

Research Article

Agricultural Engineering., 46(1) (2023) 43-59  
DOI:10.22055/AGEN.2023.43166.1657

ISSN (P): 2588-526X

ISSN (E): 2588-5944

## Effect of application of acid modified biochar on vegetative growth and yield components of quinoa in a calcareous soil affected by salt

M. Bazi Abdoli<sup>1</sup>, M. Barani Motlagh<sup>2\*</sup>, A. Bostani<sup>3</sup> and T. Nazari<sup>4</sup>

1. MSC Graduated, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Gorgan University of Agriculture and Natural Resources
2. Associate Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Gorgan University of Agriculture and Natural Resources
3. Associate Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahed University
4. PhD Student, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Gorgan University of Agriculture and Natural Resources

Received: 27 February 2023 Accepted: 20 May 2023

---

### Abstract

**Introduction** One of the ways to use and exploit saline lands is to use salinity-tolerant cultivars, such as the Quinoa (*Chenopodium quinoa*) plant. It is known that biochar increases soil pH, which may result in less availability of phosphorus and other micronutrients, such as Fe, Zn, and Mn, in alkaline and calcareous soils. Therefore, modifying biochar with acids can increase the availability of nutrients in biochar for different plants grown in calcareous soils. The objection of this study is to investigate the effect of normal biochar and acid-modified biochar from rice residues on the yield and yield components of quinoa plants (Gizavan number) in a calcareous soil affected by salt.

**Materials and Methods** The soil used in the study was collected from 0-30 cm depth which passed through via 2-mm sieve after air-drying and its chemical and physical properties were determined. To achieve the aim of this study, the factorial experiment was carried out in a completely randomized design in 4 replications. Factors include 3 types of rice 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 the plant emerging and greening declined to 3 plants in each pot. The pots were randomly moved twice a week during growth to eliminate environmental effects. Irrigation and weeding operations were done by hand. After the end of the growth period (187 days), the plants were harvested. So vegetative growth parameters and yield components including shoots fresh and dry weight, plant height, stem diameter, panicle length, number of leaves, number of lateral branches, and 1000 grain weight were measured and then biological yield and harvest index were determined. The statistical results of the data were analyzed using SAS software (9.4) and the LSD test (at 5% level) was used for comparing the mean values.

**Results and Discussion** As a result of adding biochar to soil, it becomes alkaline. Chemical modification of biochar using strong acids can reduce soil pH and improve the fertility of calcareous soils and increase vegetative parameters and yield components of quinoa. Based on the obtained results, the interaction effect of different types and levels of biochar on all investigated traits was significant at the level of 1%. The results showed that the highest height, fresh and dry weight, panicle length, number of lateral branches, and stem diameter were related to the 5% post-

acidic rice biochar treatment and the lowest value was related to the control treatment. furthermore, the results showed that the highest amount of plant dry weight of 8.82 gr/pot, the height of 77.50 cm, and 1000 seed weight of 17.3 gr/pot was obtained from the treatment of 5% post-acidic rice biochar, compared to the treatment of 5% Unacidified rice biochar had an increase of (81.97), (45.16) and (32.17) percent respectively. As a result of the high dry weight of shoots and the 1000 seed weight, the 5% post-acidic rice biochar treatment provided the highest biological yield at 16.05 and harvest index at 45.03.

**Conclusion** Under the conditions of this study, acid-modified biochars (post-acidic and pre-acidic) enhanced vegetative growth characteristics and yield components of quinoa plants in calcareous soils affected by salt. Therefore, it is recommended to prepare biochar from acidic sources or to modify it with post-acidic and pre-acidic methods.

**Keywords:** *Acid biochar, quinoa, vegetative growth parameters and yield and yield components*

## اثر کاربرد بیوجار اصلاح شده اسیدی بر رشد رویشی و اجزای عملکرد گیاه کینوا در یک خاک آهکی متأثر از نمک

مهری بزی عبدلی<sup>۱</sup>، مجتبی بارانی مطلق<sup>۲\*</sup>، امیر بستانی<sup>۳</sup> و طالب نظری<sup>۴</sup>

۱- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

۳- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد، ایران

۴- دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

### تاریخچه مقاله

دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۰۸

پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۰۲/۳۰

### کلمات کلیدی:

بیوجار اسیدی،

شاخص‌های رشد رویشی،

عملکرد و اجزای عملکرد،

کینوا

\* عهده دار مکاتبات

E-mail: mbarani2002@yahoo.com

### چکیده

یکی از راه‌های استفاده و بهره برداری از اراضی شور استفاده از ارقام متحمل به شوری مانند گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa*) است. از طرفی استفاده از بیوجار pH خاک را افزایش می‌دهد و در خاک‌های قلیایی و آهکی ممکن است در دسترس بودن فسفر و عناصر کم مصرف مانند آهن، روی، منگنز، را کاهش دهد. لذا اصلاح بیوجار با اسیدها می‌تواند سبب افزایش قابلیت دسترسی به عناصر غذایی موجود در بیوجار می‌شود. هدف از این پژوهش بررسی اثر بیوجار برنج و بیوجار اسیدی شده برنج بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه کینوا (رقم گیزاوان) در یک خاک آهکی متأثر از نمک می‌باشد. در نتیجه آزمایشی فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۴ تکرار به صورت گلدانی به اجرا در آمد. فاکتورها شامل ۳ نوع بیوجار (اصلاح نشده برنج، اصلاح شده برنج با روش پیش اسیدی و اصلاح شده برنج با روش پس اسیدی) و سطوح مختلف بیوجار (۰، ۲ و ۵ درصد وزنی) و در مجموع ۳۶ گلدان بودند. نتایج نشان داد که بیوجار اسیدی شده برنج بر تمامی ویژگی‌های رشد رویشی در سطح احتمال یک درصد ( $P < 0.01$ ) معنی‌دار شد. نتایج نشان داد بیشترین مقدار وزن خشک گیاه ۸/۸۲ گرم در بوته، ارتفاع ۷۷/۵۰ سانتی-متر، وزن هزار دانه ۳/۱۷ گرم در بوته و شاخص برداشت ۴۵/۰۳ از تیمار ۵ درصد بیوجار برنج پس اسیدی به دست آمد که نسبت به تیمار ۵ درصد بیوجار اسیدی نشده برنج به ترتیب افزایشی معادل (۸۱/۹۷)، (۴۵/۱۶)، (۳۲/۱۷) و (۷/۰۶) درصد داشت. به طور کلی می‌توان گفت که استفاده از بیوجار برنج اصلاح شده (پس اسیدی و پس اسیدی) نقش مثبتی در افزایش ویژگی‌های رشد رویشی گیاه کینوا داشت.

### مقدمه

طریق گرماکافت، حذف خطر پاتوژن‌ها، آلاینده‌های آلی و حذف عناصر سنگین (۲۲). بیوجار نه تنها غنی از کربن است بلکه سرشار از عناصر غذایی گیاهی بوده (۱۸) بلکه یکی از مهمترین جنبه‌های استفاده بیوجار توانایی آن در تأمین عناصر غذایی برای گیاهانی که دچار کمبود عنصر غذایی و در خاک‌های کم بارور و تخریب شده می‌باشد (۵۹، ۳۱). عرضه

بیوجار یک ماده متخلخل، غنی از کربن و مقاوم به تجزیه بوده و حاصل حرارت‌دهی (رنج حرارت ۳۰۰ تا ۱۰۰۰) زیست-توده‌های گیاهی در دماهای مختلف است (۲۳، ۶۲، ۳۰). تبدیل بقایای کشاورزی به بیوجار از طریق حرارت‌دهی مزایای بیشتری از روش‌های معمول دفع دارد، از جمله کاهش حجم زباله‌ها از

پهن برگ، با ارتفاع یک تا دو متر است که از آمریکای لاتین منشأ گرفته است. کینوا یک گیاه شورپسند است و قادر است تا شوری نزدیک به شوری آب دریا (۴۰ دسی‌زیمنس بر متر) را تحمل کند (۳۹). کینوا از نظر داشتن اسید آمینه لیزین نسبت به غلات و از نظر داشتن اسید آمینه‌های متیونین و سیستین نسبت به حبوبات برتری دارد (۱۵). از نظر کمی نیز دانه کینوا حدود ۱۴ تا ۲۰ درصد پروتئین داشته و سرشار از اسید آمینه‌های ضروری مانند لیزین و متیونین است که در بیشتر دانه‌های خوراکی غلات، به میزان بسیار کمی وجود دارند (۳). ارزش غذایی بسیار بالای دانه کینوا موجب مقایسه آن با شیر خشک توسط سازمان خواروبار و کشاورزی ملل متحد گردیده است. گیاه کینوا با وجود ارزش غذایی بالا، مقاومت زیادی در برابر طیف گسترده‌ای از تنش‌های غیرزیستی مانند سرما، شوری و خشکی از خود نشان داده است و قابلیت رشد در زمین‌های حاشیه‌ای را دارد (۴۰). این گیاه پتانسیل بالای رشد در زمین‌های شور را دارد و این ویژگی باعث شده به عنوان یک گیاه مقاوم مورد توجه برای نواحی باشد که شوری به عنوان یک مشکل بزرگ کشاورزی است (۴۱). بر اساس گزارش‌های فائو حدود ۸۰۰ میلیون هکتار از زمین‌های سرتاسر جهان تحت تأثیر شوری و سدیمی شدن می‌باشند که از این مقدار ۳۹۷ میلیون هکتار تحت تأثیر شوری و ۴۳۴ میلیون هکتار تحت تأثیر سدیمی بودن هستند (۱۱). کشور ایران در منطقه خشک و نیمه خشک جهان واقع شده و حدود ۱۵ درصد از کل اراضی زراعی کشور تحت تأثیر شوری قرار دارند. با توجه به شرایط اقلیمی و جغرافیایی ایران و عواملی مانند تغییر اقلیم و محدودیت آبی و در پی آن شوری منابع آب و خاک و همچنین افزایش تقاضا برای تولید بیشتر محصولات کشاورزی جهت بهبود معیشت و رفع نیازهای غذایی مردم، کشت گیاهان سازگار با چنین شرایطی از مهمترین راه‌کارهای رسیدن به امنیت غذایی در کشور به شمار می‌رود. همچنین کینوا گیاهی با ارزش غذایی مطلوب و پتانسیل بالای رشد و تولید در شرایط نامساعد محیطی است که به تازگی از طرف وزارت جهاد کشاورزی برای کشت در مناطق شور و با

بیوچار به خاک باعث افزایش pH و CEC خاک (۲۴)، افزایش تخلخل خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک و کاهش چگالی ظاهری (۲۷)، افزایش راندمان مصرف آب (۵۷) و کاهش سمیت فلزات سنگین می‌گردد (۳۶، ۳۷). تأثیرات بیوچار در خاک‌های سدیمی و اسیدی متفاوت است (۱۲). بیوچار یک ماده قلیایی است و استفاده کردن از آن pH خاک را افزایش می‌دهد (۷). افزایش pH خاک در خاک‌های قلیایی و آهنی اغلب در دسترس بودن عناصر غذایی پر مصرف و کم مصرف را کاهش می‌دهد. اصلاح بیوچار با اسیدها باعث افزایش در دسترس بودن عناصر غذایی گیاهان در خاک‌های سدیمی می‌شود، و اثر مثبت بیوچار اصلاح شده اسیدی بر رشد گیاه را می‌توان ناشی از افزایش عناصر غذایی گیاه در بیوچار و همچنین خاک دانست (۴۵). اصلاح شیمیایی بیوچار با اسیدها کارایی جذب سطحی آن و نیز سطح ویژه آن را افزایش و اثرات محدودکننده را کاهش می‌دهد (۴۵، ۵۴). از این رو، اصلاح بیوچار به روش‌های مختلف با توجه به اهداف کاربرد آن در خاک، در سال‌های اخیر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است (۱، ۱۹). اصلاح با ترکیبات مختلف اسیدی و اسیدی کردن بیوچار یکی از روش‌های اصلاح بیوچار است. اسیدی کردن بیوچار با استفاده از ترکیبات مختلف مانند گوگرد، اسیدهای آلی و معدنی، می‌تواند pH بیوچار را کاهش دهد (۴۳). در همین راستا ساهین و همکاران (۴۵) گزارش کردند که اصلاح بیوچار با اسید نیتریک موجب کاهش pH آن از ۹/۳۸ به ۴/۴۶ شد (۴۵). اصلاح بیوچار با اسید ممکن است باعث افزایش عناصر کلسیم، پتاسیم، فسفر، آهن، منیزیم، روی، منگنز و مس شود و از این طریق سبب بهبود قابل توجه در تغذیه معدنی گیاهان رشد یافته در خاک‌های آهنی شود (۴۵). در واقع اینگونه می‌توان گفت که اصلاح بیوچار با اسید باعث کاهش pH خاک و افزایش غلظت منیزیم، کلسیم، پتاسیم، فسفر، روی، منگنز و مس در گیاه در خاک‌های آهنی می‌شود (۱۷). کینوا با نام علمی (*Chenopodium quinoa Willd*) گیاهی یکساله جزء خانواده تاج خروسیان، زیر خانواده اسفناج<sup>۳</sup>

1- Sahin et al.

2- Amaranthaceae

سلسیوس به مدت ۲ ساعت با آهنگ افزایش دمای کوره ۱۰ درجه سلسیوس بر دقیقه انجام گرفت (۲۰). 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 بیوجار (درصد عملکرد بیوجار) و محتوای خاکستر از روش ASTM D-2866 به ترتیب با استفاده از رابطه ۱ و ۲ محاسبه گردید (۴۹). همچنین مقادیر pH قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره ۱:۲۰، پتاسیم و سدیم، کلسیم، منیزیم، کلر محلول نیز با استفاده از روش سونگ و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۱۲) اندازه‌گیری شد (۴۹).

$$(۱) 100 \times \frac{(g) \text{ وزن بیوجار}}{(g) \text{ وزن خشک آون ماده آلی خام}} = \text{بیوجار}$$

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

بیوجار اسیدی شده برنج با دو روش زیر انجام گرفت (۴۵) در روش اول، پس از گرماکافت و تهیه بیوجار (روش پس اسیدی)<sup>۵</sup> نمونه بیوجار 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 سرسته نگه‌داری شد (۲۶، ۳۸). در روش دوم از روش اصلاح پیش اسیدی استفاده شد. بدین منظور، در ابتدا بقایای گیاهی را از الک ۲ میلی متری عبور داده و اسید کلریدریک به بقایای گیاهی اضافه شد (غلظت یک مولار، نسبت ۱:۵۰؛ هم زدن با همزن مغناطیسی به مدت ۳ ساعت در دمای ۶۰ درجه سلسیوس و سپس مانند تهیه بیوجار گرماکافت شدند (جدول ۲) (۴۵)

### آزمایش گلخانه‌ای

محدودیت تأمین آب کافی، توصیه شده است. از این رو، با توجه به اهمیت بالای کینوا در امنیت غذایی و تأثیر بیوجار اسیدی بر خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاهان در شرایط شوری و نیز وسعت روبه افزایش اراضی آهکی و شور این پژوهش با هدف بررسی اثر کاربرد بیوجار برنج و بیوجار اسیدی شده برنج (پیش اسیدی- پس اسیدی) بر ترکیب شیمیایی بیوجار و تأثیر آن بر رشد رویشی و اجزای عملکرد گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa Willd*) در یک خاک آهکی متأثر از نمک انجام گرفت که در صورت موثر بودن برای گیاهان دیگر پیشنهاد شود.

### مواد و روش

نمونه برداری و تعیین ویژگی‌های خاک: خاک مورد استفاده از عمق ۰-۳۰ سانتی متری منطقه آق قلا برداشته شد. پس از هوا خشک شدن، از الک ۲ میلی متری عبور داده شده و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مانند توزیع اندازه ذرات اولیه خاک به روش هیدرومتری (۸)، pH و قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع (۴۴)، کربن آلی (۵۸)، نیتروژن کل به روش کج‌دلال (۴)، فسفر قابل استفاده به روش اولسن (۳۳)، پتاسیم قابل استفاده با استفاده از عصاره‌گیری با استات آمونیوم (۴۴) و آهن و روی به وسیله دستگاه جذب اتمی (مدل 919A، ساخت Unicam انگلستان) بعد از عصاره‌گیری خاک با DTPA<sup>۱</sup> به روش لیندزی و نورول (۲۵) اندازه‌گیری شدند (جدول ۱).

### تولید بیوجار

بقایای گیاه برنج مورد استفاده در تهیه بیوجار 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 (۴۵، ۵۴). سپس گرماکافت نمونه‌ها در کوره الکتریکی با دمای ۴۵۰ درجه

2- Bochar yield  
3- Ash content  
4- Song *et al.*  
5- post-acid modification  
6- acid modification

1- Diethylenetriaminepentaacetic acid

بزی عبدلی و همکاران: اثر کاربرد بیوجار اصلاح شده اسیدی بر...

استفاده از نرم افزار SAS 9.4 انجام و برای مقایسه میانگین ها از آزمون LSD (در سطح احتمال ۵ درصد) استفاده شد. همچنین برای ترسیم نمودارها از برنامه Excel 2016 استفاده شد.

### نتایج و بحث

برخی از ویژگی های مهم بیوجار برنج و بیوجار اسیدی شده برنج (پیش اسیدی- پس اسیدی) در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج حاکی از آن است که مقدار هدایت الکتریکی بیوجار اصلاح نشده برنج برابر با  $4/40$  دسی زیمنس بر متر و مقدار هدایت الکتریکی بیوجار اسیدی شده برنج پس اسیدی و پیش-اسیدی به ترتیب  $9/50$  و  $6/45$  دسی زیمنس بر متر بود. همچنین pH بیوجار برنج برابر با  $8/15$  در حالی که مقدار pH بیوجار پیش اسیدی و پس اسیدی به ترتیب برابر  $3/80$  و  $2/34$  بود. مقدار هدایت الکتریکی و کاهش pH در بیوجار اسیدی شده برنج در این پژوهش با نتایج ساهین و همکاران (۴۵) مطابقت داشت. لازم به ذکر است که کاهش مقدار pH بیوجار اصلاح شده با اسید ممکن است به طور بالقوه برای استفاده در خاک های سدیمی مفید باشد (۴۵). در اثر اصلاح بیوجار به بیوجارهای اسیدی مقدار کربن آلی کاهش یافت که این کاهش مقدار کربن می تواند به علت تجزیه مواد آلی در اثر واکنش با اسید باشد. همچنین نتایج حاصل از جدول ۲ نشان می دهد که بیوجار پس اسیدی در مقایسه با بیوجار پیش اسیدی و بیوجار اصلاح نشده برنج دارای مقدار سدیم، پتاسیم، منیزیم، کلسیم و کلر بیشتری بود. این افزایش سدیم، پتاسیم، منیزیم، کلسیم و کلر در نتیجه اصلاح بیوجار با اسید توسط پژوهشگران دیگر مانند ساهین و همکاران (۴۵) نیز گزارش شده است. نتایج جدول ۲ همچنین نشان می دهد مقدار محتوی خاکستر و عملکرد بیوجار در بیوجار پس اسیدی بیشتر از بیوجار پیش اسیدی و بیوجار برنج بود (جدول ۲).

آزمایش گلدانی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار در گلخانه دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان به اجرا در آمد. فاکتورها شامل سه نوع بیوجار (بیوجار برنج، بیوجار اسیدی شده برنج با روش پیش اسیدی و بیوجار اسیدی شده برنج با روش پس اسیدی) و سطوح مختلف بیوجار (۰، ۲ و ۵ درصد وزنی) بودند. روش کشت به این صورت بود که ۵ کیلوگرم خاک هوا خشک و عبور داده شده از سرنده به همراه اعمال تیمار بیوجار برنج و بیوجار اسیدی شده برنج به روش پیش و پس اسیدی، در گلدان های پلاستیکی ۵ کیلویی در مجموع ۳۶ گلدان اعمال گردید. 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. گلدان ها به رطوبت ظرفیت مزرعه (FC) رسانیده شده و سه روز بعد از آن نسبت به کاشت بذر گیاه کینوا رقم گیزوان اقدام گردید. تعداد ۱۰ عدد بذر در هر گلدان در عمق ۲ سانتی متری خاک کاشته و پس از سبز شدن و استقرار کامل، تعداد بوته ها به ۳ عدد در هر گلدان تقلیل یافت. به منظور حذف اثرات محیطی در داخل گلخانه، در طول دوره رشد جای گلدان ها دو بار در هفته به صورت تصادفی تغییر داده شد. علاوه بر نیتروژن 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 گلدان ها اضافه شد. عملیات آبیاری و وجین علف های هرز با دست انجام گرفت. رطوبت خاک گلدان ها در طول دوره رشد گیاه در حدود ظرفیت مزرعه به روش وزنی تامین شد. آنگاه پس از پایان دوره رشد (به مدت ۱۸۷ روز) گیاهان برداشت شدند، سپس ویژگی های رشد رویشی و اجزای عملکرد شامل وزن تر و وزن خشک گیاه، ارتفاع بوته، قطر ساقه، طول پانیکول، تعداد برگ، تعداد شاخه جانبی، وزن هزار دانه اندازه گیری و آنگاه عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت تعیین شد. تجزیه و تحلیل آماری مقایسه بین تیمارهای مختلف با

جدول (۱) برخی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش.

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

پتاسیم	نیتروژن	فسفر	کربن آلی	pH	قابلیت هدایت الکتریکی	شن	سیلت	رس	بافت خاک
قابل جذب K(mg kg <sup>-1</sup> )	کل N (%)	قابل جذب P(mg kg <sup>-1</sup> )	OC (%)	گل اشباع	EC(dSm <sup>-1</sup> )	Sand	Silt	Clay	Soil texture
330	0.09	7.73	1.1	7.45	5.10	48	41.4	10.6	سیلتی لوم Silty loam

جدول (۲) برخی مشخصات شیمیایی بیوچار و بیوچار اصلاح شده با اسید

Table (2) Some chemical properties of biochar and Acid modified biochar

نوع بیوچار The type of biochar	هدایت الکتریکی (دس ی زیمنس بر متر)	پ هاش	کربن آلی درصد	سدیم محلول (میلی در لیتر)	پتاسیم محلول (میلی در لیتر)	کلسیم محلول (میلی در لیتر)	منیزیم محلول (میلی در لیتر)	کلر محلول (میلی در لیتر)	عملکرد بیوچار	محتوای خاکستر درصد
	EC dS /m	pH	OC (%)	Na me/L	K meq/L	Ca meq/L	Mg meq/L	Cl meq/L	Biochar yield	Ash content (%)
بیوچار برنج unmodified	4.40	8.15	52.65	108.41	46.68	3.2	2	5	40	22
بیوچار پس اسیدی post-acid modified	9.50	2.34	21.45	133.85	53.37	5.2	4	31	80	38
بیوچار پیش اسیدی pre-acid modified	6.45	3.80	36.07	122.11	47.32	4	3.2	17	45	25

### وزن تر و وزن خشک

اسیدی سطح ۲ افزایشی معادل ۴۱/۱۲ درصد داشت (جدول ۴). وزن خشک کل گیاه شاخص خوبی برای ارزیابی رشد و عملکرد محسوب می شود به طور کلی، وزن خشک بالاتر نشان دهنده کارآیی گیاه در تولید مواد فتوسنتزی و ارسال آن به اندام های در حال رشد است (۱۴). رشد گیاه کینوا در اثر تیمار اصلاح شده بیوچار توسط اسید (اسید کلردریک) بیشتر از تیمار بیوچار اصلاح نشده بود که این افزایش رشد کینوا تحت تیمار پس اسیدی ممکن است به دلیل افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی برای گیاه میزبان باشد که معمولاً از طریق کاهش pH خاک باعث واجذب بهتر عناصر غذایی از سطوح کلوئیدی بیوچار و خاک می شود (۴۸، ۴۳). همین راستا ساهین و همکاران (۴۵) اثر مثبت بیوچار اصلاح شده با اسید فسفریک و اسید

مطابق با جدول تجزیه واریانس داده ها (جدول ۳) نوع و سطوح مختلف بیوچار و اثر متقابل آن ها بر وزن تر و وزن خشک اندام هوایی در سطح یک درصد ( $P < 0.01$ ) معنی دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین های اثر متقابل نوع و سطوح مختلف بیوچار بر وزن تر اندام هوایی (جدول ۴) نشان داد بیشترین مقدار وزن تر اندام هوایی به مقدار ۴۵ گرم در بوته مربوط به تیمار ۵ درصد بیوچار پس اسیدی بود که نسبت به بیوچار پس اسیدی سطح ۲ درصد افزایشی معادل ۲۲/۴۴ درصد داشت. همچنین نتایج مقایسه میانگین های تیمارهای مورد بررسی نشان داد که بیشترین وزن خشک گیاه با میانگین ۸/۸۲ گرم در بوته مربوط به تیمار ۵ درصد بیوچار پس اسیدی بود که نسبت به بیوچار پس-

کینوا بیشتر از بیوچار اصلاح نشده برنج بود که این افزایش رشد و عملکرد گیاه کینوا در بیوچار اصلاح شده را می‌توان به حل شدن عناصر غذایی بیوچار پس از اسیدی شدن آن‌ها نسبت داد (۳۵). کاهش pH خاک ریزسفری ممکن است منجر به واجذب عناصر غذایی از سطوح آلی و کلوئیدی بیوچار شده و رشد و عملکرد کینوا را تحریک کرده است (۴۸، ۵۲). در همین راستا توران و همکاران<sup>۵</sup> (۵۵) گزارش کردند که با افزودن بیوچار اصلاح شده با اسید نیتریک، فتوسنتز و فرایند جذب عناصر غذایی که عوامل کلیدی افزایش ویژگی‌های رشد گیاه هستند بهبود یافت. دونگ و همکاران<sup>۶</sup> (۹) نیز در پژوهشی جداگانه دریافتند که به کار بردن بیوچار سبب افزایش ارتفاع گیاه برنج می‌شود. همچنین اورحمان و همکاران (۵۶) اسیدی شدن بیوچار پوسته برنج را بررسی کردند و دریافتند که اسیدی شدن بیوچار منجر به افزایش زیست‌توده گیاهی برنج از طریق افزایش ارتفاع، افزایش طول ریشه، و افزایش سنبله شد.

#### تعداد برگ در بوته

باتوجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نه تنها اثرات ساده نوع و سطوح مختلف بیوچار بلکه اثر متقابل آن‌ها بر تعداد برگ در بوته در سطح احتمال یک درصد ( $P < 0.01$ ) معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل نوع و سطوح مختلف بیوچار بر تعداد برگ در بوته در جدول ۴ نشان داده شده است. نتایج نشان داد بیشترین تعداد برگ در بوته با میانگین ۹۶/۲۵ مربوط به بیوچار ۵ درصد پس‌اسیدی بود که نسبت به بیوچار ۵ درصد پیش‌اسیدی و بیوچار ۵ درصد معمولی به ترتیب افزایشی معادل ۱۲/۷۴ و ۹۲/۵ درصد داشت (جدول ۴).

نیتریک میزان ۰/۵ درصد وزنی بر وزن گلدان های ۱۶ سانتی متری اعمال شد بر رشد گیاه ذرت را به افزایش در دسترس بودن عناصر غذایی گیاه و بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی خاک گیاه در بیوچار اسیدی شده نسبت دادند. تسکین و همکاران<sup>۱</sup> (۵۴) در بررسی تاثیر بیوچار اصلاح شده با اسید بر رشد و محتوایی عناصر ضروری و غیر ضروری در لوبیا، نخود، سویا و ذرت در خاک‌های آهکی گزارش کردند که تیمارهای بیوچار و بیوچار اصلاح شده با اسید تاثیر معنی‌داری بر وزن خشک گیاه نخود و ذرت نداشتند. این درحالی است که بیوچار اصلاح شده با اسید وزن خشک گیاهان لوبیا (۳/۱۰ گرم در گیاه) و سویا (۱/۴۵ گرم در گیاه) را در مقایسه با شاهد به طور قابل توجهی افزایش داد. وانگ و همکاران<sup>۲</sup> (۶۰) نیز گزارش کردند افزودن بیوچار تولید شده از پوسته برنج در دمای ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد به خاک در مقایسه با شاهد، وزن تر و وزن-خشک در نهال سیبچه چینی<sup>۳</sup> به ترتیب به مقدار ۸۳، ۸۶ و ۹۱ درصد افزایش داد. اورحمان و همکاران<sup>۴</sup> (۵۶) اسیدی شدن بیوچار پوسته برنج را بررسی کردند و دریافتند که بیوچار اسیدی منجر به افزایش وزن خشک گیاه برنج و وزن خشک ساقه به ترتیب ۴۸/۸ و ۹/۱۳۲ درصد نسبت به تیمار شاهد شد.

#### ارتفاع

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که نوع و سطوح مختلف بیوچار و اثر متقابل آن‌ها بر ارتفاع گیاه در سطح احتمال یک درصد ( $P < 0.01$ ) معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین‌های اثر متقابل نوع و سطوح مختلف بیوچار بر ارتفاع (جدول ۴) نشان داد که بیشترین و کم‌ترین مقدار ارتفاع به ترتیب با میانگین ۷۷/۵۰ و ۴۲/۲۵ سانتی‌متر مربوط به تیمار ۵ درصد بیوچار پس‌اسیدی و بیوچار برنج بود (جدول ۴، شکل ۱). در تیمار پس‌اسیدی بیوچار، رشد گیاه

1- Taskin *et al.*

2- Wang *et al.*

3- Chinese apple

4- ur Rehman *et al.*

5- Turan *et al.*

6- Dong *et al.*



جدول (۳) تجزیه واریانس اثر کاربرد نوع و سطوح مختلف بیوجار بر ویژگی‌های رشد رویشی کینوا  
 Table(3) Analysis of variance of the effect of application type and different levels of biochar on growth parameters of quinoa

میانگین مربعات Mean Square					درجه آزادی df	منابع تغییرات Source of variance
تعداد شاخه جانبی در بوته Number of branches	تعداد برگ در بوته Number of leaf	ارتفاع height Plant	وزن خشک اندام هوایی Shoots dry weight	وزن تر اندام هوایی Shoots fresh weight		
122.69**	2885.81**	1735.28**	49.13**	804.02**	2	بیوجار Biochar(B)
554.69**	8556.02**	3254.35**	44.04**	1927.66**	2	سطوح مختلف Different levels (DL)
21.15**	724.83**	280.37**	13.77**	309.09**	4	بیوجار * سطوح B*DL
2.45	33.46	8.03	0.09	2.35	27	خطا Error
9.98	10.47	5.52	9.22	6.60		ضریب تغییرات C.V (%)

\*\* تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

\*\* Significant at 1% probability level

### تعداد شاخه جانبی در بوته

با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) اثرات ساده و متقابل نوع و سطوح مختلف بیوجار بر تعداد شاخه جانبی در بوته در سطح احتمال یک درصد ( $P < 0.01$ ) معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل نوع و سطوح مختلف بیوجار بر تعداد شاخه جانبی در بوته در (جدول ۴) نشان داده شده است. نتایج نشان داد که بیشترین تعداد شاخه فرعی با میانگین ۲۴/۷۵ مربوط به تیمار ۵ درصد بیوجار پس‌اسیدی بود که نسبت به بیوجار ۵ درصد پیش‌اسیدی و بیوجار ۵ درصد معمولی به ترتیب افزایشی معادل با ۱۲/۵ و ۴۷/۷۶ درصد داشت. طبق نتایج به دست آمده (جدول ۴) بیوجار اصلاح شده با اسید سبب افزایش تعداد شاخه جانبی در مقایسه با بیوجار اصلاح نشده برنج شد. هنگامی که غلظت نمک در ریشه زیاد می‌شود سرعت ظهور برگ‌ها کاهش یافته یا متوقف می‌شود و شاخه‌های جانبی کمتری نیز شکل می‌گیرند. بررسی‌های پیشین نشان داده است شوری همچنین سبب کاهش ارتفاع و ظهور سریع‌تر گل‌آذین و در نتیجه تولید کمتر شاخه‌های جانبی می‌گردد (۲۹). بیوجار به عنوان یک اصلاح ایده آل برای افزایش احتباس آب و عناصر غذایی در خاک در نظر گرفته می‌شود و در نتیجه رشد و

عملکرد محصول را افزایش می‌دهد (۶۱، ۶). به طور کلی، بیوجار خواص فیزیکی و شیمیایی خاک را بهبود می‌بخشد و بنابراین ممکن است یک زیستگاه و تغذیه مطلوب برای میکروب‌های خاک فراهم کند (۲۱).

### طول پانیکول

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از آن است که نوع و سطوح مختلف بیوجار و اثر متقابل آن‌ها بر طول پانیکول گیاه در سطح احتمال یک درصد ( $P < 0.01$ ) معنی‌دار شد (جدول ۵). مقایسه میانگین‌های تیمارهای مورد بررسی نشان داد که بیشترین طول پانیکول با میانگین ۱۳/۶۲ سانتی‌متر مربوط به تیمار ۵ درصد بیوجار پس‌اسیدی بود که نسبت به بیوجار پس‌اسیدی ۲ درصد حدود ۲۰ درصد افزایش داشت. اورحمان و همکاران (۵۶) گزارش کردند که اسیدی شدن بیوجار پوسته برنج منجر به افزایش طول سنبله برنج به میزان ۳۶/۴ درصد نسبت به تیمار شاهد شد. نتیجه گرفتند که افزودن بیوجار اسیدی می‌تواند تولید محصول را افزایش دهد.



شکل (۱) (الف) اثر سطوح صفر، ۲ و ۵ درصد بیوجار برنج پس اسیدی (ب) اثر سطوح ۲ درصد بیوجار برنج اصلاح نشده، پیش اسیدی، پس اسیدی بر ارتفاع گیاه در کینوا

Figure(1) (a)-The effect of 0, 2 and 5 percent post-modified rice biochar levels (b) The effect of 2 percent levels of unmodified, pre-modified and post-modified rice biochar on height plant in quinoa

جدول (۴) مقایسه میانگین های اثر کاربرد نوع و سطوح مختلف بیوجار بر ویژگی های رشد رویشی کینوا  
Table (4) Mean comparisons of the effect of application type and different levels of biochar on growth parameters of quinoa

مقایسه میانگین Mean comparison					تیمارها treatment
تعداد شاخه جانبی در بوته Number of branches	تعداد برگ در بوته Number of leaf	ارتفاع (سانتی متر) height Plant(cm)	وزن خشک اندام هوایی (گرم در گیاه) Shoots fresh weight (g/plant)	وزن تر اندام هوایی (گرم در گیاه) Shoots fresh weight (g/plant)	
7.25 <sup>e</sup>	21 <sup>f</sup>	29 <sup>f</sup>	1.09 <sup>f</sup>	9.50 <sup>f</sup>	0%
12.25 <sup>d</sup>	44 <sup>d</sup>	41.25 <sup>d</sup>	1.33 <sup>ef</sup>	16.54 <sup>e</sup>	2%
16.75 <sup>c</sup>	50 <sup>cd</sup>	42.25 <sup>d</sup>	1.59 <sup>e</sup>	16.75 <sup>e</sup>	5%
8.25 <sup>e</sup>	23.75 <sup>ef</sup>	33.50 <sup>e</sup>	1.09 <sup>f</sup>	9.12 <sup>f</sup>	0%
21.50 <sup>b</sup>	86.50 <sup>b</sup>	67 <sup>b</sup>	6.25 <sup>b</sup>	36.75 <sup>c</sup>	2%
24.75 <sup>a</sup>	96.25 <sup>a</sup>	77.50 <sup>a</sup>	8.82 <sup>a</sup>	45 <sup>a</sup>	5%
8.75 <sup>e</sup>	31.75 <sup>e</sup>	36.25 <sup>e</sup>	1.11 <sup>f</sup>	10.50 <sup>f</sup>	0%
19.75 <sup>b</sup>	58.25 <sup>c</sup>	61 <sup>c</sup>	3.52 <sup>d</sup>	22.25 <sup>d</sup>	2%
22 <sup>b</sup>	85.37 <sup>b</sup>	74.20 <sup>a</sup>	5.62 <sup>c</sup>	42.75 <sup>b</sup>	5%

ستون های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک، به روش آزمون دانکن تفاوت معنی داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

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

یک درصد ( $P < 0.01$ ) معنی دار شد (جدول ۶). مقایسه

میانگین های تیمارهای مورد بررسی نشان داد که بیشترین قطر ساقه با میانگین ۶/۰۴ سانتی متر مربوط به تیمار ۵ درصد بیوجار

### قطر ساقه

مطابق با جدول تجزیه واریانس داده ها (جدول ۵) نوع و

سطوح مختلف بیوجار و اثر متقابل آنها بر قطر ساقه در سطح

آمد هرچند با تیمار ۲ درصد بیوجار پس اسیدی با میانگین ۳/۰۵ گرم در بوته و تیمار ۵ درصد بیوجار پیش اسیدی با میانگین ۳/۱۲ گرم در بوته از لحاظ آماری اختلاف معنی داری نداشت و نسبت به بیوجار برنج افزایشی معادل با ۴۷/۴۴ درصد داشت (جدول ۶). لازم به ذکر است که کینوا در مقایسه با بسیاری از غلات دیگر از جمله گندم، ذرت، برنج وزن دانه کمتری دارد (۵۳). شوری وزن دانه را از طریق کوتاهی دوره پرشدن دانه و تسریع در بلوغ دانه‌ها کاهش می‌دهد (۱۳) شوری همچنین رقابت بین دانه‌ها و سایر اندام‌های گیاه را برای دریافت مواد فتوسنتزی تشدید کرده و این موضوع موجب کاهش انرژی موجود برای باروری و پر شدن دانه‌ها در کینوا می‌شود. در نتیجه قسمتی از دانه‌ها یا پر نمی‌شوند و یا کوچک می‌مانند در نهایت با کاهش اجزای عملکرد تعداد و وزن دانه-ها، عملکرد دانه کینوا کاهش می‌یابد (۲۸). استفاده از اصلاح کننده‌های آلی مانند کود کشاورزی، کود مرغی، کمپوست می‌تواند از طریق تاثیرات مفید بر خواص فیزیکی، شیمیایی، تغذیه‌ای و بیولوژیکی خاک‌های شور، شور سدیمی در رشد گیاه موثر باشد (۵۰، ۳۴). محکمی و همکاران<sup>۳</sup> (۲۸) در بررسی اثر کاربرد ورمی کمپوست و بیوجار بر خصوصیات مرفوفیزیولوژیک کینوا در شرایط تنش خشکی گزارش کردند که بیشترین و کمترین میانگین وزن هزار دانه به ترتیب با میانگین‌های ۳/۱۴۱ و ۲/۴۴۳ گرم مربوط به تیمارهای کودی بیوجار+ ورمی کمپوست و شاهد بدست آمد. آنها همچنین بیان کردند هم‌افزایی ورمی کمپوست و بیوجار در کاربرد تلفیقی آنها سبب ایجاد محیط کشتی مناسب از طریق فراهمی عناصر غذایی و بهبود فتوسنتز، انتقال و ذخیره مواد غذایی در دانه شده و در نهایت وزن هزاردانه را افزایش داده است. بیوجار اصلاح شده با اسید وزن هزار دانه بیشتری نسبت به بیوجار اصلاح نشده دارد. بیوجار اصلاح شده با اسید می‌تواند یک انتخاب سازگار با محیط زیست، و مؤثر در کاهش تنش‌های غیرزیستی از خاک شور-سدیک در نظر گرفته شود و بر بهره‌وری ذرت و گندم تأثیر مثبت بگذارد (۱۰)

پس اسیدی بود (جدول ۶). جهت تولید گیاهی با ارتفاع مناسب که در طول فصل رشد با مشکل ورس مواجه نشود وجود ساقه قوی و مستحکم اجتناب ناپذیر است. در این مطالعه قطر ساقه در اثر افزایش سطح از صفر به ۵ درصد و با اسیدی کردن بیوجار تغییر معنی داری پیدا کرد. در همین راستا اشمیت و همکاران<sup>۱</sup> (۴۶) بیان کردند که بیوجار با افزایش محتوای عناصر در خاک به گیاهان این امکان را می‌دهد که نسبت طول ریشه به وزن ریشه را کاهش داده و در نتیجه نسبت ساقه به ریشه افزایش یابد و با این فعالیت سطح فعال فتوسنتزی گیاه افزایش یابد. بنابراین گیاه قادر است با بهبود فراهمی عناصر غذایی زیست توده خود را افزایش دهد. در حالی که در گیاه شاهد که با بیوجار تیمار نشده به دلیل پایین تر بودن محتوای عناصر غذایی، بیشتر زیست توده گیاهی صرف تولید و توسعه ریشه شده و تولید اندام هوایی کاهش می‌یابد. تولید زیست-توده در گیاهان تابع جذب عناصر از محیط رشد و انتقال آنها به ساقه می‌باشد. سان و همکاران<sup>۲</sup> (۵۱) نیز بیان کردند که کاربرد بیوجار به میزان ۱ تا ۵ درصد، باعث تغییرات فیزیولوژیکی گیاه ذرت از جمله افزایش ارتفاع بوته، قطر ساقه و بهبودی کلروفیل و فتوسنتز شد که منجر به افزایش محصول و عملکرد گیاه ذرت گردید. در واقع می‌توان اینگونه استنباط کرد که اصلاح بیوجار با اسید می‌تواند حلالیت عناصر غذایی گیاه را در بیوجار افزایش داده و در نتیجه دسترسی گیاه به عناصر غذایی در خاک افزایش دهد تا تغذیه و رشد گیاهان در خاک‌های آهکی بهبود یابد (۴۵، ۵۴)

### وزن هزار دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که نوع و سطوح مختلف بیوجار و اثر متقابل آن‌ها بر وزن هزاردانه در سطح احتمال یک درصد ( $P < 0.01$ ) معنی دار شد (جدول ۵). مقایسه میانگین‌های اثر تیمارهای مورد بررسی نشان داد که در هر سه نوع بیوجار با افزایش سطوح بیوجار وزن هزاردانه افزایش یافت (جدول ۶). بیشترین وزن هزاردانه کینوا با میانگین ۳/۱۷ گرم در بوته از تیمار ۵ درصد بیوجار پس اسیدی به دست

1- Schmidt *et al.*

2-

3- Maliki *et al.*

بزی عبدلی و همکاران: اثر کاربرد بیوچار اصلاح شده اسیدی بر...

جدول (۵) تجزیه واریانس اثر کاربرد نوع و سطوح مختلف بیوچار بر ویژگی‌های قطر ساقه، طول پانیکول، وزن هزار دانه، شاخص برداشت و عملکرد بیولوژیک کینوا

Table(5) Analysis of the effect of using different types and levels of biochar on the parameters of stem diameter, panicle length, thousand seed weight, harvest index and biological performance of quinoa

میانگین مربعات Mean square					درجه آزادی df	منابع تغییرات Source of variance
عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	وزن هزار دانه 1000 grain weight	طول پانیکول Panicle length	قطر ساقه Stem diameter		
164.19**	28.37**	1.27**	51.63**	23.41**	2	بیوچار Biochar(B)
193.69**	341.13**	3.63**	136.23**	32.58**	2	سطوح مختلف Different levels (DL)
46.51**	11.01**	0.63**	10.90**	6.31**	4	بیوچار * سطوح B*DL
0.29	2.21	0.007	0.90	0.10	27	خطا Error
9.12	3.77	3.57	11.37	10.60		ضریب تغییرات C.V (%)

\*\* تفاوت معنی دار در سطح احتمال یک درصد

\*\* Significant at 1% probability level

جدول (۶) مقایسه میانگین اثر کاربرد نوع و سطوح مختلف بیوچار ویژگی‌های قطر ساقه، طول پانیکول، وزن هزار دانه، شاخص برداشت و عملکرد بیولوژیک کینوا

Table (6) Comparison of the average effect of the application of different types and levels of biochar on the parameters of stem diameter, panicle length, 1000 seed weight, harvest index and biological performance of quinoa.

عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	وزن هزار دانه گرم 1000 grain weight(gr)	طول پانیکول سانتی متر Panicle length(cm)	قطر ساقه سانتی متر Stem diameter(cm)	تیمارها treatment
1.65 <sup>f</sup>	33.68 <sup>d</sup>	1.95 <sup>d</sup>	4.37 <sup>e</sup>	1.22 <sup>e</sup>	0%
2.13 <sup>ef</sup>	37.40 <sup>c</sup>	2 <sup>cd</sup>	6.50 <sup>d</sup>	1.56 <sup>d</sup>	2%
2.74 <sup>e</sup>	41.85 <sup>b</sup>	2.15 <sup>c</sup>	7.20 <sup>d</sup>	2 <sup>d</sup>	5%
1.64 <sup>f</sup>	33.37 <sup>d</sup>	1.77 <sup>e</sup>	5 <sup>e</sup>	1.15 <sup>e</sup>	0%
11.02 <sup>b</sup>	43.34 <sup>ab</sup>	3.05 <sup>a</sup>	11.37 <sup>bc</sup>	5.96 <sup>a</sup>	2%
16.05 <sup>a</sup>	45.03 <sup>a</sup>	3.17 <sup>a</sup>	13.62 <sup>a</sup>	6.04 <sup>a</sup>	5%
1.67 <sup>f</sup>	33.29 <sup>d</sup>	1.65 <sup>e</sup>	4.37 <sup>e</sup>	1.11 <sup>e</sup>	0%
6.07 <sup>d</sup>	41.97 <sup>b</sup>	2.85 <sup>b</sup>	10.37 <sup>c</sup>	3.82 <sup>c</sup>	2%
10.12 <sup>c</sup>	44.45 <sup>a</sup>	3.12 <sup>a</sup>	12.37 <sup>ab</sup>	4.57 <sup>b</sup>	5%

ستون‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک، به روش آزمون دانکن تفاوت معنی داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

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

### شاخص برداشت

شده با اسید در خاک شور سدیمی بر روی گیاه گندم را بررسی کردند و دریافتند که اصلاح بیوچار ساقه پنبه با اسید به ترتیب میانگین عملکرد دانه و عملکرد کاه را نسبت به شاهد ۲۹/۷ و ۲۲/۴۲ درصد افزایش داد. آنها همچنین بیان کردند که اصلاح بیوچار با اسید در مقایسه با بیوچار معمولی از طریق بهبود گروه-های عاملی و افزایش ترکیبات معدنی باعث بهبود تنش‌های شوری سدیمی شد.

### نتیجه گیری

در استان گلستان حدود ۵۶ هزار هکتار از اراضی، شوری ۳۲-۱۶ دسی‌زیمنس بر متر وجود دارد که برای کشت گیاهان زراعی معمول مناسب نیست. کشاورزی شور زیست با استفاده از منابع آب و خاک شور می‌تواند راهکاری برای بهره‌برداری از منابع غیر متداول در جهت تامین نیازهای انسان بدون کاهش سطح زیر کشت محصولات زراعی رایج باشد. در بین گیاهان زراعی کینوا با داشتن ویژگی‌هایی از قبیل تحمل به خشکی، گرما و شوری یکی از گزینه‌ها جهت کشت در اراضی شور مناطق خشک می‌باشد. از طرف دیگر بیوچار یک ماده آهکی بالقوه برای خاک اسیدی است. بیوچار به صورت ذاتی دارای مقدار pH و هدایت الکتریکی بیشتری نسبت به محیط خاک است. از طرفی، افزودن بیوچار منجر به سدیمی شدن خاک می‌شود. اصلاح شیمیایی بیوچار با استفاده از اسیدهای قوی می‌تواند باعث کاهش pH خاک و ارتقاء حاصلخیزی خاک‌های آهکی و افزایش ویژگی‌های رویشی و اجزای عملکرد کینوا شود. در این پژوهش تمامی صفات مورد بررسی در سطح یک درصد معنی‌دار شدند. مقایسه میانگین اثر تیمارهای مورد بررسی نشان داد که در هر سه نوع بیوچار با افزایش سطوح بیوچار صفات مورد بررسی افزایش یافتند به نحوی که تیمار ۵ درصد بیوچار پس اسیدی به دلیل بالا بودن وزن خشک اندام هوایی و وزن هزار دانه بیشترین عملکرد بیولوژیک با میانگین ۱۶/۰۵ و شاخص برداشت با میانگین ۴۵/۰۳ را به خود اختصاص داد. بیوچارهای اسیدی شده (پس اسیدی و پیش اسیدی)، اصلاح‌کننده آلی مناسبی برای افزایش ویژگی‌های رشد رویشی و اجزای عملکرد گیاه کینوا در خاک‌های آهکی متاثر از نمک در شرایط این مطالعه بودند. توصیه می‌شود بیوچار اصلاح شده با اسید و یا بیوچار از منابعی که خاصیت اسیدی داشته تهیه شود.

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از آن است که نوع و سطوح مختلف بیوچار و اثر متقابل آن‌ها بر شاخص برداشت در سطح احتمال یک درصد ( $P < 0.01$ ) معنی‌دار شد (جدول ۵). مقایسه میانگین اثر تیمارهای مورد بررسی نشان داد که در هر سه نوع بیوچار با افزایش سطوح بیوچار، شاخص برداشت افزایش یافت (جدول ۶) بیشترین شاخص برداشت با میانگین ۴۵/۰۳ از تیمار ۵ درصد بیوچار پس اسیدی به دست آمد هر چند یا تیمار ۵ درصد بیوچار پیش اسیدی با میانگین ۴۴/۴۵ از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نداشت. شاخص برداشت به عنوان یک خصوصیت فیزیولوژیک پتانسیل گیاه، اختصاص مواد فتوسنتزی به دانه را نشان می‌دهد. شاخص برداشت نسبت عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک می‌باشد

### عملکرد بیولوژیک

مطابق با جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۵) نوع و سطوح مختلف بیوچار و اثر متقابل آن‌ها بر عملکرد بیولوژیک در سطح یک درصد ( $P < 0.01$ ) معنی‌دار شد (جدول ۶). مقایسه میانگین تیمارهای مورد بررسی نشان داد که بیشترین عملکرد بیولوژیک با میانگین ۱۶/۰۵ مربوط به تیمار ۵ درصد بیوچار پس اسیدی بود که نسبت به بیوچار ۲ درصد پس اسیدی افزایشی معادل ۴۵/۶۴ درصد داشت (جدول ۶). کاهش جذب آب و عناصر غذایی (به هم خوردن تعادل عناصر غذایی) مهم‌ترین دلایل کاهش عملکرد بیولوژیک کینوا در خاک‌های شور عنوان شده است (۲۸). اختر و همکاران<sup>۱</sup> (۲) بیوچار را ماده اصلاحی مناسب جهت افزایش عملکرد گیاهان در خاک‌های شور عنوان کردند. استفاده از بیوچار برای تامین عناصر غذایی به گیاهان، تغییرات در شرایط رداکس خاک، افزایش زیست‌توده میکروبی و ظرفیت نگهداری آب بالا می‌تواند باعث افزایش تحمل گیاه به تنش و همچنین افزایش عملکرد ماده خشک گیاه شود (۴۲، ۵۶). اورحمان و همکاران (۵۶) اسیدی شدن بیوچار پوسته برنج را بر روی رشد گیاه برنج بررسی کردند و گزارش کردند که اسیدی شدن بیوچار منجر به افزایش زیست‌توده گیاهی برنج از طریق افزایش ارتفاع، افزایش طول ریشه، افزایش سنبله شد. آنها همچنین گزارش کردند که وزن خشک اندام‌هوایی (۱۳۲/۹ درصد) و عملکرد دانه (۶۱/۸ درصد) نسبت به شاهد افزایش یافت. الشراوی و همکاران<sup>۲</sup> (۱۰) اثر بیوچار اصلاح

1- Akhtar et al.

2- El-Sharkawy et al.

## References

1. Abdul, G., Zhu, X., Chen, B. 2017. Structural characteristics of biochar-graphene nanosheet composites and their adsorption performance for phthalic acid esters. *Chemical Engineering Journal*, 319, 9-20.
2. Akhtar, S. S., Andersen, M. N., Liu, F. 2015. Biochar mitigates salinity stress in potato. *Journal of agronomy and crop science*, 201(5), 368-378.
3. Basra, S. M. A., Iqbal, S. and Afzal, I. 2014 Evaluating the response of nitrogen application on growth, development and yield of quinoa genotypes. *Journal of Agriculture and Biology* 16: 886-892.
4. Benton Jones, J. R., Case, V. W. 1990. Sampling, handling and analyzing plant tissue sample. *Soil Testing and Plant Analysis, SSSA*, (3).
5. Bharadwaj, A., Y. Wang, S. Sridhar and V. S. Arunachalam. 2004. Pyrolysis of rice husk. *Current Science* 87: 981-986.
6. Cantrell, K. B., Hunt, P. G., Uchimiya, M., Novak, J. M., Ro, K. S. 2012. Impact of pyrolysis temperature and manure source on physicochemical characteristics of biochar. *Bioresource technology*, 107, 419-428.
7. Chan, K. Y., L. Van Zwieten., I. Meszaros., A. Downie, and S. Joseph. 2007. Agronomic values of green waste biochar as a soil amendment. *Australian Journal of Soil Research* 45:629-34. doi:10.1071/SR07109.
8. 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.
9. Dong, D., Feng, Q., Mcgrouther, K., Yang, M., Wang, H., Wu, W. 2015. Effects of biochar amendment on rice growth and nitrogen retention in a waterlogged paddy field. *Journal of Soils and Sediments*, 15(1), 153-162.
10. 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), 81-90.
11. FAO. 2007. Global network on integrated soil management for sustainable Technol; 31:860– 865 use of salt affected soils. Rome, Italy: FAO Land and Plant Nutrition Management Service.
12. Farrell, M., Macdonald, L. M., Butler, G., Chirino-Valle, I., Condrón, L. M. 2014 Biochar and fertiliser applications influence phosphorus fractionation and wheat yield. *Biology and fertility of soils*, 50 (1) 169-178.
13. Francois, L. E., Grieve, C. M., Maas, E. V. and Lesch, S. M. 1994. Time of salt stress affects growth and yield components of irrigated wheat. *Agronomy journal*, 86(1), 100-107.
14. Gomes- Sanchez, D., Vannozzi, G. P., Baldini, M., Tahamasebi Enferadi, S. and Dell Vedove, G. 2000. Effect of soil water availability in sunflower lines derived from interspecific crosses. *Italian Journal of Agronomy*. 371-387.
15. Gomez-Pando, L. 2015. Quinoa breeding. *Quinoa: Improvement and sustainable production*, 87-108.
16. Gunes, A., A. Inal., M. B. Taskin., O. Sahin., E. C. Kaya, and A. Atakol. 2014. Effect of phosphorus enriched biochar and poultry manure on growth and mineral composition of lettuce (*Lactuca sativa* Lcv.) grown in alkaline soil. *Soil Use and Management*. 30:182–84.
17. Inal, A., Gunes, A., 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.

18. Ippolito, J., Novak, J., Busscher, W., Ahmedna, M., Rehrh, D., and Watts, D. 2012. Switchgrass biochar effects two aridisols. *Journal of Environmental Quality*. 41: 1123-1130.
19. Jiang, Z., Lian, F., Wang, Z., Xing, B. 2020. The role of biochars in sustainable crop production and soil resiliency. *Journal of Experimental Botany*, 71(2), 520-542.
20. Komkiene, J., Baltreinaite, 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(2), 471-482.
21. Lehmann, J., Rillig, M. C., Thies, J., Masiello, C. A., Hockaday, W. C., Crowley, D. 2011. Biochar effects on soil biota—a review. *Soil biology and biochemistry*, 43(9), 1812-1836.
22. 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.
23. Leng, L., Huang, H., Li, H., Li, J., Zhou, W. 2019. Biochar stability assessment methods: a review. *Science of the total environment*, 647, 210-222.
24. Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Kingangi, J., Grossman, J., O'Neill, B. Skjemstad, J.O., Thies, J., Iizao, F.Y., Petersen, J, Neves, E.G. 2006 Black carbon increases cation exchange capacity in Soils. *Soil Science and Society of American Journal*. 70:1719-1730 doi.org/10.2136/sssaj2005.0383.
25. Lindsay, W.L., and Norvell, W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal*. 42:3. 421-428.
26. Liu, Y., Lu, H., Yang, S., Wang, Y. 2016. Impacts of biochar addition on rice yield and soil properties in a cold waterlogged paddy for two crop seasons. *Field crops research*, 191, 161-167.
27. Lu, S. G., Sun, F. F., Zong, Y. T. 2014 Effect of rice husk biochar and coal fly ash on some physical properties of expansive clayey soil (Vertisol). *Catena*, 114: 37-44. doi.org/10.1016/j.catena.2013.10.014
28. Mohkami, A., Yazdanpanah, N., Saidenjad, A. The effect of vermicompost and biochar application on the morphophysiological characteristics of quinoa under drought stress conditions. *Iran journal of water and soil research*, 1401; 53(1): 14-129
29. Munns, R., Tester, M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 59, 651-681.
30. Namgay, T., Singh, B., Singh, B. P. 2010 Influence of biochar application to soil on the availability of As, Cd, Cu, Pb, and Zn to maize (*Zea mays* L.). *Soil Research*, 48 (7): 638-647.
31. 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.
32. Oladele, S.O.; Adeyemo, A.J.; Awodun, M.A. Influence of rice husk biochar and inorganic fertilizer on soil nutrients availability and rain-fed rice yield in two contrasting soils. *Geoderma* 2019, 336, 1–11. [CrossRef]
33. Olsen, S. R. 1954. *Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate* (No. 939). US Department of Agriculture.
34. Oo, A.N., Iwai, C.B., Saenjan, P., 2015. Soil properties and maize growth in saline and nonsaline soils using cassava-industrial waste compost and vermicompost with or without earthworms. *Land Degrad. Dev.* 26, 300–310.
35. Paradelo, R., Vázquez-Nion, D., Silva, B., González, Á., Barral, M.T., 2016. Acidification of mixtures of granite powder and compost for reuse in plant production. *Comp. Sci. Uti.* 643 24, 1-10

36. Park, J. H., Choppala, G. K., Bolan, N. S., Chung, J. W., Chuasavathi, T. 2011 Biochar reduces the bioavailability and phytotoxicity of heavy metals. *Plant and soil*, 348(1-2): 439.
37. Park, J. H., Choppala, G., Lee, S. J., Bolan, N., Chung, J. W., Edraki, M. 2013 Comparative sorption of Pb and Cd by biochars and its implication for metal immobilization in soils. *Water, Air, and Soil Pollution*, 224 (12): 1711.
38. Peiris, C., Nayanathara, O., Navarathna, C. M., Jayawardhana, Y., Nawalage, S., Burk. Mlsna, T. E. 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. Prager, A., Munz, S., Nkebiwe, P., Mast, B. and Graeff-Honninger, S. (2018) Yield and quality characteristics of different quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars grown under field conditions in Southwestern Germany. *Agronomy*8: 197-216.
40. Pulvento, C., Riccardi, M., Lavini, A., Iafelice, G., Marconi, E., d'Andria, R. 2012. Yield and quality characteristics of quinoa grown in open field under different saline and non-saline irrigation regimes. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 198(4), 254-263
41. Qi, N. and C. Lu. 2003. Enhanced tolerance of photosynthesis against high temperature damage in salt-adapted halophyte *Atriplex centralasiatica* plants. *Plant, Cell and Environment* 26(7): 1137-1145.
42. 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(18), 18585-18595.
43. Ramzani, P. M. A., Shan, L., Anjum, S., Rongui, 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.
44. Rhoades, J. D. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. *Methods of soil analysis: Part 3 Chemical methods*, 5, 417-435.
45. Sahin, O., Taskin, M. B., Kaya, E. C., Atakol, O., Emir, E., Inal, A., Gunes, A. 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.
46. Schmidt H.P., Kammann C., Niggli C., Evangelou M.W., Mackie K.A., and Abiven S. 2014. Biochar and biochar-compost as soil amendments to a vineyard soil: Influences on plant growth, nutrient uptake, plant health and grape quality. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 191: 117-123.
47. Schulz, H., and B. Glaser. 2012. Effects of biochar compared to organic and inorganic fertilizers on soil quality and plant growth in a greenhouse experiments. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 175:410–22. doi:10.1002/jpln. v175.3
48. 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.
49. 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.
50. Srivastava, P.K., Gupta, M., Singh, N., Tewari, S.K., 2016. Amelioration of sodic soil for wheat cultivation using bioaugmented organic soil amendment. *Land Degrad. Dev.* 27, 1245–1254.
51. Sun, C. X., Chen, X., Cao, M. M., Li, M. Q. and Zhang , Y. L. (2017) Growth and metabolic responses of maize roots to straw biochar application at different rates. *Journal of Plant and Soil* 416: 487 -502.



52. Tagliavini, M., Masia, A., Quartieri, M. 1995. Bulk soil pH and rhizosphere pH of peach trees in calcareous and alkaline soils as affected by the form of nitrogen fertilizers. *Plant and Soil*, 176(2), 263-271.
53. Talebnejad, R., Sepaskhah, A. R. 2015. Effect of different saline groundwater depths and irrigation water salinities on yield and water use of quinoa in lysimeter. *Agricultural water management*, 148, 177-188.
54. 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.
55. Turan, V., Khan, S. A., Iqbal, M., Ramzani, P. M. A., Fatima, M. 2018. Promoting the productivity and quality of brinjal aligned with heavy metals immobilization in a wastewater irrigated heavy metal polluted soil with biochar and chitosan. *Ecotoxicology and environmental safety*, 161, 409-419.
56. ur Rehman, M. Z., Batool, Z., Ayub, M. A., Hussaini, K. M., Murtaza, G., Usman, M., ... Ali, S. 2020. Effect of acidified biochar on bioaccumulation of cadmium (Cd) and rice growth in contaminated soil. *Environmental Technology & Innovation*, 19, 101015.
57. Uzoma, K. C., M. Inoue., H. Andry., H. Fujimaki., A. Zahoor, and E. Nishihara. 2011. Effect of cow manure biochar on maize productivity under sandy soil condition. *Soil Use and Management* 27:205–12. doi:10.1111/j.1475- 2743.2011.00340.x
58. Walkley, A., and Black, T.A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method, *Soil Sci.* 37: 29-38.
59. 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):1-9.
60. Wang, Y., Pan, F., Wang, G., Zhang, G., Wang, Y., Chen, X., Mao, Z. 2014. Effects of biochar on photosynthesis and antioxidative system of *Malus hupehensis* Rehd. seedlings under replant conditions. *Scientia Horticulturae*, 175, 9-15
61. Xie, T., K.R. Reddy, C. Wang, and K. Xu. 2014. Effects of amendment of biochar produced from woody biomass on soil quality and crop yield. *American Society of Civil Engineers*. 55(1): 32-36.
62. Yu, H., Zou, W., Chen, J., Chen, H., Yu, Z., Huang, J., ... Gao, B. 2019. Biochar amendment improves crop production in problem soils: A review. *Journal of environmental management*, 232, 8-21.

