Iranian Journal of Soil and Water Research ISNN: 2423-7833
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

Comparison of the effect of sugarcane bagasse and rice straw residues on some quality characteristics of a sodic vertisols

Firouzeh Nourmandipour[1], Mohammad Amir Delavar[2]✉, Rattan Lal[3], Stephen Joseph[4], Christian Siewert[5]

1. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran, Email: f.nourmandi@znu.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran, Email: amir-delavar@znu.ac.ir
3. Carbon Management and Sequestration Center, The Ohio State University, USA, Email: lal.1@osu.edu
4. School of Material Science and Engineering, University of NSW, Sydney, Australia, Email: joey.stephen@gmail.com
5. Faculty of Landscape Management, University of Applied Sciences Dresden, Germany, Email: cs@csiewert.de

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: July. 29, 2022

Revised: Oct. 10, 2022

Accepted: Nov. 5, 2022

Published online: Dec. 22, 2022

Keywords:
Sugarcane bagasse,
β-glucosidase,
Phosphatase,
Microbial biomass carbon,
Rice husk.

ABSTRACT

The present study investigated and compared the effects of two types of crop residues, sugarcane bagasse (BG) and rice straw (RH), on some soil chemical properties and enzymatic activities related to the carbon and phosphorus cycle in sodic vertisols (control, C). The pot experiment was conducted in four replications using the factorial structure in complete randomized design in the greenhouse of Zanjan University in 2016. The factors of this experiment included two type of organic amendment (BG and RH), three application rates (L_1=1.25%, L_2=2.5% and L_3=5% by weight) and four incubation times (two (M_2), four (M_4), eight (M_8) and twelve (M_{12}) months). Some of the most important chemical and biological properties were measured after the treatments. The results showed that values of soil organic carbon (SOC), carbon to nitrogen ratio (C:N), and available phosphorus (AP) were significantly ($p< 0.001$) affected by the type of organic amendments, their application rate, and incubation time. The highest and lowest SOC values were measured in the BGL_3M_2 and RHL_1M_{12} treatments, respectively. Changes in SOC and total nitrogen (TN) were increasing by increasing the amount of organic amendments and decreasing by increasing incubation time. Total nitrogen in the RHL_3M_{12} treatment increased 51.6% compared to the RHL_1M_{12} treatment and decreased 8.5% ($p<0.01$) compared to the RHL_3M_2 treatment. AP in BGL_3M_{12} treatment had a significant increase of 21.5% compared to BGL_2M_{12} treatment. The highest alkaline and acid phosphatase activity was related to RHL_3M_{12} (18.6 µg PNP $g^{-1}h^{-1}$) and BGL_3M_{12} (7.1 µg PNP $g^{-1}h^{-1}$) treatments, respectively. RHL_3M_{12} and BGL_1M_2 treatments showed the highest and lowest beta-glucosidase activity, respectively, and showed a significant difference of 87.5% and 70.3% with the control treatment. The highest and lowest levels of microbial biomass carbon (MBC) were related to RHL_3M_2 (71.5 mg kg^{-1}) and BGL_1M_{12} (28 mg kg^{-1}) treatments, respectively.

Cite this article: Nourmandipour, F., Delavar, M. A., Lal, R., Joseph, S., & Siewert, Ch. (2022) Comparison of the effect of sugarcane bagasse and rice straw residues on some quality characteristics of a sodic vertisols. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 53 (10), 2333-2347. https://doi.org/10.22059/ijswr.2022.346462.669330

© The Author(s). Publisher: University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2022.346462.669330

مجله تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۳، شماره ۱۰ شاپا: ۷۸۳۳-۲۴۲۳
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

مقایسه تأثیر بقایای باگاس نیشکر و کلش برنج بر برخی خصوصیات کیفی خاک ورتی‌سول سدیمی

فیروزه نورمندی‌پور[۱]، محمد امیر دلاور*[۲]، راتان لل[۳]، استفان جوزف[۴]، کریستین سایورت[۵]

۱. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران، ایمیل: f.nourmandi@znu.ac.ir

۲. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران، ایمیل: amir-delavar@znu.ac.ir

۳. مرکز ترسیب و مدیریت کربن، دانشگاه دولتی اوهایو، ایالات متحده آمریکا، ایمیل: lal.1@osu.edu

۴. دانشکده علوم و مهندسی مواد، دانشگاه نیوسالت ولز، سیدنی، استرالیا، ایمیل: joey.stephen@gmail.com

۵. دانشکده مدیریت زمین، دانشگاه علمی کاربردی درسدن، آلمان، ایمیل: cs@csiewert.de

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۵/۷
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۷/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۸/۱۴
تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۱۰/۱

واژه‌های کلیدی:
باگاس نیشکر،
بتاگلوکوزیداز،
فسفاتاز،
کربن زیست‌توده میکروبی،
کلش برنج.

چکیده

پژوهش حاضر به بررسی و مقایسه تأثیر دو نوع بقایای گیاهی باگاس نیشکر (BG) و کلش برنج (RH) بر برخی ویژگی‌های شیمیایی و فعالیت‌های آنزیمی مرتبط با چرخه کربن و فسفر در یک خاک ورتی‌سول (شاهد، C) پرداخته است. آزمایش در چهار تکرار در قالب طرح فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی به‌صورت گلدانی در سال ۱۳۹۶ در گلخانه دانشگاه زنجان انجام شد. عوامل این آزمایش شامل نوع اصلاح‌کننده (BG و RH)، مقدار کاربرد (سه سطح با مقادیر وزنی L_1=۱/۲۵٪، L_2=۲/۵٪ و L_3=۵٪) و زمان (چهار سطح دو (M_2)، چهار (M_4)، هشت (M_8) و دوازده (M_{12}) ماه) بودند. برخی ویژگی‌های شیمیایی و زیست‌شناختی پس از اعمال تیمارها اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد، مقادیر کربن آلی خاک، نسبت کربن به نیتروژن و فسفر قابل‌دسترس به‌صورت معنی‌دار ($p<۰/۰۰۱$) تحت تأثیر نوع اصلاح‌کننده، میزان کاربرد آن و مدت‌زمان خوابانیدن قرار گرفت. بیشترین و کمترین مقدار کربن آلی خاک در تیمارهای BGL_3M_2 و RHL_1M_{12} اندازه‌گیری شد. تغییرات کربن آلی و نیتروژن کل با افزایش مقدار اصلاح‌کننده‌ها افزایشی و با گذشت زمان خوابانیدن کاهشی بود. نیتروژن کل در تیمار RHL_3M_{12} نسبت به تیمارهای RHL_1M_{12} و RHL_3M_2 به‌ترتیب دارای ۵۱/۶ درصد افزایش و ۸/۵ درصد کاهش بودند ($p<۰/۰۱$). فسفر قابل‌دسترس در تیمار BGL_3M_{12} نسبت به تیمار BGL_2M_{12} دارای افزایش معنی‌دار ۲۱/۵ درصدی بود. بیشترین مقدار فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی و اسیدی به ترتیب مربوط به تیمارهای RHL_3M_{12} (۱۸/۶ µg PNP $g^{-1}h^{-1}$) و BGL_3M_{12} (۷/۱ µg PNP $g^{-1}h^{-1}$) بود. تیمارهای RHL_3M_{12} و BGL_1M_2، به ترتیب بیشترین و کمترین فعالیت آنزیم بتاگلوکوزیداز را داشتند و نسبت به تیمار شاهد تفاوت معنی دار ۸۷/۵ و ۷۰/۳ درصدی نشان دادند. بیشترین و کمترین میزان کربن زیست‌توده میکروبی به ترتیب مربوط به تیمارهای RHL_3M_2 (۷۱/۵ mg kg^{-1}) و BGL_1M_{12} (۲۸ mg kg^{-1}) بود.

استناد: نورمندی‌پور؛ فیروزه، دلاور؛ محمد امیر، لل؛ راتان، جوزف؛ استفان، سایورت، کریستن، (۱۴۰۱) مقایسه تأثیر بقایای باگاس نیشکر و کلش برنج بر برخی خصوصیات کیفی خاک ورتی‌سول سدیمی. *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۳ (۱۰)، ۲۳۴۷-۲۳۳۳.

https://doi.org/10.22059/ijswr.2022.346462.669330

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2022.346462.669330

مقدمه

برای کشورهایی مانند ایران، یکی از مهم‌ترین موارد برای تأمین یک منبع پایدار برای تولید مواد غذایی، عملکرد یک خاک است (Emadodin *et al*., 2012). خاک پایه و اساس بهره‌وری و تولید پایدار محصولات سالمی است که به‌نوبه خود غذاهای سالم و سلامت دام را فراهم کرده و رفاه انسان را بهبود می‌بخشد (Wall *et al*., 2015). تدوین برنامه‌هایی برای مدیریت و بهبود برخی خصوصیات خاک می‌تواند توسط بسیاری از عوامل فیزیکی، شیمیایی و زیست‌شناختی درگیر و اثر متقابل متغیر آن‌ها در زمان، مکان و شدت آن‌ها پیچیده باشد (Doran and Parkin, 1994)، زیرا این عوامل در تغییر کیفیت خاک دخیل هستند. اگر خاک‌ها در شرایط نامناسبی مانند تراکم، شور شدن، اسیدی شدن و سدیمی شدن باشند، برای تولید محصول نامناسب می‌شوند (Khalil *et al*., 2015). چنین خاک‌هایی خاک‌های مسئله‌دار نامیده می‌شوند (FAO, 2015) که به دلیل انواع مختلف تخریب اراضی شکل می‌گیرند و احیای آن‌ها برای کارهای کشاورزی به شیوه‌های مدیریتی خاصی نیاز دارد. یکی از انواع این خاک‌ها، خاک‌های ورتی‌سول است که گروهی از خاک‌های سنگین بافت همراه با مقدار زیادی رس‌های منقبض و منبسط شونده هستند و به دلیل انقباض – انبساط و چسبندگی، بازدهی محصول در آن‌ها کم و دشوار است (Brierley *et al*., 2011). این خاک‌ها دارای پتانسیل کشاورزی قابل‌توجهی هستند، اما مدیریت متعادل یک پیش‌شرط برای تولید پایدار در آن‌ها است. ویژگی‌های فیزیکی این خاک‌ها و به‌ویژه زهکشی ضعیف آن‌ها باعث مشکلات مدیریتی می‌شوند. محصولات درختی در این خاک‌ها باروری کمتری دارند، زیرا ریشه‌های درخت برای گسترش در خاک زیرین با مشکل مواجه می‌شوند و با منبسط و منقبض شدن خاک آسیب می‌بینند (Wubie, 2015). با وجود این معایب، ورتی‌سول‌ها به دلیل داشتن مواد مغذی زیاد، هنوز در کشاورزی استفاده می‌شوند؛ بنابراین، اولین قدم در اصلاح این خاک‌ها بهبود خصوصیات خاک برای کمک به رشد گیاهان در این خاک‌ها است. علاوه بر این، با گسترش جمعیت و افزایش بقایای گیاهی، اقدامات مدیریتی ضایعات نیز کاربرد انواع مختلف بقایا را به‌عنوان اصلاح‌کننده‌های خاک برای بهبود خصوصیات فیزیکوشیمیایی و گسترش پوشش گیاهی فراهم می‌کند و نقش مهمی در جلوگیری از برخی فرآیندها از جمله فرسایش در نواحی خشک و نیمه‌خشک ایفا می‌کند (Fytili and Zabaniotou, 2008).

استفاده از اصلاح‌کننده‌های آلی باعث کاهش ورودی کودهای شیمیایی، بهبود حاصلخیزی خاک و توسعه پایدار کشاورزی شده است. بااین‌حال تا به امروز توجه کمی بر روی چگونگی تأثیر اصلاح‌کننده‌های آلی مختلف بر مدیریت بهبود خصوصیات خاک متمرکز شده است. امروزه با افزایش تقاضا برای صرفه‌جویی در منابع طبیعی و انرژی، بازیافت ضایعات اهمیت زیادی پیدا کرده است (Padmavathiamma *et al*., 2008). امروزه در کشاورزی، به‌ویژه در کشاورزی آلی، استفاده از اصلاح‌کننده‌های آلی مانند کود دامی و کمپوست از اجزای مهم شیوه‌های کشاورزی است (Quintern *et al*., 2006). ضایعات آلی با منشأ گیاهی و حیوانی منبع خوبی از مواد مغذی برای بهبود بهره‌وری خاک است (Tejada *et al*., 2007; Padmavathiamma *et al*., 2008). کیفیت و بهبود سلامت خاک را می‌توان با استفاده از بازیافت ضایعات آلی در خاک احیا کرد. مطالعات متعددی در رابطه با کاربرد اصلاح‌کننده‌های آلی در بهبود خواص فیزیکی، شیمیایی و زیست‌شناختی خاک، ارائه مواد مغذی ضروری گیاه برای تحریک رشد و عملکرد گیاه انجام شده است (Xie *et al*., 2014; Wang *et al*., 2015; Ling *et al*., 2016). Rodriguez-Vila *et al*. (2016) دریافتند اصلاح‌کننده‌های آلی با افزایش ماده آلی، محتوای مواد مغذی، فعالیت میکروبی و در نتیجه افزایش رشد و عملکرد محصول، خواص خاک را حفظ می‌کنند. مطالعات اخیر (Galende *et al*., 2014; Mackie *et al*., 2015; Peña *et al*., 2015; Puga *et al*., 2015) نشان داده است که اصلاح‌کننده‌های آلی به بازیابی خاک‌های تخریب‌شده کمک می‌کند.

یکی از محصولات مهم زراعی در صنعت دنیا نیشکر است و سطح زیر کشت جهانی آن بیش از ۲۵ میلیون هکتار و میزان تولید جهانی آن نیز حدود ۱/۶ میلیارد تن است (Chandel *et al*., 2012). سطح زیر کشت این محصول در ایران حدود ۱۰۰ هزار هکتار است (Hemayati *et al*., 2017). از مهم‌ترین مشکلات تولید نیشکر و صنایع جانبی آن، تولید پسماندهای مختلف از قبیل باگاس، ملاس، فیلتر کیک ویناس است که علی‌رغم باارزش بودن، استفاده خاصی از آن‌ها نشده و عموماً باعث بروز مشکلات متعدد مدیریتی و محیط زیستی می‌شوند. از سوی دیگر، شمال ایران از مهم‌ترین و مستعدترین مناطق برای کشت برنج به شمار می‌رود. هدر دادن بقایای برنج به هر دلیلی غیرعلمی بوده و باعث تخلیه عناصر غذایی از خاک‌های شالیزاری و درنهایت اُفت حاصلخیزی خاک می‌گردد (Malakouti *et al*., 2004). بخشی از کاه و کلش که توسط کشاورزان در زمین سوزانده می‌شود، عوارض زیست‌محیطی و تخریبی زیادی به همراه دارد. این فعالیت موجب تشدید آلودگی، تأثیرات منفی بر اکوسیستم و از بین رفتن میکروارگانیسم‌های مفید خاک می‌شود و تبعات منفی برای اراضی و منطقه دارد؛ بنابراین بهتر است، به‌جای سوزاندن بقایای گیاهی و صدمه به زمین زراعی و محیط‌زیست با برگرداندن بقایای گیاهی،

حاصلخیزی خاک بهبود یابد. وسعت ورتی‌سول‌ها در ایران در حدود ۷۰۰۰۰ هکتار (معادل ۰/۱۱ درصد از کل اراضی کشور) برآورد شده که با اضافه کردن زیرگروه‌های ورتیک سایر رده‌ها، به حدود ۱۸۰۰۰۰ هکتار افزایش می‌یابد و بخش مهمی از خاک‌های قابل‌کشت را در برخی از مناطق کشور تشکیل می‌دهند (Banai, 1998; Heidari *et al*., 2005)؛ بنابراین این تحقیق با هدف بررسی اثرات زیست‌توده کلش برنج و باگاس نیشکر بر برخی ویژگی‌های شیمیایی و فعالیت‌های آنزیمی در یک خاک ورتی‌سول سدیمی در یک بازه زمانی یک‌ساله انجام شد.

مواد و روش‌ها

خاک مورد استفاده یک خاک ورتی‌سول با بافت لوم رسی سیلتی در اراضی واقع در استان اردبیل ("۳۹/۴۲ '۴۵ °۳۷ شمالی، "۴۷/۳ '۵۵ °۴۸ شرقی) است. برای این منظور در سال ۱۳۹۶ پس از شناسایی‌های میدانی اولیه، نمونه‌های خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری این منطقه برداشت شد. نمونه‌برداری خاک در منطقه‌ای انجام‌شده که در حدود ۱۰ سال گذشته هیچ‌گونه عملیات کشت و کار و کوددهی در آن انجام نشده بود. نمونه‌های خاک پس از هوا خشک شدن و عبور از الک دو میلی‌متری جهت انجام آزمایش‌های اولیه و اعمال تیمارها به آزمایشگاه منتقل گردید (Nourmandipour *et al*., 2020).

تهیه اصلاح‌کننده‌های آلی و تعیین مشخصات آن

اصلاح‌کننده‌های آلی مورداستفاده در این پژوهش شامل بقایای باگاس نیشکر (تهیه‌شده از مزارع نیشکر استان خوزستان) (BG) و کلش برنج (تهیه‌شده از روستای حصار مشمپای شهرستان زنجان) (RH) بود. بقایای مذکور به‌منظور پاک‌سازی مواد همراه، در آزمایشگاه دانشگاه زنجان با آب شهری شستشو داده شدند و به مدت یک هفته در آون در دمای ۳۵ درجه سلسیوس خشک شدند تا رطوبت موجود در آن‌ها کاهش یابد. سپس قبل از استفاده به‌صورت پودر یکنواخت در اندازه ۰/۵ تا یک میلی‌متر آسیاب شدند. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مختلف بقایای کلش برنج و باگاس نیشکر شامل پی‌اچ، قابلیت هدایت الکتریکی، ظرفیت تبادل کاتیونی (Chapman, 1965)، فسفر قابل‌دسترس به‌روش عصاره‌گیری با بیکربنات سدیم (Nelson & Sommers, 1996) و سطح ویژه با استفاده از روش جذب متیلن‌بلو (Ghani *et al*., 2013) اندازه‌گیری شدند. مقادیر کربن، هیدروژن و نیتروژن در زیست‌توده‌های RH و BG با استفاده از دستگاه آنالیزور کربن، هیدروژن و نیتروژن (مدل Leco 628) مرکز پژوهش‌های متالورژی رازی تهران تعیین شد. محتوای سلولز، همی‌سلولز و لیگنین در هر دو زیست‌توده با روش Van Soest *et al*. (1991) اندازه‌گیری شدند. سیلیس با روش Nwajiaku *et al*. (2018) اندازه‌گیری شد.

آزمایش گلدانی و خوابانیدن

خاک لوم رسی سیلتی جمع‌آوری‌شده با بقایای کلش برنج و باگاس نیشکر با سطوح مختلف ۱/۲۵ (L_1)، ۲/۵ (L_2) و ۵ (L_3) درصد وزنی مخلوط شدند. آزمایش در گلدان‌های پلی‌اتیلنی (قطر دهانه گلدان ۲۳، قطر انتهایی ۱۷ و ارتفاع ۲۱/۵ سانتی‌متر حاوی چهار کیلوگرم خاک) در چهار تکرار در سال ۱۳۹۶ در گلخانه دانشگاه زنجان به مدت یک سال انجام شد. جهت محدود کردن تبخیر آب و اطمینان از تبادلات گازی، گلدان‌ها با درپوش سوراخ‌دار (قطر منافذ حدود ۰/۵ میلی‌متر) پوشش داده شد و در دمای حدود ۲۵ درجه سلسیوس در گلخانه دانشگاه زنجان در چهار زمان خوابانیدن دو (M_2)، چهار (M_4)، هشت (M_8) و دوازده (M_{12}) ماه موردبررسی قرار گرفتند، به‌طوری‌که برای هر کدام از زمان‌های خوابانیدن نمونه‌برداری از گلدان‌های مربوط به همان زمان انجام گرفت. مقدار رطوبت هر گلدان با روش توزین در محدوده رطوبت ظرفیت نگهداری مزرعه نگه‌داشته شد. نمونه‌برداری از گلدان‌ها پس از گذشت زمان موردنظر از شروع آزمایش انجام و برخی ویژگی‌های شیمیایی و زیست‌شناختی در آن‌ها اندازه‌گیری شد. فعالیت برخی آنزیم‌های خاک از جمله فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز اسیدی و قلیایی به روش Tabatabai & Bremner (1969) و بتاگلوکوزیداز به روش Eivazi & Tabatabai (1988) اندازه‌گیری و بر اساس وزن خاک خشک گزارش شدند. بیوماس میکروبی کربن نیز به روش تدخین با کلروفرم انجام شد (Jenkinson & Ladd, 1981).

تجزیه و تحلیل آماری

آزمایش حاضر به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام گردید. عوامل این آزمایش شامل نوع اصلاح‌کننده آلی (در دو سطح: BG و RH)، مقدار کاربرد (در سه سطح با مقادیر وزنی L_1=۱/۲۵٪، L_2=۲/۵٪ و L_3=۵٪) و زمان خوابانیدن (در چهار سطح دو (M_2)، چهار (M_4)، هشت (M_8) و دوازده (M_{12}) ماه) بودند. به‌طورکلی، آزمایش حاضر متشکل از ۲۴ تیمار و ۹۶ گلدان بود. اختلاف معنی‌داری بین تیمارها با استفاده از تحلیل واریانس (ANOVA) و برای ارزیابی تفاوت‌های بین میانگین تیمارها از آزمون حداقل

اختلاف معنی‌داری دانکن در سطوح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱ در محیط نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۳ انجام و نمودارهای مربوطه در محیط اکسل نسخه ۲۰۱۳ ترسیم شدند.

نتایج و بحث

جدول ۱ نتایج برخی خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیست‌شناختی خاک و تیمارهای آلی موردمطالعه را نشان می‌دهد. خاک مطالعه شده بر اساس سیستم‌های طبقه‌بندی FAO (2015) در تحت گروه Sodic Vertisols و بر اساس سامانه رده‌بندی خاک آمریکایی (USDA, 2014) در تحت گروه Sodic Haploxererts رده‌بندی شد. مقدار کربن آلی پایین (۰/۶۵ درصد) است که نشان‌دهنده کمبود کربن آلی در این خاک است (جدول ۱). پ‌هاش گل اشباع خاک قلیایی شدید (۹/۰۸) و پ‌هاش نسبت یک به پنج خاک به آب قلیایی خیلی شدید (۱۰/۵۱) است، دلیل بالا رفتن پ‌هاش با بالا بردن نسبت آب به خاک احتمالاً مربوط به هیدرولیز املاح سدیمی در خاک است. مقدار نسبت جذب سدیم برابر با ۲۴/۷۰ است و نشان می‌دهد خاک در گروه خاک‌های سدیمی قرار می‌گیرد. مقدار قابلیت هدایت الکتریکی ۵/۴۳ دسی زیمنس بر متر است. مقدار فسفر به دلیل عدم استفاده از نهاده‌های شیمیایی از یک طرف و احتمالاً بالا بودن مقدار آهک به دلیل واکنش‌های جذب و رسوب در سطح کانی‌های کربناتی دارای مقدار پایین بوده و قابلیت استفاده آن خیلی کم است (Freeman & Rowell, 1981). مقدار نیتروژن (۰/۰۵ درصد) بسیار پایین است.

جدول ۱. برخی خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیست‌شناختی اندازه‌گیری شده در خاک و تیمارهای آلی مطالعه شده

منابع تغییر	واحد	خاک شاهد	بیوماس کلش برنج	بیوماس باگاس نیشکر
پ‌هاش (pH_{past})	-	۹/۰۸	۷/۱	۷/۳۵
پ‌هاش ($pH_{1:5}$)	-	۱۰/۵۱	–	–
قابلیت هدایت الکتریکی	$dS.m^{-1}$	۵/۴۳	۰/۲	۰/۴۴
نسبت جذب سدیم	$meq.\ l^{-0.5}$	۲۴/۷۰	–	–
ظرفیت تبادل کاتیونی	$Cmol(+).Kg^{-1}$	۳۱/۶	۸/۱۵	۶/۸۱
کربنات کلسیم معادل	%	۳۰/۸	-	-
شن	$gr.kg^{-1}$	۱۹۰	-	-
سیلت	$gr.kg^{-1}$	۴۳۰	-	-
رس	$gr.kg^{-1}$	۳۸۰	-	-
بافت خاک	-	Silty Clay Loam	-	-
سطح ویژه	$m^2.g^{-1}$	-	۳/۹	۴/۴
کربن	%	۰/۶۵	۳۷/۴۳	۴۱/۹۸
هیدروژن	%	–	۴/۸۹	۵/۵۶
نیتروژن	%	۰/۰۵	۱/۳۲	۱/۲۷
نسبت کربن به نیتروژن	-	۱۳	۲۸/۳۶	۳۳/۰۶
فسفر قابل‌دسترس	$mg.\ kg^{-1}$	۳/۵۶	-	-
سیلیس	%	–	۳۵/۱	۱۲/۸۶
لیگنین	%	–	۱۸/۱۲	۲۷/۳۲
سلولز	%	–	۴۹/۸۴	۴۱/۱۸
همی‌سلولز	%	–	۳۱/۲۵	۲۷/۶۳
آنزیم بتاگلوکوزیداز	$\mu g\ PNF\ g^{-1}h^{-1}$	۰/۱۱	-	-
آنزیم فسفاتاز قلیایی	$\mu g\ PNP\ g^{-1}h^{-1}$	۵/۲۱	-	-
آنزیم فسفاتاز اسیدی	$\mu g\ PNP\ g^{-1}h^{-1}$	۲/۳۲	-	-
زیست‌توده میکروبی کربن	$mg.kg^{-1}$	۵/۱۵	-	-

خصوصیات شیمیایی

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثرات ساده و متقابل تیمارهای موردمطالعه (نوع اصلاح‌کننده آلی، مقادیر سطح کاربردی اصلاح‌کننده و مدت‌زمان خوابانیدن) بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک موردبررسی در سطوح یک و پنج درصد آماری معنی‌دار بود.

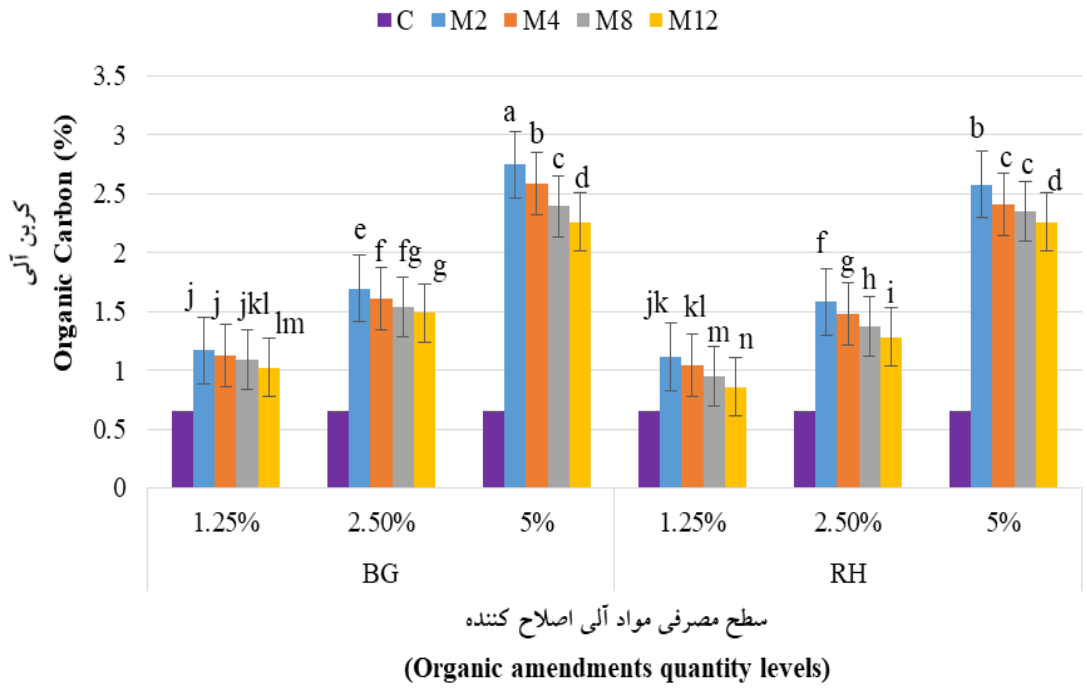
جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس اثرات متقابل تیمارها بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک

منابع تغییرات	درجه آزادی	%	$g.kg^{-1}$	–	$mg.kg^{-1}$
		کربن آلی	نیتروژن کل	نسبت کربن به نیتروژن	فسفر قابل‌دسترس
اصلاح‌کننده	۱	(۱/۰۴)**۰/۲۶	(۱/۹۲)**۰/۰۳	(۹/۶۵)**۱۱۴/۷۷	(۳/۵۳)**۹۶۱/۹۱
سطح کاربرد	۲	(۹۵/۲۰)**۱۲/۲۸	(۹۴/۹)**۰/۷۴	(۸۱/۶۵)**۴۸۵/۷۷	(۹۴/۱۰)**۱۲۸۲۵/۱۶
زمان خوابانیدن	۳	(۳/۰۱)**۰/۲۷	(۰/۶۴)*۰/۰۰۵	(۵/۵۰)**۲۱/۸۰	(۲/۰۶)**۱۸۷/۶۱
اصلاح‌کننده × سطح کاربرد	۲	(۰/۰۴)*۰/۰۰۵	(۰/۰۶)^{ns}۰/۰۰۰۴	(۰/۲۳)^{ns}۱/۳۸	(۰/۲۰)**۲۵/۵۵
اصلاح‌کننده × زمان خوابانیدن	۳	(۰/۰۱)^{ns}۰/۰۰۰۳	(۰/۰۶)^{ns}۰/۰۰۰۴	(۰/۰۲)^{ns}۰/۰۶۴	(۰/۰۴)**۳/۴۸
سطح کاربرد × زمان خوابانیدن	۶	(۰/۲۳)**۰/۰۱۲	(۰/۱۹)^{ns}۰/۰۰۰۴	(۰/۰۵)^{ns}۰/۱۰۵	(۰/۰۴)**۰/۰۳
اصلاح‌کننده × سطح کاربرد × زمان خوابانیدن	۶	(۰/۲۷)**۰/۰۰۹	(۰/۱۷)^{ns}۰/۰۰۰۴	(۱/۰۵)*۲/۰۶	(۰/۰۲)**۱/۳۱
خطا	۴۴	(۰/۲۰) ۰/۰۰۱	(۲/۰۶) ۰/۰۰۱	(۱/۸۵)۰/۵۰	(۰/۰۱) ۰/۰۸
ضریب تغییرات ٪	–	۲/۰۷	۳/۲۹	۳/۵۷	۰/۴۲

*معنی‌داری در سطح پنج درصد ($p<۰/۰۵$)، **معنی‌داری در سطح یک درصد ($p<۰/۰۱$)، ^{ns} عدم معنی‌داری، اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده سهم نسبی بر اساس درصد هر منبع متغیر در کل تغییرات برای هر پارامتر است.

کربن آلی

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، تأثیر نوع ماده اصلاح‌کننده آلی (OA)، میزان سطح مصرفی (QL)، زمان خوابانیدن (T) و اثر متقابل دوگانه زمان خوابانیدن × سطح مصرفی و سه‌گانه زمان خوابانیدن × سطح مصرفی × نوع ماده اصلاح‌کننده آن‌ها در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل دوگانه سطح مصرفی × نوع ماده اصلاح‌کننده در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. هم‌چنین، سطح مصرفی اصلاح‌کننده‌ها (۹۵/۲ درصد)، زمان خوابانیدن (سه درصد) و اصلاح‌کننده آلی (یک درصد) بیشترین تأثیر را بر میزان کربن آلی خاک تیمار شده با بیوماس‌های باگاس نیشکر و کلش برنج نشان دادند (جدول ۲). از سوی دیگر، نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۱) نشان داد، بیشترین میزان کربن آلی خاک مربوط به تیمار BGL_3M_2 (۲/۷۵ درصد) و کمترین میزان آن مربوط به تیمار RHL_1M_{12} (۰/۸۶ درصد) بود که به ترتیب نسبت به تیمار شاهد ۷۶/۴ و ۲۴/۴ درصد افزایش نشان دادند. نتایج نشان داد میزان کربن آلی در بیوماس باگاس نیشکر بیشتر از بیوماس کلش برنج بود (جدول ۱). هم‌چنین، با توجه به نتایج شکل ۱، با افزایش میزان سطح مصرفی مواد اصلاح‌کننده آلی، میزان کربن آلی خاک به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($p\leq۰/۰۰۱$). به‌طوری‌که روند افزایش میزان کربن آلی خاک با توجه به سطح مصرفی بدین‌صورت بود: $L_1< L_2< L_3$. با توجه به نتایج میزان کربن آلی خاک، تیمارهای RHL_3M_{12} و BGL_3M_{12} به ترتیب نسبت به تیمارهای RHL_1M_{12} و BGL_1M_{12} دارای افزایش معنی‌دار ۱۶۲/۸ و ۱۲۱/۶ درصدی بودند. هم‌چنین، باگذشت زمان و افزایش مدت‌زمان خوابانیدن، میزان کربن آلی خاک به‌طور معنی‌داری کاهش یافت ($p\leq۰/۰۰۱$)، به‌طوری‌که روند افزایش میزان کربن آلی خاک با توجه به مدت‌زمان خوابانیدن بدین‌صورت بود: $M_2> M_4> M_8> M_{12}$. با توجه به نتایج مقایسه میانگین، تیمارهای BGL_3M_{12} و RHL_3M_{12} به ترتیب نسبت به تیمارهای BGL_3M_2 و RHL_3M_2 کاهش معنی‌دار ۱۷/۸ و ۱۴/۲ درصدی نشان دادند. شکل ۱ نشان می‌دهد، کاهش درصد کربن آلی خاک در دوره دوازده ماهه برای تمامی تیمارها مشهودتر از دوره دو ماهه است که به دلیل تجزیه بیشتر مواد آلی افزوده‌شده به خاک طی زمان است. از سوی دیگر، مشاهده می‌شود که در هر دو نوع ماده اصلاح‌کننده آلی، نمونه‌های خاک اصلاح‌شده با بیوماس باگاس نیشکر در مقایسه با نمونه‌های خاک اصلاح‌شده با بیوماس کلش برنج در زمان‌های خوابانیدن مشابه، درصد کربن آلی خاک بیشتر افزایش داده است. دلیل این مورد می‌تواند با توجه به میزان کربن آلی بیشتر در بیوماس باگاس نیشکر نسبت به بیوماس کلش برنج (جدول ۱) توجیه شود. نتایج حاضر با نتایج Chen *et al*. (2018) مطابقت دارد. هم‌چنین با توجه به نتایج Ma *et al*. (2018)، کلش برنج (به‌عنوان گیاهی علفی) محتوای کربن کمتری نسبت به بقایای باگاس نیشکر (به‌عنوان گیاهی چوبی) دارد که احتمالاً به دلیل محتوای سیلیس بالاتر آن است (Puttaso *et al*., 2011). اگرچه در تمام تیمارها میزان کربن آلی خاک نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار نشان داد ($p\leq۰/۰۰۱$).



شکل ۱. میانگین اثرات متقابل نوع و میزان اصلاح‌کننده آلی و مدت خوابانیدن بر کربن آلی (٪)، میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمالی پنج درصد اختلاف آماری معنی‌داری ندارند.

نیتروژن کل

با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، تأثیر نوع ماده اصلاح‌کننده آلی و میزان سطح مصرفی در سطح احتمال یک درصد و تأثیر زمان خوابانیدن در سطح آماری پنج درصد بر مقدار نیتروژن کل معنی‌دار شد. از سوی دیگر، اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه تأثیر معنی‌داری نداشتند. با توجه به نتایج، درصد سهم نسبی سطح مصرفی اصلاح‌کننده‌ها (۹۴/۹ درصد)، اصلاح‌کننده آلی (۱/۹ درصد) و زمان خوابانیدن (۰/۶ درصد) بیشترین تأثیر را بر میزان نیتروژن کل خاک رسی تیمار شده با بیوماس‌های باگاس نیشکر و کلش برنج داشتند. نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۳) نشان داد، بیشترین میزان نیتروژن کل خاک در تیمارهای کلش برنج و بقایای باگاس نیشکر به ترتیب مربوط به RHL_3M_2 (۱/۰۶ گرم بر کیلوگرم) و BGL_3M_2 (۰/۹۸ گرم بر کیلوگرم) و کمترین میزان آن بعد از تیمار شاهد (۰/۵ گرم بر کیلوگرم) به ترتیب در تیمارهای BGL_1M_{12} (۰/۶ گرم بر کیلوگرم) و RHL_1M_{12} (۰/۶۴ گرم بر کیلوگرم) مشاهده گردید. با توجه به نتایج جدول ۳، با افزایش میزان سطح مصرفی مواد اصلاح‌کننده آلی و گذشت زمان، میزان نیتروژن کل خاک به ترتیب افزایش ($p\leq 0.01, L_1< L_2< L_3$) و کاهش ($p\leq 0.05, M_2> M_4\geq M_8\geq M_{12}$) یافت، به‌طوری‌که روند افزایش میزان نیتروژن کل خاک با توجه به سطح مصرفی مشابه روند مشاهده‌شده در مورد میزان کربن آلی خاک بود. میزان نیتروژن کل خاک در تیمار BGL_3M_2 نسبت به تیمار BGL_1M_2 دارای افزایش معنی‌دار ۵۶/۶ درصدی بود. از سوی دیگر، تیمار RHL_2M_{12} نسبت به تیمار RHL_2M_2 کاهش ۳/۴ درصدی نشان داد که معنی‌داری نبود ($p\geq$۰/۰۵). اگرچه در تمام تیمارها میزان نیتروژن کل خاک نسبت به شاهد افزایش‌یافته بود. نتایج حاضر با نتایج Campos *et al.* (2020) مطابقت دارد. آن‌ها بیان کردند که مقدار نیتروژن کل به نوع مواد اولیه بستگی دارد که در اینجا بالاترین مقدار ذاتی آن در کلش برنج است (جدول ۱). Clark *et al.* (2007) در مطالعه اثر گچ و چند نوع بقایای گیاهی در اصلاح ویژگی‌های شیمیایی یک خاک رسی مشاهده نمودند که در مقایسه با سایر تیمارها، خاک‌های تیمار شده با بقایای یونجه دارای نیتروژن کل بیشتری بودند. آن‌ها بقایای یونجه (گیاهی علفی) را به‌عنوان یک منبع غنی از عناصر غذایی معرفی کردند که به‌ویژه در مراحل نخست افزوده شدن به خاک، معدنی شدن آن با سرعت قابل‌توجهی انجام‌شده و ذخیره عناصر غذایی خاک را افزایش می‌دهد.

نسبت کربن به نیتروژن

نتایج نشان داد که تأثیر نوع ماده اصلاح‌کننده آلی، میزان سطح مصرفی، زمان خوابانیدن در سطح آماری یک درصد و اثر متقابل

سه‌گانه آن‌ها در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شدند. هم‌چنین، با توجه به نتایج جدول ۲، درصد سهم نسبی سطح مصرفی اصلاح‌کننده‌ها (۸۱/۶ درصد)، اصلاح‌کننده آلی (۹/۶ درصد) و زمان خوابانیدن (۵/۵ درصد) بیشترین تأثیر را بر نسبت کربن به نیتروژن خاک رسی تیمار شده با بیوماس‌های باگاس نیشکر و کلش برنج داشتند. نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴) نشان داد بیشترین نسبت مربوط به تیمار BGL_3M_2 (۲۸/۲) و کمترین میزان آن مربوط به تیمار RHL_1M_{12} (۱۳/۳) بود که هر دو تیمار نسبت به تیمار شاهد (۱۳) افزایش‌یافته‌اند. نتایج مقایسه میانگین‌ها حاکی از متفاوت بودن میزان معدنی شدن کربن با توجه به نوع پسماند گیاهی افزوده‌شده دارد. از سوی دیگر، با توجه به نتایج جدول ۱، میزان نسبت C:N در بقایای باگاس نیشکر (۳۳/۰۶) بیشتر از این نسبت در کلش برنج (۲۸/۳۶) است؛ بنابراین، نمونه‌های خاک تیمار شده با بقایای باگاس نیشکر در مقایسه با نمونه‌های تیمار شده با کلش برنج در سطح مصرفی و مدت‌زمان خوابانیدن مشابه، دارای نسبت C:N بیشتری بودند (جدول ۴). با افزایش میزان سطح مصرفی ماده اصلاح‌کننده آلی و افزایش مدت‌زمان خوابانیدن، نسبت C:N خاک به‌ترتیب به‌طور معنی‌داری افزایش ($L_1< L_2< L_3$) و کاهش ($M_2> M_4> M_8> M_{12}$) یافت ($p\leq$۰/۰۰۱). با توجه به نتایج مقایسه میانگین (جدول ۴)، نسبت C:N خاک در تیمار BGL_3M_2 نسبت به تیمار BGL_1M_2 دارای افزایش معنی‌دار ۴۹/۶ درصدی بود. از سوی دیگر، تیمار RHL_2M_{12} نسبت به تیمار RHL_2M_2 کاهش معنی‌دار ۱۹/۳ درصدی نشان داد. Wang *et al*. (2016) بیان کرد که نسبت C:N به نوع ماده آلی اضافه‌شده، فعالیت میکروبی، میزان معدنی شدن کربن و تغییرات در تنفس میکروبی بستگی دارد. نتایج در اینجا نشان داد که محتوای کربن آلی خاک تحت تأثیر کیفیت باقیمانده‌های آلی قرار می‌گیرد (Lal, 2004) که با نسبت C:N تعیین می‌شود (Blanco-Canqui & Lal, 2009).

جدول ۳. میانگین اثرات متقابل نوع و میزان اصلاح‌کننده آلی و مدت خوابانیدن بر مقدار نیتروژن کل خاک ($g.kg^{-1}$)

اصلاح‌کننده آلی	سطح کاربردی	مدت‌زمان خوابانیدن			
		دو ماه	چهار ماه	هشت ماه	دوازده ماه
بیوماس باگاس نیشکر	L_1: 1.25%	۰/۶۲۴ de	۰/۶۱۲ de	۰/۶۰۵ e	۰/۵۹۸ e
	L_2:2.5%	۰/۸۴۳ c	۰/۸۳۲ c	۰/۸۲۳ c	۰/۸۱۵ c
	L_3: 5%	۰/۹۷۷ b	۰/۹۶۵ b	۰/۹۵۶ b	۰/۹۴۷ b
بیوماس کلش برنج	L_1: 1.25%	۰/۶۷۲ d	۰/۶۶۰ de	۰/۶۵۳ de	۰/۶۴۶ de
	L_2:2.5%	۰/۸۷۶ c	۰/۸۶۴ c	۰/۸۵۳ c	۰/۸۴۶ c
	L_3: 5%	۱/۰۶ a	۰/۹۹۶ b	۰/۹۸۸ b	۰/۹۷۵ b

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمالی پنج درصد اختلاف آماری معنی‌داری ندارند.

جدول ٤. میانگین اثرات متقابل نوع و میزان اصلاح‌کننده آلی و مدت خوابانیدن بر مقدار نسبت C:N خاک

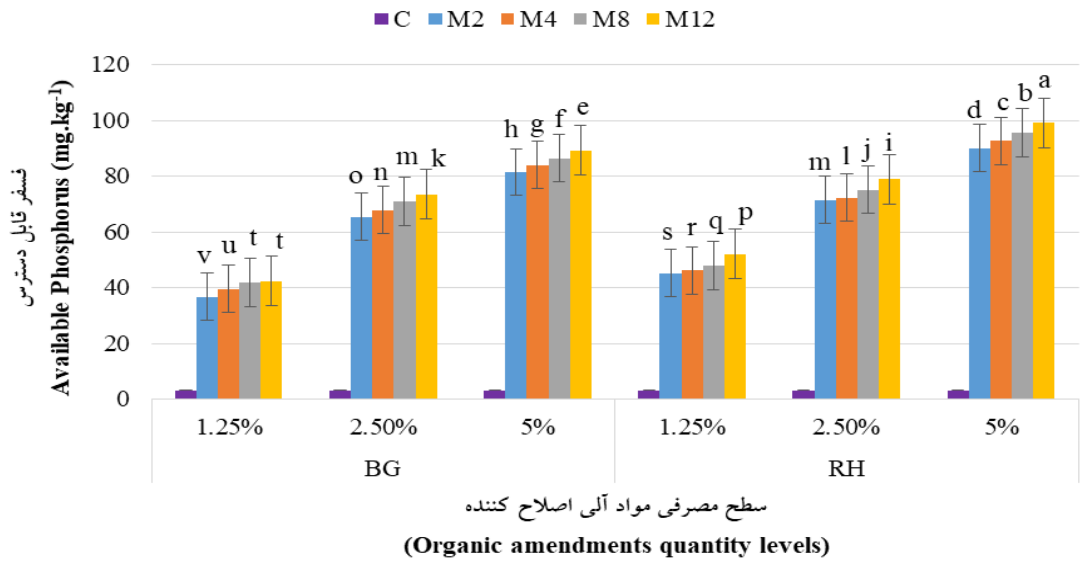
اصلاح‌کننده آلی	سطح کاربردی	مدت‌زمان خوابانیدن			
		دو ماه	چهار ماه	هشت ماه	دوازده ماه
بیوماس باگاس نیشکر	L_1: 1.25%	۱۸/۸۲ def	۱۸/۴۳ def	۱۸ efg	۱۷/۰۹ fgh
	L_2:2.5%	۲۰/۱۱ d	۱۹/۳۲ de	۱۸/۶۶ def	۱۸/۲۸ efg
	L_3: 5%	۲۸/۱۵ a	۲۶/۸۱ a	۲۵/۰۲ b	۲۳/۸۶ bc
بیوماس کلش برنج	L_1: 1.25%	۱۶/۶۲ ghi	۱۵/۷۶ hij	۱۴/۵۴ jk	۱۳/۳۲ k
	L_2:2.5%	۱۸/۰۷ efg	۱۷/۱۲ fgh	۱۶/۱۱ hij	۱۵/۱۵ ij
	L_3: 5%	۲۴/۳۳ bc	۲۴/۲۱ bc	۲۳/۸۱ bc	۲۳/۲۱ c

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمالی پنج درصد اختلاف آماری معنی‌داری ندارند.

فسفر قابل‌دسترس

تأثیر نوع ماده اصلاح‌کننده آلی، میزان سطح مصرفی، زمان خوابانیدن و اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه آن‌ها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند. هم‌چنین، با توجه به نتایج جدول ۲، درصد سهم نسبی سطح مصرفی اصلاح‌کننده‌ها (۹۴/۱ درصد)، اصلاح‌کننده آلی (۳/۵ درصد) و زمان خوابانیدن (۲/۱ درصد) بیشترین تأثیر را بر میزان فسفر قابل‌دسترس خاک رسی تیمار شده با بیوماس‌های باگاس نیشکر و کلش برنج نشان دادند. از سوی دیگر، نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۲) نشان داد، بیشترین و کمترین میزان فسفر قابل‌دسترس

به ترتیب مربوط به تیمارهای RHL_3M_{12} (۹۹/۲ $mg.kg^{-1}$) و BGL_1M_2 (۳۶/۸ $mg.kg^{-1}$) بود که نسبت به تیمار شاهد (۳/۲۱ $mg.kg^{-1}$) دارای افزایش معنی‌دار بودند. از سوی دیگر، تیمار مربوط به کمترین میزان فسفر قابل‌دسترس خاک نسبت به تیمار دارای بیشترین میزان فسفر قابل‌دسترس، اختلاف معنی‌دار ۶۲/۹ درصد کاهشی نشان داد. با افزایش میزان سطح مصرفی ماده اصلاح‌کننده آلی و باگذشت زمان، میزان فسفر قابل‌دسترس خاک به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($p\leq$۰/۰۰۱) (شکل ۲). به‌طوری‌که میزان فسفر قابل‌دسترس خاک در تیمار BGL_3M_2 نسبت به تیمار BGL_1M_2 دارای افزایش معنی‌دار ۱۲۱/۲ درصدی بود. هم‌چنین، تیمار RHL_3M_{12} نسبت به تیمار RHL_3M_4 افزایش معنی‌دار ۷/۱ درصدی نشان داد. این روند افزایشی در دیگر تیمارها نیز قابل‌مشاهده بود. نتایج نشان داد، مقایسه مقادیر فسفر قابل‌دسترس در خاک تیمار شده با انواع مواد اصلاح‌کننده آلی گویای آن است که بالاترین مقادیر فسفر قابل‌دسترس خاک از تیمار بیوماس کلش برنج به‌دست‌آمده است؛ بنابراین، به نظر می‌رسد یکی از دلایل افزایش مشاهده‌شده در مقدار فسفر قابل‌دسترس ممکن است به علت کاهش تثبیت فسفر در اثر کاربرد این بقایا باشد به‌طوری‌که نتایج تحقیقات قبلی نیز تأییدکننده نتایج پژوهش حاضر در این زمینه است. Turmel *et al*. (2015) نیز دلیل افزایش فسفر قابل‌دسترس را به کاهش تثبیت فسفر در نتیجه کاربرد بقایای گیاهی نسبت دادند. این محققان بیان کردند مولکول‌های هومیکی و اسیدهای آلیفاتیک با وزن مولکولی پایین که در نتیجه تجزیه بقایای گیاهی آزاد می‌شوند مکان‌های جذب سطحی اکسید آلومینیوم را مسدود نموده و باعث کاهش جذب سطحی فسفر و در نتیجه افزایش میزان فسفر قابل‌دسترس می‌شوند که این اثر بستگی به کیفیت بقایای گیاهی داشته و بیشتر به خاطر افزایش میزان تجزیه است (Nziguheba *et al*., 1998). به‌طوری‌که با توجه به نتایج جدول ۱، به دلیل کمتر بودن نسبت C: N در تیمار کلش برنج در مقایسه با بقایای باگاس نیشکر، فرآیند تجزیه در کلش برنج سریع‌تر انجام می‌گیرد و اسیدکربنیک آزادشده طی این فرایند با کاهش پ‌هاش خاک، میزان فسفر قابل‌دسترس افزایش می‌یابد (Koocheki *et al*., 2005). Zhao *et al*. (2019) با افزودن بقایای گیاهی در یک تناوب برنج – گندم به یک خاک لومی رسی سیلتی مشاهده نمودند بازگرداندن کامل بقایای گیاهی موجب افزایش ۲۸ درصدی فسفر قابل‌دسترس خاک گردید.



شکل ۲. میانگین اثرات متقابل نوع و میزان اصلاح‌کننده آلی و مدت خوابانیدن بر فسفر قابل‌دسترس ($mg.kg^{-1}$)، میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمالی پنج درصد اختلاف آماری معنی‌داری ندارند.

فعالیت‌های آنزیمی و زیست‌شناختی

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۵) نشان داد اثرات ساده و متقابل تیمارهای موردمطالعه (نوع اصلاح‌کننده آلی، مقادیر سطح کاربردی اصلاح‌کننده و مدت‌زمان خوابانیدن) بر برخی ویژگی‌های آنزیمی و زیست‌شناختی خاک موردبررسی در سطوح یک و پنج درصد آماری معنی‌دار بود.

جدول ۵. نتایج تجزیه واریانس اثرات متقابل تیمارها بر برخی خصوصیات آنزیمی و زیست‌شناختی خاک

منابع تغییرات	درجه آزادی	µg PNF $g^{-1}h^{-1}$	µg PNP $g^{-1}h^{-1}$	µg PNP $g^{-1}h^{-1}$	mg.kg^{-1}
		بتاگلوکوزیداز	فسفاتاز قلیایی	فسفاتاز اسیدی	کربن زیست‌توده میکروبی
اصلاح‌کننده	۱	(۵/۲۲)**۰/۰۷	(۱۰/۱۶)**۴۳/۸۸	(۳/۸۰)**۲/۷۹	(۷/۲۹)**۹۹۶/۶۶
سطح کاربرد	۲	(۷۴/۶۵)**۰/۵۰	(۶۲/۹)**۱۳۵/۷۶	(۵۲/۴۴)**۱۹/۳۰	(۹۱/۵۶)**۶۲۵۵/۹۹
زمان خوابانیدن	۳	(۱۷/۹۱)**۰/۰۸	(۲۲/۸)**۳۲/۷۹	(۳۹/۳۰)**۹/۶۴	(۰/۹۸)**۴۴/۶۳
اصلاح‌کننده×سطح کاربرد	۲	(۰/۳۰)*۰/۰۰۲	(۰/۴۲)**۰/۸۹	(۰/۱۵)**۰/۰۶	(۰/۱۳)**۸/۸۸
اصلاح‌کننده×زمان خوابانیدن	۳	(۰/۱)^{ns}۰/۰۰۰۲	(۱/۲۶)**۱/۸۵	(۰/۹۰)**۰/۲۲	(۰/۰۱)**۰/۳۲
سطح کاربرد×زمان خوابانیدن	۶	(۰/۲۲^{ns}۰/۰۰۰۵	(۰/۹۶)**۰/۶۹	(۲/۷۳)**۰/۳۴	(۰/۰۱)**۰/۲۰
اصلاح‌کننده×سطح کاربرد×زمان خوابانیدن	۶	(۰/۱)^{ns}۰/۰۰۰۱	(۱/۴۴)**۱/۰۳	(۰/۴۰)**۰/۰۵	(۰/۰۱)**۰/۳۱
خطا	۴۴	(۱/۵) ۰/۰۰۰۵	(۰/۰۶) ۰/۰۰۶	(۰/۲۸) ۰/۰۰۵	(۰/۰۱) ۰/۰۲
ضریب تغییرات ٪	–	۳/۴۴	۰/۵۴	۱/۲۲	۰/۲۵

*معنی‌داری در سطح پنج درصد (p< ۰/۰۵)، **معنی‌داری در سطح یک درصد (p< ۰/۰۱)، n.s عدم معنی‌داری. اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده سهم نسبی بر اساس درصد هر منبع متغیر در کل تغییرات برای هر پارامتر است.

فعالیت آنزیم بتاگلوکوزیداز

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۵) اختلاف معنی‌داری فعالیت آنزیم بتاگلوکوزیداز را در اثرات اصلی در سطح آماری یک درصد و اثر متقابل نوع ماده اصلاح‌کننده آلی × میزان سطح مصرفی بر میزان فعالیت آنزیم بتاگلوکوزیداز را در سطح احتمال پنج درصد نشان داد. از طرفی، به ترتیب سطح مصرفی اصلاح‌کننده‌ها (۷۴/۶ درصد)، زمان خوابانیدن (۱۷/۹ درصد) و اصلاح‌کننده آلی (۵/۲ درصد) بیشترین تأثیر را بر میزان فعالیت آنزیم بتاگلوکوزیداز خاک رسی تیمار شده با بیوماس‌های باگاس نیشکر و کلش برنج نشان دادند. نتایج مقایسه میانگین (جدول ۶) نشان داد، بیشترین میزان فعالیت آنزیم بتاگلوکوزیداز مربوط به تیمار RHL_3M_{12} (۰/۸۸ µg PNF $gr^{-1}h^{-1}$) و کمترین آن مربوط به تیمار BGL_1M_2 (۰/۳۷ µg PNF $g^{-1}h^{-1}$) بود و نسبت به تیمار شاهد (۰/۱۱ µg PNF $g^{-1}h^{-1}$) به ترتیب اختلاف معنی‌دار ۸۷/۵ و ۷۰/۳ درصد افزایشی نشان دادند.

جدول ٦. میانگین اثرات متقابل نوع و میزان اصلاح‌کننده آلی و مدت خوابانیدن بر میزان فعالیت آنزیم بتاگلوکوزیداز خاک (µg PNF $g^{-1}h^{-1}$)

اصلاح‌کننده آلی	سطح کاربردی	مدت‌زمان خوابانیدن			
		دو ماه	چهار ماه	هشت ماه	دوازده ماه
بیوماس باگاس نیشکر	L_1: 1.25%	۰/۳۷۱ o	۰/۴۲۰ n	۰/۴۸۹ lm	۰/۵۳۶ jkl
	L_2:2.5%	۰/۴۹۳ klm	۰/۵۵۸ ij	۰/۶۱۲ gh	۰/۶۶۱ efg
	L_3: 5%	۰/۶۷۷ def	۰/۷۲۴ cd	۰/۷۸۵ b	۰/۸۰۲ b
بیوماس کلش برنج	L_1: 1.25%	۰/۴۵۳ mn	۰/۵۰۲ klm	۰/۵۶۴ hij	۰/۶۱۴ gh
	L_2:2.5%	۰/۵۴۱ jk	۰/۵۹۳ hi	۰/۶۵۰ fg	۰/۷۰۶ cde
	L_3: 5%	۰/۷۳۷ c	۰/۷۹۹ b	۰/۸۳۲ b	۰/۸۸۱ a

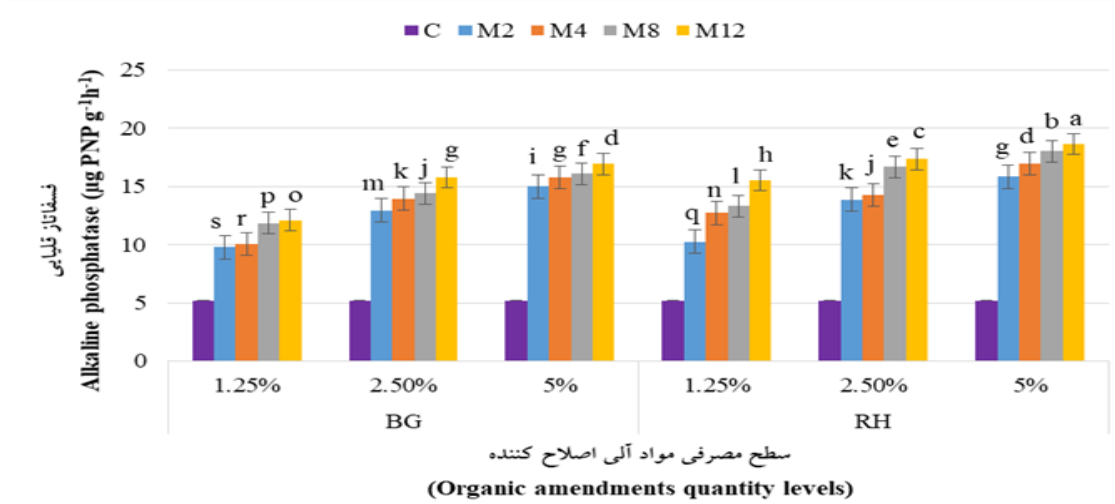
میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمالی ۵ درصد اختلاف آماری معنی‌داری ندارند.

نتایج نشان داد (جدول ۶)، با افزایش میزان سطح مصرفی ماده اصلاح‌کننده آلی و با گذشت زمان، فعالیت آنزیم بتاگلوکوزیداز خاک به‌طور معنی‌داری افزایش یافته است ($p\leq$۰/۰۰۱)، به‌طوری‌که میزان فعالیت آنزیم بتاگلوکوزیداز خاک در تیمار RHL_3M_{12} نسبت به تیمار RHL_1M_{12} دارای افزایش معنی‌دار ۴۳/۵ درصدی بود. هم‌چنین، تیمار RHL_3M_{12} نسبت به تیمار RHL_3M_2 افزایش معنی‌دار ۱۹/۵ درصدی نشان داد. این اختلاف می‌تواند با توجه به نسبت کربن به نیتروژن این دو نوع اصلاح‌کننده آلی توجیه شود. Adetunji *et al.* (2017) نیز در بررسی فعالیت‌های بیولوژیکی این آنزیم به‌عنوان شاخصی از کیفیت خاک به افزایش فعالیت و عملکرد بهتر این آنزیم در خاک‌های اصلاح‌شده با بقایای گیاهی دارای نسبت کربن به ازت کمتر اشاره نمودند و دلیل این افزایش را تجزیه سریع‌تر ماده آلی و آزاد شدن مواد مغذی بیان کردند. ازآنجاکه آنزیم‌های گروه گلوکوزیداز نقش مهمی در تخریب کربن آلی بقایای گیاهی، کود حیوانی و لجن فاضلاب به‌عنوان منبع مهم کربن و انرژی برای ریز جانداران در خاک‌ها دارند، لذا تعیین فعالیت آنزیم‌های این گروه از اهمیت بالایی برخوردار است (Martinez & Tabatabai, 1997). Benitez *et al.* (2005) حداکثر فعالیت این آنزیم را در ماه هفتم مشاهده کردند و پس‌ازآن فعالیت این آنزیم ثابت باقی ماند. افزایش فعالیت آنزیم بتاگلوکوزیداز می‌تواند به علت تجمع این آنزیم در کمپلکس‌های هومیک

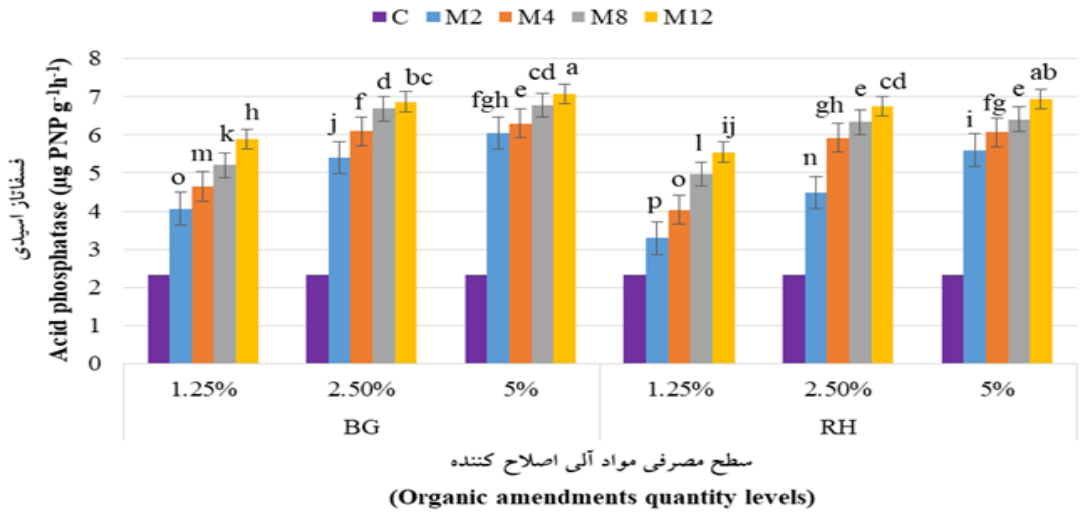
و شاید به دلیل مقاومت این کمپلکس‌ها در برابر حمله میکروبی باشد.

آنزیم فسفاتاز

طبق نتایج جدول ۵، تأثیر نوع ماده اصلاح‌کننده آلی، میزان سطح مصرفی، زمان خوابانیدن و اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه آن‌ها بر میزان فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز اسیدی و قلیایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید. هم‌چنین، سطح مصرفی اصلاح‌کننده‌ها (۶۲/۹ و ۵۲/۴ درصد)، زمان خوابانیدن (۲۳ و ۳۹/۳ درصد) و اصلاح‌کننده آلی (۱۰/۲ و ۳/۸ درصد) به ترتیب بیشترین تأثیر را بر میزان فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز قلیایی و اسیدی خاک رسی تیمار شده با بیوماس‌های باگاس نیشکر و کلش برنج دارا بودند. از سوی دیگر، نتایج مقایسه میانگین (شکل ۳) نشان داد، بیشترین میزان فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی مربوط به تیمار RHL_3M_{12} (۱۸/۶ µg PNP $g^{-1}h^{-1}$) و کمترین آن نیز مربوط به تیمار BGL_1M_2 (۹/۸ µg PNP $g^{-1}h^{-1}$) است که نسبت به تیمار شاهد (۵/۲ µg PNP $g^{-1}h^{-1}$) به ترتیب اختلاف معنی‌دار افزایشی ۷۲ و ۴۶/۹ درصدی نشان دادند. هم‌چنین، بیشترین و کمترین میزان فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی به ترتیب مربوط به تیمارهای BGL_3M_{12} (۷/۱ µg PNP $g^{-1}h^{-1}$) و RHL_1M_2 (۳/۳ µg PNP $g^{-1}h^{-1}$) است که نسبت به تیمار شاهد (۲/۳۲ µg PNP $g^{-1}h^{-1}$) دارای اختلاف معنی‌دار هستند (شکل ۴). با توجه به نتایج شکل ۳ و ۴، با افزایش میزان سطح مصرفی ماده اصلاح‌کننده آلی با گذشت زمان و افزایش مدت‌زمان خوابانیدن، فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز قلیایی و اسیدی خاک به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($p\leq$۰/۰۰۱).



شکل ۳. میانگین اثرات متقابل نوع و میزان اصلاح‌کننده آلی و مدت خوابانیدن بر فسفاتاز قلیایی. میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمالی پنج درصد اختلاف آماری معنی‌داری ندارند.

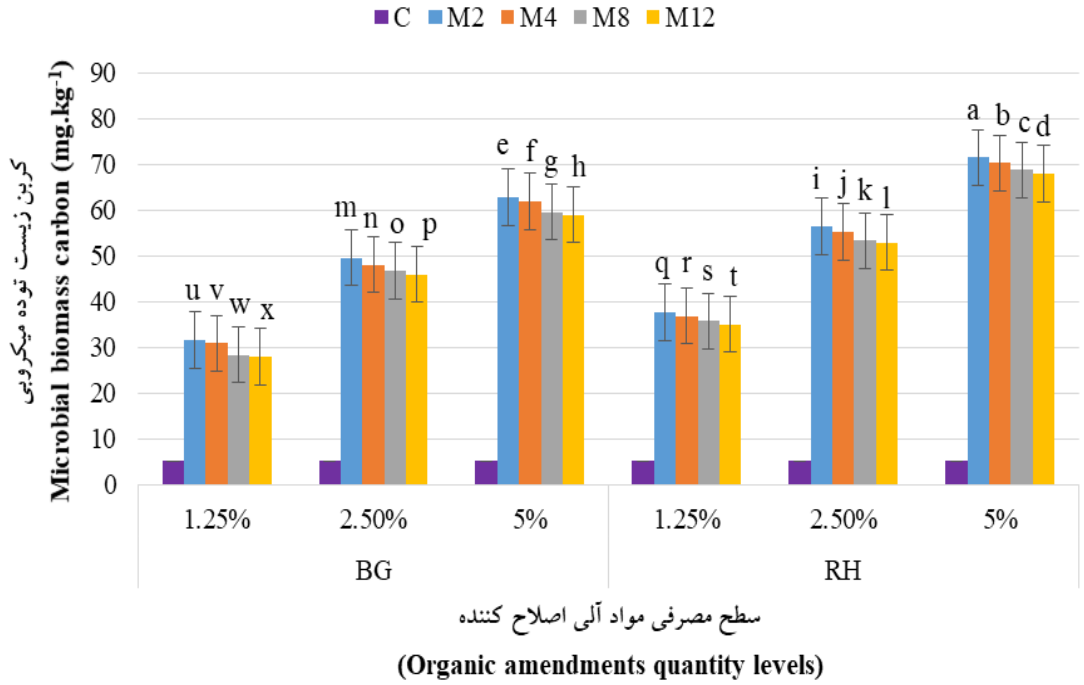


شکل ٤. میانگین اثرات متقابل نوع و میزان اصلاح‌کننده آلی و مدت خوابانیدن بر فسفاتاز اسیدی. میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمالی پنج درصد اختلاف آماری معنی‌داری ندارند.

با توجه به نتایج مقایسه میانگین، میزان فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز قلیایی و اسیدی خاک در تیمار RHL_3M_{12} نسبت به تیمار RHL_1M_{12} به ترتیب دارای افزایش معنی‌دار ۲۰/۲ و ۲۵ درصدی بودند. از سوی دیگر، تیمار BGL_1M_{12} نسبت به تیمار BGL_1M_2 افزایش معنی‌دار ۲۳/۸ و ۴۴/۷ درصدی به ترتیب در میزان فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز قلیایی و اسیدی نشان داد. با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها، میزان فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی بیشتر از فسفاتاز اسیدی است. این مورد می‌تواند با توجه به سدیمی بودن خاک مورد آزمایش و پی.اچ بالاتر از مقدار بهینه برای فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی (محدوده ۴ تا ۶/۵) توجیه شود (Nannipieri *et al.*, 2011). هم‌چنین، نتایج حاضر با نتایج مطالعه Guangming *et al.* (2017) مطابقت دارد. آن‌ها بیان کردند که پس از استفاده از کودهای آلی در خاک متأثر از نمک، تنوع میکروبی بهبودیافته و فعالیت‌های آن‌ها ناشی از افزایش در دسترس بودن بستر و مواد مغذی تهیه‌شده توسط مواد آلی می‌تواند دلیل افزایش فعالیت قلیایی فسفاتاز باشد که پس از استفاده از مواد آلی مشاهده شده است.

کربن زیست‌توده میکروبی

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۵) اختلاف معنی‌داری میزان کربن زیست‌توده میکروبی را در همه منابع تغییر نشان داد ($p<$ ۰/۰۱) و میزان سطح مصرفی (۹۱/۶ درصد)، اصلاح‌کننده آلی (۷/۳ درصد) و زمان خوابانیدن (یک درصد) به ترتیب بیشترین تأثیر را بر مقدار کربن زیست‌توده میکروبی خاک رسی تیمار شده با بیوماس‌های باگاس نیشکر و کلش برنج داشتند. با توجه به نتایج مقایسه میانگین (شکل ۵)، بیشترین و کمترین میزان کربن زیست‌توده میکروبی به ترتیب مربوط به تیمارهای RHL_3M_2 (۷۱/۵ $mg.kg^{-1}$) و BGL_1M_{12} ($mg.kg^{-1}$ ۲۸/۰۴[1]) بود که نسبت به تیمار شاهد (۵/۲ $mg.kg^{-1}$) افزایش معنی‌دار نشان دادند ($p\leq$۰/۰۰۱). هم‌چنین با توجه به نتایج، با افزایش میزان سطح مصرفی ماده اصلاح‌کننده آلی باگذشت زمان و افزایش مدت‌زمان خوابانیدن، میزان کربن زیست‌توده میکروبی خاک به ترتیب روند افزایشی و کاهشی داشت، به‌طوری‌که میزان کربن زیست‌توده میکروبی در تیمار BGL_3M_2 نسبت به تیمار BGL_1M_2 دارای افزایش معنی‌دار ۹۸/۸ درصدی بود. از سوی دیگر، تیمار RHL_2M_{12} نسبت به تیمار RHL_2M_2، کاهش ۶/۲ درصدی نشان داد. Iqbal (2018) در تحقیق خود بر روی تأثیر اصلاح‌کننده کاه برنج در بهبود اثر مضر شوری و افزایش میزان نیتروژن در خاک شالیزار به افزایش زیست‌توده میکروبی کربن پس از افزودن بقایای گیاه برنج و اهمیت آن برای نگهداری حاصلخیزی خاک، به‌ویژه در شرایط شور اشاره کرد. افزایش زیست‌توده میکروبی درنهایت به افزایش نکروز میکروبی کمک می‌کند که حداقل نیمی از مواد آلی خاک را تشکیل می‌دهد (Kallenbach *et al.*, 2016; Khan *et al.*, 2016).



شکل ۵. میانگین اثرات متقابل نوع و میزان اصلاح‌کننده آلی و مدت خوابانیدن بر کربن زیست‌توده میکروبی ($mg.kg^{-1}$). میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمالی پنج درصد اختلاف آماری معنی‌داری ندارند.

نتیجه‌گیری

با توجه به مشکلات مدیریتی خاک‌های ورتی‌سول به‌خصوص زمانی که همراه با مشکلات شوری و سدیم بالا باشد و عدم تناسب آن‌ها برای کارایی کشاورزی، از نتایج تحقیق حاضر می‌توان نتیجه‌گیری کرد اصلاح‌کننده‌های آلی از جمله زیست‌توده‌های باگاس نیشکر و کلش برنج با بهبود خصوصیات شیمیایی خاک و افزایش فعالیت آنزیم‌های دخیل در چرخه عناصر غذایی، فعالیت‌های بیولوژیکی خاک و در نتیجه دسترسی به مواد مغذی را برای محصولات کشاورزی افزایش می‌دهند. اگرچه، تأثیر آن‌ها بسته به نوع و کیفیت بقایای گیاهی (خشبی یا علفی بودن)، مقدار کاربرد و مدت‌زمان خوابانیدن و حتی شرایط محیطی ممکن است متغیر باشد. از سوی دیگر، بقایای گیاهی با ساختار خشبی‌تر (محتوای لیگنین بالا، نسبت C:N بیشتر) مانند باگاس نیشکر نقش بیشتری در بهبود خصوصیات خاک دارند، درحالی‌که بقایای با محتوای لیگنین پایین‌تر سریع‌تر تجزیه‌شده و مواد غذایی به‌راحتی در دسترس قرار می‌گیرند. ازاین‌رو، آن‌ها می‌توانند منابع خوبی از مواد مغذی برای محصولات با رشد سریع باشند. از سوی دیگر، پیشنهاد می‌شود که اثرات نسبت C:N و لیگنین بقایای گیاهی برای ارزیابی میزان تجزیه و رهاسازی مواد مغذی در نظر گرفته شود.

سپاسگزاری

از دانشگاه زنجان به خاطر حمایت‌های مالی این تحقیق تشکر و قدردانی می‌گردد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

Adetunji, A. T., Lewu, F. B., Mulidzi, R., & Ncube, B. (2017). The biological activities of β-glucosidase, phosphatase and urease as soil quality indicators: a review. Journal of soil science and plant nutrition, 17(3), 794-807.

Banai, M.H. (1998). A map of the soil and moisture regime of Iranian soils. Soil and water research institute, Tehran. (In Farsi)

Benitez, E., Sainz, H., & Nogales, R. (2005). Hydrolytic enzyme activities of extracted humic substances during the vermicomposting of a lignocellulosic olive waste. Bioresource Technology, 96(7), 785-790.

Blanco-Canqui, H., & Lal, R. (2009). Crop residue removal impacts on soil productivity and environmental quality. Critical reviews in plant science, 28(3), 139-163.

Brierley, J. A., Stonehouse, H. B., & Mermut, A. R. (2011). Vertisolic soils of Canada: Genesis, distribution, and classification. Canadian Journal of Soil Science, 91(5), 903-916.

Campos, A., Suárez, G., & Laborde, J. (2020). Analyzing vegetation cover-induced organic matter mineralization dynamics in sandy soils from tropical dry coastal ecosystems. Catena, 185, 104264.

Chandel, B. S., Thakur, P. K., Ali, J. A. V. E. D., & Singh, H. A. R. V. E. N. D. R. A. (2012). Soil sulphur status and response of garlic to sulphur in relation to phosphorus. Ann. Pl. Soil Res, 14(2), 156-158.

Chapman, H. D. (1965). Cation-exchange capacity. Methods of soil analysis: Part 2 Chemical and microbiological properties, 9, 891-901.

Chen, X., Xu, Y., Gao, H. J., Mao, J., Chu, W., & Thompson, M. L. (2018). Biochemical stabilization of soil organic matter in straw-amended, anaerobic and aerobic soils. Science of the Total Environment, 625, 1065-1073.

Clark, A. J., Meisinger, J. J., Decker, A. M., & Mulford, F. R. (2007). Effects of a Grass-Selective Herbicide in a Vetch–Rye Cover Crop System on Corn Grain Yield and Soil Moisture. Agronomy Journal, 99(1), 43-48.

Doran, J. W., & Parkin, T. B. (1994). Defining and assessing soil quality. Defining soil quality for a sustainable environment, 35, 1-21.

Eivazi, F., Tabatabai, M.A. 1988. Glucosidases and galactosidases in soils. Soil Biology and Biochemistry, 20, 601-606.

Emadodin, I., Narita, D., & Bork, H. R. (2012). Soil degradation and agricultural sustainability: an overview from Iran. Environment, development and sustainability, 14(5), 611-625.

Fytili, D., & Zabaniotou, A. (2008). Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods—A review. Renewable and sustainable energy reviews, 12(1), 116-140.

Galende, M. A., Becerril, J. M., Barrutia, O., Artetxe, U., Garbisu, C., & Hernández, A. (2014). Field

assessment of the effectiveness of organic amendments for aided phytostabilization of a Pb–Zn contaminated mine soil. Journal of Geochemical Exploration, 145, 181-189.

Ghani, W.A.W.A.K., Mohd, A., da Silva, G., Bachmann, R. T., Taufiq-Yap, Y.H., Rashid, U., Al-Muhtaseb, A.H. (2013). Biochar production from waste rubberwood- sawdust and its potential use in C sequestration: Chemical and physical characterization. Industrial Crops and Products, 44, 18-24.

Guangming, L., Xuechen, Z., Xiuping, W., Hongbo, S., Jingsong, Y., & Xiangping, W. (2017). Soil enzymes as indicators of saline soil fertility under various soil amendments. Agriculture, Ecosystems & Environment, 237, 274-279.

Heidari, A., Mahmoodi, Sh., Stoops, G., & Mees, F. (2005). Micromorphological Characteristics of Vertisols with and Without Smectites in Iran. Arid Land Res. Manag., 19(1): 29-46.

Hemayati, S. S., Akbar, M. R. J. E., Ghaemi, A. R., & Fasahat, P. (2017). Efficiency of white mustard and oilseed radish trap plants against sugar beet cyst nematode. Applied Soil Ecology, 119, 192-196.

Iqbal, T. (2018). Rice straw amendment ameliorates harmful effect of salinity and increases nitrogen availability in a saline paddy soil. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 17 (4), 445-453.

Jenkinson, D.S., & Ladd, J.N. (1981). Microbial Biomass in Soil: Measurement and Turnover. In: Paul, E.A. and Ladd, J.N. (Eds.). Soil Biochemistry. New York: Marcel Dekker, 5, 455–471.

Kallenbach, C. M., Frey, S. D., & Grandy, A. S. (2016). Direct evidence for microbial-derived soil organic matter formation and its ecophysiological controls. Nature communications, 7(1), 1-10.

Khalil, H. A., Hossain, M. S., Rosamah, E., Azli, N. A., Saddon, N., Davoudpoura, Y., ... & Dungani, R. (2015). The role of soil properties and its interaction towards quality plant fiber: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 43, 1006-1015.

Khan, K.S., Mack, R., Castillo, X., Kaiser, M., & Joergensen, R.G. (2016). Microbial biomass, fungal and bacterial residues, and their relationships to the soil organic matter C/N/P/S ratios. Geoderma, 271, 115–123.

Koocheki, A., Gholami, A., Mahdavi Damghani, A. & Tabrizi, L. (2005). Organic field crops handbook. Ferdowsi University of Mashhad Press. Publicatio no. 446, 385 p. (in Farsi)

Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. Sience, 304 (5677), 1623-1627.

Ling, N., Zhu, C., Xue, C., Chen, H., Duan, Y., Peng, C., Guo, S., & Shen, Q. (2016). Insight into how organic amendments can shape the soil microbiome in long-term field experiments as revealed by network analysis. Soil Biology and Biochemistry, 99, 137-149.

Ma, W., Abdulai, A., & Goetz, R. (2018). Agricultural cooperatives and investment in organic soil amendments and chemical fertilizer in China. American Journal of Agricultural Economics, 100(2), 502-520.

Mackie, K. A., Marhan, S., Ditterich, F., Schmidt, H. P., & Kandeler, E. (2015). The effects of biochar and compost amendments on copper immobilization and soil microorganisms in a temperate vineyard. Agriculture, Ecosystems & Environment, 201, 58-69.

Malakouti, M.J., Baybordi, A. Tabatabaei, S. J. (2004). Optimal use of fertilizer is an effective step in increasing yield, improving quality and reducing pollutants in vegetable and summer crops and promoting community health. Publication of Agricultural Sciences. First Edition.338 pp. (in Farsi)

Martinez, C. E., & Tabatabai, M. A. (1997). Decomposition of biotechnology by-products in soils (Vol. 26, No. 3, pp. 625-632). American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America.

Nannipieri, P., Giagnoni, L., Landi, L., & Renella, G. (2011). Role of Phosphatase Enzymes in Soil. Phosphorus in Action, 215–243.

Nelson, D.W., & Sommers, L.E. (1996). Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods. Soil Science Society of America Book, 5, 961-1010.

Nourmandipour, F., Delavar, M. A., Lal, R., Joseph, S. & Siewert, C. (2020). Influence of Rice Husk Biomass and Its Biochar on Some Enzymatic Activities in a Calcareous Sandy Soil. Soil and water research institute, Tehran, 51 (7), 1841- 1855. (In Farsi)

Nziguheba, G., Palm, C.A., Buresh, R.J., & Smithson, P.C. (1998). Soil phosphorus fractions and adsorption as affected by organic and inorganic sources. Plant and soil, 198(2), 159-168.

Nwajiaku, I. M., Olanrewaju, J. S., Sato, K., Tokunari, T., Kitano, S., & Masunaga, T. (2018). Change in nutrient composition of biochar from rice husk and sugarcane bagasse at varying pyrolytic temperatures. International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture, 7(4), 269-276.

Padmavathiamma, P. K., Li, L. Y., & Kumari, U. R. (2008). An experimental study of vermi-biowaste

composting for agricultural soil improvement. Bioresource technology, 99(6), 1672-1681.
Peña, A., Mingorance, M. D., & Rossini-Oliva, S. (2015). Soil quality improvement by the establishment of a vegetative cover in a mine soil added with composted municipal sewage sludge. Journal of Geochemical Exploration, 157, 178-183.
Puga, A. P., Abreu, C., Melo, L. C. A., & Beesley, L. (2015). Biochar application to a contaminated soil reduces the availability and plant uptake of zinc, lead and cadmium. Journal of environmental management, 159, 86-93.
Puttaso, A., Vityakon, P., Saenjan, P., Trelo-Ges, V., & Cadisch, G. (2011). Relationship between residue quality, decomposition patterns, and soil organic matter accumulation in a tropical sandy soil after 13 years. Nutrient cycling in agroecosystems, 89(2), 159-174.
Quintern, M., Lein, M., & Joergensen, R. G. (2006). Changes in soil–biological quality indices after long-term addition of shredded shrubs and biogenic waste compost. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 169(4), 488-493.
Soil Survey Staff. 2014. Keys to Soil Taxonomy, 12th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.
Tabatabai, M.A., Bremner, J.M. (1969). Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. Soil Biology and Biochemistry, 1, 301-307.
Tejada, M., Garcia, C., Gonzalez, J. L., & Hernandez, M. T. (2006). Use of organic amendment as a strategy for saline soil remediation: influence on the physical, chemical and biological properties of soil. Soil Biology and Biochemistry, 38(6), 1413-1421.
Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations. (2015). Retrieved from http://apps.fao.org/
Turmel, M. S., Speratti, A., Baudron, F., Verhulst, N., & Govaerts, B. (2015). Crop residue management and soil health: A systems analysis. Agricultural Systems, 134, 6-16.
Van Soest, P. V., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. Journal of dairy science, 74(10), 3583-3597.
Wall, D. H., Nielsen, U. N., & Six, J. (2015). Soil biodiversity and human health. Nature, 528(7580), 69-76.
Wang, N. F., Zhang, T., Zhang, F., Wang, E. T., He, J. F., Ding, H., Zhang, B. T., Liu, J., Ran, X. B., & Zang, J. Y. (2015). Diversity and structure of soil bacterial communities in the Fildes Region (maritime Antarctica) as revealed by 454 pyrosequencing. Frontiers in microbiology, 6, 1188.
Wang, Q., He, T., & Liu, J. (2016). Litter input decreased the response of soil organic matter decomposition to warming in two subtropical forest soils. Scientific reports, 6(1), 1-8.
WRB, (2015). World reference base for soil resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.
Wubie, A. A. (2015). Review on vertisol management for the improvement of crop productivity in Ethiopia. Journal of Biology, Agriculture and Healthcare, 5(12), 92-103.
Xie, H., Li, J., Zhu, P., Peng, C., Wang, J., He, H., & Zhang, X. (2014). Long-term manure amendments enhance neutral sugar accumulation in bulk soil and particulate organic matter in a Mollisol. Soil Biology and Biochemistry, 78, 45-53.
Zhao, X., Yuan, G., Wang, H., Lu, D., Chen, X., & Zhou, J. (2019). Effects of full straw incorporation on soil fertility and crop yield in rice-wheat rotation for silty clay loamy cropland. Agronomy, 9(3), 133.