Journal of Water and Soil
https://jsw.um.ac.ir

Research Article
Vol. 37, No. 4, Sep.-Oct. 2023, p. 589-602

Acid-modified Biochar Effect on Some Physiological Indicators and Micronutrient Availability of Quinoa (cv. Gizavan) in a Calcareous Soil

M. Bazi Abdoli[1], M. Barani Motlagh[2]*, A. Bostani[3], T. Nazari[4]

Received: 06-05-2023
Revised: 06-08-2023
Accepted: 19-09-2023
Available Online: 19-09-2023

How to cite this article:
Bazi Abdoli, M., Barani Motlagh, M., Bostani, A., & Nazari, T. (2023). (2023). Acid-modified biochar effect on some physiological indicators and micronutrient availability of quinoa (cv. Gizavan) in a calcareous soil. *Journal of Water and Soil, 37*(4), 589-602. (In Persian with English abstract).
http://doi.org/10.22067/jsw.2023.82277.1281

Introduction

Organic matter and alkaline pH are the main causes of nutrient deficiencies in calcareous soils of arid and semi-arid regions. The availability of some nutritional elements, including the micronutrients such as iron, zinc, copper, and manganese is very low in calcareous soils, although the total concentration of these elements may be relatively high. Burning crop residues results in substantial loss of nutrients, and may lead to air pollution and human health problems. An alternative approach is to apply crop residues to soil in the form of biochar. The biochar modification with acid may increase the solubility of nutrients (P, Fe, Zn, Cu, Mn) present in biochar, thereby significant improvement in mineral nutrition of plants grown in calcareous soils. Therefore, the object of this study is to investigate the effect of acid-modified biochar from rice residues on the amount of chlorophyll and the micronutrient concentration of quinoa plant (*Chenopodium quinoa*) in a calcareous soil.

Methods and Materials

The soil was air-dried and ground to pass through a 2-mm sieve then was analyzed to determine various soil physico-chemical properties using standard methods. To achieve the aim of this study the factorial experiment was carried out based on a completely randomized design in 4 replications. Factors include 3 types of biochar (unmodified, modified by pre-acidic method and modified by post-acidic method) and different levels of biochar (0, 2, and 5% by weight). Then 10 quinoa seeds were planted in each pot at 2-cm depth which after emergence, declined to 3 plants in each pot. The pots were randomly moved twice a week during the growth period to eliminate environmental effects. Irrigation and weeding operations were performed by hand. Determination of chlorophyll content (a, b, and ab) and carotenoids were measured precisely before harvesting in fresh plants using Arnon method. Plants were harvested at 187 days after planting, washed with distilled water and dry with tissue paper. The samples were air-dried and then oven dried at 65˚C to a constant weight in a forced air-driven oven. Then the total micronutrient content of the plant was determined after dry ashing. The statistical results of the data were analyzed using SAS software (9.4) and LSD test (at 5% level) was used for comparing the mean values.

Results and Discussion

Based on the variance analysis, all attributes responded positively to different types and levels of biochar and modified biochar ($p<0.01$). The comparison of the average effect of the studied treatments showed that with the increase in the levels of all three types of biochar, the amount of chlorophyll a, b, total, and carotenoid increased so the highest amount of chlorophyll a, b, total, and carotenoid respectively, with an average of 2.58 and 1.54, 4.13 and 1.36 mg g^{-1} were obtained from the treatment of 5% post-acidic biochar. The results showed that the highest

1, 2 and 4- M.Sc. Graduated, Associate Professor and Ph.D. Student, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Gorgan University of Agriculture and Natural Resources, Gorgan, respectively.
(*- Corresponding Author Email: mbarani2002@yahoo.com)
3- Associate Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahed University
DOI: 10.22067/jsw.2023.82277.1281

amount of Fe concentration in shoots with an average of 229.48 mg kg^{-1} was obtained from the treatment of 5% post-acidic biochar, although there was no statistically significant difference with the treatment of 5% pre-acidic biochar with an average of 220.48 mg kg^{-1} and its lowest value with an average of 95.95 mg kg^{-1} was related to unmodified biochar. The highest amount of Zn concentration in shoots with an average of 13.42 mg kg^{-1} was related to the treatment of 5% post-acidic biochar which showed an increase of 13.24 and 33.26% compared to the treatment of 5% pre-acidic and unmodified biochar, respectively. Also, the highest concentrations of Cu and Mn in shoots were obtained with an average of 3.85 and 23.37 mg kg^{-1} respectively, from the treatment of 5% post-acidic biochar.

Conclusion

Post-acidic biochar had better results in terms of physiological indices and the concentration of micronutrients (Fe, Zn, Cu, and Mn) than unmodified biochar in quinoa. The increase of nutrients in quinoa can be attributed to the dissolution of biochar nutrients after being modified with acid and the reduction of pH and the availability of these elements in the soil. Therefore, biochar modified with acid or biochar produced from sources that have acidic properties can be recommended as a suitable method for improving fertility and increasing micronutrients in calcareous soils affected by salt.

Keywords: Carotenoid, Chlorophyll, Post-acidic biochar

نشریه آب و خاک
https://jsw.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۳۷، شماره ۴، مهر-آبان ۱۴۰۲، ص. ۶۰۲-۵۸۹

اثر زغال زیستی اصلاح شده اسیدی بر برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی و فراهمی عناصر کم مصرف در گیاه کینوا (رقم گیزوان) در یک خاک آهکی

مهری بزی عبدلی[۱]- مجتبی بارانی مطلق[۲*]- امیر بستانی[۳]- طالب نظری[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۱۶
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۵/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۲۸

چکیده

یکی از راه‌های بهبود ویژگی شیمیایی و حاصلخیزی خاک‌های آهکی، کاربرد مواد آلی از جمله زغال زیستی تولید شده از ضایعات آلی است. اما زغال‌های زیستی عمدتاً دارای pH قلیایی بوده و کاربرد مقادیر زیاد آنها می‌تواند کمبود برخی عناصر غذایی را برای گیاه در خاک‌های آهکی تشدید کند. اصلاح زغال زیستی با اسیدها باعث افزایش در دسترس بودن عناصر غذایی گیاهان در خاک‌های آهکی می‌شود. هدف از این پژوهش بررسی اثر زغال زیستی اصلاح شده با اسید از کاه برنج بر مقدارکلروفیل و غلظت عناصرکم مصرف گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa*) (رقم گیزاوان) در یک خاک آهکی بود. به همین منظور آزمایشی در شرایط گلخانه‌ای به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۴ تکرار به صورت گلدانی اجرا شد. فاکتورها شامل ۳ نوع زغال زیستی (اصلاح نشده، اصلاح شده با روش پیش اسیدی و اصلاح شده با روش پس اسیدی) و مقادیر مختلف مصرف زغال زیستی (۰، ۲ و ۵ درصد وزنی) و در مجموع ۳۶ گلدان بودند. مقایسه میانگین اثر تیمارهای مورد بررسی نشان داد با افزایش مقدار مصرف هر سه نوع زغال زیستی مقدار کلروفیل a، b، کل و کارتنوئید افزایش یافت به نحوی که بیشترین مقدار کلروفیل a، b، کل و کارتنوئید به ترتیب با میانگین ۲/۵۸، ۱/۵۴، ۴/۱۳ و ۱/۳۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه گیاه از تیمار ۵ درصد زغال زیستی پس اسیدی بدست آمد. همچنین بیشترین غلظت آهن، روی، مس و منگنز در اندام هوایی به‌ترتیب با میانگین ۲۲۹/۴۸، ۱۳/۴۲، ۳/۸۵ و ۲۳/۳۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم مربوط به تیمار ۵ درصد زغال زیستی پس‌اسیدی بود که نسبت به تیمار ۵ درصد زغال زیستی پیش اسیدی به‌ترتیب افزایشی معادل ۴/۰۸، ۱۳/۲۴، ۷/۴۴ و ۳۰/۷۶ درصد داشت. به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد کاربرد زغال زیستی اسیدی (پس اسیدی) می‌تواند به‌عنوان روشی مناسب برای ارتقاء حاصلخیزی و فراهمی عناصر کم مصرف در خاک‌های آهکی مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: زغال زیستی پس اسیدی، کارتنوئید، کلروفیل

مقدمه

در ایران به دلیل شرایط آهکی خاک، وجود یون‌های کربنات و بی‌کربنات در آب آبیاری، مصرف بالای کودهای فسفره و عدم کاربرد مدیریت شده عناصر کم مصرف در سال‌های گذشته احتمال کمبود در اغلب مناطق کشور وجود دارد. کمبود عناصر کم مصرف در برخی موارد به دلیل اثرات متقابل عناصر موجود در خاک و عوامل محیطی بوده و به خصوصیات خاک‌ها بر می‌گردد. در برخی مناطق نیز کمبود یا سمیت عناصر کم مصرف ناشی از وضعیت مواد مادری خاک است (Nael *et al.*, 2009). در خاک‌های آهکی مناطق خشک و نیمه خشک، کمبود مواد آلی و pH قلیایی عامل اصلی کمبود اکثر عناصر غذایی برای گیاه است. در دسترس بودن برخی از عناصر غذایی از جمله

۱، ۲ و ۴- به‌ترتیب فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد، دانشیار و دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: mbarani2002@yahoo.com)
۳- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد، ایران

DOI: 10.22067/jsw.2023.82277.1281

عناصر کم مصرف (آهن، روی، مس و منگنز) در خاک‌های آهکی بسیار کم است، اگرچه غلظت کل این عناصر ممکن است به نسبت زیاد باشد (Ding *et al.*, 2019). کمبود آهن منجر به بروز عارضه زرد برگی، کاهش فتوسنتز و غلظت کلروفیل و کاهش وزن خشک بخش‌های هوایی و ریشه می‌شود (Mahmoudi *et al.*, 2005). روی در بسیاری از سیستم‌های آنزیمی گیاه مانند کربنیک انهیدراز و الکل دهیدروژناز نقش کاتالیزوری، فعال کنندگی و یا ساختمانی دارد. روی همچنین در ساخته شدن پروتئین‌ها دخالت دارد.کمبود مس و منگنز مشابه سایر عناصر کم مصرف بیشتر در خاک‌هایی بروز می‌کند که pH قلیایی دارند و علائم کمبود منگنز به صورت زردشدن مزوفیل و ایجاد لکه‌های رنگ پریده و سبز کم رنگ روی سطح برگ نمایان می‌شود (Allahwardi Markdeh and Mandahadi., 2014). تحقیقات نیز نشان داده که کودهای آلی یکی از مهمترین کودها در کشاورزی می‌باشند که باعث بهبود حاصلخیزی خاک و کاهش اتلاف کود شده، اثر مثبت و معنی داری بر افزایش عملکرد محصولات زراعی دارند (Ming-gang., 2008; Yazdan Panah and Metalebi., 2016). اغلب کشاورزان کاه برنج را در مزارع می‌سوزانند که باعث آلودگی محیط زیست و کاهش باروری زمین و انتشار میزان زیادی دی اکسیدکربن (گاز گلخانه‌ای) می‌شود. ایـن پوسته بسیار مقرون به صرفه برای کشاورزی، خوراک دام و سوخت کارخانه‌ها است. پوسته برنج بـه عنوان یک محصول فرعی با ارزش است که بیشتر به عنوان جاذب به خصوص بـرای جذب فلزهای سنگین به جای روش‌های گران قیمت استفاده می‌شود (Lahiji *et al.*, 2016). تبدیل بقایای کشاورزی به زغال زیستی از طریق حرارت‌دهی مزایای بیشتری از روش‌های معمول دفع دارد، از جمله کاهش حجم زباله‌ها از طریق گرماکافت، حذف خطر پاتوژن‌ها، آلاینده‌های آلی و حذف عناصر سنگین می‌باشد (Lehmann and Rondon., 2006). زغال زیستی نه تنها غنی از کربن است بلکه سرشار از عناصرغذایی گیاهی می‌باشد (Ippolito *et al.*, 2006). یکی از مهمترین جنبه‌های استفاده زغال زیستی توانایی آن در تأمین عناصر غذایی برای گیاهان دچار کمبود عنصر غذایی و در خاک‌های کم بارور و تخریب شده می‌باشند (Novak *et al.*, 2009; Woolf *et al.*, 2010). زغال زیستی ماده‌ای متخلخل با سطح ویژه بالاست که می تواند اثرات معنی‌داری بر رطوبت خاک و پویایی عناصر غذایی داشته باشد (Lehmann *et al.*, 2003). از دیگر اثرات سودمند کاربرد زغال زیستی در خاک‌های کشاورزی به افزایش ماده آلی خاک، بهبود نگهداری آب درخاک، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و تعامل با چرخه مواد غذایی خاک از طریق تعدیل pH خاک، افزایش حاصلخیزی خاک و کاهش آبشویی عناصر غذایی می‌توان اشاره کرد (Glaser *et al.*, 2002). تاثیرات زغال زیستی در خاک‌های قلیایی و اسیدی متفاوت است (Farrel *et al.*, 2014) استفاده از زغال زیستی pH خاک را افزایش می‌دهد (Chan *et al.*, 2007). افزایش pH خاک در خاک‌های قلیایی و آهکی ممکن است در دسترس بودن عناصر کم مصرف مانند آهن، روی، منگنز، را کاهش دهد. عدم در دسترس بودن عناصر به طور انحصاری عناصر کم مصرف آهن، روی، یک مشکل جدی در خاک‌های دارای pH بالا است که با کاهش محصول به پایان می‌رسد و در نهایت منجر به سوء تغذیه در انسان می‌شود (Ramzani *et al.*, 2016). زغال زیستی یک ماده قلیایی است، اصلاح زغال زیستی با اسیدها باعث افزایش در دسترس بودن عناصر غذایی گیاهان در خاک‌های قلیایی می‌شود، و اثر مثبت زغال زیستی اصلاح‌شده اسیدی بر رشد گیاه را می‌توان ناشی از افزایش عناصر گیاه در زغال زیستی و همچنین خاک دانست (Shahin *et al.*, 2017). اصلاح زغال زیستی با اسید فسفریک ممکن است باعث افزایش عناصر غذایی کلسیم، پتاسیم، فسفر، آهن، منیزیم، روی، منگنز، مس، شود و از این طریق سبب بهبود قابل توجه در تغذیه معدنی گیاهان رشد یافته در خاک‌های آهکی شود (Shahin *et al.*, 2017). حسن پور و همکاران (Hasanpour *et al.*, 2022) در بررسی بیوچارهای اسیدی بر برخی ویژگی‌های شیمیایی و قابلیت جذب عناصر غذایی خاک‌های آهکی گزارش کردند که کاربرد بیوچار اسیدی در خاک‌های قلیایی در مجموع: بنظر بهتر است نمک و شوری از عنوان مقاله و سایر جملات مرتبط در متن مقاله حذف شود برخی ویژگی‌هـای شیمیایی و حاصلخیزی خـاک را بهبـود ببخشد. گیاه کینوا یک محصول متحمل به شوری است. کینوا را می‌توان در بسیاری از محیط‌های حاشیه‌ای مبتلا به خشک‌سالی و یا تنش شوری که در حال حاضر دارای بهره‌وری بسیار پایین هستند کشت کرد (Jacobsen *et al.*, 2002). کینوا یک گیاه بومی منطقه‌ای از خانواده‌ی تاج خروس (Amaranthaceae) است و هزاران سال به عنوان یک محصول غذایی اصلی مورد استفاده قرارگرفته است (Martinez *et al.*, 2015). دانه کینوا منبع عالی از منگنز، آهن و پتاسیم، مس، روی و فسفر است و نیز حاوی ویتامین ب از جمله ریبوفلاوین، تیامین است. کینوا مقدار پروتئین زیادتری نسبت به اکثر غلات داشته و کیفیت پروتئین آن بالاتر و از توازن اسید آمینه بیشتری برخوردار است حسن زاده و همکاران (Hassanzadeh *et al.*, 2012). با توجه به این نکته که اکثر زغال زیستی تولید شده دارای pH قلیایی بوده و مناسب خاک‌های اسیدی هستند. تولید زغال زیستی اسیدی برای کاربرد در خاک‌های آهکی مناطق خشک و نیمـه خشک مناسب است ولی مطالعات زیادی در این خصوص صورت نگرفته است. از این رو، هدف از این پژوهش، بررسی تاثیر کاربرد زغال زیستی کاه برنج و زغال زیستی اصلاح شده آن با اسید (پیش اسیدی- پس اسیدی) بر مقدار انواع رنگدانه‌های فتوسنتزی به عنوان شاخص فیزیولوژیک و غلظت عناصر کم مصرف در گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd) در یک خاک آهکی است.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری و تعیین ویژگی‌های خاک: در این پژوهش، تاثیر کاربرد زغال زیستی و زغال زیستی اصلاح شده با اسید (پیش اسیدی- پس اسیدی) بر مقدار برخی شاخص‌های فیزیولوژیک و غلظت عناصر کم مصرف در گیاه کینوا رقم گیزاوان در یک خاک آهکی مورد بررسی قرار گرفت. خاک مورد استفاده از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری منطقه آق قلا استان گلستان برداشته شد. پس از هوا خشک شدن، از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شده و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مانند توزیع اندازه ذرات اولیه خاک به روش هیدرومتری (Day, 1995)، pH و قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع (Roades, 1996)، کربن آلی (Walkey and Black., 1934)، ظرفیت تبادل کاتیونی، نیتروژن کل به روش کجلدال (Benton and Cas, 1990)، فسفر قابل استفاده به روش اولسن (Olsen *et al*., 1954)، پتاسیم قابل استفاده با استفاده از عصاره‌گیری با استات آمونیوم (Page *et al*., 1982) و آهن، روی، منگنز و مس به‌وسیله دستگاه جذب اتمی (مدل 919A، ساخت *Unicam* انگلستان) بعد از عصاره‌گیری خاک با DTPA به روش لیندزی و نورول (Lindsay and Norvell, 1978) اندازه‌گیری شدند (جدول ۱).

تولید زغال زیستی: گیاه برنج مورد استفاده در تهیه زغال زیستی از مزارع برنج استان گلستان جمع‌آوری شدند. بقایای جمع‌آوری شده پس از هواخشک شدن، آسیاب شده و برای اطمینان از یکنواختی نمونه‌ها در طی گرماکافت از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. مقدار کافی از هر نمونه به وسیله ورقه‌های آلومینیمی پوشانده شد تا شرایط دسترسی اکسیژن محدود ایجاد گردد (Shahin *et al*., 2017; Taskin *et al*., 2019). سپس گرماکافت نمونه‌ها در کوره الکتریکی در دمای ۴۵۰ درجه سلسیوس به مدت ۲ ساعت با آهنگ افزایش دمای کوره ۱۰ درجه سلسیوس بر دقیقه انجام گرفت (Komkiene and Baltrenaite, 2016). یک شبانه روز به نمونه‌ها اجازه داده شد تا به دمای محیط برسند و سپس وزن نهایی آنها اندازه‌گیری شد. درصد کاهش وزن بقایا بر اثر گرماکافت و تبدیل به زغال زیستی (عملکرد زغال زیستی) و محتوای خاکستر نیز به ترتیب از فرمول ۱ و ۲ محاسبه گردید (Song and Guo, 2012). همچنین مقادیر pH، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره ۱:۲۰، پتاسیم و سدیم، کلسیم، منیزیم، کلر محلول، نیز با استفاده از روش های مرسوم اندازگیری شد (Song and Guo, 2012).

$$\text{راندمان تولید زغال زیستی (درصد)} = \frac{\text{وزن زیستی زغال}\ (g)}{\text{وزن خشک آون ماده آلی خام}\ (g)} \times 100 \quad (۱)$$

$$\text{درصد محتوای خاکستر} = \frac{\text{وزن خاکستر}\ (g)}{\text{وزن خشک زیستی زغال}\ (g)} \times 100 \quad (۲)$$

اصلاح زغال زیستی با اسید با دو روش زیر انجام خواهد گرفت (Shahin *et al*., 2017). در روش اول، پس از گرماکافت و تهیه زغال زیستی روش پس‌اسیدی[1]؛ نمونه زغال زیستی با افزودن اسید کلریدریک (غلظت یک مولار، نسبت ۱:۵۰؛ هم زدن با همزن مغناطیسی به مدت ۳ ساعت در دمای ۶۰ درجه سلسیوس) اصلاح شدند. پس از سرد شدن، بخش جامد با فیلتر جداسازی شده و در آون در دمای ۶۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت خشک و آنگاه در ظروف سربسته نگه‌داری شد (Shahin *et al*., 2017; Peiris *et al*., 2019). در روش دوم از روش اصلاح پیش اسیدی[2] استفاده شد. بدین منظور، اسید کلریدریک (غلظت یک مولار، نسبت ۱:۵۰؛ هم زدن با همزن مغناطیسی به مدت ۳ ساعت در دمای ۶۰ درجه سلسیوس) به کاه برنج اضافه شد و سپس مانند تهیه زغال زیستی گرماکافت شدند (Shahin *et al*., 2017).

آزمایش گلخانه‌ای: آزمایش گلدانی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار در گلخانه دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان در سال ۱۴۰۰ به اجرا در آمد. فاکتورها شامل سه نوع زغال زیستی (اصلاح نشده، اصلاح شده با روش پیش‌اسیدی و اصلاح شده با روش پس‌اسیدی) و سطوح مختلف زغال زیستی (۰، ۲ و ۵ درصد وزنی) در مجموع ۳۶ گلدان بودند. ۵ کیلوگرم خاک هوا خشک و عبور داده شده از سرند به همراه اعمال تیمار زغال زیستی اصلاح نشده و زغال زیستی اصلاح شده به روش پیش و پس اسیدی) داخل گلدان‌های پلاستیکی ۵ کیلویی ریخته شد. به هر گلدان بر اساس آزمون خاک اوره، سولفات پتاسیم، سوپر فسفات تریپل به عنوان منابع تامین کننده نیتروژن، پتاسیم، فسفر، قبل از کاشت اضافه شد. لازم به ذکر است که هیچ گونه کود کم مصرفی استفاده نشده است. گلدان‌ها به رطوبت ظرفیت مزرعه (FC) رسانیده شده و سه روز بعد از آن نسبت به کاشت بذر اقدام گردید. تعداد ۱۰ عدد بذر کینوا در هر گلدان در عمق ۲ سانتی‌متری خاک کاشته و پس از سبز شدن و استقرار کامل، تعداد بوته‌ها به ۳ عدد در هر گلدان تقلیل یافت. به منظور حذف اثرات محیطی در داخل گلخانه، در طول دوره رشد جای گلدان‌ها دو بار در هفته به صورت تصادفی تغییر داده شد. علاوه بر ازت اضافه شده قبل از کشت، کود اوره یک بار یک ماه پس از کشت و بار دیگر در زمان وارد شدن به فاز زایشی به صورت سرک به خاک گلدان‌ها اضافه شد. عملیات آبیاری و وجین علف‌های هرز با دست انجام گرفت. رطوبت خاک گلدان‌ها در طول دوره رشد گیاه در حدود ظرفیت مزرعه به روش وزنی تامین شد. پس از پایان دوره رشد (۱۸۷ روز) گیاهان برداشت شدند، گیاهان به صورت کف‌بر برداشت و ابتدا با آب شهری سپس با آب مقطر شسته و روی تورهای پلاستیکی پخش شدند تا آب اضافی موجود در سطح آنها حذف شود. سپس نمونه‌ها در دمای ۷۰ درجه

1- post-acid modification

2- pre-acid modification

سلسیوس تا رسیدن به وزن ثابت قرار گرفتند و بعد از آن وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری گردید. هضم نمونه‌های گیاهی با روش خشک سوزانی انجام گرفت (Jones and Case 1990). غلظت آهن، روی، مس و منگنز در نمونه‌ها با دستگاه جذب اتمی (*AAS-Unicam-919*) تعیین شد و میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئید در برگ‌ها با استفاده از روش آرنون (Arnon, 1949) اندازه‌گیری شدند. بدین منظور، ۰/۲ گرم برگ در استون ۸۰ درصد همـوژن گردید. پس از سانتریفیوژ، محلول روئی برداشت و جذب آن در ۶۴۵ ، ۶۶۳ ، ۴۸۰ و ۵۱۰ نانومتر با استفاده از روش اسـپکتروفتومتری اندازه گیری شد. آنگاه، توسط فرمول‌های زیر (رابطه ۳ تا ۶) مقادیر کلروفیل برحسب میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ محاسبه شد (Arnon, 1949). در این روابط، A بیانگر جذب طول موج بر حسب نانومتر، V حجم نهایی کلروفیل در استون و W وزن تر بافت برحسب گرم می‌باشد.

12.7(663A) - 2.69(645A) * (۳)

غلظت کلروفیلa = V/ W* 1000

22.9(645A) - 4.68(663A) (۴)

غلظت کلروفیلb = * V/ W *1000

20.9(645A) - 8.02(663A) * V/ W* (۵)

غلظت کلروفیل کل = 1000

غلظت = 7.6 (480A) – 1.49(510A) * V/W* 1000 (۶)

کارتنوئید

آنالیز آماری مقایسه بین تیمارهای مختلف با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 انجام و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD (در سطح احتمال ۵ درصـد) اسـتفاده شـد. همچنین برای ترسـیم نمودارها از برنامه Excel 2016 استفاده شد.

نتایج و بحث

برخی از ویژگی‌های مهم زغال زیستی و زغال زیستی اصلاح شده با اسید (پیش اسیدی- پس اسیدی) در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج حاکی از آن است که مقدار هدایت الکتریکی عصاره ۲۰ : ۱ زغال زیستی اصلاح نشده برابر با ۴/۴۰ دسی‌زیمنس بر متر و مقدار آن برای زغال زیستی پس‌اسیدی و پیش‌اسیدی به ترتیب۹/۵۰ و ۶/۴۵ دسی‌زیمنس بر متر بود. همچنین pH عصاره ۲۰ : ۱ زغال زیستی اصلاح نشده برابر با ۸/۱۵ است این در حالی است که مقدار pH زغال زیستی پیش‌اسیدی و پس‌اسیدی به ترتیب برابر ۳/۸۰ و۲/۳۴ بود. افزایش مقدار هدایت الکتریکی و کاهش pH در زغال زیستی اصلاح شده با اسید در این پژوهش با نتایج (Sahin *et al.*, 2017) مطابقت داشت. لازم به ذکر است که کاهش مقدار pH زغال زیستی اصلاح شده با اسید ممکن است به طور بالقوه برای استفاده در خاک‌های قلیایی مفید باشد (Sahin *et al.*, 2017). در اثر اصلاح زغال زیستی به زغال زیستی اسیدی مقدار کربن آلی کاهش یافت که این کاهش مقدار کربن می‌تواند به علت تجزیه مواد آلی در اثر واکنش با اسید باشد. همچنین نتایج ارائه شده جدول ۲ نشان می‌دهد که زغال زیستی پس اسیدی در مقایسه با زغال زیستی پیش اسیدی و زغال زیستی اصلاح نشده دارای مقدار سدیم، پتاسیم، منیزیم، کلسیم و کلر بیشتری بود. این افزایش سدیم، پتاسیم، منیزیم، کلسیم و کلر در نتیجه اصلاح زغال زیستی با اسید توسط پژوهشگران دیگر مانند ساهین و همکاران (Sahain *et al.*, 2017) نیز گزارش شده است. احتمالا دلیل بیشتر بودن این کاتیون‌ها در زغال زیستی پس اسیدی نسبت به زغال زیستی پیش اسیدی و اصلاح نشده می‌تواند ناشی از افزایش غلظت این کاتیون‌ها در اثر تبدیل بقایای کشاورزی به زغال زیستی باشد که سپس در اثر واکنش با اسید به صورت محلول درآمده است (Song and Go, 2012). کوهکن و همکاران (Kookana *et al.*, 2011) نیز افزایش نسبی فلزات قلیایی در زغال زی طلذدطل ستی را در اثر گرماکافت مواد خام گزارش کردند.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش

Table 1- Some physico-chemical properties of soil used in the experiment

CEC	بافت خاک	شن	سیلت	رس	مس	منگنز	روی	آهن	پتاسیم قابل جذب	فسفر قابل جذب	نیتروژن کل	کربن آلی	درصد آهک	قابلیت هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع	پ هاش گل اشباع
$cmol_+ kg^{-1}$	Soil texture	Sand	Silt	Clay	Cu	Mn	Zn	Fe	K_{avail}	P_{avail}	N (%)	OC (%)		EC ($dS\ m^{-1}$)	pH
							(mg kg^{-1})								
8.16	سیلتی لوم	48	41.4	10.6	1.42	7.8	2.24	3.95	330	7.73	0.09	1.1	20.6	5.10	7.45

نتایج ارائه شده در جدول ۲ همچنین نشان می‌دهد مقدار محتوی خاکستر و راندمان تولید زغال زیستی در زغال زیستی پس اسیدی بیشتر از زغال زیستی پیش اسیدی و زغال زیستی معمولی می‌باشد. بنابر گزارش ساهین و همکاران (Shain *et al*., 2017) در بررسی بیوچار تهیه شده از کود مرغی معمولی و بیوچار اصلاح شده با اسید فسفریک و اسید نیتریک با pH ۴/۴۶ و Ec ۳۱/۹۰ گزارش کردند که مقادیر آهن، روی، منگنز و مس در بیوچار معمولی بیشتر از بیوچار اصلاح شده است که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد (جدول ۲).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از آن است که نوع و مقدار مصرف زغال زیستی و اثر متقابل آنها بر مقادیر کلروفیل (a، b و کل) و کارتنوئید در سطح احتمال یک درصد ($p<۰/۰۱$) معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین‌های اثر تیمارهای مورد بررسی نشان داد با افزایش سطوح مصرف هر سه نوع زغال زیستی مقدار کلروفیل a افزایش یافت (جدول ۴). بیشترین مقدارکلروفیل a با میانگین ۲/۸۵ میلی‌گرم بر گرم تازه گیاه از تیمار ۵ درصد زغال زیستی پس اسیدی بدست آمد هر چند با تیمار ۵ درصد زغال زیستی پیش اسیدی با میانگین ۲/۳۵ میلی‌گرم بر گرم تازه گیاه از لحاظ آماری اختلاف معنی‌دار نداشت (جدول ۴). همچنین جدول مقایسه میانگین‌های تیمارها نشان می‌دهد بیشترین مقدارکلروفیل b با میانگین ۱/۵۴ میلی‌گرم بر گرم تازه گیاه مربوط به تیمار ۵ درصد زغال زیستی پس‌اسیدی بود که نسبت به زغال زیستی پس‌اسیدی در سطح ۲ درصد، افزایشی معادل ۲۲/۲۲ درصد داشت (جدول ۴). غلظت کلروفیل برگ، شاخص مستقیم سلامتی گیاه و وضعیت رشد آن است و می‌تواند شاخصی از فعالیت فتوسنتزی گیاه باشد (Boostani *et al*., 2017). افزایش محتوی کلروفیل به عنوان عامل مهم در دستگاه فتوسنتزی گیاه موجب افزایش رشد آن می‌شود. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که هر سه نوع بیوچار بر روند رشد و مقدار کلروفیل گیاه کینوا در خاک آهکی و شور اثر مثبت داشته و آن را افزایش داده است.

جدول ۲- برخی مشخصات شیمیایی بیوچار اصلاح شده با اسید و بیوچار معمولی

Table 2- Some chemical properties of modified with acid and unmodified biochar

پارامترهای اندازه گیری شده Measured parameter	بیوچار معمولی Unmodified biochar	بیوچار پس اسیدی Post -acid biochar	بیوچار پیش اسیدی Pre-acid biochar
هدایت الکتریکی ۱:۲۰ $EC_{1:20}$ (dS/m)	4.40	9.50	6.45
پ هاش pH	8.15	2.34	3.80
راندمان تولید بیوچار Biochar yield (%)	40	80	45
محتوای خاکستر Ash content (%)	22	38	25
کربن آلی درصد OC (%)	52.65	21.45	36.07
سدیم محلول ۱:۲۰ $Na_{1:20}$ (meq/L)	108.41	133.85	122.11
پتاسیم محلول ۱:۲۰ $K_{1:20}$ (meq/L)	46.68	53.37	47.32
کلسیم محلول ۱:۲۰ $Ca_{1:20}$ (meq/L)	3.2	5.2	4
منیزیم محلول ۱:۲۰ $Mg_{1:20}$ (meq/L)	2	4	3.2
کلر محلول ۱:۲۰ Cl (meq/L)	5	31	17
آهن Fe(mg kg^{-1})	254.1	2132.55	3680.25
روی Zn (mg kg^{-1})	9.45	30.45	27.3
منگنز Mn (mg kg^{-1})	112.35	217.35	212.1
مس Cu (mg kg^{-1})	1.05	46.2	18.9

ران و همکاران (Ran *et al*., 2020) در بررسی اثر زغال زیستی بر گیاه برنج در یک خاک شور گزارش کردند که استفاده از زغال زیستی تأثیر قابل توجهی بر افزایش وضعیت آب برگ، ارتفاع گیاه و شاخص محتوای کلروفیل با کاهش نشت الکترولیت برگ داشت. آدجومو و همکاران (Adejumo *et al*., 2016) با کاربرد دو نوع زغال زیستی حاصل از بقایای آفتابگردان و سبوس برنج تهیه شده در دمای (۳۰۰ درجه سلسیوس) با pH اسیدی و در سه سطح مختلف (۵، ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار) در یک آزمایش مزرعه‌ای در کشت ذرت بیان کردند که کاربرد هر دو نوع زغال‌زیستی سبب افزایش معنی مقدار کلروفیل برگ ذرت نسبت به تیمار عدم کاربرد بیوچار شد. تسکین و همکاران (Taskin *et al*., 2019) گزارش کردند که اصلاح زغال زیستی با اسید محتوای کلروفیل را نسبت به شاهد افزایش داد. آن‌ها همچنین گزارش کردند که زغال زیستی اصلاح شده با اسید که دارای pH ۴/۲۱ و Ec ۳۰ دسی‌زیمنس، میزان کلروفیل گیاه ذرت را نسبت به تیمار شاهد در یک خاک شور ۷۰ درصد افزایش داد. در همین راستا عباسی و همکاران (Aabbasi *et al*., 2015) گزارش کردند که افزایش فتوسنتز و بهبود رشد گیاه کینوا ناشی از زغال زیستی کاه گندم اسیدی شده است که این افزایش فتوسنتز با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. رمضانی و همکاران (Ramzani *et al*., 2017) گزارش کردند که اصلاح زغال زیستی با اسید سرعت فتوسنتز و محتوای کلروفیل گیاه کینوا را در یک خاک شور افزایش داد. آنها همچنین گزارش کردند زغال زیستی اسیدی محتوای کلروفیل گیاه کینوا را به میزان ۶۱ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داد که این افزایش محتوای کلروفیل گیاه کینوا را به حل شدن عناصر غذایی زغال زیستی پس از اسیدی شدن نسبت دادند.

نتایج آزمون مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش سطح هر سه نوع زغال زیستی مقادیر کلروفیل کل و کارتنوئید افزایش یافت به نحوی که بیشترین مقدارکلروفیل کل با میانگین ۴/۱۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه گیاه مربوط به تیمار ۵ درصد زغال زیستی پس‌اسیدی بود که نسبت به زغال زیستی پس‌اسیدی درسطح مصرف ۲ درصد، افزایشی معادل ۲۰/۴۰ درصد داشت (جدول ۴). همچنین بیشترین مقدارکارتنوئید با میانگین ۱/۳۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه از تیمار ۵ درصد زغال زیستی پس اسیدی بدست آمد هر چند با تیمار ۵ درصد زغال زیستی پیش اسیدی با میانگین ۱/۰۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه از لحاظ آماری اختلاف معنی‌دار نداشت.

نقش اصلی کارتنوئید جلوگیری از آسیب اکسیداتیو می‌باشد، در واقع کارتنوئیدها از طریق فروکش کردن سریع وضعیت برانگیخته کلروفیل، حفاظت نوری را انجام می‌دهند. در شرایط تنش مقدار کارتنوئید کاهش یافته و نمی‌تواند نقش حفاظتی خود را انجام دهد، ولی کاهش آن‌ها نسبت به کلروفیل‌ها کمتر است. کاهش محتوای کارتنوئید به دلیل اکسید شدن توسط اکسیژن فعال و تخریب ساختار آن‌ها است (Wang *et al*., 2010).

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر کاربرد نوع و سطوح مختلف زغال زیستی بر صفات فیزیولوژیک گیاه کینوا

Table 3- Analysis of variance of the effect of different types and levels of biochar application on the physiological traits of quinoa

منابع تغییرات Source of variance	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Square			
		کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیلb Chlorophyll b	کلروفیل کل Total Chlorophyll	کارتنوئید Carotenoid
نوع زغال زیستی Biochar(B)	2	5.04**	1.33**	11.70**	0.65**
سطوح مختلف Different levels (DL)	2	8.50**	2.23**	19.62**	1.56**
زغال زیستی *سطوح B*DL	4	1.27**	0.28**	2.79**	0.18**
اشتباه‌آزمایشی Error	27	0.002	0.003	0.01	0.006
ضریب‌تغییرات C.V (%)		4.03	7.42	6.06	13.18

** تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

** Significant at 1% probability level

نمک‌ها در فعالیت‌های اسمزی بالا با محدود کردن جذب آب توسط ریشه‌ها بر رشد گیاه تأثیر می‌گذارند، شوری می‌تواند بر رشد گیاه تأثیر بگذارد زیرا غلظت بالای نمک در محلول خاک باعث اختلال در جذب یون‌های تغذیه‌ای ضروری توسط گیاهان می‌شود (Abdel *et al.*, 2018). زغال زیستی اصلاح‌شده با اسید می‌تواند یک انتخاب سازگار با محیط زیست، و مؤثر در کاهش تنش‌های غیرزیستی در خاک شورسدیک در نظر گرفته شود و بر بهره‌وری ذرت و گندم تأثیر مثبت بگذارد (El-Sharkawy *et al.*, 2022). برآیند کلی این مکانیسم‌ها در نهایت منجر به افزایش غلظت برخی عناصر و شاخص‌ها از قبیل محتوای کلروفیل خواهد شد (He *et al*, 2014).

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها برای بررسی اثر تیمارها بر غلظت عناصر کم مصرف در گیاه، اثر نوع و مقدار زغال زیستی و اثر متقابل آن‌ها بر غلظت آهن و روی در اندام هوایی کینوا در سطح احتمال یک درصد ($P<۰/۰۱$) معنی‌دار شد (جدول ۵). مقایسه میانگین‌های اثر تیمارهای مورد بررسی نشان داد که با افزایش سطوح مصرف هر سه نوع زغال زیستی، غلظت آهن و روی در اندام هوایی افزایش یافت (جدول ۵). بیشترین غلظت آهن در اندام‌هوایی با میانگین ۲۲۹/۴۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم از تیمار ۵ درصد زغال زیستی پس‌اسیدی به دست آمد هرچند با تیمار۵ درصد زغال زیستی پیش‌اسیدی با میانگین ۲۲۰/۴۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نداشت و کمترین مقدار آن با میانگین ۹۵/۹۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم مربوط به شاهد بود (جدول ۶). همچنین بیشترین مقدار غلظت روی در اندام هوایی با میانگین ۱۳/۴۲ میلی‌گرم برکیلوگرم مربوط به تیمار ۵ درصد بیوچار پس‌اسیدی بود که نسبت به تیمار ۵ درصد بیوچار پیش‌اسیدی و معمولی به ترتیب افزایشی معادل با ۱۳/۲۴ و ۳۳/۲۶ درصد داشت (جدول ۶).

کمبود عناصرکم مصرف، به ویژه آهن و روی باعث تغییرات فیزیولوژیکی در مورفولوژی برگ می‌شود (Eichert *et al.*, 2010)، که می‌تواند منجر به رشد ضعیف گیاه شود فراهمی زیستی عناصر غذایی منحصراً عناصر کم مصرف (آهن، روی) یک مشکل جدی در خاک‌های با pH بالا است که منجر به کاهش عملکرد محصولات می شود و در نهایت می‌تواند منجر به سوء تغذیه در انسان شود (Ramzani *et al.*, 2016b). میزان مواد آلی در کلیه مناطق استان گلستان از حد متوسط جهانی (دو درصد کربن آلی) و همچنین حد بحرانی آن در خاک (بیش از یک درصد) کمتر بوده و در این شرایط به دلیل pH بالای خاک، عدم قابلیت جذب عناصر غذایی کم مصرف آهن، روی، مس، منگنز از مهمترین عوامل محدودکننده رشد گیاه و تولید محصول بشمار می‌رود (Sharifian *et al.*, 2022). همچنین حضور کربنات و بیکربنات در محلول خاک‌های آهکی نیز مشکل را دوچندان نموده و از طُرق مختلف جذب عناصر کم مصرف را تحت تأثیر قرار می‌دهد. زغال زیستی یک ماده قلیایی است، اصلاح زغال زیستی با اسیدها به علت کاهش مقدار pH زغال زیستی اصلاح شده با اسید می‌تواند دسترسی به عناصر غذایی گیاه را در خاک‌های قلیایی افزایش دهد (Sahin *et al.*, 2017). اینال و همکاران (Inal *et al.*, 2015) اثر زغال زیستی اسیدی بر رشد گیاه لوبیا را در یک خاک آهکی بررسی کردند آن‌ها گزارش کردند زغال زیستی اسیدی غلظت، آهن، روی، مس و منگنز به‌ترتیب ۵ ،۱۷۰ ،۴۰ ،۲۵ ،۲۲ درصد در نسب به شاهد در گیاه لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) افزایش داد. آنها همچنین بیان کردند تاثیر زغال زیستی اسیدی برغلظت روی برای گیاه لوبیا بیشتر از زغال زیستی اصلاح نشده و شاهد بود.

جدول ٤- نتایج مقایسه میانگین‌های اثر کاربرد نوع و سطوح مختلف زغال زیستی بر صفات فیزیولوژیک گیاه کینوا

Table 4- Means comparison of the effect of different types and levels of biochar on the physiological traits of quinoa

نوع زغال زیستی The kind of biochar	مقدار مصرف	کلروفیل a Chlorophyll a (mg g^{-1})	کلروفیل b Chlorophyll b (mg g^{-1})	کلروفیل کل Total Chlorophyll (mg g^{-1})	کارتنوئید Carotenoid (mg g^{-1})
زغال زیستی معمولی Unmodified biochar	0%	0.33^{e}	0.29^{g}	0.62^{e}	0.22^{f}
	2%	0.37^{e}	0.42^{f}	0.79^{e}	0.42^{e}
	5%	0.88^{d}	0.57^{e}	1.45^{d}	0.49^{e}
زغال زیستی پس اسیدی Post -acid modified biochar	0%	0.33^{e}	0.36^{fg}	0.69^{e}	0.26^{f}
	2%	2.17^{c}	1.26^{c}	3.43^{c}	0.91^{c}
	5%	2.58^{a}	1.54^{a}	4.13^{a}	1.36^{a}
زغال زیستی پیش اسیدی Pre-acid modified biochar	0%	0.32^{e}	0.32^{g}	0.64^{e}	0.25^{f}
	2%	2.12^{c}	1.13^{d}	3.34^{c}	0.69^{d}
	5%	2.35^{b}	1.36^{b}	3.71^{b}	1.04^{b}

ستون‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک، به روش آزمون LSD تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند

Means followed with the same letters in each column are not significant at p<0.05 by LSD Test.

رمضانی و همکاران (Ramzani *et al.*, 2017) در بررسی بهبود رشد کینوا در دو خاک تحت تنش، تنش شوری و تنش خشکی با استفاده از زغال زیستی اسیدی و کمپوست اسیدی بیان کردند که زغال زیستی اسیدی غلظت آهن در دانه کینوا را در خاک تحت تنش شوری ۲۳ درصد و در خاک تحت تنش خشکی ۲۸ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. آنها همچنین گزارش کردند که هر دو اصلاح اسیدی (زغال زیستی اسیدی و کمپوست اسیدی) فراهمی عناصر ضروری و متابولیسم آنتی اکسیدانی گیاه را افزایش می‌دهد نتایج حاصل از پژوهش آنها نیز نشان می‌دهد که زغال زیستی اسیدی برای بهبود رشد، عملکرد و ارزش غذایی کینوا در مقایسه با کمپوست اسیدی ارزشمندتر است. ساهین و همکاران (Sahin *et al.*, 2017) گزارش کردند که اصلاح زغال زیستی با اسید فسفریک و اسید نیتریک با pH ۴/۴۶ و Ec ۳۱/۹۰ باعث افزایش غلظت روی در گیاه ذرت در یک خاک آهکی شد که این افزایش روی در گیاه توسط زغال زیستی اصلاح شده با اسید نیتریک بیشتر از زغال زیستی اصلاح شده با اسید فسفریک بود. آنها همچنین دریافتند که غلظت آهن در تیمار زغال زیستی پس‌اسیدی (اسید نیتریک) نسبت به زغال زیستی پیش‌اسیدی و شاهد افزایش یافت. جذب عناصر کم مصرف و تغذیه گیاهانی که در خاک آهکی رشد می‌کنند یک چالش است، اما اصلاح زغال زیستی راهی برای رفع این مشکل است. زغال زیستی نمی‌تواند بسیاری از عناصر ضروری را حداقل در کوتاه مدت به گیاه برساند. با این حال، اصلاح با اسید نیتریک یا با ترکیبی از اسید نیتریک و اسید سولفوریک ممکن است حلالیت فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن، روی، مس و منگنز و دسترسی گیاه به این عناصر در خاک افزایش دهد، و در نتیجه، تغذیه معدنی گیاهان رشد یافته در خاک‌های آهکی را به طور قابل توجهی بهبود می‌بخشد. در همین راستا تسکین و همکاران (Taskin *et al.*, 2019) در بررسی تاثیر زغال زیستی اصلاح شده با اسید دارای pH ۴/۲۱ و Ec ۳۰ بر رشد و محتوایی عناصر ضروری و غیر ضروری در لوبیا، نخود، سویا و ذرت در خاک‌های آهکی گزارش کردند زغال زیستی اصلاح شده با اسید مقدار روی را در گیاه لوبیا، سویا و ذرت نسبت به زغال زیستی معمولی به‌ترتیب ۵/۳۹، ۶۳/۷۹ و ۵۱/۹۰ درصد افزایش دادند این در حالی است که زغال زیستی و زغال زیستی اصلاح شده با اسید بر روی گیاه نخود تاثیر معنی‌داری نداشت.

جدول ۵ همچنین حاکی از آن است که نوع و مقادیر مختلف زغال زیستی و اثر متقابل آن‌ها بر غلظت مس و منگنز در اندام‌هوایی کینوا در سطح احتمال یک درصد (P<۰/۰۱) معنی‌دار شده است. نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۶) نشان می‌دهد که بیشترین غلظت منگنز در اندام-هوایی با میانگین ۲۳/۳۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم مربوط به تیمار ۵ درصد زغال زیستی پس‌اسیدی بود که نسبت به زغال زیستی پس‌اسیدی ۲ درصد افزایشی معادل ۶/۴۶ درصد داشت. سافی و همکاران (Safi *et al.*, 2012) گزارش کردند که شوری، غلظت منگنز اندام‌هوایی را در گیاه کلزا کاهش داد. شواهد توماس و همکاران (Thomas *et al.*, 2013) نشان می‌دهد که تأثیر زغال زیستی بر رشد گیاهان در خاک های شور وابسته به گونه گیاهی است، کاربرد زغال‌زیستی به طور قابل توجهی رشد گیاه را بهبود بخشید.

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس اثر کاربرد نوع و سطوح مختلف زغال زیستی بر غلظت عناصر کم مصرف در اندام‌هوایی کینوا

Table 5- Analysis of variance of the effect of the application of different types and levels of biochar on the concentration of micronutrient elements in the aerial organs of quinoa

منابع تغییرات Source of variance	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Square			
		غلظت آهن اندام هوایی Fe	غلظت روی اندام هوایی Zn	غلظت منگنز اندام هوایی Mn	غلظت مس اندام هوایی Cu
نوع زغال زیستی Biochar(B)	2	15203.91**	16.80**	58.91**	6.53**
سطوح مختلف Different levels (DL)	2	24874.93**	50.39**	290.95**	9.17**
زغال زیستی *سطوح B*DL	4	3128.90**	2.63**	32.64**	1.11**
اشتباه‌آزمایشی Error	27	130.88	0.02	0.22	0.009
ضریب تغییرات CV (%)		7.46	1.57	2.81	4.88

** تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

** Significant at 1% probability level

کاربرد زغال زیستی در خاک با بهبود حفظ آب، کربن آلی خاک و در دسترس بودن عناصر از طریق افزایش تراکم ریشه، رشد گیاه را افزایش می‌دهد (Kappler *et al*., 2014; Ramzani *et al*., 2016). گزارش‌های زیادی وجود دارد که زغال زیستی یک ماده آهکی بالقوه برای خاک اسیدی است (Lehmann, and Zech 2002; Yuan and Xu, 2011). زغال زیستی به صورت ذاتی دارای مقدار pH و هدایت الکتریکی بیشتری نسبت به محیط خاک است. از طرفی، این افزودنی حاوی مواد قلیایی (از قبیل خاکستر چوب)، برخوردار از بار منفی کربوکسیل و دارای عملکرد فنولیکی است که می‌تواند منجر به قلیایی شدن خاک شود (Jin *et al*., 2019). بنابراین استفاده از زغال زیستی می‌تواند pH خاک را افزایش دهد (Chan *et al*., 2007). و افزایش pHخاک در خاک‌های قلیایی آهکی ممکن است دسترسی به فسفر و عناصر کم مصرف مانند آهن، روی، مس و منگنز را کاهش دهد. به طور کلی، اثرات زغال زیستی بر باروری خاک‌های قلیایی آهکی به خوبی درک نشده است. اصلاح شیمیایی زغال زیستی با اسیدها می تواند راندمان جذب و سطح جذب آنرا افزایش دهد (Mayer *et al*., 2014). اصلاح زغال زیستی با اسید سبب افزایش سطح ویژه به دلیل افزایش میکروپورها در زغال زیستی می‌گردد. در همین راستا ویتاناژ و همکاران (Vithanage *et al*., 2015) گزارش کردند که اصلاح کردن زغال زیستی با اسید سولفوریک سطح ویژه آن را افزایش می‌دهد. زغال زیستی اسیدی، در دسترس بودن عناصر را با حل کردن عناصر غذایی و تجمع آن‌ها در گیاه، افزایش می‌دهد (Taskin *et al*., 2019). زغال زیستی می‌تواند چگالی ظاهری خاک را کاهش دهد که منجر به افزایش رشد و نفوذ ریشه در خاک و جذب عناصر غذایی را از محلول خاک افزایش می‌دهد (Lehmann and Joseph, 2015). ماده آلی به خصوص زغال زیستی کـه در شرایط اسیدی تولید شده در طی تجزیه، تعدادی اسیدهای آلی آزاد می‌کند که باعث کاهش pH خاک و افـزایش دسترسـی عناصر کم مصرف به ویژه منگنز مـی‌شـود (Fu *et al*., 2012). ناروئی و همکاران (Naroi *et al*., 2022) در بررسی تأثیر زغال زیستی برگ خرما و زغال زیستی ضایعات پسته بر غلظت فلزات سنگین در گیاه ذرت گزارش کردند که کاربرد ۱ درصد زغال زیستی خرما موجب افزایش ۲۱ درصدی جذب منگنز توسط گیاه ذرت شد. ساهین و همکاران (Sahin *et al*., 2017) گزارش کردند که زغال زیستی پس اسیدی شده با (اسید نیتریک + اسید فسفریک) و (اسید نیتریک) باعث افزایش غلظت منگنز در گیاه ذرت نسبت به تیمار پیش-اسیدی و شاهد در یک خاک آهکی شد. در همین رابطه تسکین و همکاران (Taskin *et al*., 2019) طی بررسی زغال زیستی اصلاح شده اسیدی که دارای pH ۴/۲۱ و Ec ۳۰ است بر رشد و محتوای عناصر گیاهان لوبیا، نخود، سویا و ذرت در یک خاک آهکی (۵۷/۷ درصد آهک) دریافتند که کاربرد زغال زیستی اصلاح شده با اسید مقدار منگنز را در گیاه لوبیا، نخود، سویا و ذرت نسبت به زغال زیستی معمولی به ترتیب ۷۶/۴۰، ۴۰/۸۳، ۸۵/۸۹ و ۱۷/۳۴درصد افزایش داد. همچنین مقایسه میانگین اثر تیمارهای مورد بررسی نشان می‌دهدکه افزایش سطوح در هر سه نوع زغال زیستی غلظت مس را در اندام‌هوایی گیاه کینوا افزایش می‌دهد به نحوه‌ی که بیشترین غلظت مس در اندام‌هوایی با میانگین ۳/۸۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم از تیمار ۵ درصد زغال زیستی پس‌اسیدی به دست آمد هرچند با تیمار۵ درصد بیوچار پیش‌اسیدی با میانگین ۲/۶۲ میلی‌گرم برکیلوگرم از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۶). رشد گیاه کینوا در اثر تیمار اصلاح شده‌ی زغال زیستی توسط اسید (اسید کلردریک) بیشتر از تیمار زغال زیستی اصلاح نشده است که این افزایش رشد کینوا تحت تیمار پس‌اسیدی ممکن است به دلیل افزایش در دسترس بودن عناصر غذایی برای گیاه میزبان باشد که معمولا از طریق کاهش pH خاک باعث دفع عناصر غذایی از سطوح کلوئیدی زغال زیستی و خاک می‌شود (Sliber *et al*., 2010; Sahin *et al*., 2017). اینال و همکاران (Inal *et al*., 2015) در بررسی اثر بیوچار بر رشد گیاه ذرت و لوبیا را در خاک آهکی گزارش کردند زغال زیستی غلظت مس و منگنز را در گیاه لوبیا افزایش داد. اصلاح زغال زیستی با اسیدهای قوی ممکن است حلالیت در آب عناصر غذایی گیاه در زغال زیستی و دسترسی گیاه به عناصر غذایی در خاک را افزایش دهد تا تغذیه معدنی گیاهان رشد یافته در خاک‌های آهکی بهبود یابد. حسن پور و همکاران (Hasanpour *et al*., 2022) در بررسی تأثیر زغال زیستی اسیدی بر برخی ویژگی‌های شیمیایی و قابلیت جذب عناصر غذایی در خاک‌های آهکی گزارش کردند که ترکیب زغال زیستی تولید شده دارای pH اسیدی، سطوح داخلی و سطح ویژه زیاد بوده همچنین غنی از عناصر غذایی هستند که کاربرد آن در خاک قلیایی می‌تواند pH خاک را تعدیل بخشد و مقادیر منگنز، آهن، روی و مس در اکثر تیمارها نسـبت بـه شاهد افـزایش دهد. طبق نتایج تسکین و همکاران (Taskin *et al*., 2019) زغال زیستی اصلاح شده با اسید (اسید نیتریک) با pH ۴/۲۱ در یک خاک آهکی (۵۷/۷ درصد آهک) مقدار مس را در گیاه ذرت نسبت به تیمار زغال زیستی و شاهد به‌ترتیب ۲۴/۹۲ و ۲۴/۳۶ درصد افزایش دهد. که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. درواقع با توجه به جدول ۶ زغال زیستی پس اسیدی نتایج بهتری از نظر غلظت عناصر کم مصرف (آهن، روی، مس و منگنز) درگیاه کینوا نسبت به زغال زیستی اصلاح نشده داشت که این افزایش عناصر غذایی را می‌توان به حل شدن عناصر غذایی زغال زیستی بعد از اسیدی شدن و pH اسیدی قوی این بیوچار و قدرت آن در کاهش pH خاک و فراهمی این عناصر نسبت داد.

جدول ٦- مقایسه میانگین اثر کاربرد نوع و سطوح مختلف زغال زیستی و زغال زیستی اصلاح شده بر غلظت عناصر کم مصرف در اندام‌هوایی کینوا

Table 6- Comparison of the average effect of different types and levels of biochar and modified biochar on the concentration of micronutrient telements in quinoa aerial organs

تیمار Treatment		غلظت آهن اندام هوایی Fe (mg kg^{-1})	غلظت روی اندام هوایی Zn (mg kg^{-1})	غلظت منگنز اندام هوایی Mn (mg kg^{-1})	غلظت مس اندام هوایی Cu (mg kg^{-1})
زغال زیستی معمولی Unmodified	0%	95.95^{f}	7.62^{h}	12.50^{f}	0.95^{h}
	2%	118.38^{de}	9.12^{f}	13.75^{e}	1.35^{f}
	5%	122.80^{d}	10.07^{e}	16.82^{d}	1.75^{e}
زغال زیستی پس اسیدی Post -acid modified	0%	102.08^{ef}	8.17^{g}	10.62^{g}	1.20^{g}
	2%	200.00^{b}	12.27^{b}	21.95^{b}	3.40^{b}
	5%	229.48^{a}	13.42^{a}	23.37^{a}	3.85^{a}
زغال زیستی پیش اسیدی Pre-acid modified	0%	110.00^{def}	7.85^{h}	10.67^{g}	1.01^{h}
	2%	180.40^{c}	11.37^{d}	19.95^{c}	2.20^{d}
	5%	220.48^{a}	11.85^{c}	21.75^{b}	2.60^{c}

ستون‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک، به روش آزمون LSD تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means followed with the same letters in each column are not significant at p<0.05 by LSD Test.

نتیجه‌گیری

به طور کلی کاربرد زغال زیستی می‌تواند صفات فیزیولوژیک و فراهمی عناصر غذایی کم مصرف (آهن، روی، مس و منگنز) را افزایش دهد. نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای مورد بررسی نشان داد با افزایش سطوح هر سه نوع زغال زیستی صفات فیزیولوژیک و فراهمی عناصر غذایی کم مصرف بهبود یافت به نحوه‌ی که بیشترین مقدار کلروفیل a، b، کل و کارتنوئید به ترتیب با میانگین ۲/۵۸، ۱/۵۴، ۴/۱۳ و ۱/۳۶ میلی‌گرم بر گرم تازه گیاه از تیمار ۵ درصد زغال زیستی پس اسیدی بدست آمد. همچنین بیشترین غلظت آهن، روی، مس و منگنز در اندام‌هوایی به ترتیب با میانگین ۲۲۹/۴۸، ۱۳/۴۲، ۳/۸۵ و ۲۳/۳۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم مربوط به تیمار ۵ درصد زغال زیستی پس‌اسیدی بود که نسبت به تیمار ۵ درصد زغال زیستی پیش اسیدی به‌ترتیب افزایشی معادل ۴/۰۸، ۱۳/۲۴، ۷/۴۴ و ۳۰/۷۶ درصد داشت. زغال زیستی پس‌اسیدی نتایج بهتری از نظر صفات فیزیولوزیک و غلظت عناصر کم مصرف (آهن، روی، مس و منگنز) نسبت به زغال زیستی اصلاح نشده در گیاه کینوا داشت که این افزایش عناصر غذایی را می توان به حل شدن عناصر غذایی زغال زیستی بعد از اسیدی شدن و کاهش pH خاک و فراهمی این عناصر نسبت داد. بنابراین زغال زیستی اصلاح شده با اسید یا زغال زیستی تولیدی از منابعی که دارای خاصیت اسیدی هستند را می‌توان به‌عنوان ابزاری مناسب برای بهبود حاصلخیزی و افـزایش عناصر کم مصرف در خاک‌های آهکی توصیه کرد.

منابع

1. Abbasi, G.H., Akhtar, J., Anwar-ul-Haq, M., Malik, W., Ali, S., Chen, Z.H., & Zhang, G. (2015). Morpho-physiological and micrographic characterization of maize hybrids under NaCl and Cd stress. *Plant Growth Regulation*, *75*, 115-122. https://doi.org/10.1007/s10725-014-9936-6
2. Abdel-Fattah, M.K. (2019). Reclamation of saline-sodic soils for sustainable agriculture in Egypt. *Sustainability of Agricultural Environment in Egypt: Part II: Soil-Water-Plant Nexus*, 69-92. https://doi.org/10.1007/698_2018_310
3. Adejumo, S.A., Owolabi, M.O., & Odesola, I.F. (2016). Agro-physiologic effects of compost and biochar produced at different temperatures on growth, photosynthetic pigment and micronutrients uptake of maize crop. *African Journal of Agricultural Research*, *11*(8), 661-673.
4. Allah Vardi Markdeh and longevity. (2014). Investigating the effect of copper and manganese on the amount of secondary compounds of lemongrass medicinal plant (*Mellisa officinalis*), international conference on applied research in agriculture. (In Persian)
5. Arnon, D.I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, *24*(1), 1.
6. Benton Jones, J.R., & Case, V.W. (1990). Sampling, handling and analyzing plant tissue sample. *Soil Testing and Plant Analysis*, *SSSA*, (3).
7. Boostani, H.R., Zarei, M., & Barati, V. (2017). Effects of application of biochar and arbuscular mycorrhizal fungi on growth and chemical composition of corn (*Zea mays* L. 704) in a calcareous soil. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, *7*(2), 1-23. (In Persian with English abstract)
8. Chan, K.Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A., & Joseph, S. (2007). Agronomic values of greenwaste

biochar as a soil amendment. *Soil Research*, *45*(8), 629-634.
9. Day, P.R. (1965). Particle fractionation and particle size analysis. *Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Properties, Including Statistics of Measurement and Sampling*, *9*, 545-567.
10. Ding, W., Clode, P.L., & Lambers, H. (2019). Is pH the key reason why some Lupinus species are sensitive to calcareous soil?. *Plant and Soil*, *434*, 185-201.
11. Eichert, T., Peguero-Pina, J.J., Gil Pelegrín, E., Heredia, A., & Fernández, V. (2010). Effects of iron chlorosis and iron resupply on leaf xylem architecture, water relations, gas exchange and stomatal performance of field grown peach (*Prunus persica*). *Physiologia Plantarum*, *138*(1), 48-59.
12. El-Sharkawy, M., El-Naggar, A.H., AL-Huqail, A.A., & Ghoneim, A.M. (2022). Acid-modified biochar impacts on soil properties and biochemical characteristics of crops grown in saline-sodic soils. *Sustainability*, *14*(13), 8190.
13. Farrell, M., Macdonald, L.M., Butler, G., Chirino-Valle, I., & Condron, L.M. (2014). Biochar and fertiliser applications influence phosphorus fractionation and wheat yield. *Biology and Fertility of Soils*, *50*, 169-178.
14. Fu, P., Hu, S., Xiang, J., Yi, W., Bai, X., Sun, L., & Su, S. (2012). Evolution of char structure during steam gasification of the chars produced from rapid pyrolysis of rice husk. *Bioresource Technology*, *114*, 691-697.
15. Glaser, B., Lehmann, J., & Zech, W. (2002). Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal–a review. *Biology and Fertility of Soils*, *35*, 219-230.
16. Hasanpour, I., Shirvani, M., Hajabbasi, M.A., & Majidi, M.M. (2022). Effect of acidic biochars on some chemical properties and nutrient availabilities of calcareous soils. *JWSS-Isfahan University of Technology*, *26*(2), 39-59. (In Persian)
17. He, Z., He, C., Zhang, Z., Zou, Z., & Wang, H. (2007). Changes of antioxidative enzymes and cell membrane osmosis in tomato colonized by arbuscular mycorrhizae under NaCl stress. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, *59*(2), 128-133.
18. Inal, A., Gunes, A.Y.D.I.N., Sahin, O.Z.G.E., Taskin, M.B., & Kaya, E.C. (2015). Impacts of biochar and processed poultry manure, applied to a calcareous soil, on the growth of bean and maize. *Soil Use and Management*, *31*(1), 106-113.
19. Jacobsen, S.E., Hollington, P.A., & Hussain, Z. (2002). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), a potential new crop for Pakistan. *Prospects for Saline Agriculture*, 247-249.
20. Jin, Z., Chen, C., Chen, X., Hopkins, I., Zhang, X., Han, Z., & Billy, G. (2019). The crucial factors of soil fertility and rapeseed yield-A five year field trial with biochar addition in upland red soil, China. *Science of the Total Environment*, *649*, 1467-1480.
21. Jones Jr, J.B., & Case, V.W. (1990). Sampling, handling, and analyzing plant tissue samples. *Soil Testing and Plant Analysis*, *3*, 389-427.
22. Kappler, A., Wuestner, M. L., Ruecker, A., Harter, J., Halama, M., & Behrens, S. (2014). Biochar as an electron shuttle between bacteria and Fe (III) minerals. *Environmental Science & Technology Letters*, *1*(8), 339-344.
23. Komkiene, J., & Baltrenaite, E. (2016). Biochar as adsorbent for removal of heavy metal ions [Cadmium (II), Copper (II), Lead (II), Zinc (II)] from aqueous phase. *International Journal of Environmental Science and Technology*, *13*, 471-482
24. Lahiji, F.A.S., Ziarati, P., & Jafarpour, A. (2016). Potential of rice husk biosorption in reduction of heavy metals from *Oryza sativa* rice. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, *13*, 2231-2237.
25. Lahiji, F.A.S., Ziarati, P., & Jafarpour, A. (2016). Potential of rice Husk biosorption in reduction of heavy metals from *Oryza sativa* rice. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, *13*(4), 2231-2237.
26. Lehmann, J., & Rondon, M. (2006). Bio-char soil management on highly weathered soils in the humid tropics. *Biological Approaches to Sustainable Soil Systems*, *113*(517), e530.
27. Lehmann, J., Pereira da Silva, J., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W., & Glaser, B. (2003). Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant and Soil*, *249*, 343-357.
28. Lindsay, W.L., & Norvell, W. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal*, *42*(3), 421-428.
29. Mahmoudi, H., Ksouri, R., Gharsalli, M., & Lachaâl, M. (2005). Differences in responses to iron deficiency between two legumes: lentil (*Lens culinaris*) and chickpea (*Cicer arietinum*). *Journal of Plant Physiology*, *162*(11), 1237-1245.
30. Martínez, E.A., Fuentes, F.F., & Bazile, D. (2015). History of quinoa: its origin, domestication, diversification, and cultivation with particular reference to the Chilean context. *Quinoa: Improvement and Sustainable Production*, 19-24.
31. Mayer, Z.A., Eltom, Y., Stennett, D., Schröder, E., Apfelbacher, A., & Hornu, A. (2014). Characterization of engineered biochar for soil management. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, *33*, 490–96. https://doi.org/10.1002/ep.11788
32. Ming-gang, X.U., Dong-chu, L.I., Ju-mei, L.I., Dao-zhu, Q.I.N., Yagi, K., & Hosen, Y. (2008). Effects of organic manure application with chemical fertilizers on nutrient absorption and yield of rice in Hunan of Southern China.

Agricultural Sciences in China, *7*(10), 1245-1252.
33. Nael, M., Khademi, H., Jalalian, A., Schulin, R., Kalbasi, M., & Sotohian, F. (2009). Effect of geo-pedological conditions on the distribution and chemical speciation of selected trace elements in forest soils of western Alborz, Iran. *Geoderma*, *152*(1-2), 157-170.
34. Naroi, A., Zamani, J., Kohestani, Sh., & Abbaszadeh Afshar, F. (2022). The effect of date leaf biochar and pistachio harvest waste biochar on corn growth and heavy metal concentration. *Agricultural Engineering*, *4*, 44. 399-411. (In Persian)
35. Novak, J.M., Busscher, W.J., Laird, D.L., Ahmedna, M., Watts, D.W., & Niandou, M.A. (2009). Impact of biochar amendment on fertility of a southeastern coastal plain soil. *Soil Science*, *174*(2), 105-112.
36. Olsen, S.R. (1954). *Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate* (No. 939). US Department of Agriculture.
37. Page, A.L., Miller, R.H., & Keeney, D.R. (1982). *Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties*, 2nd edn. American Society of Agrronomy Inc, Madison.
38. Peiris, C., Nayanathara, O., Navarathna, C. M., Jayawardhana, Y., Nawalage, S., Burk, G., ... & Gunatilake, S.R. (2019). The influence of three acid modifications on the physicochemical characteristics of tea-waste biochar pyrolyzed at different temperatures: a comparative study. *RSC Advances*, *9*(31), 17612-17622.
39. Ramzani, P.M.A., Khan, W.U.D., Iqbal, M., Kausar, S., Ali, S., Rizwan, M., & Virk, Z.A. (2016). Effect of different amendments on rice (*Oryza sativa* L.) growth, yield, nutrient uptake and grain quality in Ni-contaminated soil. *Environmental Science and Pollution Research*, *23*, 18585-18595.
40. Ramzani, P.M.A., Shan, L., Anjum, S., Ronggui, H., Iqbal, M., Virk, Z.A., & Kausar, S. (2017). Improved quinoa growth, physiological response, and seed nutritional quality in three soils having different stresses by the application of acidified biochar and compost. *Plant Physiology and Biochemistry*, *116*, 127-138. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.05.003
41. Ran, C., Gulaqa, A., Zhu, J., Wang, X., Zhang, S., Geng, Y., ... & Shao, X. (2020). Benefits of biochar for improving ion contents, cell membrane permeability, leaf water status and yield of rice under saline–sodic paddy field condition. *Journal of Plant Growth Regulation*, *39*(1), 370-377.
42. Safi, D., Alikhani, H., & Motsharazadeh, B. (2012). The effect of plant growth promoting rhizobial bacteria on improving the nutritional conditions of rapeseed (*Barssica napus* L.) under salt stress. *Science of Water and Soil*, *23*(4): 159-175. (In Persian)
43. Sahin, O., Taskin, M.B., Kaya, E.C., Atakol, O.R.H.A.N., Emir, E., Inal, A., & Gunes, A.Y.D.I.N. (2017). Effect of acid modification of biochar on nutrient availability and maize growth in a calcareous soil. *Soil Use and Management*, *33*(3), 447-456.
44. Sharifian Bahraman, A., Sepehry, A., & Barani, H. (2022). Soil physiochemical characteristics of Lycium depressum Stocks. habitat in saline and alkaline rangelands in north of Golestan Province, Iran. *Journal of Plant Ecosystem Conservation*, *9*(19), 47-62. (In Persian)
45. Silber, A., Levkovitch, I., & Graber, E.R. (2010). pH-dependent mineral release and surface properties of cornstraw biochar: agronomic implications. *Environmental Science & Technology*, *44*(24), 9318-9323.
46. Song, W., & Guo, M. (2012). Quality variations of poultry litter biochar generated at different pyrolysis temperatures. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, *94*, 138-145.
47. Taskin, M. B., Kadioglu, Y. K., Sahin, O., Inal, A., & Gunes, A. (2019). Effect of acid modified biochar on the growth and essential and non-essential element content of bean, chickpea, soybean, and maize grown in calcareous soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *50*(13), 1604-1613.
48. Thomas, S.C., Frye, S., Gale, N., Garmon, M., Launchbury, R., Machado, N., ... & Winsborough, C. (2013). Biochar mitigates negative effects of salt additions on two herbaceous plant species. *Journal of Environmental Management*, *129*, 62-68.
49. Vithanage, M., Rajapaksha, A.U., Zhang, M., Thiele-Bruhn, S., Lee, S.S., & Ok, Y.S. (2015). Acid-activated biochar increased sulfamethazine retention in soils. *Environmental Science and Pollution Research*, *22*, 2175-2186. https://doi.org/10.1007/s11356-014-3434-2
50. Walkley, A., & Black, I.A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, *37*(1), 29-38.
51. 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.
52. Woolf, D., Amonette, J.E., Street-Perrott, F.A., Lehmann, J., & Joseph, S. (2010). Sustainable biochar to mitigate global climate change. *Nature Communications*, *1*(1), 56.
53. Yazdanpanah, A., & Motallebifard, R. (2017). The effects of chicken manure and potassium fertilizer on Yield and Nitrogen, Phosphorus, Potassium, Zinc and Copper Uptake of Potato. *Applied Soil Research*, *4*(2), 60-71. (In Persian)
54. Yuan, J.H., & Xu, R.K. (2011). The amelioration effects of low temperature biochar generated from nine crop residues on an acidic Ultisol. *Soil Use and Management*, *27*(1), 110-115.