اندازه‌گیری شد (جدول ۲ و شکل ۳). بیش‌تر بودن مقدار ماده آلی در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک شاهد نسبت به خاک‌های تیمار شده می‌تواند به‌دلیل مصرف سطحی کودهای آلی در باغ مورد مطالعه در طی سال‌های گذشته باشد. به‌طور کلی، در بیش‌تر خاک‌ها، مقدار ماده آلی با افزایش عمق از سطح کاهش می‌یابد (۱۹). اما با توجه به این‌که کودهای آلی و زیستی به صورت چالکود مورد استفاده قرار گرفتند، افزایش ماده آلی خاک در عمق ۶۰-۳۰ سانتی‌متر نسبت به عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر

توجیه‌پذیر است. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که علاوه بر اثرات ساده، اثر متقابل عمق و تیمار کودی بر مقدار ماده آلی خاک معنی‌دار بود (P≤۰/۰۱) (جدول ۱). زندی و همکاران (۲۰۲۱) با بررسی ویژگی‌های شیمیایی خاک پس از کاربرد تیمارهای آلی و شیمیایی به روش چالکود گزارش کردند که مقدار ماده آلی در عمق ۶۰-۳۰ بیش‌تر از لایه ۳۰-۰ سانتی‌متری بود (۲۰). ژائو و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند که با افزودن کودهای آلی و زیستی، کیفیت بیوشیمیایی خاک به طور قابل‌توجهی در مقایسه با آن‌چه که تنها با افزودن کود شیمیایی مشاهده شد، افزایش یافت (۲۱).



شکل ۳- تأثیر تیمار کودی و عمق بر ماده آلی خاک.

Figure 3. Effect of fertilization treatment and depth on soil organic matter.

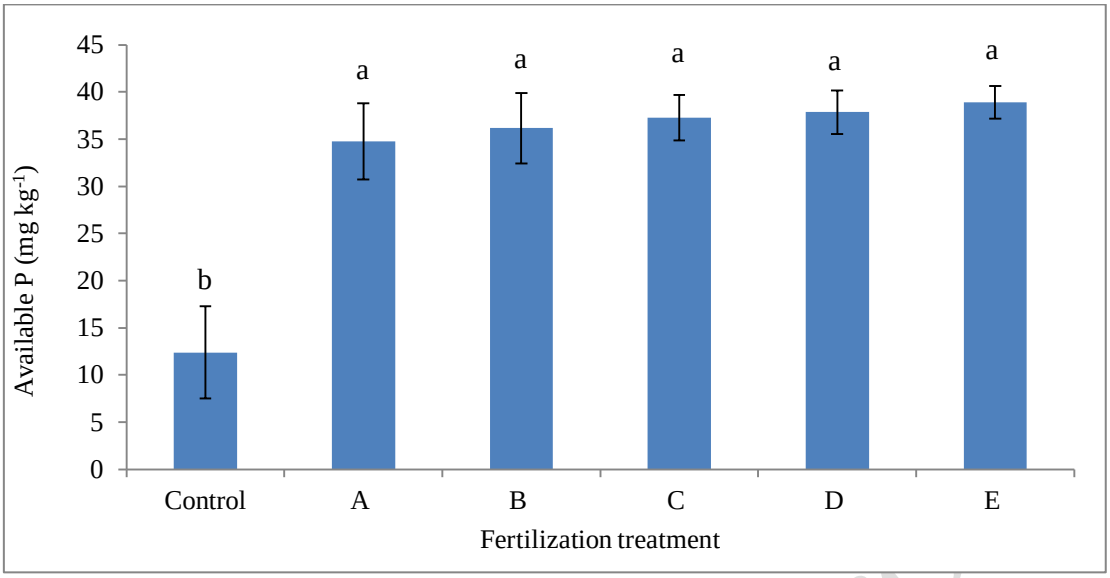
حروف نامشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار (P≤۰/۰۵) بر اساس آزمون دانکن و میله‌ها بیانگر انحرف معیار می‌باشند

Dissimilar letters indicate significant difference (P≤0.05) according to Duncan test and bar show standard deviation

تأثیر تیمارهای کودی و عمق بر فسفر فراهم خاک:

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین فسفر فراهم در تیمارهای کودی مختلف وجود داشت (P≤۰/۰۱)، اما اثر عمق و اثر متقابل تیمار کودی و عمق بر این پارامتر معنی‌دار نبود (P>۰/۰۵) (جدول ۱). مقدار فسفر فراهم از ۱۲/٤ میلی‌گرم در کیلوگرم در خاک شاهد تا ۳۸/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم در تیمار E متغیر بود (شکل ٤). کودهای آلی و شیمیایی موجب افزایش فسفر فراهم نسبت به شاهد شدند. رهاسازی اسیدهای آلی مانند اسید سیتریک و اسید اگزالیک از کود آلی می‌تواند به انحلال ترکیبات معدنی فسفر کمک کند. علاوه براین، توانایی باکتری‌های *باسیلوس* و *تیوباسیلوس* به ترتیب در حل‌کنندگی فسفات و کاهش pH خاک از طریق اکسایش گوگرد از دیگر عوامل افزایش فسفر فراهم خاک در تیمار E بودند. این نتیجه با یافته‌های کاسادو-ولا و همکاران (۲۰۰٦) و ساها و همکاران (۲۰۰۷) مطابقت داشت (۲۲ و ۲۳).

Uncorrected



شکل ٤- تأثیر تیمار کودی بر فسفر فراهم خاک.

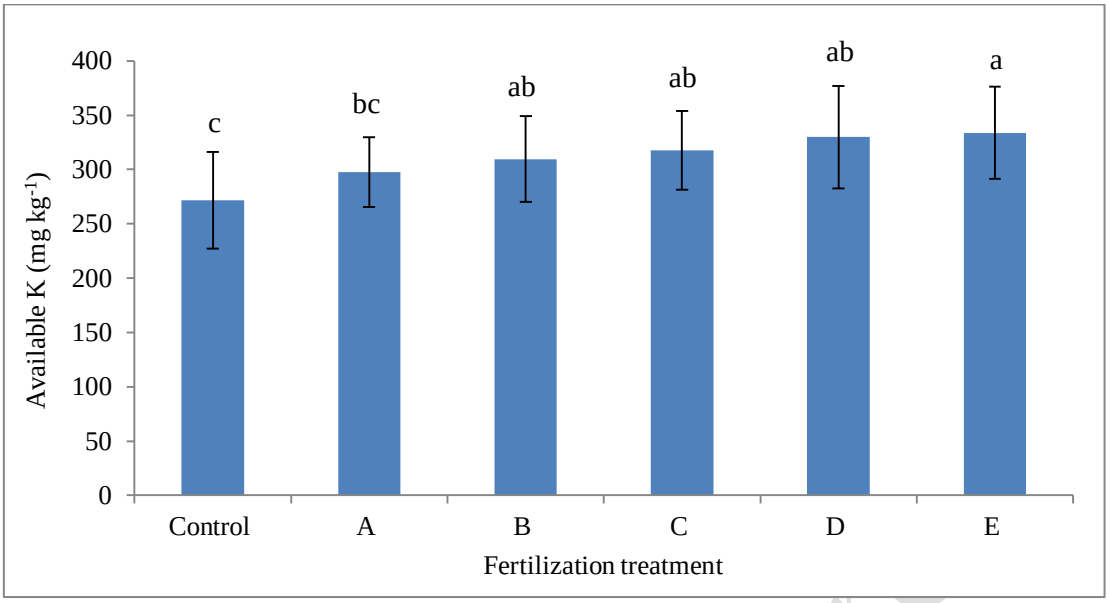
Figure 4. Effect of fertilization treatment on soil available P.

حروف نامشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار (P≤۰/۰۵) بر اساس آزمون دانکن و میله‌ها بیانگر انحرف معیار می‌باشند

Dissimilar letters indicate significant difference (P≤0.05) according to Duncan test and bar show standard deviation

تأثیر تیمارهای کودی و عمق بر پتاسیم فراهم خاک: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده تیمار کودی و عمق بر مقدار پتاسیم فراهم خاک معنی‌دار بودند (P≤۰/۰۱)، در حالی‌که اثر متقابل آن‌ها بر این پارامتر معنی‌دار نبود (جدول ۱). بیش‌ترین مقدار پتاسیم فراهم (۳۳٤ میلی‌گرم در کیلوگرم) در تیمار E و کم‌ترین مقدار آن (۲۷۱ میلی‌گرم در کیلوگرم) در خاک شاهد اندازه‌گیری شد (شکل ۵). بالا بودن مقدار پتاسیم در تیمار E به علت کاربرد کود دامی به عنوان منبع حاوی پتاسیم و توانایی باکتری‌های *باسیلوس* و *تیوباسیلوس* در رهاسازی پتاسیم از کانی‌های پتاسیم‌دار در خاک است (۱۸ و ۲۱). افزایش پتاسیم فراهم در اثر کاربرد کودهای آلی به رهاسازی پتاسیم موجود در آن‌ها و تأثیر مولکول‌های آلی بر آزادسازی پتاسیم از کانی‌ها خاک نسبت داده می‌شود. هم‌چنین، کلسیم وجود در کودهای آلی می‌تواند در باز شدن لایه‌های کانی‌های تثبیت‌کننده پتاسیم و آزاد شدن پتاسیم نقش داشته باشد (۲٤). مقدار پتاسیم فراهم در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر (۳٤۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) به‌طور معنی‌داری نسبت به مقدار آن در عمق ٦۰-۳۰ سانتی‌متر (۲۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) بیش‌تر بود (شکل ٦). کاهش مقدار پتاسیم فراهم در عمق ٦۰-۳۰ سانتی‌متر می‌تواند به دلیل جذب بیش‌تر پتاسیم خاک توسط گیاه از این عمق باشد.

Uncorrected Proof

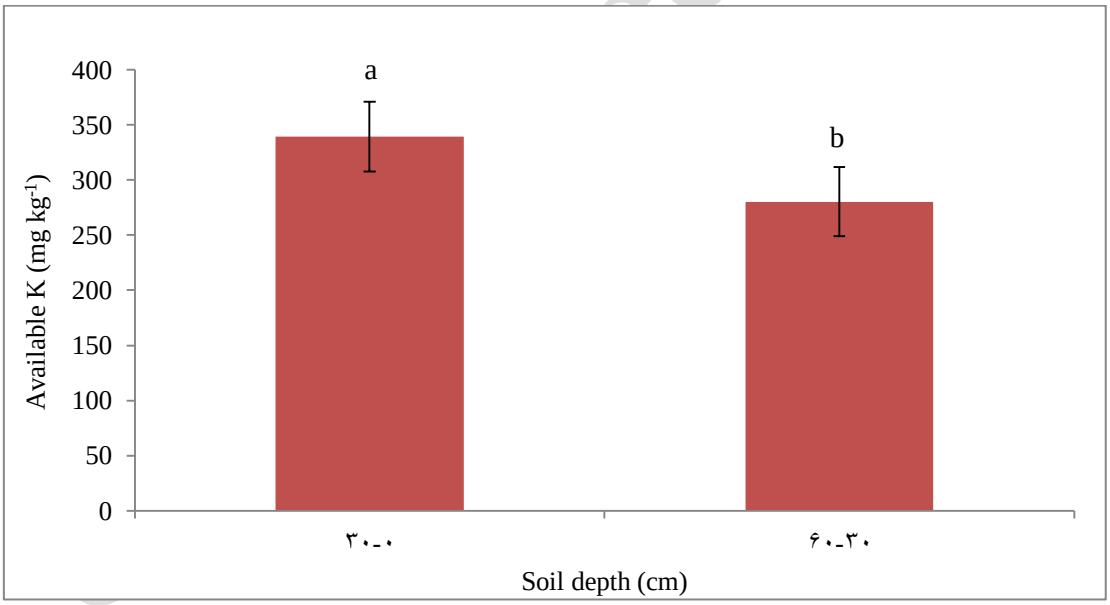


شکل ۵- تأثیر تیمار کودی بر پتاسیم فراهم خاک.

Figure 5. Effect of fertilization treatment on soil available K.

حروف نامشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار (P≤۰/۰۵) بر اساس آزمون دانکن و میله‌ها بیانگر انحرف معیار می‌باشند

Dissimilar letters indicate significant difference (P≤0.05) according to Duncan test and bar show standard deviation



شکل ٦- تأثیر عمق بر پتاسیم فراهم خاک.

Figure 6. Effect of depth on soil available K.

حروف نامشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار (P≤۰/۰۵) بر اساس آزمون دانکن و میله‌ها بیانگر انحرف معیار می‌باشند

Dissimilar letters indicate significant difference (P≤0.05) according to Duncan test and bar show standard deviation

تأثیر تیمارهای کودی و عمق بر پارامترهای زیستی خاک: نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای کودی مختلف و عمق بر ویژگی‌های زیستی خاک پس از چالکود درختان در جدول ۳، میانگین این پارامترها در هر تیمار در جدول ٤ و نتایج مقایسه میانگین در شکل‌های ۷ تا ۱۰ ارائه شده است.

تأثیر تیمارهای کودی و عمق بر تنفس پایه خاک: تنفس پایه خاک نشان‌دهنده فعالیت‌های زیستی در خاک است. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمار کودی بر این پارامتر معنی‌دار بود ($P\leq$۰/۰۱)، اما اثر عمق و اثر متقابل تیمار کودی و عمق بر آن معنی‌دار نبود (جدول ۳). دامنه تنفس میکروبی پایه در خاک‌ها از ۲۷/۳ میلی‌گرم کربن در کیلوگرم در روز در خاک شاهد تا ٤۱/۱ میلی‌گرم کربن در کیلوگرم در روز در تیمار E متغیر بود (شکل ۷). با افزایش عمق خاک، مقدار این پارامتر در خاک‌های تیمار شده افزایش یافت، در حالی‌که در خاک شاهد، کاهش پیدا کرد. کاهش تنفس پایه با افزایش عمق در شاهد به دلیل کاهش ماده آلی با افزایش عمق در این خاک می‌باشد. هر عاملی که موجب افزایش یا کاهش کربن آلی خاک شود، تنفس میکروبی را نیز افزایش یا کاهش می‌دهد. کاربرد کودهای آلی در خاک موجب افزایش مقدار کربن آلی، نیتروژن و فسفر و در نتیجه، افزایش فعالیت میکروبی می‌شود (۲۵). مقدار دی اکسیدکربن آزاد شده در خاک به نوع و مقدار مواد آلی و معدنی افزوده شده، فراوانی و توانایی ریز جانداران و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک وابسته است (۲٦). کاربرد کود دامی، اوره، دی آمونیوم فسفات، معدنی شدن عناصر پرمصرف توسط باکتری *باسیلوس* و اکسایش گوگرد از طریق باکتری *تیوباسیلوس* موجب تأمین عناصر غذایی برای ریزجانداران خاک و افزایش تنفس میکروبی در خاک شده است. ماریناری و همکاران (۲۰۰۰) گزارش کردند که کاربرد تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی موجب افزایش تنفس میکروبی در خاک شد (۲۷). قول‌لر عطا و رئیسی (۲۰۰۷) و مطیلجی و همکاران (۲۰۱۹) نیز در مطالعات خود به تأثیر معنی‌دار کودهای زیستی به همراه ماده آلی بر تنفس میکروبی خاک اشاره کردند (۲٦ و ۲۸).

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر تیمار کودی و عمق بر ویژگی‌های زیستی خاک.

Table 3. ANOVA (mean of squares) for the effect of fertilization treatment and depth on soil biological properties.

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی Df	تنفس پایه BR	کربن زیست‌توده میکروبی MBC	تنفس ناشی از سوبسترا SIR	ضریب متابولیک qCO_2
بلوک Block	2	1.376^{ns}	10983^{*}	796^{ns}	0.00012^{ns}
تیمار کودی Fertilization treatment (F)	5	157.2^{**}	22887^{**}	53205^{**}	0.00006^{ns}
عمق Depth (D)	1	45.79^{ns}	6084^{ns}	19321^{**}	0.000008^{ns}
تیمار کودی×عمق F×D	5	35.04^{ns}	2815^{ns}	2091^{ns}	0.00004^{ns}
خطا Error	22	13.43	2601	2282	0.00004
کل Total	35				

^{ns}، ** و * به ترتیب عدم معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد

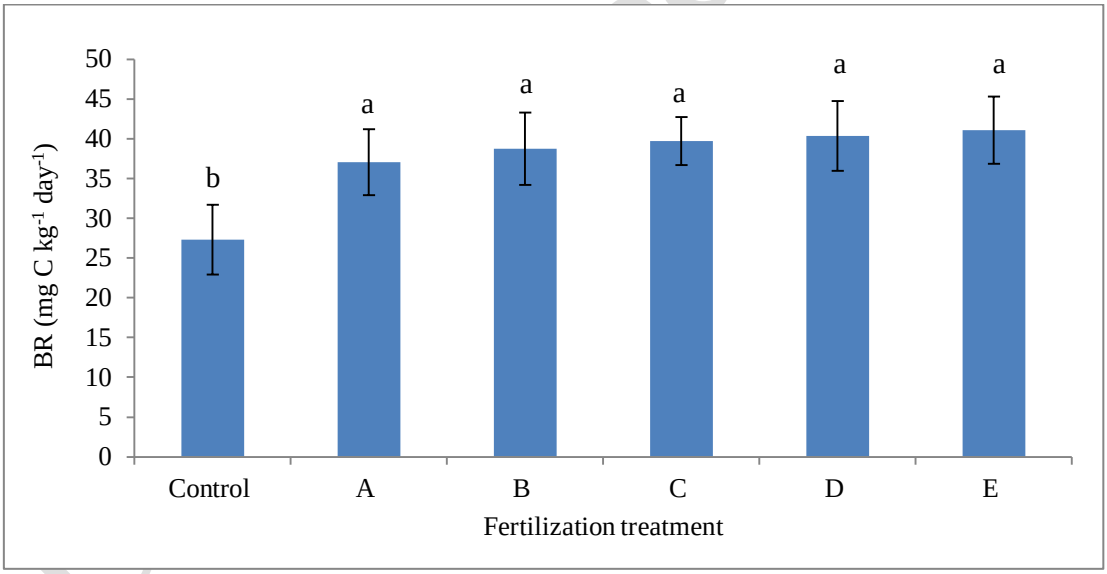
^{ns}, ** and * non-significant, significant at $P\leq0.01$ and $P\leq0.05$, respectively

Uncorrected Proof

جدول ٤- ویژگی‌های زیستی خاک تأثیر تیمار کودی و عمق.

Table 4. Soil biological properties as affected by fertilization treatment and depth.

تیمارها Treatments	عمق Depth (cm)	تنفس پایه BR ($mg\ C\ kg^{-1}\ day^{-1}$)	کربن زیست‌توده میکروبی MBC ($mg\ C\ kg^{-1}$)	تنفس ناشی از سوبسترا SIR ($mg\ C\ kg^{-1}$)	ضریب متابولیک qCO_2 ($mg\ C\ mg^{-1}\ MBC\ day^{-1}$)
Control	0-30	31.1	550	315	0.057
	30-60	23.6	493	195	0.048
A	0-30	35.6	609	428	0.058
	30-60	38.6	637	390	0.061
B	0-30	36.6	629	440	0.058
	30-60	40.9	650	418	0.063
C	0-30	37.7	634	480	0.060
	30-60	41.7	688	440	0.061
D	0-30	38.1	649	492	0.059
	30-60	42.6	704	474	0.061
E	0-30	38.4	668	548	0.057
	30-60	43.7	724	508	0.061



شکل ۷- تأثیر تیمار کودی بر تنفس پایه خاک.

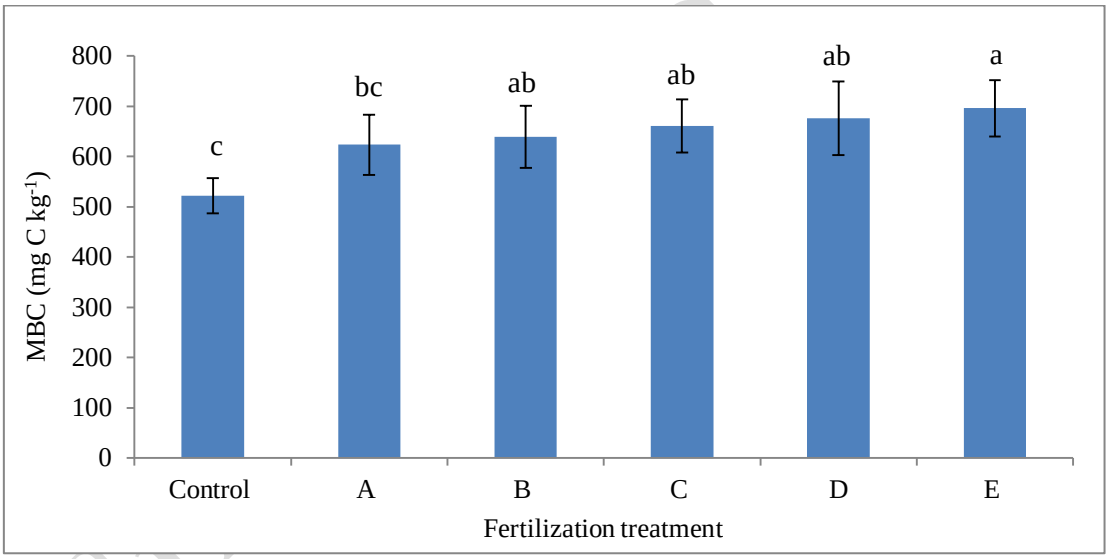
Figure 7. Effect of fertilization treatment on soil basal respiration (BR).

حروف نامشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار (P≤۰/۰۵) بر اساس آزمون دانکن و میله‌ها بیانگر انحرف معیار می‌باشند

Dissimilar letters indicate significant difference (P≤0.05) according to Duncan test and bar show standard deviation

تأثیر تیمارهای کودی و عمق بر کربن زیست‌توده میکروبی خاک: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین کربن زیست‌توده میکروبی خاک در تیمارهای کودی مختلف وجود داشت (P≤۰/۰۱) (جدول ۳). مقدار کربن زیست‌توده میکروبی از ۵۲۲ تا ٦٩٦ میلی‌گرم کربن در کیلوگرم

خاک متغیر بود و بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار، به‌ترتیب به تیمار E و شاهد تعلق داشت (شکل ۸). کربن زیست‌توده میکروبی یکی از بخش‌های مهم مواد آلی به شمار می‌رود که نقش به‌سزایی در پویایی خاک ایفا می‌کند (۲۹). به طور معمول، کربن زیست‌توده میکروبی ۳-۱ درصد کربن آلی خاک را تشکیل می‌دهد (۳۰). جمعیت ریزجانداران با افزودن کودهای دامی و شیمیایی به خاک به طور چشمگیری افزایش پیدا می‌کند. به طور معمول، بخش بزرگی از زیست‌توده میکروبی خاک به علت کمبود مواد غذایی به طور غیرفعال باقی می‌ماند. بنابراین، افزودن مواد آلی و شیمیایی به عنوان سوبسترا به خاک، فعالیت میکروبی و به دنبال آن، کربن زیست‌توده میکروبی خاک را افزایش می‌دهد. علاوه بر این، تیمار E حاوی جمعیت زیادی از ریزجانداران (باکتری‌های *باسیلوس* و *تیوباسیلوس*) بود. بنابراین، با افزایش مواد آلی و عناصر غذایی و از سوی دیگر، با افزایش جمعیت ریزجانداران خاک در این تیمار، مقدار کربن زیست‌توده میکروبی افزایش پیدا کرد. مزرعه و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کرد که کاربرد کودهای زیستی در خاک موجب افزایش کربن زیست‌توده میکروبی شد (۳۱). مطیلجی و همکاران (۲۰۱۹) با افزودن بیوچار و باکتری‌های محرک رشد به عنوان کودهای آلی و زیستی به خاک بیان کردند که مقدار کربن زیست‌توده میکروبی نسبت به تیمار شاهد به میزان دو برابر افزایش پیدا کرد (۲۸).



شکل ۸- تأثیر تیمار کودی بر کربن زیست‌توده میکروبی خاک.

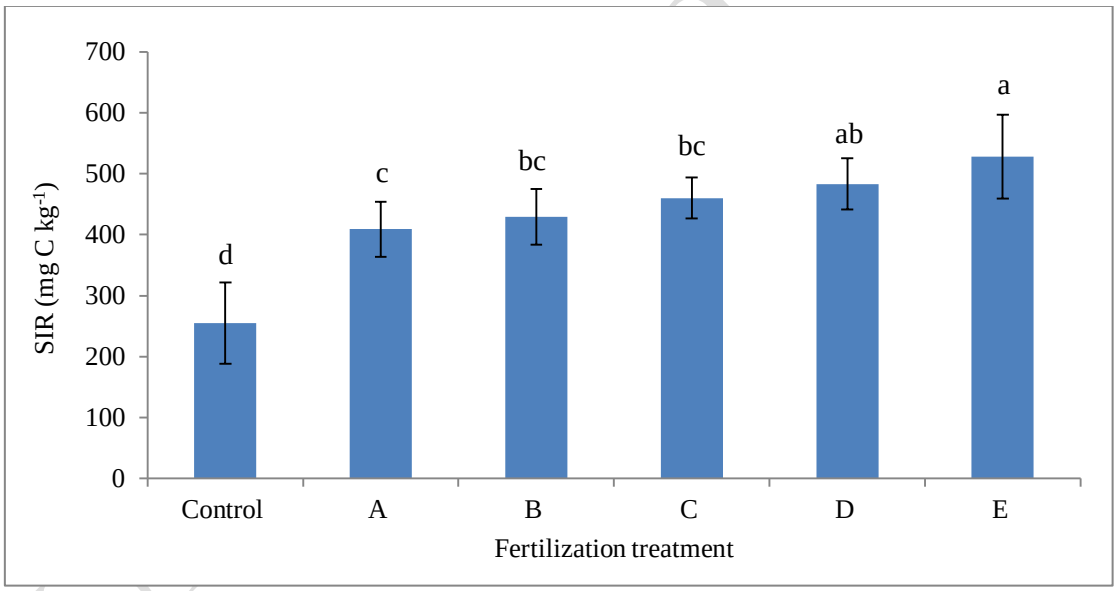
Figure 8. Effect of fertilization treatment on soil microbial biomass carbon (MBC).

حروف نامشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار (P≤۰/۰۵) بر اساس آزمون دانکن و میله‌ها بیانگر انحرف معیار می‌باشند

Dissimilar letters indicate significant difference (P≤0.05) according to Duncan test and bar show standard deviation

تأثیر تیمارهای کودی و عمق بر تنفس ناشی از سوبسترا: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین مقادیر تنفس ناشی از سوبسترا در تیمارهای کودی و عمق‌های مختلف وجود داشت (P≤۰/۰۱)، اما اثر متقابل تیمار کودی و عمق بر این پارامتر معنی‌دار نبود (جدول ۳). تنفس سوبسترا نشان‌دهنده جمعیت میکروبی فعال خاک و میزان تنفس میکروبی پس از افزودن یک سوبسترای آسان

تجزیه‌شونده مانند گلوکز است (۳۲). توانایی دسترسی به یک سوبسترای کربنی آسان تجزیه شونده، یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده فعالیت میکروبی خاک به شمار می‌رود که با افزودن آن به خاک، جمعیت میکروبی در اطراف سوبسترا افزایش می‌یابد (۳۳). به همین دلیل، مقدار تنفس ناشی از سوبسترا از تنفس پایه بیش‌تر است. کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار تنفس سوبسترا، ۲۵۵ و ۵۲۸ میلی‌گرم کربن در کیلوگرم خاک، به ترتیب متعلق به شاهد و تیمار E بود (شکل ۹). کود حیوانی یک منبع سرشار از کربن را به راحتی در اختیار ریزجانداران قرار می‌دهد و با بالا بردن فعالیت و جمعیت میکروبی باعث افزایش میزان تنفس پایه و ناشی از سوبسترا می‌شود. هم‌چنین، با افزایش عناصر غذایی به دنبال کاربرد کودهای آلی و شیمیایی در خاک و افزایش جمعیت ریزجانداران به خاک از طریق کاربرد کودهای زیستی، تنفس پایه و برانگیخته با سوبسترا افزایش پیدا می‌کند (۳٤). با افزایش عمق، مقدار تنفس برانگیخته با سوبسترا به طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل ۱۰). این موضوع را می‌توان به غلبه ریزجانداران فرصت‌طلب (دارای استراتژی r) به ریزجانداران بومی (دارای استراتژی k) در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری نسبت به عمق ٦۰-۳۰ سانتی‌متری خاک نسبت داد. نتایج این پژوهش با گزارش‌های بالدی و همکاران (۲۰۲۱) و رسولی صدقیانی و همکاران (۲۰۲۱) مطابقت داشت (۳۵ و ۳٦).

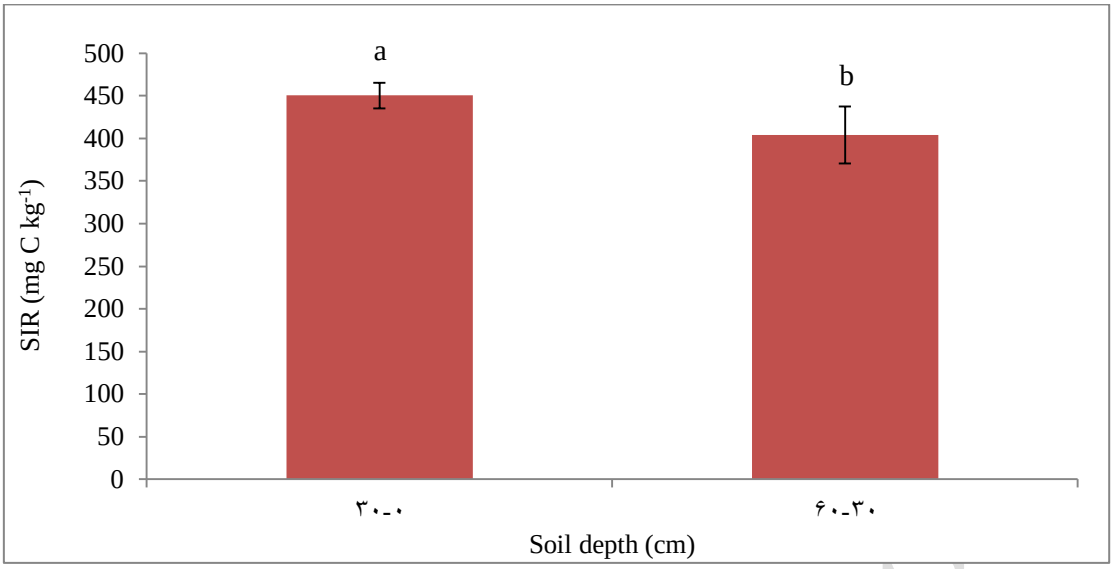


شکل ۹- تأثیر تیمار کودی بر تنفس ناشی از سوبسترا.

Figure 9. Effect of fertilization treatment on substrate-induced respiration (SIR).

حروف نامشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار (P≤۰/۰۵) بر اساس آزمون دانکن و میله‌ها بیانگر انحرف معیار می‌باشند

Dissimilar letters indicate significant difference (P≤0.05) according to Duncan test and bar show standard deviation



شکل ۱۰- تأثیر عمق خاک بر تنفس ناشی از سوبسترا.

Figure 10. Effect of soil depth on substrate-induced respiration (SIR).

حروف نامشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار (P≤۰/۰۵) بر اساس آزمون دانکن و میله‌ها بیانگر انحرف معیار می‌باشند

Dissimilar letters indicate significant difference (P≤0.05) according to Duncan test and bar show standard deviation

تأثیر تیمارهای کودی و عمق بر ضریب متابولیک خاک: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده و متقابل تیمار کودی و عمق خاک بر مقدار ضریب متابولیک، معنی‌دار نبودند (P>۰/۰۵) (جدول ۳). مقدار این پارامتر در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر در دامنه ۰/۰۵۷-۰/۰۶۰ mg C mg^{-1} MBC day^{-1} و در عمق ۶۰-۳۰ سانتی‌متر در دامنه ۰/۰۴۸-۰/۰۶۳ mg C mg^{-1} MBC day^{-1} متغیر بود (جدول ٤). ضریب متابولیک نشان‌دهنده مقدار تنفس خاک به ازای هر واحد کربن زیست‌توده میکروبی در واحد زمان است. افزایش ضریب متابولیک در خاک گاهی می‌تواند نشان دهنده تنش محیطی برای ریزجانداران باشد. در این شرایط، تنفس ریزجانداران برای زنده‌مانی افزایش پیدا می‌کند و کربن کم‌تری در زیست‌توده میکروبی ذخیره می‌شود. با افزایش ضریب متابولیک خاک، بخش زیادی از سوبسترای آلی از طریق تنفس و فعالیت ریزجانداران، معدنی و از خاک خارج می‌شود (۳۷). در مقابل، با افزایش ذخیره کربن آلی به صورت زیست‌توده میکروبی، مقدار این پارامتر کاهش می‌یابد. مصرف کود آلی به صورت چالکود در خاک‌های تیمار شده موجب افزایش تنفس میکروبی و کربن زیست‌توده میکروبی به ویژه در لایه ۶۰-۳۰ سانتی‌متر شد. با این حال، به نظر می‌رسد تأثیر مواد آلی بر تنفس پایه بیش‌تر از کربن زیست‌توده میکروبی بود. در نتیجه، به دلیل افزایش تنفس پایه و با وجود افزایش کربن زیست‌توده میکروبی، ضریب متابولیک در خاک‌های تیمار شده با افزایش عمق، افزایش یافت. این روند در مورد خاک شاهد برعکس بود و با افزایش عمق، تنفس پایه، کربن زیست‌توده میکروبی و ضریب متابولیک کاهش پیدا کردند.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که مدیریت تلفیقی چالکود (حاوی کودهای آلی، شیمیایی و زیستی)، بیش‌ترین تأثیر را در بهبود کیفیت شیمیایی و زیستی خاک داشت. pH خاک‌های چالکود شده به طور معنی‌داری نسبت به

Uncorrected Pro

خاک شاهد کاهش یافت. هم‌چنین، با افزایش عمق، مقدار pH در خاک‌های چالکود شده کاهش پیدا کرد، در حالی‌که در خاک شاهد افزایش یافت. مقدار EC خاک‌های چالکود شده به طور معنی‌داری بیش‌تر از خاک شاهد بود. با این حال، افزایش EC در خاک‌های تیمار شده به اندازه‌ای نبود که منجر به شوری خاک شود. اثر تیمارهای چالکود بر افزایش مقدار ماده آلی خاک معنی‌دار بود. مقدار فسفر و پتاسیم فراهم خاک‌های تیمار شده به طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش پیدا کرد. هم‌چنین، تیمارهای چالکود به طور معنی‌داری تنفس پایه، تنفس ناشی از سوبسترا و کربن زیست‌توده میکروبی را نسبت به شاهد افزایش دادند. کاهش مصرف کودهای شیمیایی و تأمین بخشی از نیاز غذایی گیاه با استفاده از کودهای آلی و زیستی، یک راهکار اقتصادی و دوست‌دار محیط زیست در راستای بهبود کیفیت بیوشیمیایی خاک و کشاورزی پایدار محسوب می‌شود. پیشنهاد می‌شود تأثیر کاربرد کودهای آلی و زیستی بر شاخص‌های مختلف کیفیت خاک و نیز کیفیت و کمیت محصولات کشاورزی و باغی بیش از پیش مورد توجه و بررسی قرار گیرد و نتایج مطالعات به کشاورزان و باغداران توصیه و ترویج شود.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه رازی در قالب یک طرح پژوهشی داخلی با شماره قرارداد ٤٩٦٨٩ و به صورت یک پایان‌نامه دانشجویی تقاضامحور در مقطع کارشناسی ارشد به انجام رسید.

منابع

1. De Corato, U. (2020). Soil microbiota manipulation and its role in suppressing soil-borne plant pathogens in organic farming systems under the light of microbiome-assisted strategies. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 7, 17. **doi.org/10.1186/ s40538-020-00183-7.**
2. Alvarenga, P., Palma, P., Mourinha, C., Farto, M., Dôres, J., Patanita, M., Cunha-Queda, C., Natal-da-Luz, T., Renaud, M., & Sousa, J. P. (2017). Recycling organic wastes to agricultural land as a way to improve its quality: a field study to evaluate benefits and risks. *Waste Management*, 61, 582-592. **doi.org/ 10. 1016/j.wasman.2017.01.004.**
3. Diacono, M. A., & Montemurro, F. (2015). Review effectiveness of organic wastes as fertilizers and amendments in salt-affected soils. *Agriculture*, 5, 221-230. **doi.org/10.3390/agriculture5020221**.
4. Stockmann, U., Adams, M. A., Crawford, J. W., Field, D. J., Henakaarchchi, N., & Jenkins, M. (2013). The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 164, 80-99. **doi.org/10.1016/j.agee.2012.10.001.**
5. Keshavarz, P., Zangiabadi, M., & Abbaszadeh, M. (2013). Relationship between soil organic carbon and wheat grain yield as affected by soil clay content and salinity. *Iranian Journal of Soil Research (formerly Soil and Water Sciences)*, 27 (3), 359-371. **doi.org/10. 22092/ijsr.2013.126270**. [In Persian]
6. Razavipour, T., Siavash-Moghaddam, S., Dolati, B., & Jangjoo, F. (2020). Organic and biological fertilizers and their importance in sustainable agriculture. Rice Research Institute of Iran. 202p. [In Persian]
7. Grobelak, A., Napora, A., & Kacprzak, M. (2015). Using plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) to improve plant growth. *Ecological Engineering*, 84, 22-28. **doi.org/10.1016/j.ecoleng. 2015.07.019.**

Uncorrected Proof

8. Rowell, D. L. (1994). Soil Science: Methods and Applications. Longman Scientific and Technical. 350p. **doi.org/10.1002/jsfa.2740660423**.
9. Anderson, J. P. E. (1982). Soil respiration. P 831-872. 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 and Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin. **doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c41.**
10. Horwath, W. R., & Paul, E. A. (1994). Microbial biomass. P 753-773. In: D.R. Buxton (Ed.) Methods of soil analysis. Part 2: Microbiological and biochemical properties. SSSA Book Series, No.5. Madison, Wisconsin. **doi.org/10.2136/ sssabookser5.2.c36.**
11. Alef, K., & Nannipieri, P. (1995). Methods in applied soil microbiology and biochemistry. Academic Press, London. **doi.org/10.1016/B978-0-12-513840-6.X5014-9.**
12. Suman, A., Lal, M., Singh, A. K., & Gaur, A. (2006). Microbial biomass turnover in Indian subtropical soils under different sugarcane intercropping systems. *Agronomy Journal*, 98, 698-704. **doi.org/10.2134/agronj2005.0173.**
13. Hazelton, P., & Murphy, B. (2016). Interpreting soil test results: What do all the numbers mean? CSIRO Publishing. 200p. **doi.org/10.1071/9780643094680.**
14. Boutasknit, A., Anli, M., Tahiri, A., Raklami, A., Ait-El-Mokhtar, M., Ben-Laouane, R., Ait Rahou, Y., Boutaj, H., Oufdou, K., Wahbi, S., El Modafar, C., & Meddich, A. (2020). Potential effect of horse manure-green waste and olive pomace-green waste compost on physiology and yield of garlic (*Alluim sativum* L.) and soil fertility. *Gesunde Pflanzen*, 72, 285-295. **doi.org/10.1007/ s10343-020-00511-9.**
15. Shahdi Kumleh, A. (2020). Effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPRs) on soil chemical properties in a clover-rice cropping system. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 9 (4), 89-106. **sanad.iau.ir/ Journal/ wsrcj/Article/829188.** [In Persian]
16. Zhao, C., Chen, N., Liu, T., & Feng, C. (2023). Effects of adding different carbon sources on the microbial behavior of sulfate-reducing bacteria in sulfate-containing wastewater. *Journal of Cleaner Production*, 392, 136332. **doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136332.**
17. Besharati, H., Khosravi, H., Khavazi, K., Ziaeian A., Mirzashadi, K., Ghaderi, J., Zabihi, H. R., Mostashari, M., Sabah, A., & Rashidi, N. (2017). Effects of biological oxidation of sulfur on soil properties and nutrient availability in some soils of Iran. *Iranian Journal of Soil Research*, 31 (3), 393-403. **doi.org/ 10.22092/ijsr.2017.113739.** [In Persian]
18. Ahmadi, M., Shahsavani, S., Abasdokht, H., Asghari, H. R., & Gharanjik, S. (2018). Effect of vermicompost, sulfur and *Thiobacillus* on some soil physic-chemical properties, yield and yield components of maize (*Zea mays* L.) in Jovain district. *Journal of Agroecology*, 9 (4), 1031-1049. **doi.org/10.22067/ jag.v9i4.50902.** [In Persian]
19. Wynn, J. G., Bird, M. I., & Wong, V. N. L. (2004). Rayleigh distillation and the depth profile of 13C/12C ratios of soil organic carbon from soils of disparate texture in Iron Range National Park, Far North Queensland, Australia. *Geochimica et Cosmo-chimica Acta*, 69 (13), 1961-1973. **doi.org/10.1016/j. gca.2004.09.003.**
20. Zandi, S., Fatemi, A., Saiedi, M., & Hamedi, F. (2021). Investigation of different fertilizer management effect on nutritional status of apple by compositional nutrient diagnosis. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 11 (2), 91-107. **doi.org/10.22069/ejsms.2021.18030.1951.** [In Persian]
21. Zhao, J., Ni, T., Li, J., Lu, Q., Fang, Z., Huang, Q., Zhang, R., Li, R., Shen, B., & Shen, Q. (2016). Effects of organic–inorganic compound fertilizer with reduced chemical fertilizer application on crop yields, soil biological activity and bacterial community structure in a rice–wheat cropping system. *Applied Soil Ecology*, 99, 1-12. **doi.org/10. 1016/j.apsoil.2015.11.006.**

Uncorrected Proof

22. Casado-Vela, J., Sellés, S., Navarro, J., Bustamante, M., Mataix, J., Guerrero, C., & Gomez, I. (2006). Evaluation of composted sewage sludge as nutritional source for horticultural soils. *Waste Management*, 26 (5), 946-952. **doi.org/ 10.1016/j.wasman.2005.07.016.**
23. Saha, S., Appireddy, G. K., Kundu, S., & Gupta, H. S. (2007). Comparative efficiency of three organic manures at varying rates of its application to baby corn. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 53 (14), 507-517. **doi.org/10. 1080/03650340701565183.**
24. Najafi-Ghiri, M., & Boostani, H. R. (2017). Effect of application of licorice root residues and their biochars on potassium status of a calcareous soil. *Journal of Water and Soil Conservation*, 24 (3), 77-93. **doi.org/10.22069/ jwfst. 2017.12722.2741.** [In Persian]
25. Boutasknit, A., Anli, M., Tahiri, A., Raklami, A., Ait-El-Mokhtar, M., Ben-Laouane, R., Ait Rahou, Y., Boutaj, H., Oufdou, K., Wahbi, S., El Modafar, C., & Meddich, A. (2020). Potential effect of horse manure-green waste and olive pomace-green waste compost on physiology and yield of garlic (*Alluim sativum* L.) and soil fertility. *Gesunde Pflanzen*, 72, 285-295. **doi.org/10.1007/ s10343-020-00511-9.**
26. Ghollarata, M., & Raiesi, F. (2007). The adverse effects of soil salinization on the growth of *Trifolium alexandrium* L. and associated microbial and biochemical properties in a soil from Iran. *Soil Biology and Biochemistry*, 39 (7), 1699-1702. **doi.org/10.1016/ j.soilbio.2007.01.024.**
27. Marinari, S., Masciandaro, G., Ceccanti, B., & Grego, S. (2000). Influence of organic and mineral fertilisers on soil biological and physical properties. *Bioresource Technology*, 72 (1), 9-17. **doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00094-2.**
28. Motileji, S., Landi, A., & Zalaghi, R. (2019). Effects of application of filter cake, biochar and PGPR bacteria as organic- and bio-fertilizers on some soil quality indices and wheat growth. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 91 (1), 151-163. **doi.org/10.22069/ejsms.2019.15145.1822.** [In Persian]
29. Tang, J., Zhang, J., Ren, L., Zhou, Y., Gao, J., Luo, L., Yang, Y., Peng, Q., Huang, H., & Chen, A. (2019). Diagnosis of soil contamination using microbiological indices: A review on heavy metal pollution. *Journal of Environmental Management*, 242, 121-130. **doi.org/10.1016/j. jenvman.2019.04.061.**
30. McGonigle, T. P., & Turner, W. G. (2017). Grasslands and croplands have different microbial biomass carbon levels per unit soil organic carbon. *Agriculture*, 7 (7), 57. **doi.org/ 10.3390/ agriculture7070057.**
31. Mazraeh, M., Zalaghi, R., & Enayatizamir, N. (2019). The Effect of *Pseudomonas* sp. and *Enterobacter cloacae* on the distribution of carbon forms in the soil under wheat and corn cultivated in Rhizobax. *Agricultural Engineering*, 42 (1), 81-93. **doi.org/10. 22055/agen.2019.24960.1411.** [In Persian]
32. Luo, Y. Q., & Zhou, X. (2006). Soil Respiration and the Environment. Academic Press, Elsevier. 328p. **doi.org/ 10.1016/B978-0-12-088782-8.X5000-1.**
33. Chen, C. R., Condron, L. M., Davis, M. R., & Sherlick, R. R. (2003). Seasonal changes in soil phosphorus and associated microbial properties under adjacent grassland and forest in New Zealand. *Forest Ecology and Management*, 177, 35-43. **doi.org/10. 1016/S0378-1127(02)00450-4.**
34. Dehghan-Menshadi, H., Bahmanyar, M. A., Salek Gilani, S., & Lakzian, A. (2012). Effect of application of compost and vermicompost enriched with chemical fertilizer and manure on some biological indicators of soil quality of basil (*Ocimum basilicum*) rhizosphere. *Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)*, 16 (60), 187-197. **dorl.net/dor/20.1001.1.24763594.1391. 16.60.16.1.** [In Persian]

Uncorrected Proof

35. Baldi, E., Gioacchini, P., Montecchio, D., Mocali, S., Antonielli, L., Masoero, G., & Toselli, M. (2021). Effect of biofertilizers application on soil biodiversity and litter degradation in a commercial apricot orchard. *Agronomy*, 11 (6), 336-347. **doi.org/10.3390/ agronomy11061116.**

36. Rasouli-Sadaghiani, M. H., Vahedi, R., & Barin, M. (2021). Rhizospheric study of pruning wastes compost effect in the presence of growth promoting bacteria on some soil quality indices. *Water and Soil Science*, 31 (2), 133-149. **doi.org/ 10.22034/ws.2020.12485.** [In Persian]

37. Landi, L., Renella, G., Moreno, J. L., Falchini, L., & Nannipieri, P. (2000). Influence of cadmium on the metabolic quotient, L-:D-glutamic acid respiration ratio and enzyme activity: microbial biomass ratio under laboratory conditions. *Biology and Fertility of Soils*, 32, 8-16. **doi.org/10.1007/s003740000205.**

Uncorrected Proof