Laboratory evaluation the effect of some organic amendments as a remediation strategy for a saline-sodic soil

Farideh Mahmoudinejad [a], Hosein Shekofteh [b,*], Saeid Shafiei [c], Javad Zamani [c], Farideh Abbaszadeh Afshar [c], Ghobad Jalali [c]

[a] *M.Sc. of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Jiroft, Iran*
[b] *Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Jiroft, Iran*
[c] *Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Jiroft, Iran*

Research Full Paper
Article History (Received: 2023/07/20 Accepted: 2024/02/8)

Extended abstract

1- Introduction

Reducing the capacity of preservation of water and nutrients, poor soil aggregation, instability of soil structure, reducing the rate of water infiltration into the soil, reducing microbial activity, reducing soil fertility and consequently reducing growth and yield of plants are the common problems of saline-sodic soils. Among of the agricultural soil amendment which can enhance agricultural productivity and soil sustainability, one that is organic in nature, is biochar. Biochar is the product of pyrolysis of many types of organic materials in the absence or partial absence of oxygen and at high temperature (usually around 450 degrees Celsius). More recent studies have reported positive improvements from the incorporation of biochar into poor soils, including decreased bulk density, increased water holding capacity, liming effect, and enhanced nutrient availability; but it depends on the type of feedstock's and production conditions of the biochars. Due to the fact that in our country, the area of saline-sodic soils is very large (10-15% of the country's area) and a little research has been done about the effect of usage of various types of organic modifiers on the improvement of saline-sodic soils properties, consequently, this study aimed to investigate the effects of adding some of organic modifiers, which most of them were organic wastes, on some physical and chemical properties and to improve saline-sodic soil.

2- Methodology

This study was carried out in a saline-sodic soil as a pot experiment in a completely randomized design with 13 treatments and 3 replications in the greenhouse conditions at the University of Jiroft. Treatments including 6 types of organic modifiers (wheat straw, palm waste, vermicompost, cocopeat, wheat straw biochar and palm wastes biochar) that each one was considered at two levels (5 and 10%) with control. The organic modifiers were later grounded and sieved with 2 mm sieve and made ready for application. The treatments were added to saline-sodic soil and incubated for 90 days by maintaining moisture content at the moisture of the field capacity of soil (it was done by weighing the pots). After incubation period, some chemical and physical properties of soil including pH, salinity (EC), sodium adsorption ratio (SAR), bulk density and clay dispersion were measured. Also, some biological properties including soil microbial respiration and alkaline phosphatase activity were measured. Data collected from each experiment were subjected to analysis using SAS Ver.9.4. The differences between mean values were identified using Duncan's multiple range tests at a significance of $p< 0.01$.

3- Results

The results indicated that adding organic modifiers caused significant changes in physical, chemical and biological soil properties. Addition of organic modifiers to the soil caused a significant decrease in pH and SAR compared to control pots. All organic modifiers greatly increased soil microbial respiration, alkaline

* **Corresponding Author: h.shekofteh@ujiroft.ac.ir**

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.158]

phosphatase activity and EC in compared to the control and organic modifiers addition at a higher level finally resulted in a higher value of soil EC. Application of organic modifiers soil reduced clay dispersion of the soil compared with the control. For example, clay dispersion was significantly reduced about 52 and 54 percent in compared to the control, by adding 10% of wheat straw and palm waste, respectively. Other organic modifiers had less effect on reducing clay dispersion than wheat straw and palm waste, but effect of all treatments on this parameter were significant in compared to the control. Also, the results of this study showed that addition of all organic modifiers to the soil, decreased soil bulk density compared to control which maximum decreasing was observed by application 10% of cocopeat and wheat straw biochar. Biochar has high porosity which results from retaining the cell wall structure of the biomass feedstock. Therefore, being a porous material when added to the soil, it increases its porosity and thus reduced bulk density.

4- Discussion & Conclusions

According to the results, cocopeat particularly at 10% level application, had highest effect on soil properties and to improve of saline - sodic soils. Generally, the use of organic materials in poor soils could increase the soil organic matter therefore improves its physical and chemical properties of soil, especially when the soil has additional problems from destructive factors such as salinity and sodicity. In addition, organic modifiers production has caused the optimal use of agricultural and industrial wastes and can be used to protect the environment and reduce pollutants. Also, the use of these wastes as biochar could be a more environmentally friendly solution. However, further researches are needed to determine the impacts of a specific biochar on a specific saline- sodic soil.

Key Words: Biochar, Cocopit, Vermicompost, Saline-sodic soils.

Cite this article: Mahmoudinejad, F., Shekofteh, H., Shafiei, S., Zamani, J., Abbaszadeh Afshar, F., & Jalali, Gh. (2024). Laboratory evaluation the effect of some organic amendments as a remediation strategy for a saline-sodic soil. *Journal of* Environmental *Erosion Research. 2024; 14 (1) :158-177*. http//doi.org/

© The Author(s).
DOI: http//doi.org/
Published by Hormozgan University Press.
URL: http://magazine.hormozgan.ac.ir

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.158]

بررسی آزمایشگاهی تأثیر برخی اصلاح‌کننده‌های آلی به‌عنوان یک استراتژی برای اصلاح یک خاک شور و سدیمی

فریده محمودی‌نژاد: *دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی ، دانشگاه جیرفت*
حسین شکفته*: *دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت*
سعید شفیعی: *استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت*
جواد زمانی بابگهری: *استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت*
فریده عباس‌زاده افشار: *استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت*
قباد جلالی: *استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت*

نوع مقاله: پژوهشی
تاریخچهٔ مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۴/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۹)
DOI: http//doi.org/

چکیده

با وجود کمبود زمین‌های مناسب کشاورزی و سطح بالای زمین‌های شور و سدیمی در کشور، اصلاح این خاک‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. کاهش ظرفیت نگهداری آب و مواد مغذی، خاک‌دانه‌سازی ضعیف، کاهش سرعت نفوذ آب در خاک، کاهش فعالیت میکروبی، کاهش حاصلخیزی خاک و در نتیجه کاهش عملکرد محصول از جمله مشکلات رایج خاک‌های شور و سدیمی محسوب می‌شوند. لذا این پژوهش با هدف بررسی اثر برخی اصلاح‌کننده‌های آلی (کاه و کلش گندم، ضایعات نخل خرما، ورمی‌کمپوست، کوکوپیت، بیوچار کاه گندم و بیوچار نخل خرما هر کدام در دو سطح ۵ و ۱۰ درصد وزنی) بر ویژگی‌های شیمیایی، بیولوژیکی و فیزیکی یک خاک شور و سدیمی، به‌صورت گلدانی در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۱۳ تیمار و سه تکرار در شرایط گلخانه‌ای در دانشگاه جیرفت اجرا شد. نمونه‌برداری از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری از خاک ایستگاه تحقیقاتی شهید بهشتی دانشگاه جیرفت انجام شد و بعد از ترکیب سطوح اصلاح‌کننده‌ها با خاک به مدت سه ماه در محیط گلخانه تحت انکوباسیون قرار گرفتند. نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد همه اصلاح‌کننده‌های آلی سبب تغییرات معنی‌دار در ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی خاک شدند. نتایج مقایسه میانگین ویژگی‌های خاک نشان داد که افزودن اصلاح‌کننده‌های آلی به خاک، تأثیر کاهشی معنی‌داری بر مقدار pH و نسبت جذب سدیم (SAR)، درصد پراکنش رس و جرم مخصوص ظاهری خاک و تأثیر افزایشی معنی‌داری بر مقدار هدایت الکتریکی خاک، تنفس میکروبی و فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی در اکثر اصلاح‌کننده‌های آلی نسبت به تیمار شاهد داشت. با در نظر داشتن برآیند تأثیر اصلاح‌کننده‌های آلی بر ویژگی‌های فیزیکی، شمیایی و زیستی استفاده از کوکوپیت ۱۰ درصد در مقایسه با سایر تیمارها سبب اصلاح بهتر شرایط خاک مورد آزمایش شد و به عنوان اصلاح‌کننده منتخب برای مطالعات بیشتر و یا حتی به عنوان اصلاح‌کننده تجاری در اصلاح خاک‌های مشابه پیشنهاد می‌شود. با این حال، مطالعات اولیه برای استفاده در موارد خاص لازم می‌باشد. همچنین ضایعات آلی می‌تواند با تامین مواد آلی در خاک‌هایی که از لحاظ کربن آلی فقیر می‌باشند و با تأثیر مثبت بر مقدار کلسیم و منیزیم، می‌تواند راهکاری مناسب در بهبود کیفیت خاک از لحاظ مواد آلی و کاهش اثرات مخرب شور و سدیمی بودن خاک باشد.

واژگان کلیدی: بیوچار، کوکوپیت، ورمی‌کمپوست، خاک شور و سدیمی

* نویسندهٔ مسئول: h.shekofteh@ujiroft.ac.ir

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.158]

۱- مقدمه

خاک‌های شور و سدیمی به عنوان یک مشکل جدی تخریب اراضی به شمار می‌آیند که بیش از شش درصد از مناطق جهان را تحت تأثیر قرار می‌دهند (FAO, 2000). کشور ایران پس از هند و پاکستان با داشتن حدود ۶/۸ میلیون هکتار زمین‌های شور در صدر کشورهای در معرض هشدار از نظر تنش شوری به شمار می‌آید. مساحت خاک‌های شور و سدیمی در کشور ما حدود ۱۵ تا ۲۶ میلیون هکتار (۱۰ تا ۱۵درصد مساحت کشور) گزارش شده است (Mostafazadeh et al, 2007; Moameni, 2010). در خاک‌های شور و سدیمی، میزان سدیم محلول و سدیم تبادلی بالا است که باعث پراکندگی خاک بوده و در نتیجه باعث می‌شود که ساختمان خاک ضعیف شود، نفوذپذیری آب به درون خاک کاهش یابد و این موضوع موجب اختلال در تهویه و تنش اکسیژن در خاک خواهد شد (Gharaibeh et al, 2010). علاوه بر تخریب ساختمان خاک، شوری و سدیمی بودن خاک بر ویژگی‌های شیمیایی و بیولوژیکی آن نیز تأثیر منفی می‌گذارد (Rietz and Haynes, 2003). افزایش شوری خاک، سبب کاهش شاخص‌های بیولوژیکی مانند تنفس و بیومس میکروبی می‌شود (Barin et al, 2013a). در خاک‌های شور و سدیمی، شوری خاک به طور مستقیم بر جامعه میکروبی آن اثر می‌گذارد و باعث تغییر یا کم شدن فعالیت جامعه میکروبی خاک می‌شود (Rietz and Haynes, 2003)، همچنین شوری و سدیمی بودن خاک ممکن است اثرات سمی بر گیاهان زراعی، علفی و درختان داشته باشد (Wong et al, 2010) که به نوبه‌ی خود منجر به کاهش مواد آلی و به همین ترتیب سبب کاهش قابل توجه فعالیت‌های میکروبی خاک می‌شوند (Datta et al, 2016). بنابراین هر تغییری که بر اثر فاکتورهای محیطی مانند شوری در جامعه میکروبی خاک ایجاد شود می‌تواند سبب تغییر در فعالیت‌های میکروبی نظیر فعالیت آنزیمی خاک نیز شود (García et al, 2004).

به علت کمبودها و مشکلات موجود در خاک‌های شور و سدیمی، اصلاح و بهبود این خاک‌ها برای رسیدن به وضعیتی که در آن توانایی و امکان زراعت وجود داشته باشد، ضروری می‌باشد. از این‌رو محققان برای بازسازی و بهبود خاک‌های شور و سدیمی، از روش‌های مختلفی مانند آبشویی و همچنین مصرف مواد اصلاح‌کننده آلی و معدنی استفاده می‌کنند (Ammari et al, 2008; Enayati et al, 2011). بهترین راه برای اصلاح خاک‌های سدیمی، جایگزین نمودن کلسیم به جای سدیم تبادلی و آبشویی سدیم جایگزین شده از ناحیه ریشه و یا پروفیل خاک می‌باشد. منبع رایج برای تأمین کلسیم ماده‌ای است که یا اینکه خود دارای کلسیم باشد و یا اینکه پس از مصرف باعث انحلال آن و در نتیجه آزادسازی کلسیم در فاز محلول خاک شود. افزودن منبع حاوی کلسیم در خاک‌های غیرآهکی و افزایش حلالیت کلسیم موجود به ویژه در خاک‌های آهکی به عنوان دو راهکار برای اصلاح خاک‌های شور و سدیمی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین می‌توان با افزودن ماده آلی، فشار گاز CO_2 و در نتیجه حلالیت آهک در خاک را افزایش داد و سبب کاهش اسیدیته (pH) خاک شد (Hanay et al, 2004). با افزودن ماده آلی به خاک، از یک سو کلسیم محلول با شدت بیشتری جایگزین سدیم تبادلی می‌شود و از سوی دیگر به دلیل بهبود شرایط ساختمان و افزایش نفوذپذیری خاک، سدیم سریع‌تر از خاک خارج می‌شود (Walker and Bernal, 2008).

یکی از راه‌های استفاده مفید از پسماندهای آلی کشاورزی، فرآیند پیرولیز می‌باشد که اخیراً مورد توجه ویژه‌ای قرار گرفته است (Laird, 2008). فرآیند تبدیل کربن زیست‌توده‌های آلی به یک فرم پایدار مؤثر (کربن سیاه) از

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.158]

طریق احتراق، تحت شرایط اکسیژن محدود یا فاقد اکسیژن به عنوان پیرولیز شناخته می‌شود. پیرولیز یک راهکار برای ایجاد ماده‌ای به عنوان بیوچار (زغال زیستی) می‌باشد که در سال‌های اخیر به عنوان ماده‌ای برای بهبود خاک مورد توجه دانشمندان قرار گرفته است (Laird, 2008)، این ماده به دلیل داشتن کربن پایدار و درنتیجه کاهش اثرات مخرب بر گرمایش زمین توجه دانشمندان را بیشتر به خود جلب کرده است (Lu et al, 2015). در واقع اصطلاح "بیوچار" به محصول کربن جامد تولید شده از پیرولیز زیست توده اشاره دارد که عمدتاً برای استفاده به عنوان یک اصلاح‌کننده خاک تولید می‌شود و در سال‌های اخیر پیشرفت قابل توجهی در درک خواص آن، توانایی جذب و اثرات آن بر رشد گیاه هنگام استفاده در خاک صورت گرفته است.

با افزودن بیوچار به خاک، تغییرات ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک قابل توجه است و این ماده می‌تواند بر بافت، ساختمان، تخلخل، مقاومت، اندازه منافذ و توزیع اندازه ذرات و تراکم خاک و همچنین بر ویژگی‌های شیمیایی خاک نظیر مقدار شوری، اسیدیته، نسبت جذب سدیم، ظرفیت تبادلی تأثیر بگذارد و موجب بهبود آن‌ها شود. با این حال، در برخی مطالعات اثرات منفی بیوچار بر ویژگی‌های خاک نیز گزارش شده است (Miri et al, 2021). بیوچار از سطح ویژه بالایی برخوردار است و معمولاً سطح ویژه آن از خاک بیشتر می‌باشد و در صورت استفاده در خاک باعث افزایش خالص کل سطح ویژه خاک می‌شود (Lehmann and Joseph, 2009). همچنین بیوچار می‌تواند ویژگی‌های شیمیایی خاک‌های شور و سدیمی را بهبود بخشد، زیرا با توجه به آزادسازی کلسیم و منیزیم از پیکره‌ی آلی مواد، این ماده می‌تواند منبع عناصری مانند کلسیم و منیزیم برای اصلاح این خاک‌ها نیز باشد (Laird et al, 2010). بیوچار به دلیل تخلخل بالایی که دارد و به دلیل افزایش منافذ درشت خاک و افزایش پایداری ساختمان خاک که به علت وجود مواد آلی حاصل می‌شود، سبب افزایش تخلخل کل خاک و همچنین سبب کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک می‌شود و بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مانند ظرفیت نگه‌داشت آب، pH، در دسترس بودن عناصر ریزمغذی و توانایی جذب سموم مختلف خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Libra et al, 2011; Lu et al, 2015). بیوچار به عنوان یک اصلاح کننده می‌تواند غلظت مواد آلی خاک به خصوص کربن آلی قابل استخراج را افزایش دهد (Lin et al, 2012) و سبب بهبود کیفیت خاک تخریب شده و تحریک فعالیت میکروبی خاک شود (Lehmann et al, 2011).

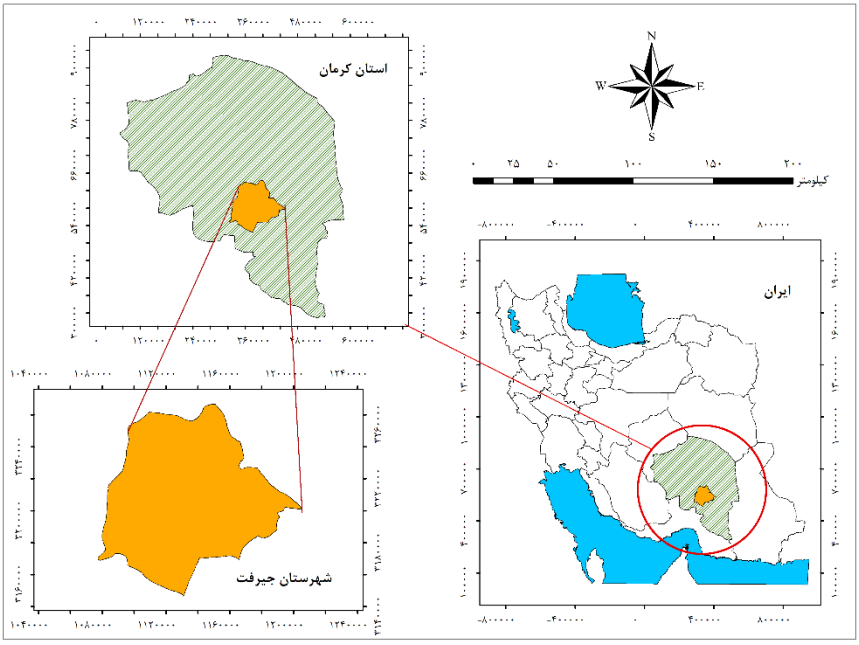
با توجه به ناکافی بودن زمین‌های مناسب کشاورزی و قابل توجه بودن وسعت اراضی شور و سدیمی، اصلاح این خاک‌ها که پتانسیل و قابلیت کشت و کار در آن‌ها وجود دارد، حائز اهمیت می‌باشد. همچنین با توجه به مساحت زیاد خاک‌های شور و سدیمی در کشور و اینکه هر ساله به دلیل مدیریت نادرست به وسعت این خاک‌ها افزوده می‌شود، برای جلوگیری از شور و سدیمی شدن خاک‌های جدید و اصلاح خاک‌های شور و سدیمی که از قبل وجود داشته، باید راه‌حلی پیدا کرد. از آنجایی‌که افزودن ماده آلی به خاک از طریق بهبود کیفیت خاک، به ایجاد پوشش گیاهی و افزایش کربن آلی ذخیره شده در خاک کمک می‌کند و به عنوان یک راه‌حلی برای کنترل تخریب خاک و بیابان‌زایی بشمار می‌آید، مطالعات زیادی در رابطه با استفاده از ضایعات آلی در خاک شور و سدیمی صورت گرفته است (Masciandaro et al, 2013; Ogunsona et al, 2017; Saghafi et al, 2019; Tejada et al, 2006; Van Camp et al, 2004)، اما تا به امروز، اثر افزودن ضایعات نخل خرما و بیوچار حاصل از آن، کاه و کلش گندم و بیوچار حاصل از آن، کوکوپیت و ورمی‌کمپوست، بر ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک‌های شور و سدیمی مورد بررسی قرار

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.158]

نگرفته است. به دلیل اهمیت زیاد این مسئله و کافی نبودن اطلاعات درباره این موضوع، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر اصلاح‌کننده‌های آلی (شامل کاه و کلش گندم، ضایعات نخل خرما، ورمی‌کمپوست، کوکوپیت، بیوچار کاه گندم و بیوچار نخل خرما) به عنوان یک استراتژی برای اصلاح خاک‌های شور – سدیمی انجام شد.

۲- منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش نمونه‌برداری از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری یک خاک شور و سدیمی از ایستگاه تحقیقاتی شهید بهشتی دانشگاه جیرفت با مختصات جغرافیایی (E ″۳۸/۸ ′۴۸ °۵۷؛ N ″۲۰/۹ ′۳۵ °۲۸) انجام شد (شکل ۱). متوسط ارتفاع این منطقه حدود ۶۳۰ متر از سطح دریا می‌باشد. متوسط بارندگی سالیانه حدود ۱۹۳ میلی‌متر و متوسط دمای هوا سالیانه ۲۴ درجه سانتی‌گراد است. رژیم های حرارتی و رطوبتی خاک‌های منطقه به ترتیب هایپرترمیک و اریدیک می‌باشد.



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در شهرستان جیرفت، استان کرمان

۳- مواد و روش‌ها

۱-۳- تجزیه آزمایشگاهی خاک مورد مطالعه و تهیه اصلاح‌کننده‌های آلی

نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه، هوا خشک شده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. برخی از ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی این خاک نظیر بافت خاک به روش هیدرومتری (Andrenelli et al, 2016)، pH خاک در گل اشباع، قابلیت هدایت الکتریکی (EC) در عصاره‌ی گل اشباع خاک (Page et al, 1982)، مقدار سدیم نیز در عصاره اشباع و با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر اندازه‌گیری شدند. کلسیم و منیزیم نیز در عصاره اشباع و به روش جذب اسپکتروفتومتری و به کمک دستگاه جذب اتمی تعیین شدند. نسبت جذب سدیم (SAR) از رابطه ($SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+}+Mg^{2+}}{2}}}$) که در آن تمام غلظت‌ها بر حسب میلی‌اکی‌والان در لیتر هستند محاسبه شد (Sparks et al, 1996). مقدار کربنات کلسیم معادل به روش خنثی‌سازی با اسید کلریدریک (Alison and Modie, 1965)، جرم مخصوص ظاهری به

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.158]

روش کلوخه (Blake and Hartge, 1986)، مقدار کربن آلی خاک به روش واکلی و بلاک (Page et al, 1982) و ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) نیز به روش باور (Bower et al, 1952) اندازه‌گیری شد. نتایج تجزیه خاک مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱: ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

جرم مخصوص ظاهری	بافت	سیلت	رس	شن	pH	EC	SAR	ظرفیت تبادل کاتیونی	کربنات کلسیم معادل	فسفر قابل جذب	کربن آلی
$g.cm^{-3}$	-		%		-	$dS.m^{-1}$	$((meq.l)^{-1})^{0.5}$	$Cmolc.kg^{-1}$		%	
۱/۴۸	Silty Clay Loam	۵۵/۶	۳۰/۷	۱۳/۷	۷/۷۳	۴۹/۱۶	۱۵۰/۲۶	۱۰	۱۷/۵	۱/۵۷	۰/۸۷

کاه و کلش گندم و ضایعات نخل خرما، از مزارع و باغات شهرستان جیرفت جمع‌آوری شد، بیوچار کاه گندم و بیوچار ضایعات نخل خرما نیز از این بقایای گیاهی در دمای ۴۵۰ درجه سلسیوس تهیه و آماده‌سازی شد. همچنین ورمی‌کمپوست و کوکوپیت هم خریداری شد. تمام مواد اصلاح‌کننده آلی توسط آسیاب پودر شده و بخشی از آن برای انجام آزمایش‌های اولیه از الک دو میلی‌متری عبور داده و باقی‌مانده آن برای افزودن به خاک به گلخانه تحقیقاتی دانشگاه جیرفت انتقال داده شد. برخی ویژگی‌های شیمیایی اصلاح‌کننده‌ها نظیر pH و قابلیت هدایت الکتریکی، سدیم، کلسیم و منیزیم با استفاده از روش‌های معمول و استاندارد (در عصاره ۱:۱۰) اندازه‌گیری شد. مقدار کربن آلی در زغال زیستی با استفاده از دستگاه آنالیز عنصری (Macro Elementar Analyzer) و میزان کربن آلی سایر اصلاح‌کننده‌های آلی به روش واکلی و بلاک (Page et al, 1982) اندازه‌گیری شد. نتایج تجزیه شیمیایی اصلاح‌کننده‌های آلی در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲: ویژگی‌های شیمیایی اصلاح‌کننده‌های آلی مورد استفاده

	pH (1:10)	EC (1:10) ($dS\ m^{-1}$)	Ca	Na	Mg	کربن آلی
			(ppm)			(%)
ضایعات نخل خرما	۵/۶۱	۶/۶۱	۲۰/۳۹	۲۲/۵۰	۱۸/۸۲	۶۶/۵۰
ورمی کمپوست	۷/۶۷	۳/۱۵	۱۱/۵۳	۲۶/۵۰	۱۶/۱۴	۴۴/۱۲
کاه گندم	۶/۱۶	۶/۲۰	۲۰/۱۰	۳۲/۷۰	۱۵/۶۳	۷۹/۰۰
بیوچار کاه گندم	۹/۱۱	۸/۵۳	۲۲/۰۴	۳۱/۵۰	۲۳/۱۹	۴۷/۵۱
کوکوپیت	۶/۴۲	۲/۶۰	۲۳/۵۸	۲۴/۳۳	۱۸/۲۹	۴۶/۰۰
بیوچار ضایعات نخل خرما	۸/۹۶	۹/۰۴	۱۳/۸۳	۱۸/۵۰	۱۸/۳۰	۵۱/۷۲

۲-۳- طرح آزمایش مورد استفاده و اعمال تیمارها

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.158]

این پژوهش به منظور بررسی اثر اصلاح‌کننده آلی بر برخی از ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی یک خاک شور و سدیمی به صورت آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۱۳ تیمار (کاه و کلش گندم، ضایعات نخل خرما، ورمی کمپوست، کوکوپیت، بیوچار کاه گندم و بیوچار ضایعات نخل خرما) و هر کدام در دو سطح ۵ و ۱۰ درصد وزنی و تیمار شاهد (بدون افزودن اصلاح‌کننده) و سه تکرار در یک خاک شور و سدیمی به صورت گلخانه‌ای در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه جیرفت اجرا شد.

ابتدا نمونه‌های خاک به وزن شش کیلوگرم با مقادیر ۵ و ۱۰ درصد از اصلاح‌کننده‌های آلی مخلوط شدند. پس از مخلوط کردن کامل خاک با ضایعات آلی، این نمونه‌ها به گلدان‌های شش کیلوگرمی انتقال داده شد. سپس گلدان‌ها در گلخانه به مدت سه ماه در محیط گلخانه با دمای ۲۲±۴°C تحت انکوباسیون قرار گرفتند. کنترل رطوبت خاک گلدان‌ها در طی این دوره در دامنه ۵۰ تا ۷۵ درصد رطوبت ظرفیت زراعی و به روش وزنی انجام شد و در زمان نیاز به طریق سطحی، آبیاری صورت گرفت. پس از سه ماه انکوباسیون مقداری از نمونه خاک برای انجام آنالیزها به آزمایشگاه منتقل شد.

با توجه به هدف مطالعه، برخی از ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی نمونه‌های خاک تیمارشده با اصلاح‌کننده‌های آلی نظیر pH، EC، SAR، جرم مخصوص ظاهری خاک با استفاده از روش‌های معمول و استاندارد و مقدار رس قابل پراکنش به روش رنگاسمی (Rengasamy, 1984) اندازه‌گیری شد. همچنین اندازه‌گیری ویژگی‌های بیولوژیکی خاک مانند تنفس میکروبی به روش اندرسون* (1982) و فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی طبق روش طباطبایی† و همکاران (1994) انجام شد.

۳-۳- تجزیه آماری داده‌ها

آنالیز تجزیه واریانس داده‌های حاصل از نمونه‌برداری با استفاده از نرم‌افزار SAS Ver.9.4 و مقایسه میانگین با استفاده از آزمون دانکن در سطح یک درصد انجام شد.

۴- نتایج و بحث

۴-۱- اثر اصلاح‌کننده‌های آلی بر قابلیت هدایت الکتریکی (EC)، pH و نسبت جذب سدیم (SAR)

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلاح‌کننده‌های آلی بر هدایت الکتریکی خاک در سطح یک درصد ($P<0/01$) معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها در مورد این ویژگی نشان داد که همه تیمارها غیر از کوکوپیت ۱۰ درصد، سبب افزایش EC خاک نسبت به شاهد شده‌اند، به‌طوری‌که بیشترین مقدار EC از کاربرد ۱۰ درصد بیوچار ضایعات نخل خرما در خاک (۳۴/۸ dS m^{-1}) حاصل شد (شکل ۲). با توجه به اطلاعات جدول ۲، بیوچار ضایعات نخل خرما در مقایسه با سایر اصلاح‌کننده‌ها، شوری بالاتری (۹/۰۴ dS m^{-1}) داشت؛ بنابراین افزایش بیشتر مقدار EC در خاک تیمار شده با بیوچار ضایعات نخل خرما دور از انتظار نبود. بسیاری از تحقیقات، افزایش EC خاک در طی افزایش پسماندهای آلی به خاک به دلیل معدنی شدن ماده آلی در خاک و آزادسازی املاح مختلف را گزارش کرده‌اند (Kabirinejad et al, 2014; Lee, 2010) که با نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر نیز مطابقت دارد.

* Anderson
† Tabatabai

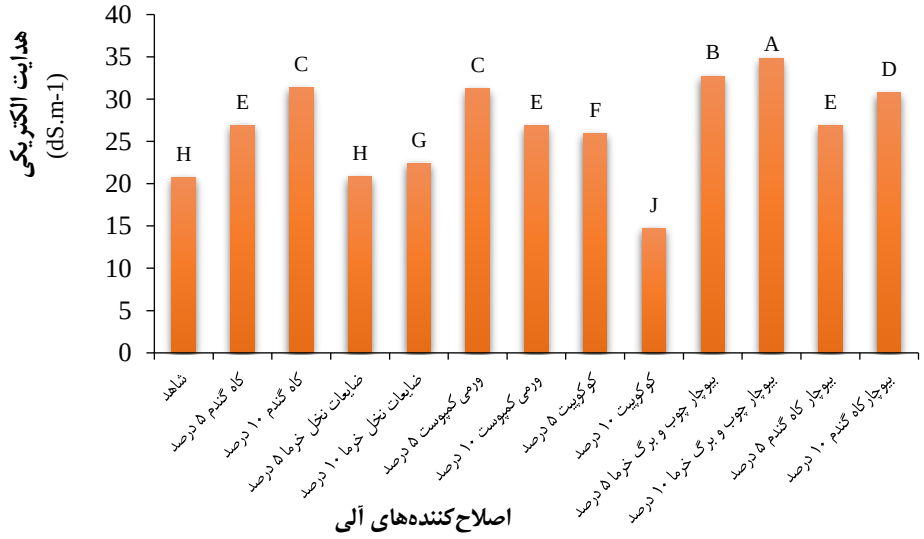
[DOI: 10.61186/jeer.14.1.158]

همچنین کمترین مقدار EC تیمارها از کوکوپیت ۱۰ درصد (۱۴/۷۳ dS m^{-1}) حاصل شد (شکل ۲). کوکوپیت به دلیل دارا بودن ذراتی با اندازه کوچک، قدرت نگهداری آب بالایی دارد که این ویژگی کوکوپیت با افزایش مقدار آب جذب شده در خاک در شرایط رطوبتی اشباع (Noguera et al, 2000) و احتمالاً افزایش ظرفیت نگهداشت آب در اثر کاربرد سطوح بالاتر کوکوپیت و در نتیجه کاهش غلظت مواد محلول در عصاره خروجی از خاک، سبب کاهش EC خاک در این تیمار در مقایسه با سایر اصلاح‌کننده‌ها شده است.

جدول ۳: نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های شیمیایی در خاک تیمارشده با پسماند

منابع تغییرات	درجه آزادی	pH	EC	SAR
تیمار	۱۲	۰/۲۵**	۱۲۰/۳۳**	۳۰۲۴/۴۷**
خطا	۲۶	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۸	۰/۵۱
ضریب تغییرات (درصد)	_	۰/۱۳	۰/۳۴	۰/۶۱

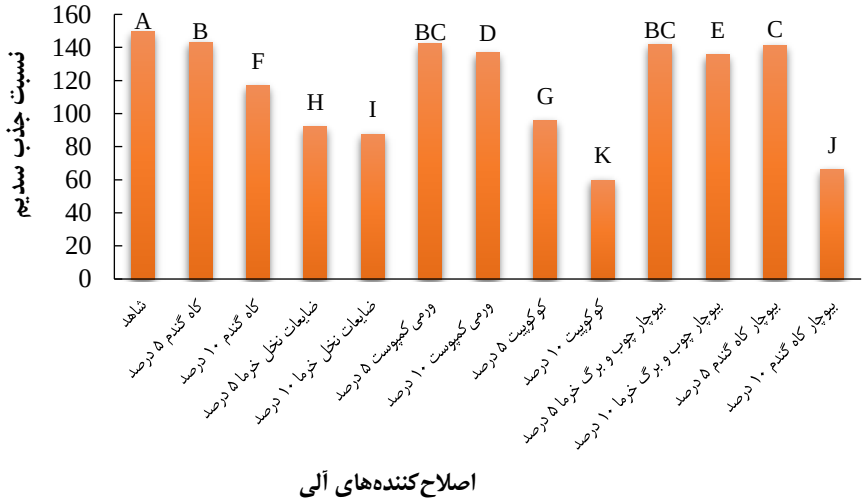
** معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد است.



شکل ۲: اثر اصلاح‌کننده‌های آلی بر هدایت الکتریکی خاک (اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار (P<0.01) نمی‌باشند)

با توجه به شکل ۳ مشخص می‌شود که SAR به عنوان شاخص سدیمی بودن خاک، در بین تیمارهای اصلاح‌کننده‌های مختلف، کاهش معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد داشته است. همچنین نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلاح‌کننده‌های آلی بر مقدار SAR خاک در سطح یک درصد (P<۰/۰۱) معنی‌دار شد (جدول ۳).

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.158]

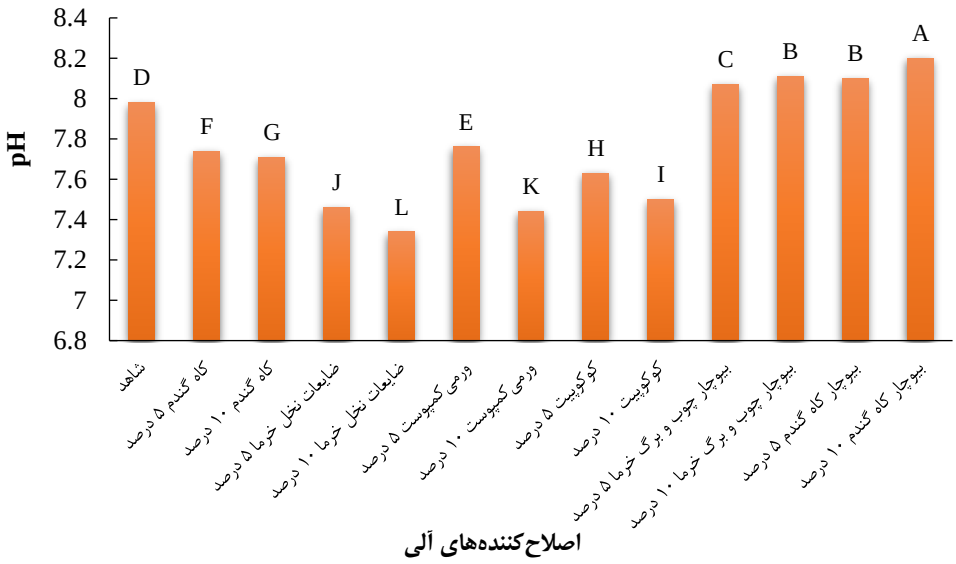


شکل ۳: اثر اصلاح‌کننده‌های آلی بر نسبت جذب سدیم خاک (اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار (P<0.01) نمی‌باشند)

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نیز نشان می‌دهد که همه اصلاح‌کننده‌ها سبب کاهش معنی‌دار SAR خاک نسبت به تیمار شاهد شده‌اند و کمترین مقدار SAR در خاک مربوط به تیمار کوکوپیت ۱۰ درصد ($(meq/l)^{0/5}$ ۵۹/۶۸) و بیشترین آن مربوط به خاک موجود در تیمار شاهد ($(meq/l)^{0/5}$ ۱۴۹/۳۹) بود (شکل ۳). در رابطه با کاهش مقدار SAR خاک با توجه به جدول ۲ می‌توان نتیجه گرفت که علی‌رغم افزایش سدیم، افزایش بیشتر مجموع غلظت کلسیم و منیزیم به خاک در اثر افزودن اصلاح‌کننده‌ها، موجب کاهش SAR خاک شده است. Saghafi و همکاران (۲۰۱۹) اثر سطوح مختلف بیوچار نخل خرما بر ویژگی‌های شیمیایی خاک شور را مورد بررسی قرار دادند؛ نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که افزایش سطوح بیوچار، سبب کاهش SAR و افزایش EC، سدیم، کلسیم و منیزیم شده است که با نتایج پژوهش حاضر نیز هم‌خوانی دارد.

در مورد تأثیر تیمارهای مختلف بر شرایط اسیدی خاک، با توجه به نتایج تجزیه واریانس، اصلاح‌کننده‌های آلی افزوده‌شده به خاک اثر معنی‌داری در سطح ۱ درصد (P<۰/۰۱) بر مقدار pH خاک داشتند (جدول ۳). با اعمال تیمارها و نگهداری آن‌ها در زمان انکوباسیون، مقدار pH خاک به علت تأثیر بقایای آلی غیر بیوچاری کاهش یافت اما بیوچار بقایای آلی مورداستفاده سبب افزایش مقدار pH در خاک مورد مطالعه شد. همچنین با افزایش سطح کاربرد از ۵ به ۱۰ درصد در همه‌ی اصلاح‌کننده‌های آلی به غیر از بیوچار ضایعات نخل خرما و بیوچار کاه گندم ، pH خاک به طور معنی‌داری کاهش یافت؛ به‌طوری‌که بیشترین pH مربوط به بیوچار کاه گندم ۱۰ درصد (۸/۲) و کمترین آن مربوط به ضایعات نخل خرما ۱۰ درصد (۷/۳۴) بود (شکل ۴).

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.158]



شکل ۴: اثر اصلاح‌کننده‌های آلی بر اسیدیته خاک (اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار ($P<0.01$) نمی‌باشند)

به‌طورکلی می‌توان گفت بقایای گیاهی طی فرآیند تجزیه در خاک، با آزادسازی اسیدهای آلی و تحریک فرآیندهای اسیدزا نظیر نیتریفیکاسیون، سبب افزایش غلظت یون H^+ شده و باعث کاهش مقدار pH در خاک می‌شوند (Lakhdar et al, 2009). در پژوهش حاضر، اکثر مواد آلی سبب کاهش pH خاک نسبت به شاهد شدند، به طوری‌که ضایعات نخل خرما بیشترین تأثیر را در کاهش مقدار pH داشت (شکل ۴). افزودن مواد آلی به خاک با افزایش خاصیت بافری سبب حفظ تعادل pH خاک نیز می‌شود و از نوسانات pH جلوگیری می‌کند. دلیل اصلی این پدیده افزایش فعالیت بیولوژیکی با افزودن مواد آلی به خاک می‌باشد، در این رابطه Nash and Baligay (۱۹۷۴) نیز بیان نمودند که زیر خاک کردن بقایای گیاهی به مرور زمان سبب کاهش pH خاک‌های قلیایی و افزایش pH خاک‌های اسیدی شده است. آن‌ها دلیل این رخداد را افزایش فعالیت‌های بیولوژیک و افزایش ترشحات قارچ‌ها و باکتری‌ها عنوان کردند.

محققین زیادی نیز علت کاهش pH خاک را افزایش جزئی فشار گاز CO_2 حاصل از تنفس ریشه گیاه و تجزیه مواد آلی گزارش کردند (Gupta et al, 1989; Hardie et al, 2014). در پژوهش حاضر، در تیمار شاهد با توجه به عدم کاربرد مواد آلی و کمبود مقدار ماده آلی در این خاک، با انجام آبیاری در طی آزمایش بر مقدار سدیم و نمک خاک افزوده شده و در نتیجه مقدار pH خاک نیز افزایش پیدا کرده است. از سوی دیگر در خاک‌های شور و سدیمی اضافه نمودن ماده آلی از تجمع نمک در سطح خاک جلوگیری می‌کند و همچنین با توجه به قابلیت جذب و نگهداری بالای آب توسط ماده آلی، عصاره این خاک‌ها رقیق‌تر می‌شود (Abdel-Fattah, 2012). به نظر می‌رسد در سایر تیمارها، با کاربرد کربن آلی، CO_2 آزاد شده در اثر تجزیه مواد آلی، سبب کاهش موضعی pH خاک نسبت به شاهد شده و آثار نامطلوب این خاک‌ها را تا حدودی کاهش داده است.

در این پژوهش، علی‌رغم اینکه مواد آلی سبب کاهش pH خاک شده‌است، بیوچار ضایعات نخل خرما و بیوچار کاه گندم در هر دو سطح ۵ و ۱۰ درصد به‌طور معنی‌داری سبب افزایش pH نسبت به شاهد شده بود (شکل ۴). در این راستا می‌توان افزایش pH را به اثر آهکی بیوچار نسبت داد (Wang et al, 2014). دکربوکسیلاسیون

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.158]

(کربوکسیل‌زدایی) آنیون‌های آلی حاصل از بیوچار اضافه شده به خاک، پروتون‌ها (H^+) را مصرف می‌کند، و در نتیجه pH خاک افزایش می‌یابد.

۲-۴- اثر اصلاح‌کننده‌های آلی بر جرم مخصوص ظاهری

بر طبق نتایج تجزیه واریانس که در جدول ۴ ارائه شده است، اثر اصلاح‌کننده‌های آلی بر جرم مخصوص ظاهری در سطح یک درصد ($P<۰/۰۱$) معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که همه اصلاح‌کننده‌ها سبب کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک شده‌اند. بیشترین مقدار جرم مخصوص ظاهری در تیمار شاهد (۱/۴۸ gr cm^{-3}) و کم‌ترین مقدار آن به‌ترتیب در سطح ۱۰ درصد کاربرد کوکوپیت (۱/۱۱ gr cm^{-3}) و بیوچار کاه گندم (۱/۱۲ gr cm^{-3}) بود که این دو تیمار تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند (شکل ۵).

جدول ۴: تجزیه واریانس اثر اصلاح‌کننده‌های آلی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک

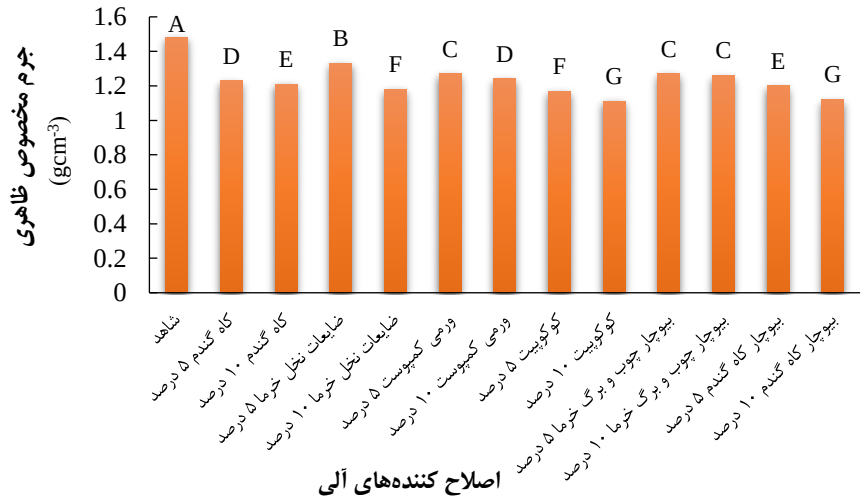
منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن مخصوص ظاهری	پراکنش رس
تیمار	۱۲	۰/۰۲**	۲۱۷/۳۴**
خطا	۲۶	۰/۰۰۰۰۵	۰/۴۲
ضریب تغییرات (درصد)	_	۰/۵۹	۱/۸۳

** معنی‌دار بودن در سطح احتمال یک درصد است.

علت کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک می‌تواند ناشی از اختلاط خاک با موادی با جرم مخصوص کمتر و تأثیر افزایش ماده آلی خاک در اثر کاربرد مواد آلی باشد. ماده آلی با بهبود شرایط خاکدانه‌سازی، وضعیت تخلخل و نفوذپذیری خاک را ارتقا می‌بخشد و از این طریق هم می‌تواند جرم مخصوص ظاهری خاک را کاهش دهد (Hardie et al, 2014). از سوی دیگر برخی پژوهشگران دریافتند که ماده آلی به عنوان عامل سیمانی کننده عمل کرده و در همآوری ذرات برای تشکیل خاکدانه‌های مقاوم ضروری است. مواد آلی به عنوان یکی از عوامل اتصال‌دهنده ذرات اولیه بوده که باعث تشکیل و پایداری خاک‌دانه می‌شوند. خاک‌دانه‌سازی و افزایش اندازه خاک‌دانه‌ها، فضای تخلخل را افزایش داده و به این ترتیب، جرم مخصوص ظاهری خاک کاهش می‌یابد (Tejada et al, 2006).

به‌طورکلی ماده‌ی آلی با ایجاد ساختمان فیزیکی و تخلخل بیشتر در خاک، سبب بروز جرم معینی از خاک در حجم بیشتر می‌شود و در نتیجه سبب کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک می‌شود؛ اختلاف معنی‌دار در کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک در شرایط مصرف و عدم مصرف بیوچار در خاک در تحقیقات زیادی از جمله Laird و همکاران (۲۰۱۰)، و Hardie و همکاران (۲۰۱۴) گزارش شده است. Sun و همکاران (۲۰۱۵) نیز گزارش کردند، افزودن بیوچار به یک خاک لوم شنی سبب اصلاح ساختار منافذ خاک و در نتیجه افزایش قدرت نگه‌داشت رطوبت خاک شده است. همچنین در تحقیق دیگری توسط Razzaghi and Rezaie (۲۰۱۷) نتیجه مشابهی در خصوص تأثیر کاربرد بیوچار بر جرم مخصوص ظاهری خاک گزارش شده است.

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.158]



شکل ۵: اثر اصلاح‌کننده‌های آلی بر جرم مخصوص ظاهری خاک (اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار (P<0.01) نمی‌باشند)

۳-۴- اثر اصلاح‌کننده‌های آلی بر درصد پراکنش رس خاک

با توجه به نتایج تجزیه واریانس، اصلاح‌کننده‌های آلی افزوده‌شده به خاک اثر معنی‌داری در سطح ۱ درصد (P<۰/۰۱) بر پراکنش رس داشتند (جدول ۴). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که همه اصلاح‌کننده‌ها سبب کاهش درصد پراکنش رس خاک شده‌اند؛ در این رابطه کمترین درصد پراکنش رس مربوط به خاک تیمار شده با ۱۰ درصد از ضایعات نخل خرما (۲۲/۹ درصد) و بیشترین درصد آن مربوط به خاک شاهد (۵۰/۱۶ درصد) بود. در بین تیمارهای اصلاحی، بیشترین درصد پراکنش رس به ترتیب مربوط به کاربرد ۵ درصد از کوکوپیت (۴۴/۴۵ درصد)، ورمی کمپوست (۴۳/۷۷ درصد) و بیوچار ضایعات نخل خرما (۴۳/۵۷ درصد) بود که این تیمارها از نظر آماری با هم تفاوت معنی‌داری نداشتند (شکل ۶).

در رابطه با کاهش پراکنش رس با افزودن ماده آلی به خاک می‌توان گفت که مواد آلی باعث افزایش اتصال ذرات به یکدیگر و نیز به طور مستقیم با افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌ها به‌خصوص قارچ‌ها شده و هیف قارچ‌ها، خاک‌دانه‌های کوچک را به یکدیگر متصل نموده و خاک‌دانه‌های بزرگ را به وجود می‌آورند (Tisdall et al, 1984) که این موضوع می‌تواند موجب کاهش رس قابل پراکنش در خاک شود.

علاوه بر مواد آلی پوسیده، مواد آلی زود تجزیه شونده و پلی‌ساکاریدهای میکروبی که در اثر تجزیه ماده آلی تولید می‌شوند، سبب پایداری خاکدانه‌های کوچک می‌شوند (Tisdall et al, 1984). Rousta و همکاران (۲۰۰۲) کاهش مقدار رس قابل پراکنش با کاربرد کاه و کلش گندم در خاک را در مقایسه با شاهد گزارش کردند. Asghari (۲۰۱۱) نیز گزارش کرد با افزایش مقدار مصرفی لجن فاضلاب، مقدار رس قابل انتشار در آب به طور نسبی کاهش پیدا می‌کند. وی بیان داشت علت کاهش رس قابل انتشار در اثر افزودن لجن فاضلاب، افزایش کربن آلی خاک بوده است که باعث افزایش چسبندگی ذرات خاک و در نتیجه کاهش پراکندگی ذرات رس قابل پراکنش شده است.

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.158]



شکل ۶: اثر اصلاح‌کننده‌های آلی بر درصد رس قابل پراکنش خاک (اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار ($P<0.01$) نمی‌باشند)

۴-۴- اثر اصلاح‌کننده‌های آلی بر تنفس میکروبی خاک

نتایج تجزیه واریانس، نشان داد که اثر اصلاح‌کننده‌های آلی بر تنفس میکروبی خاک در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۵). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که همه‌ی اصلاح‌کننده‌ها به‌طور معنی‌داری سبب افزایش تنفس میکروبی خاک نسبت به شاهد شده‌اند و با افزایش سطوح اصلاح‌کننده‌ها میزان تنفس میکروبی خاک نیز افزایش بیشتری پیدا کرده است. در پژوهش حاضر، کمترین میزان تنفس میکروبی برای شاهد (۷۴/۳۶ µg CO_2/day.g) حاصل شد که پایین بودن تنفس میکروبی در شاهد به نقش منفی شوری خاک بر جمعیت میکروارگانیسم‌ها و فعالیت آن‌ها مربوط می‌باشد. به عبارت دیگر اصلاح خاک شور با مواد آلی، باعث افزایش معدنی شدن و همین‌طور فعالیت یا جمعیت میکروارگانیسم‌های خاک شده و هم زمان بهبود تهویه خاک و در نتیجه افزایش انتشار گاز CO_2 را در پی داشته است (Muhammad et al, 2007). در نتیجه، اضافه کردن ماده آلی به عنوان اصلاح‌کننده به خاک باعث تحریک فعالیت تنفسی خاک شد که با نتایج به دست آمده توسط Xiaogang و همکاران (۲۰۰۶) و Tejada و همکاران (۲۰۰۶) که افزایش تنفس میکروبی خاک با افزودن ماده آلی را گزارش کردند، نیز مطابقت داشت.

در تحقیق حاضر، بیشترین میزان تنفس میکروبی از کاه گندم ۳۰ تن در هکتار (۱۰ درصد) (µg CO_2/day.g ۳۱۶/۸) به‌دست آمد. در بین تیمارهای اصلاحی، کم‌ترین میزان تنفس میکروبی خاک به ترتیب مربوط به بیوچار کاه گندم ۱۵ تن در هکتار (۵ درصد) (۷۸/۰۹ µg CO_2/day.g) و بیوچار ضایعات نخل خرما ۱۵ تن در هکتار (۵ درصد) (۷۷/۱۳ µg CO_2/day.g) بود که این دو تیمار از نظر آماری با هم تفاوت معنی‌داری نداشتند (شکل ۷). به طور کلی، افزودن اصلاح‌کننده‌های آلی (نظیر کاه گندم و ضایعات نخل خرما و غیره) به خاک سبب افزایش مواد آلی خاک شده است اما بخش عمده این مواد در مقابل تجزیه میکروبی پایدار نبوده و به سرعت تجزیه و از خاک خارج شده‌اند. با توجه به پایداری بیوچار در مقابل تجزیه میکروبی و زمان ماندگاری طولانی آن در خاک، مصرف بیوچار باعث افزایش سطح مواد آلی خاک به مدت طولانی و در نتیجه بهبود خصوصیات خاک شده است.

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.158]

جدول ۵: تجزیه واریانس اثر اصلاح‌کننده‌های آلی بر خصوصیات بیولوژیکی خاک

منابع تغییرات	درجه آزادی	تنفس میکروبی	آنزیم فسفاتاز قلیایی
تیمار	۱۲	۱۶۰۳۹/۷۴**	۳۲۷۳۸۱/۳۷**
خطا	۲۶	۰/۵۰	۷۲۷۷/۸۴
ضریب تغییرات (درصد)	_	۰/۴۹	۲/۵۱

** معنی‌دار بودن در سطح احتمال یک درصد در آزمون دانکن است.



شکل۷: مقایسه میانگین اثر انواع اصلاح‌کننده‌های آلی بر تنفس میکروبی خاک

شواهد نشان داده است که کربن بیوچار بسیار مقاوم و پایدار بوده و زمان ماندگاری آن‌ها در مورد بیوچار چوب در دامنه ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ سال قرار می‌گیرد که ۱۰ تا ۱۰۰۰ برابر زمان ماندگاری کربن آلی خاک است. بنابراین افزودن بیوچار به خاک می‌تواند مخزن بالقوه‌ای از کربن را در خاک فراهم آورد (Verheijen et al, 2010). Steiner و همکاران (۲۰۱۱) افزایش فعالیت و سرعت رشد میکروبی را با افزودن بیوچار به خاک مشاهده کردند. در مطالعه آن‌ها علی‌رغم افزایش سرعت تکثیر میکروبی پس از افزودن گلوکز در خاک تیمار شده با بیوچار، تنفس خاک افزایش نیافت. این اختلاف بین تنفس پایین خاک و جمعیت میکروبی بالا یکی از ویژگی‌های خاک‌های ترا پرتا* (خاک‌های سیاه آمازون، نام محلی برای خاک‌های منطقه آمازون برزیل) است. این نتایج نشان می‌دهد وجود مواد آلی کم تجزیه‌پذیر همراه با مقدار کافی عناصر مغذی قادر به حمایت از رشد جمعیت میکروبی هستند.

۵-۴- اثر اصلاح‌کننده‌های آلی بر آنزیم فسفاتاز قلیایی خاک

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، نشان داد که اثر اصلاح‌کننده‌های آلی بر فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که همه‌ی اصلاح‌کننده‌های آلی به طور معنی‌داری سبب افزایش میزان فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی خاک نسبت به شاهد شده‌اند و با افزایش سطوح اصلاح‌کننده‌ها میزان فعالیت

* Terra Perta

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.158]

آنزیم فسفاتاز قلیایی خاک نیز افزایش بیشتری پیدا کرده است. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در بین تیمارهای مورد مطالعه، کم‌ترین میزان فعالیت فسفاتاز قلیایی مربوط به شاهد (۲۳۳۵/۰۴ µg pNP/g.h) بود و بیشترین میزان فسفاتاز قلیایی از بیوچار کاه گندم ۳۰ تن در هکتار (۱۰ درصد) (۵۵۳۳/۲۷ µg pNP/g.h) بدست آمد (شکل ۸). در پژوهش حاضر، به دلیل افزایش جمعیت میکروبی خاک با دریافت مواد آلی (بیوچار، ورمی‌کمپوست، کوکوپیت، کاه گندم و ضایعات نخل خرما)، خاک مورد استفاده از سطح فعالیت زیستی بالاتری برخوردار شده است. بنابراین امکان ساخته شدن مقادیر بیشتری از آنزیم‌های فسفاتاز فراهم شده است. pH خاک، بر فعالیت آنزیم تأثیر می‌گذارد و میزان دسترسی بسترها را برای واکنش‌های آنزیمی تعیین می‌کند (Turner, 2010). بنابراین تغییر pH خاک در نتیجه استفاده از مواد آلی، فعالیت آنزیم را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از آنجایی که بیوچار مورد استفاده در مطالعه حاضر قلیایی بوده، افزایش pH و در نتیجه‌ی آن افزایش فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی با افزودن بیوچار به خاک مورد انتظار بود. بنابراین افزایش فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی در اثر کاربرد بیوچار کاه و کلش گندم و بیوچار ضایعات نخل خرما می‌تواند به دلیل pH بالای بیوچارها باشد.



شکل ۸: مقایسه میانگین اثر انواع اصلاح‌کننده‌های آلی بر فعالیت فسفاتاز قلیایی خاک

بیوچار بسته به ویژگی‌های آن می‌تواند تأثیر متنوعی در pH، میزان کربن و CEC خاک اصلاح شده داشته باشد که این ویژگی‌ها فعالیت آنزیمی را تعیین می‌کنند. استفاده از بیوچار احتمالاً به دلیل ایجاد منبع اضافی کربن و مواد مغذی و افزایش ظرفیت خاک در جذب مواد قابل جذب، تأثیر قابل توجهی در تحریک فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی داشته است (Lu et al, 2015).

Tejada و همکاران (۲۰۰۶) نیز افزایش دسترسی میکروارگانیسم‌ها به مواد غذایی به دنبال اضافه کردن مواد آلی و افزایش ترشحات ریشه‌ای را دلیلی بر افزایش فعالیت فسفاتازها عنوان نموده‌اند. در پژوهش دیگری نیز عنوان شده است که اضافه شدن کود دامی سبب افزایش زیست توده میکروبی و ترشحات ریشه‌ای شده و به دنبال آن فعالیت ریزجانداران و در نتیجه تولید و فعالیت فسفاتازها در ریزوسفر گیاه افزایش یافته است (Christenen and Johnston, 1997). به‌طورکلی، تحقیقات در مورد میکروارگانیسم‌ها در اکثر موارد تأثیر مثبت بیوچار بر جامعه میکروبی را نشان می‌دهد.

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.158]

۵- نتیجه‌گیری کلی

شوری و سدیمی بودن خاک، علاوه بر تخریب ساختمان خاک، بر ویژگی‌های شیمیایی و بیولوژیکی خاک نیز تأثیر منفی می‌گذارد. با توجه به ناکافی بودن زمین‌های مناسب کشاورزی و قابل توجه بودن وسعت اراضی شور-سدیمی، اصلاح این خاک‌ها که پتانسیل و قابلیت کشت و کار در آن‌ها وجود دارد حائز اهمیت می‌باشد. افزودن ماده آلی به خاک مناطق شور و سدیمی از طریق بهبود کیفیت خاک، کمک به ایجاد پوشش گیاهی و افزایش کربن آلی ذخیره شده در خاک به عنوان یک راه حل برای کنترل تخریب خاک و بیابان‌زایی بشمار می‌آید. درنتیجه استفاده از اصلاح‌کننده‌های آلی به منظور بهبود کیفیت خاک، افزایش ماده آلی خاک و بهبود خاک شور و سدیمی در مناطق خشک و نیمه خشک گسترش یافته است. این پژوهش به منظور بررسی اثر ۶ اصلاح‌کننده‌های آلی بر برخی از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی در یک خاک شور و سدیمی در شهرستان جیرفت انجام شد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که کاربرد اصلاح‌کننده‌های آلی در یک خاک شور و سدیمی می‌تواند باعث بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک از جمله کاهش pH و SAR، درصد پراکنش رس و جرم مخصوص ظاهری خاک شود. همچنین براساس نتایج، همه اصلاح‌کننده‌ها سبب بهبود تنفس میکروبی و میزان آنزیم فسفاتاز قلیایی خاک شدند. افزودن سطوح مختلف بیوچارهای مذکور به خاک، در اکثر تیمارها به‌طور معنی‌داری سبب افزایش EC خاک نسبت به شاهد شده است. با توجه به نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، استفاده از کوکوپیت ۱۰ درصد تأثیر بیشتری در اصلاح خاک‌های شور و سدیمی داشت و به عنوان اصلاح‌کننده منتخب برای مطالعات بیشتر و یا حتی به عنوان اصلاح‌کننده تجاری در اصلاح این نوع خاک‌ها پیشنهاد می‌شود اما مطالعات اولیه برای استفاده در موارد خاص لازم می‌باشد. پیشنهاد می‌شود با توجه به اینکه در این تحقیق نقش اقلیم در ماندگاری ماده آلی و تاثیر آن بر ویژگی‌های خاک در نظر گرفته نشده است، نتیجه تاثیر طولانی‌مدت این اصلاح‌کننده در مزرعه نیز بررسی شود. به‌طورکلی استفاده از ضایعات آلی، به ویژه در اکثر خاک‌های ایران که از لحاظ کربن آلی فقیر می‌باشند، علاوه‌بر بهبود خواص کیفی خاک، با تأثیر مثبت بر مقادیر کلسیم و منیزیم خاک، می‌تواند راهکاری مناسب در کاهش اثرات مخرب شور و سدیمی بودن خاک باشد. تولید و استفاده از بیوچار به‌عنوان یکی از اصلاح کننده‌های آلی، علاوه‌بر تامین ماده آلی خاک، به‌دلیل پایداری بالای آن جهت حفظ سطح ماده آلی خاک، می‌تواند به عنوان یکی از روش‌های نسبتاً ارزان و همسو با اهداف زیست محیطی مد نظر قرار گیرد. همچنین تولید بیوچار باعث استفاده بهینه از ضایعات کشاورزی و صنعتی شده و می‌تواند جهت حفظ محیط زیست و کاهش آلاینده‌ها مورد استفاده قرار گیرد. لذا با توجه به اثرات مفید اصلاح‌کننده‌های آلی از جمله بیوچار بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک‌های شور و سدیمی در مناطق مختلف، بررسی تأثیر سایر اصلاح کننده‌های آلی و معدنی بر خصوصیات این خاک‌ها و همچنین بررسی عملکرد محصولات کشاورزی در این شرایط، پیشنهاد می‌گردد.

منابع

1. Abdel-Fattah, G., 2012. Palatal eversion: a new technique in treatment of nasopharyngeal stenosis. *International journal of pediatric otorhinolaryngology*, 76(6), pp.879-882. https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2012.02.064
2. Alison L.E.; & Modie C.D., 1965. Carbonate. pp. 1379-1396. In: C.A. Black et al (ed.), Methods of soil analysis. Part II, America. Society. Agron. Madison, WI.

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.158]

3. Ammari T.G.; Tahboub A.B.; Saoub H.M.; Hattar B.I.; & Al-Zubi Y.A., 2008. Salt removal efficiency as influenced by phyto-amelioration of salt-affected soils. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 6: 456-460.
4. Anderson, T.H.; & Domsch, K.H., 1989. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. Soil Biology and Biochemistry. 21: 471-479. https://doi.org/10.1016/0038-0717(89)90117-X
5. Andrenelli M.C.; Maienza A.; Genesio L.; Miglietta F.; Pellegrini S.; Vaccari F.P.; & Vignozzi N., 2016. Field application of pelletized biochar: Short term effect on the hydrological properties of a silty clay loam soil. *Agricultural Water Management*, 163(1):190-196. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.09.017
6. Asghari, Sh., 2011. Effects of Tabriz petrochemical sewage sludge organic carbon, aggregate stability indices and consistency limits of a semiarid soil. *Journal of Water and Soil*, 25(3): 530-539. (In Persian with English abstract). https://10.22067/jsw.v0i0.9640
7. Barin, M.; Aliasgharzad, N.; Olsson, P.A.; Moghaddam, M.; & Rasoli-Sadaghiani, M.H., 2013. Assessing microbial community structure influenced by salinity and plant type by in cultivated soils and salt marshes of the Tabriz plain, using lipid biomarkers. PhD Thesis. Tabriz'S University, Tabriz, Iran.
8. Blake, G.R.; & Hartge, K.H., 1986. Bulk density. pp. 363-375. In: Klute, A. (ed.), *Methods of Soil Analysis*. Part I: Physical and Mineralogical Methods, second Agronomy Monograph No 9. American Society of Agronomy, Madison, WI.
9. Bower C.A.; Reitemeier R.F.; & Fireman M., 1952. Exchangeable Cation Analysis of Saline and Alkali Soils. *Soil Science*, 73: 251-261.
10. Christenen, B.T.; & Johnston, A.E., 1997. Soil organic matter and soil quality lessons learned from long-term experiments at Askov and Rothamsted. P 157- 159, In: E.G. Gregorich and M.R. Catrer (Eds), *Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health*, Elsevier, Amsterdam. https://doi.org/10.1016/S0166-2481(97)80045-1
11. Datta, S.; Singh, J.; Singh, S.; Singh. J., 2016. Earthworms, pesticides and sustainable agriculture: a review. *Environmental Science and Pollution Research*. 23: 8227-8243. https://doi.org/10.1007/s11356-016-6375-0
12. Enayati, K.; Rousta, M.J.; & Vakili, A., 2011. The simple and combined effects of organic and mineral amendments on aggregates size of the salic sodia soil with silt loam texture. *Journal of Water and Soil Science*, 15(56): 169-178. (In Persian with English abstract). http://dorl.net/dor/20.1001.1.24763594.1390.15.56.13.3
13. FAO/AGL. 2000. Extent and causes of salt-affected soils in participating countries: FAO/AGL global network on integrated soil management for sustainable use of salt-affected lands.
14. García-Gil, J.C.; Plaza, C.; Senesi, N.; Brunetti, G.; & Polo. A., 2004. Effects of sewage sludge amendment on humic acids and microbiological properties of a semiarid Mediterranean soil. *Biol. Fertil. Soils*. 39(5): 320-328. https://doi.org/10.1007/s00374-003-0709-z
15. Gharaibeh, M.; Eltaif, N.; & Shra'ah, S., 2010. Reclamation of a calcareus saline sodic soil using phosphoric acid and by product gypsum. *Soil Use and Management*, 26(2): 141-148. https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2010.00260.x
16. Gupta, P.K.; Singh, R.R.; & Abrol, I.P., 1989. Influence of simuiltaneous changes in sodicity and pH on the Hydraulic conductivity of and alkali soil under rice culture. *Soil Science*, 147: 28-33.
17. Hanay, A.; Buyuksonmez, F.; Kiziloglu, F.M.; & Conbolat, M.Y., 2004. Reclamation of saline-sodic soils with Gypsum and MSW compost. *Compost Science and Utilization*, 12: 175-179. https://doi.org/10.1080/1065657X.2004.10702177
18. Hardie, M.; Clothier, B.; Bound, S.; Oliver, G.; & Close, D., 2014. Does biochar influence soil physical properties and soil water availability? *Plant Soil*, 376: 347–361. https://doi.org/10.1007/s11104-013-1980-x
19. Kabirinejad, S.; Kalbasi, M.; Khoshgoftarmanesh, A.H.; Hoodaji, M.; & Afyuni, M., 2014. Effect of incorporation of crops residue into soil on some chemical properties of soil and bioavailability of copper in soil. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 2: 2819-2824.

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.158]

20. Laird, D.A., 2008. The charcoal vision: a win–win–win scenario for simultaneously producing bioenergy, permanently sequestering carbon, while improving soil and water quality. *Agronomy Journal*, 100: 178–181. https://doi.org/10.2134/agronj2007.0161
21. Laird, D.A.; Fleming, P.; Davis, D.D.; Horton, R.; Wang, B.; & Karlen, D.L., 2010. Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil. *Geoderma*. 158 (3): 443–449. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.05.013
22. Lakhdar, A.; Rabhi, M.; Ghnaya, T.; Montemurro, F.; Jedidi, N.; & Abdelly, C.; 2009. Effectiveness of compost use in salt-affected soil. *Journal of hazardous materials*, 171(1-3): 29-37. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.05.132
23. Lee, J., 2010. Effect of application methods of organic fertilizer on growth, soil chemical properties and microbial densities in organic bulb onion production. *Scientia Horticulturae*, 124(3): 299-305. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.01.004
24. Lehmann, J.; & Joseph, S., 2009. *Biochar for environmental management*, pp. 1-12. In: J. Lehmann, and S. Joseph (eds.), Biochar for Environmental Management. Science and Technology. Earthscan, London.
25. Lehmann, J.; Rillig, M.C.; Thies, J.; Masiello, C.A.; Hockaday, W.C.; & Crowley, D., 2011. Biochar effects on soilbiota-areview. *Soil Biology and Biochemistry* .43.1812–1836. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.04.022
26. Libra, J.A.; Kammann Ro, K.S.; Funke, C.; Berge, A.; & Neubauer, N.D., 2011. Hydrothermal carbonization of biomass residuals: A comparative review of the chemistry, processes and applications of wet and dry pyrolysis. Biofuels, 2: 89-124. https://doi.org/10.4155/bfs.10.81
27. Lin, Y.; Munroe, P.; Joseph, S.; Henderson, R.; & Ziolkowski, A., 2012. Water extractable organic carbon in untreated and chemical treated biochar. *Chemosphere*. 87: 151–157. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.12.007
28. Lu, H.; Li, Z.; Fu, S.; Mendez, A.; Gasco, G.; Paz-Ferreiro, J., 2015. Combining phytoextraction and biochar addition improves soil biochemical properties in a soil contaminated with Cd. *Chemosphere*, 119: 209-216. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.06.024
29. Masciandaro, G.; Macci, C.; Peruzzi, E.; Ceccanti, B.; & Doni, S., 2013. Organic matter-microorganism plant in soil bioremediation: a synergic approach. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 12: 399–419. http://dx.doi.org/10.1007%2Fs11157-013-9313-3
30. Miri, F.; Zamani babgohari, J.; & Zare Banadkouki, M., 2021. The effect of different levels of pistachio harvesting wastes biochar on growth and water productivity of maize. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 52(1): 227-236. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/ijswr.2020.312593.668779
31. Moameni, A., 2010. Geographical distribution and salinity levels of soil resources of Iran. *Soil Research Journal*. 24: 203-215. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/ijsr.2011.126633
32. Mostafazadeh-Fard, B.; Heidarpour, M.; Aghakhani, A.; & Feizi, M., 2007. Effects of irrigation water salinity and leaching on soil chemical properties in an arid region. *International Journal of Agriculture and Biology*, 3:166-462.
33. Muhammad, S.; Muller, T.; & Joergensen, R., 2007. Compost and P amendments for stimulating microorganisms and maize growth in a saline soil from Pakistan in comparison with a nonsaline soil from Germany. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 170: 745-751. https://doi.org/10.1002/jpln.200625122
34. Nash, V.E.; & Baligay, V.C., 1974. The growth of soybean roots in relation to soil micro morphology. *Plant and Soil*, 41: 81-89. https://doi.org/10.1007/BF00017946
35. Noguera, P.; Abad, M.; Noguera, V.; Puchades, R.; & Maquieira, A., 2000. Coconut coir waste, a new and viable ecologically friendly peat substitute. *Acta Horticulturae*, 517: 279-286. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2000.517.34
36. Ogunsona, E.O.; Misra, M.; & Mohanty, A.K., 2017. Sustainable biocomposites from biobased polyamide 6, 10 and biocarbon from pyrolyzed miscanthus fibers. *Journal of Applied Polymer Science*, 134:44221. https://doi.org/10.1002/app.44221
37. Page, A.L.; Miller, R.H.; & Keeney, D.R., 1982. *Methods of Soil Analysis*. Second edition. Part2: Chemical and Biological Properties. Madison, WI: American Society of Agronomy.

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.158]

38. Razzaghi, F.; & Rezaie, N., 2017. Effects of different levels of biochar on soil physical properties with different textures. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 7(10): 75-88. (In Persian with English abstract)
39. Rengasamy, P., 1984. Dispersion of calcium clay. *Australian Journal of Soil Research*, 20: 153-158. https://doi.org/10.1071/SR9820153
40. Rietz, D.N.; & Haynes, R.J., 2003. Effect of irrigation-induced salinity and sodicity on soil microbial activity. *Soil Biology and Biochemistry*. 35: 845-854. https://doi.org/10.1016/S0038-0717(03)00125-1
41. Rousta, M.J.; Golchin, A.; Siadat H.; & Saleh Rastin, N., 2002. Effects of organic matter and mineral compunds on some chemical properties and biological activity of a sodic soil. *Iranian Journal of Soil Research*, 16(1): 33-45. (In Persian with English abstract)
42. Saghafi, F.; Ghaneie, M. J.; & Shirmardi, M., 2019. Investigation of the effect of date biochar on the chemical properties of saline soil. 4th International Congress of Developing Agriculture, Natural Resources, Environment and Tourism of Iran. University of Tabriz. (In Persian)
43. Sparks, D.L.; Page, A.L.; Helmke, P.A.; Loeppert, R.H.; Soltanpour, P.N.; Tabatabai, M.A.; Johnston, C.T.; & Sumner, M.E., 1996. *Methods of Soil Analysis*. Part III: Chemical Methods. Soil Science Society of America, Inc. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
44. Steiner, C., Melear, N., Harris, K., & Das, K.C., 2011. Biochar as bulking agent for poultry litter composting. *Carbon Management*. 2:227–230. https://doi.org/10.4155/cmt.11.15
45. Sun, Z.; Arthur, E.; De Jonge, L.W.; Elsgaard, L.; & Moldrup, P., 2015. Pore structure characteristics after 2 years of biochar application to a sandy loam field. *Soil Science*, 180: 41-46. https://10.0.4.73/SS.0000000000000111
46. Tabatabai, M.A.; Weave, R.W.; Angle, S.; Bottomley, P.; Bezdicek, D.; Smith, S.; Tabatabai, A.; & Wollum, A., 1994. *Soil enzyme. Methods in soil Analysis*, part 2: Microbiological and Biochemical properties.
47. 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*, 38:1413-1421. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.10.017
48. Tisdall, J.M.; Olsson, K.A.; & Willoughby, P., 1984. Soil structural management and production in a non-cultivated peach orchard. *Soil and Tillage Research*, 4(2): 165-174. https://doi.org/10.1016/0167-1987(84)90045-X
49. Turner, B.L., 2010. Variation in pH optima of hydrolytic enzyme activities in tropical rain forest soils. *Applied and Environmental Microbiology*. 76: 6485–6493. https://doi.org/10.1128/AEM.00560-10
50. Van Camp, L.; Bujarrabal, B.; Gentile, A.R.; Jones, R.J.A.; Montanarella, L.; & Olazabal, C., 2004. Report of the technical working groups established under the thematic strategy for soil protection. EUR 21319 EN/1. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
51. Verheijen, F.; Jeffery, S.; Bastos, A.C.; Van der velde, M.; & Diasfas, I., 2010. *Biochar application to soils*: A critical scientific review of effects on soil properties, processes and functions. In: EUR 24099 EN, off. Off. Publ. EUR. Communities. (149 p).
52. Walker, D.J.; & Bernal, M.P., 2008. The effects of olive mill waste compost and poultry manure on the availability and plant uptake of nutrients in a highly saline soil. *Bioresource Technology*, 99: 396-403. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.12.006
53. Wang, L.; Butterly, C.R.; Wang, Y.; Herath, H.M.S.K., Xi, Y.G.; Xiao, X.J., 2014. Effect of crop residue biochar on soil acidity amelioration in strongly acidic tea garden soils. *Soil Use and Management*, 30: 119-128. https://doi.org/10.1111/sum.12096
54. Wong, V.N.; Greene, R.S.B.; Dalal, R.C.; & Murphy. B.W., 2010. Soil carbon dynamics in saline and sodic soils: a review. *Soil Use and Management*. 26(1): 2-11. https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2009.00251.x
55. Xiaogang, L.; Fengmin, L.; Bhupinderpal, S.; Zhijun, C.; & Zed. R., 2006. Decomposition of maize straw in saline soil. *Biology and Fertility of Soils*. 42: 336-370. https://doi.org/10.1007/s00374-005-0042-9

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.158]