نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
جلد یازدهم، شماره دوم، ۱۴۰۰
۴۸-۲۵
http://ejsms.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/ejsms.2021.18118.1960
(مقاله کامل علمی- پژوهشی)

# تأثیر کاربرد برخی اصلاح‌کننده‌های آلی و معدنی بر میزان عناصر پرمصرف و کم‌مصرف خاک تحت کشت کینوا در شرایط تنش (آبی)

سپیده رحیمی آلاشتی*[۱]، محمدعلی بهمنیار[۲]، مهدی قاجارسپانلو[۳]، فردین صادق‌زاده[۳] و علی مختصی بیدگلی[۴]

[۱]دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، [۲]استاد گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، [۳]دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، [۴]دانشیار گروه زراعت، دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۱۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۲۶

## چکیده

**سابقه و هدف:** در تنش خشکی، علاوه بر ممانعت جذب آب، فراهمی و جذب عناصر غذایی مختلف نیز محدود می‌شود. تغذیه مناسب خاک از طریق کاربرد اصلاح‌کننده‌های آلی و معدنی به عنوان یکی از روش‌های مدیریت خاک در شرایط تنش‌های مختلف محیطی شناخته شده که هدف از این پژوهش بررسی و ارزیابی کارایی کاربرد آن‌ها در خاک زیر کشت کینوا است.

**مواد و روش‌ها:** به‌منظور بررسی تغییرات غلظت عناصر غذایی (فسفر، پتاسیم، مس، آهن، منگنز و روی) در خاک با کاربرد اصلاح‌کننده‌های آلی و اصلاح‌کننده‌های معدنی در اثر تنش خشکی، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی به صورت گلدانی در نه تیمار و سه تکرار، در مجموع ۱۰۸ گلدان، در دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس تهران در سال ۱۳۹۸، اجرا گردید. تیمارها عبارت بودند از: تیمار شاهد، اصلاح‌کننده‌های آلی (بیوچار، کمپوست زباله شهری) هر کدام در دو سطح (۰/۴ و ۰/۸ درصد) و اصلاح‌کننده‌های معدنی (بنتونیت و زئولیت) که هر کدام در دو سطح (۰/۷۵ و ۱/۵ درصد) مصرف گردیدند و تنش خشکی نیز در ۴ سطح (تخلیه ۲۵ درصد آب قابل استفاده (شاهد)، ۴۰ درصد، ۵۵ درصد و ۷۰ درصد (تنش شدید)) به خاک اعمال شد. از خاک مورد آزمایش هر گلدان در سه مرحله، چهاربرگی شدن، گلدهی و برداشت کینوا نمونه‌برداری انجام شد.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که کاربرد اصلاح‌کننده‌های آلی و معدنی در سطوح مختلف خشکی بر میزان فسفر (در مراحل ۴ برگی و گلدهی) و پتاسیم (در هر سه مرحله نمونه‌برداری خاک) و مس (در هر سه مرحله نمونه‌برداری خاک)، آهن و روی قابل جذب در مرحله ۴ برگی شدن و گلدهی کینوا معنی‌دار شد. با افزایش سطح خشکی، کاربرد اصلاح‌کننده‌های آلی و معدنی موجب افزایش عناصر فسفر، پتاسیم، مس، آهن، منگنز و روی خاک در هر سه مرحله نمونه‌برداری شد. در حالی‌که غلظت این عناصر در مرحله اول نمونه‌برداری که مربوط به چهاربرگی شدن کینوا بود از دو مرحله دیگر بیش‌تر بود.

* مسئول مکاتبه: sepideh.rahimy@yahoo.com

**نتیجه‌گیری:** نتایج حاصل از یافته‌ها نشان داد که کاربرد هر چهار اصلاح‌کننده خاک موجب افزایش غلظت عناصر پرمصرف و کم‌مصرف خاک نسبت به شاهد در شرایط تنش خشکی شدند اما تیمار ۰/۸ درصد کمپوست زباله شهری و سپس ۰/۸ درصد بیوچار توانست، مناسب‌ترین شرایط تغذیه‌ای را ایجاد نماید. بر اساس یافته‌های این پژوهش، در شرایط تنش خشکی، کاربرد کمپوست زباله شهری و بیوچار در مقایسه با زئولیت و بنتونیت جهت بهبود وضعیت تغذیه‌ای خاک توصیه می‌شود.

***واژه‌های کلیدی:*** بنتونیت، بیوچار، تنش خشکی، زئولیت، کمپوست

## مقدمه

خشکی خاک یکی از مشکلات مهم زیست‌محیطی در جهان به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب شده که با محدودیت رشد و اثر منفی بر عملکرد گیاهان، تهدیدی جدی برای بسیاری از محصولات کشاورزی به شمار می‌رود (٤٥). تنش خشکی با اختلال در تعادل غذایی، تبادل گازی، متابولیسم‌های اولیه و ثانویه و تقسیم میتوز، منجر به کاهش رشد و عملکرد گیاه می‌شود (۲۳). تحمل به تنش خشکی به‌دلیل برهمکنش بین عوامل تنش و پاسخ‌های مختلف موروفولوژیکی، فیزیولوژیکی و مولکولی که رشد گیاه را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد، بسیار پیچیده است (۱۳). در شرایط تنش خشکی، علاوه بر ممانعت جذب آب، فراهمی و جذب عناصر غذایی مختلف نیز محدود می‌شود؛ بنابراین مدیریت تغذیه گیاه در شرایط تنش یکی از مسائل مهم در تولید محصولات گیاهی به شمار می‌رود (۵۱). در این شرایط خاک باید بستر مناسبی را برای تأمین نیازهای زندگی گیاه به عنوان محیط رشد و نمو فراهم کند. بنابراین کاربرد کودهای آلی، زیستی و هم‌چنین مواد معدنی طبیعی می تواند موجب اصلاح ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک شود. هم‌چنین بسیاری از این مواد، هیچ‌گونه اثر نامطلوب و زیست‌محیطی بر خاک ندارند (٦). مصرف صحیح و مناسب انواع اصلاح‌کننده‌ها (آلی و معدنی) مهم‌ترین و اساسی‌ترین راه حفظ و اصلاح شرایط حاصلخیزی خاک و افزایش میزان عملکرد محصولات کشاورزی می‌باشد (۲۷).

افزودن اصلاح‌کننده‌های آلی و معدنی بر روی خاک در شرایط کمبود آب بسیار مؤثر هستند و در مطالعات بسیاری اثرات مثبت اصلاح‌کننده‌ها در شرایط خشکی بر رشد و عملکرد گیاه گزارش شده است (۱۹). گزارش شده که افزودن کود کمپوست شهری به خاک در پژوهش یکساله باعث افزایش مقدار قابل‌جذب تعدادی از عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف در خاک شد (۱). بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که بیوچار یک ماده اصلاح‌کننده مفید برای بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، مؤثر در حفظ ماده آلی و رطوبت خاک می‌باشد (۷، ٤۹). هارب و محمود (۲۰۰۹) در نتایج خود گزارش نموده‌اند که زئولیت می‌تواند به عنوان تنظیم‌کننده آب عمل کند زیرا یکی از ویژگی‌های مهم آن توانایی آبگیری می‌باشد که می‌توان از آن برای بهبود تعادل آب در خاک در شرایط کمبود رطوبت، به ویژه در مراحل رشدی حساس به کاهش رطوبت استفاده کرد (۷). مالکیان و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند، بنتونیت با افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت بسترهای کاشت باعث جلوگری از تنش رطوبتی خاک شد و با کاهش اثر تنش رطوبتی مانع کاهش رشد گیاهان شد (۳۲).

کینوا (*Chenopodiumquinoa* Willd.) گیاه بومی کوه‌های آند کرانه غربی آمریکای لاتین (جنوبی) می‌باشد که به دلیل ارزش غذایی بالای دانه آن بسیار مورد توجه قرار گرفته است زیرا دانه‌های آن حاوی میزان بالای پروتئین و ترکیبات اسیدهای آمینه خوب است (۲۵).

با توجه به وضعیت اقلیمی و جغرافیایی ایران و عواملی مانند تغییر اقلیم و محدودیت آبی 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. کینوا گیاهی با ارزش غذایی مطلوب و پتانسیل بالای رشد و تولید در شرایط نامساعد محیطی است. در این پژوهش نیز با توجه به اهمیت گیاه کینوا در تغذیه و هم‌چنین افزایش کاربرد اصلاح‌کننده‌های آلی و معدنی در شرایط تنش خشکی به بررسی اثر اصلاح‌کننده‌ها (بیوچار، کمپوست، بنتونیت و زئولیت) بر میزان عناصر مغذی (فسفر، پتاسیم، مس، آهن، منگنز و روی) در خاک تحت کشت پرداخته شده است.

## مواد و روش‌ها

به منظور تعیین نقش برخی اصلاح‌کننده‌های آلی و معدنی بر فراهمی و جذب عناصر غذایی در گیاه کینوا در شرایط خشکی، در تابستان سال ۱۳۹۸ آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار بر مبنای کشت گلدانی در گلخانه تحقیقاتی دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس تهران اجرا شد. فاکتورهای مورد آزمایش، سطوح مختلف آب آبیاری و تیمارهای اصلاح‌کننده در نظر گرفته شد. خاک مورد آزمایش از مزرعه تحقیقاتی مؤسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر در محمدشهر کرج نمونه برداری انجام شد. خاک پس از هوا خشک شدن از الک دو میلی‌متری عبور داده شد و سپس برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن اندازه‌گیری شد. تیمارهای آبیاری بر اساس ظرفیت مزرعه، در چهار سطح تخلیه ۲۵ درصد آب قابل استفاده (شاهد (A)، ٤٠ درصد (B)، ۵۵ درصد (C) و ۷۰ درصد تنش شدید (D)) اعمال شد. مجموع وزن خاک خشک، وزن گلدان خالی برای تیمارهای مختلف به عنوان وزن مرجع در نظر گرفته شد. گلدان‌ها به طور مرتب وزن شدند و در هنگام نیاز به اندازه اختلاف از وزن مرجع به آن‌ها آب اضافه می‌شد. آبیاری تا قبل از مرحله چهاربرگی شدن به‌صورت کامل انجام گردید و از آن به بعد تنش خشکی آغاز و تا زمان برداشت دانه‌ها صورت گرفت. مواد اصلاح‌کننده (که قبل از کاشت به گلدان‌ها اضافه شد) در ۹ سطح شامل تیمار شاهد (بدون مصرف اصلاح‌کننده‌ها) (Co)، کمپوست زباله شهری (تهیه شده از کارخانه کمپوست سازی اصفهان) (٠/٤٪ ($C_1$)، ٠/٨٪ ($C_2$))، بیوچار کاه و کلش برنج که در شرایط با اکسیژن کم و در کوره فلزی با دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد تهیه شد (٠/٤٪ ($B_1$)، ٠/٨٪ ($B_2$))، زئولیت (١/٥٪ ($Z_1$) و ٠/٧٥٪ ($Z_2$)) و بنتونیت (١/٥٪ ($Ben_1$) و ٠/٧٥٪ ($Ben_2$)) تعیین شد. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و اصلاح‌کننده‌های مصرفی در جدول ۱ آماده است. فسفر قابل‌جذب خاک و اصلاح‌کننده‌ها، به روش اولسن (٤٢) و پتاسیم قابل‌جذب، به وسیله استات آمونیوم عصاره‌گیری شد (٥٤). غلظت فسفر و پتاسیم، به ترتیب توسط دستگاه اسپکتروفتومتر و فلیم‌فتومتر تعیین شد. هم‌چنین مقادیر مس، آهن، منگنز و روی قابل‌جذب خاک و اصلاح‌کننده‌ها به روش DTPA تعیین شد (۳۱). پتانسیل‌های خشکی خاک با استفاده از منحنی رطوبتی خاک مورد استفاده مشخص شد. سپس تعداد ۱۰۸ گلدان آماده گردید و برای افزودن خاک به هر گلدان، ابتدا از الک ۲ میلی‌متر عبور داده شد. سپس درون هر کدام ۵ کیلوگرم خاک آماده شده، ریخته شد. درون هر گلدان ده بذر کینوا رقم تی‌تی‌کاکا[1] کاشته شد که در نهایت سه بوته نگهداری شد. در سه مرحله

1- Titicaca

چهار برگی شدن (۱۸ روز پس از کشت)، گل‌دهی (٤٠ روز پس از کشت) و مرحله برداشت (۹۰ روز پس از کشت) جهت تعیین میزان عناصر غذایی خاک، نمونه‌برداری از خاک هر گلدان انجام شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS و به منظور مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون دانکن (۰/۰۵) استفاده شد. ترسیم شکل‌ها نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

**جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و اصلاح‌کننده‌های مورد استفاده.**

**Table 1. Some physical and chemical properties of soil and amendments tested.**

| نوع اصلاح‌کننده Type of amendments | بافت خاک Soil texture | ماده آلی (٪) Organic matter (%) | قابل‌جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Available (mg/kg) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | فسفر P | پتاسیم K | مس Cu | آهن Fe | منگنز Mn | روی Zn |
| خاک Soil | لوم loam | 0.31 | 6.1 | 115 | 0.95 | 8.42 | 12.3 | 1.16 |
| بیوچار کاه و کلش برنج Biochar of rice straw | - | 67.2 | 494.68 | 18900 | 10.51 | 477.29 | 588.32 | 66.77 |
| کمپوست زباله شهری Municipal waste compost | - | 22.6 | 4200 | 7634 | 176.84 | 4715.78 | 213.68 | 778.94 |
| بنتونیت Bentonite | - | - | 168.30 | 890 | 6.23 | 202.05 | 20.71 | 6.95 |
| زئولیت Zeolite | - | - | 54.08 | 1800 | 6.45 | 4071.56 | 60.57 | 11.47 |

## نتایج و بحث

**میزان فسفر و پتاسیم قابل جذب خاک (در مراحل ٤ برگی شدن، گلدهی و برداشت):** نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که در مرحله چهار برگی شدن کینوا تأثیر سطوح مختلف آبیاری، کاربرد اصلاح‌کننده‌های خاک و اثر متقابل این عوامل در سطح یک درصد بر میزان فسفر قابل‌جذب خاک معنی‌دار است. در مرحله گلدهی تأثیر مستقیم سطوح مختلف آبیاری و کاربرد اصلاح‌کننده‌های خاک در سطح یک درصد و اثر متقابل این عوامل در سطح پنج درصد بر میزان فسفر قابل‌جذب خاک معنی‌دار شد. در مرحله سوم نمونه‌برداری خاک تأثیر سطوح خشکی در سطح یک درصد، تأثیر کاربرد اصلاح‌کننده‌های خاک در سطح پنج درصد اثر معنی‌داری بر میزان فسفر قابل‌جذب خاک داشت (جدول ۲).

هم‌چنین نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح خشکی و کاربرد اصلاح‌کننده‌ها نشان داد که بیش‌ترین مقدار فسفر قابل‌جذب خاک از تیمار ۰/۸٪ کمپوست زباله شهری به مقدار ۱۱/۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم برای مرحله ٤ برگی شدن به‌دست آمد (شکل ۱). در هر دو مرحله ٤ برگی شدن و گلدهی تیمار آلی کمپوست زباله شهری در مقایسه با سایر اصلاح‌کننده دارای فسفر قابل‌جذب بیش‌تری بود (شکل‌های ۱ و ۲).

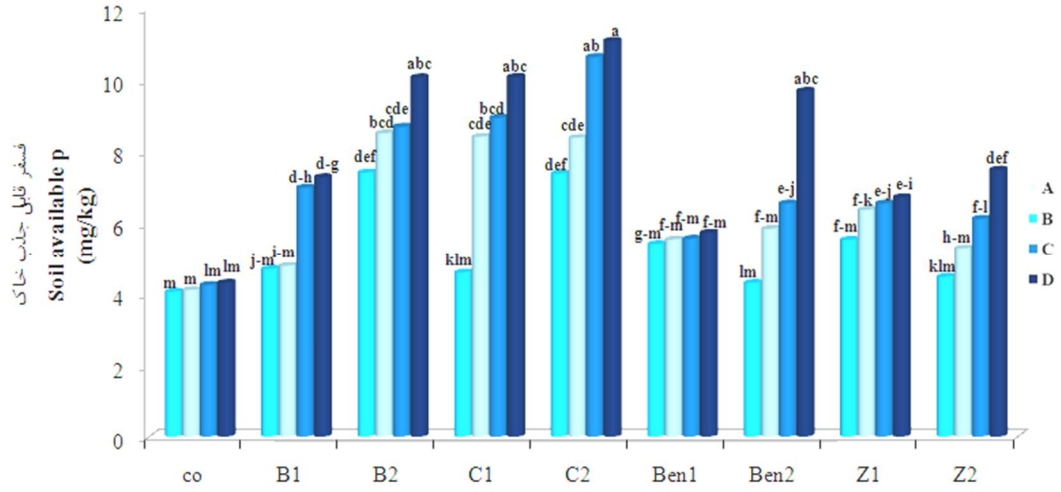
جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر سطوح خشکی در تیمارهای اصلاح‌کننده بر میزان فسفر و پتاسیم قابل‌جذب خاک در مراحل مختلف رشد گیاه کینوا.

**Table 2. Analysis of variance (mean squares) effect of drought levels in amendment treatments on soil phosphorus and potassium available in different stages of growth of quinoa plant.**

| $K_3$ | $K_2$ | $K_1$ | $P_3$ | $P_2$ | $P_1$ | df | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $5247.90^{**}$ | $3031.09^{**}$ | $5005.45^{**}$ | $56.63^{**}$ | $17.08^{**}$ | $10.05^{**}$ | 3 | سطوح خشکی<br>Drought levels |
| $3126.73^{**}$ | $3377.54^{**}$ | $5851.09^{**}$ | $16.11^{*}$ | $12.88^{**}$ | $33.93^{**}$ | 8 | تیمارهای اصلاح‌کننده<br>Amendment treatments |
| $272.90^{**}$ | $95.90^{**}$ | $184.01^{**}$ | $2.12^{ns}$ | $3.79^{*}$ | $6.14^{**}$ | 24 | اثر سطوح خشکی* تیمارهای اصلاح‌کننده<br>Effect of drought levels* Amendment treatments |
| 28.67 | 27.57 | 9.62 | 6.43 | 0.018 | 1.93 | 72 | خطا (٪)<br>Eror |

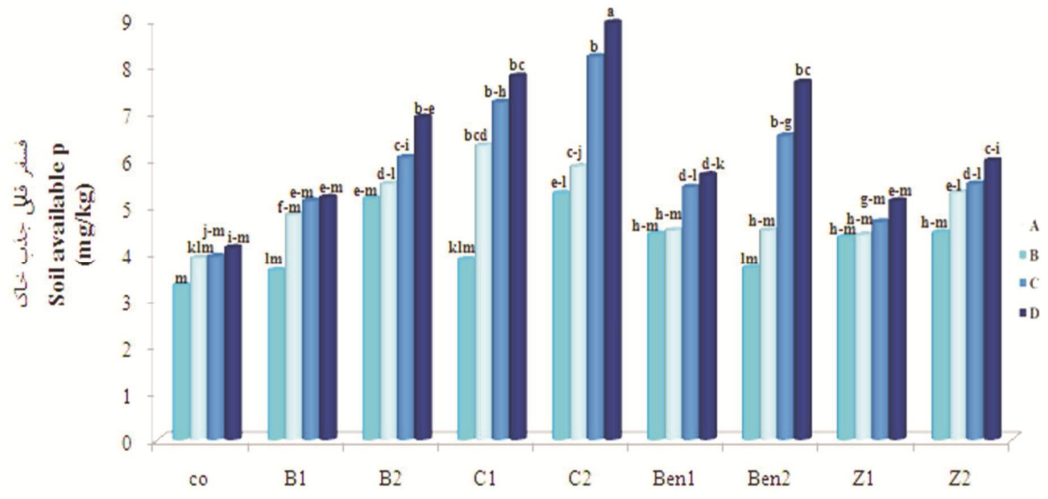
$^{**}$، $^{*}$ و $^{ns}$ به ترتیب معنی‌دار در سطح یک درصد، پنج درصد و عدم تفاوت معنی‌دار. $p_1$: میزان فسفر خاک در مرحله ٤ برگی، $p_2$: میزان فسفر خاک در مرحله گلدهی، $p_3$: میزان فسفر خاک در مرحله برداشت. $k_1$: میزان پتاسیم خاک در مرحله برگی، $k_2$: میزان پتاسیم خاک در مرحله گلدهی، $k_3$: میزان پتاسیم خاک در مرحله برداشت گیاه کینوا.

*, ** and $^{ns}$ significant in 5%, 1% levels and no significant. $P_1$: amount of p in four-leaf stage, $P_2$: amount of p flowering stage, $P_3$: amount of p in harvest stage. $K_1$: amount of k in four-leaf stage, $K_2$: amount of k flowering stage, $K_3$: amount of k in harvest stage quinoa plant.




شکل ۱- اثر متقابل سطوح خشکی در کاربرد مقادیر مختلف اصلاح‌کننده‌های خاک بر میزان فسفر قابل‌جذب خاک (میلی‌گرم در کیلوگرم) در مرحله ٤ برگی گیاه کینوا (**A**: تخلیه ۲۵ درصد آب قابل‌استفاده، **B**: تخلیه ٤۰ درصد آب قابل‌استفاده، **C**: تخلیه ۵۵ درصد آب قابل‌استفاده، **D**: تخلیه ۷۰ درصد آب قابل‌استفاده. $C_0$: شاهد، $B_1$: بایوچار ۰/٤٪، $B_2$: بایوچار ۰/۸٪، $C_1$: کمپوست ۰/٤٪، $C_2$: کمپوست ۰/۸٪، $Ben_1$: بنتونیت ۰/۷۵٪، $Ben_2$: بنتونیت ۱/۵٪، $Z_1$: زئولیت ۰/۷۵٪، $Z_2$: زئولیت ۱/۵٪. حروف مشابه، نشان‌دهنده عدم اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد).

**Figure 1. Interaction of drought levels in application of different amounts of soil amendments on soil available p (mg/kg) in four-leaf stage of quinoa plant .(A: discharge of 25% available water, B: discharge of 40% available water, C: discharge of 55% available water and discharge of 70% available water. $C_0$: Control, $B_1$: Biochar 0.4%, $B_2$: Biochar 0.8%, $C_1$: Compost 0.4%, $C_2$: Compost 0.8%, $Ben_1$: Bentonite 0.75%, $Ben_2$: Bentonite 1.5%, $Z_1$: Zeolite 0.75%, $Z_2$: Zeolite 1.5%. Similar letters, indicate a significant difference in the level of 5%).**




**شکل ۲- اثر متقابل سطوح خشکی در کاربرد مقادیر مختلف اصلاح‌کننده‌های خاک بر میزان فسفر قابل‌جذب خاک (میلی‌گرم در کیلوگرم) در مرحله گلدهی گیاه کینوا (A: تخلیه ۲۵ درصد آب قابل‌استفاده، B: تخلیه ٤٠ درصد آب قابل استفاده، C: تخلیه ۵۵ درصد آب قابل استفاده، D: تخلیه ۷۰ درصد آب قابل استفاده. Co: شاهد، $B_1$: بایوچار ۰/٤٪، $B_2$: بایوچار ۰/۸٪، $C_1$: کمپوست ۰/٤٪، $C_2$: کمپوست ۰/۸٪، $Ben_1$: بنتونیت ۰/۷۵٪، $Ben_2$: بنتونیت ۱/۵٪، $Z_1$: زئولیت ۰/۷۵٪، $Z_2$: زئولیت ۱/۵٪. حروف مشابه، نشان‌دهنده عدم اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد).**

**Figure 2. Interaction of drought levels in application of different amounts of soil amendments on soil available p (mg/kg) flowering stage of quinoa plant (A: discharge of 25 % available water, B: discharge of 40% available water, C: discharge of 55% available water and discharge of 70% available water. $C_0$: Control, $B_1$: Biochar 0.4%, $B_2$: Biochar 0.8%, $C_1$: Compost 0.4%, $C_2$: Compost 0.8%, $Ben_1$: Bentonite 0.75%, $Ben_2$: Bentonite 1.5%, $Z_1$: Zeolite 0.75%, $Z_2$: Zeolite 1.5%. Similar letters, indicate a significant difference in the level of 5%).**

بالا بودن فسفر قابل‌جذب خاک تحت تیمار کمپوست به دلیل وجود مقدار زیاد فسفر قابل‌جذب در این تیمار بوده و با توجه به بالا بودن مقدار ماده آلی در کمپوست، که مانع از تثبیت فسفر در طول زمان می‌شود. افزودن کمپوست در خاک‌هایی که از نظر نیتروژن، فسفر و پتاسیم دچار کمبود می‌باشند موجب غنی شدن ریشه سپهر[1] از این عناصر غذایی شده و در نتیجه کمبود عناصر غذایی گیاه جبران می‌شود و هم‌چنین مصرف کودهای شیمیایی کاهش یافته و راندمان مصرف کود افزایش می‌یابد (۳). کودهای آلی با افزایش قدرت نگهداری آب مانع شستشوی عناصر غذایی از خاک می‌شوند و در نتیجه ماندگاری عناصر غذایی در خاک افزایش می‌یابد، هم‌چنین مواد آلی با افزایش فعالیت میکروبی باعث افزایش حلالیت عناصری مانند فسفر در خاک می‌شوند. نتایج این پژوهش با پژوهش‌های آژنهو و همکاران (۲۰۱٦) مطابقت دارد (۱). مکابلا و وارمن (۲۰۰۵) گزارش کردند که به‌دلیل فعالیت‌های میکروبی که پس از کاربرد کمپوست در خاک ایجاد می‌گردد و هم‌چنین آزادسازی فسفر در طول معدنی شدن مواد آلی، میزان فسفر خاک با افزودن کمپوست افزایش می‌یابد (۳٤). وبر و همکاران (۲۰۰۷) نیز گزارش کردند که کاربرد کمپوست زباله شهری، سبب افزایش قابل‌توجه مقادیر قابل‌جذب فسفر و پتاسیم در طول پژوهش شد (۵۳). در این پژوهش نیز کاربرد کمپوست زباله شهری منجر به افزایش فسفر خاک شد. کم‌ترین مقدار فسفر قابل‌جذب خاک در

1- Rhizosphere

نمونه‌برداری مرحله ٤ برگی شدن و گلدهی، تحت شرایط خشکی (A) از تیمار شاهد به‌دست آمد (شکل‌های ۱ و ۲). نتایج مقایسه میانگین سطوح خشکی و اصلاح‌کننده‌های خاک برای فسفر قابل‌جذب خاک در مرحله برداشت (جدول ۳) نشان می‌دهد که بیش‌ترین میزان فسفر قابل‌جذب از تیمارهای آلی کمپوست زباله شهری در سطح ۰/۸٪ به‌دست آمد و بین این تیمار با بیوچار اختلاف معنی‌داری وجود نداشته و با افزایش سطوح خشکی از تنش ملایم به شدید نیز میزان فسفر قابل‌جذب خاک افزایش یافت.

**جدول ۳- اثر سطوح خشکی و تیمارهای اصلاح‌کننده بر میزان فسفر قابل‌جذب خاک (میلی‌گرم در کیلوگرم) در مرحله برداشت گیاه کینوا.**

**Table 3. Effect of drought levels and amendment treatments on soil available p (mg/kg) in harvest stages of quinoa plant.**

| $Z_2$ | $Z_1$ | $Ben_2$ | $Ben_1$ | $C_2$ | $C_1$ | $B_2$ | $B_1$ | Co | اصلاح‌کننده‌ها |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $5.90^{a-d}$ | $4.95^{cd}$ | $5.53^{a-d}$ | $5.66^{a-d}$ | $7.61^{a}$ | $5.05^{bcd}$ | $7.33^{ab}$ | $6.62^{abc}$ | $4.04^{d}$ | Amendments |
| | D | | C | | B | | A | | سطوح خشکی |
| | $47.7^{a}$ | | $46.6^{ab}$ | | $21.5^{bc}$ | | $26.4^{c}$ | | Drought levels |

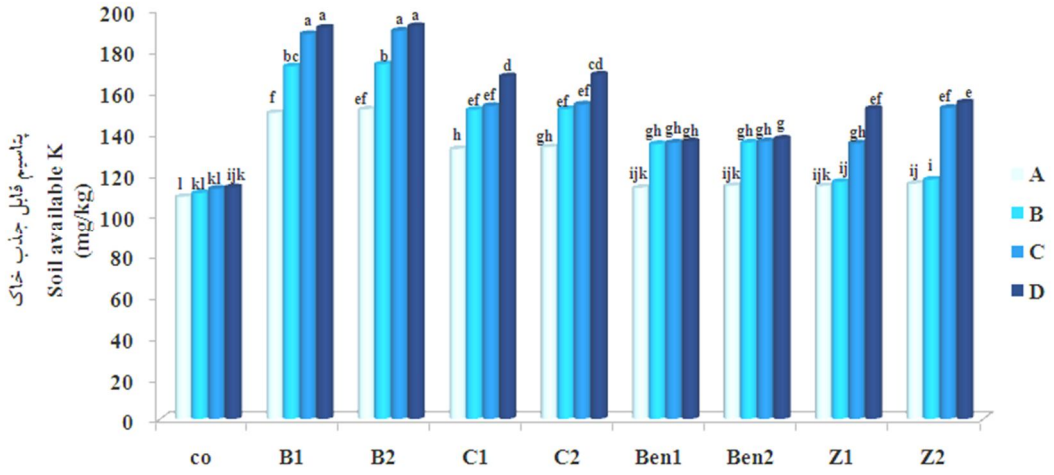
در هر ردیف میانگین‌هایی که دارای حرف یا حروف مشترک هستند دارای تفاوت آماری در سطح ۵ درصد نمی‌باشند.

Means with the same letter or letters in each row are not significantly different at probability levels of 5%.

افزایش فسفر قابل‌جذب در تیمارهای حاوی بیوچار می‌تواند به‌دلیل تجزیه بیوچار و تشکیل کمپلکس‌های آلی قوی‌تری با کلسیم، آهن و آلومینیوم در مقایسه با فسفر ایجاد کنند و موجب کاهش سرعت رسوب فسفر تغییر شکل آن شوند. به علاوه، ایجاد پوشش محافظ در سطح ذرات توسط هوموس ظرفیت تثبیت فسفر این ذرات را کاهش می‌دهد (٢٦). هم‌چنین بیوچار می‌تواند قابلیت استفاده فسفر را از طریق جذب سطحی و افزایش ظرفیت تبادل آنیونی (AEC) خاک، افزایش دهد (۵) و از طرفی بیوچار به دلیل اندوخته زیاد فسفر، به طور مستقیم نیز فسفر آزاد می‌نماید و فسفر خاک را افزایش می‌دهد (٥٦). شیرمردی و توفیقی (٢٠١٤) گزارش کردند که افزودن ماده آلی به خاک موجب افزایش بازیابی فسفر اضافه شده به خاک شد. این اثر در زمان‌های طولانی‌تر پس از افزودن فسفر آشکارتر بود (٤٧). موخرجی و زیمرمن (۲۰۱۳) بیان کردند که بیوچارها پس از افزوده شدن به خاک می‌توانند مقدار قابل‌توجهی فسفر به خاک آزاد کنند (۳۷).کلاستون و همکاران (٢٠١٤) بیان نمودند که با افزودن بیوچار به خاک مقدار عنصر فسفر افزایش یافته است. در نتایج ژانگ و همکاران (۲۰۱۵) نیز آمده است که افزودن بیوچار کاه و کلش برنج در سطح ۵ درصد منجر به افزایش معنادار فسفر قابل‌استفاده به مقدار ۱۳/۸٪ در مقایسه با تیمار بدون بیوچار گردیده است (۵۹). مطالعات بسیاری گزارش کرده‌اند که افزودن اصلاح‌کننده‌های آلی به خاک مانند کمپوست و بیوچار در ابتدای فصل رشد منجر به افزایش عناصر غذایی خاک، بهبود حاصلخیزی و افزایش تولید محصولات کشاورزی می‌شود (۲، ٢٤، ۵۹).

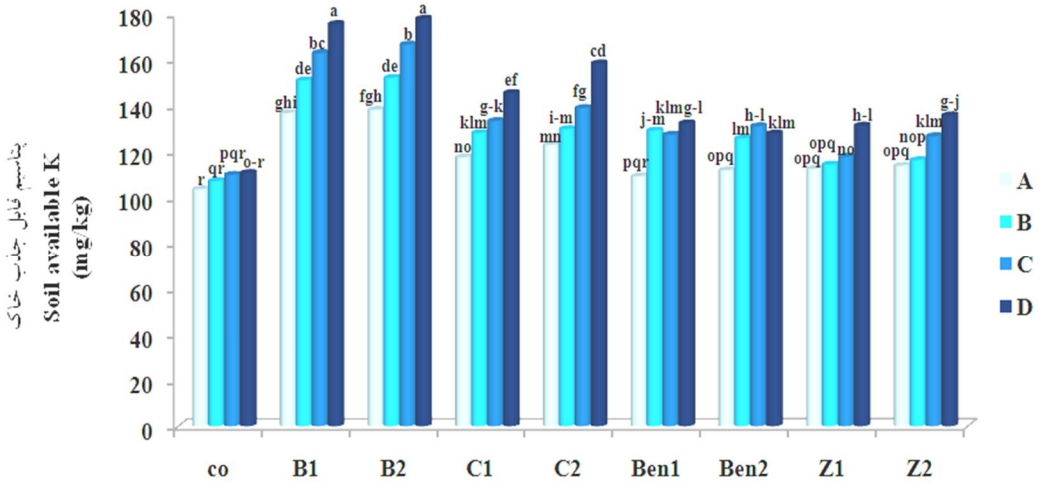
تأثیر اصلاح‌کننده‌های آلی نسبت به اصلاح‌کننده‌های معدنی مانند زئولیت و بنتونیت به‌دلیل وجود منبع غنی از مواد آلی و ترکیبات فسفره که میزان فسفر قابل‌جذب خاک را به‌طور معنی‌داری افزایش داده‌اند.

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح خشکی و اصلاح‌کننده‌های خاک در طی سه مرحله نمونه‌برداری نشان داد که بیش‌ترین میزان پتاسیم قابل‌جذب خاک تحت شرایط خشکی شدید از تیمار ۰/۸٪ بیوچار و به مقدار ۱۹۱/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم برای نمونه‌برداری مرحله ٤ برگی شدن و ۱۷۷/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم برای نمونه‌برداری مرحله گلدهی و ۱۷۳/٦ میلی‌گرم بر کیلوگرم برای نمونه‌برداری مرحله برداشت به دست آمد (شکل‌های ۳، ٤ و ۵). کم‌ترین میزان پتاسیم قابل‌جذب خاک از تیمارهای شاهد به مقادیر ۸۷/۰۷، ۱۰۳/٦ و ۱۰۸/٦ به ترتیب برای مراحل برداشت، گلدهی و ٤ برگی شدن به دست آمد (شکل‌های ۳، ٤ و ۵).



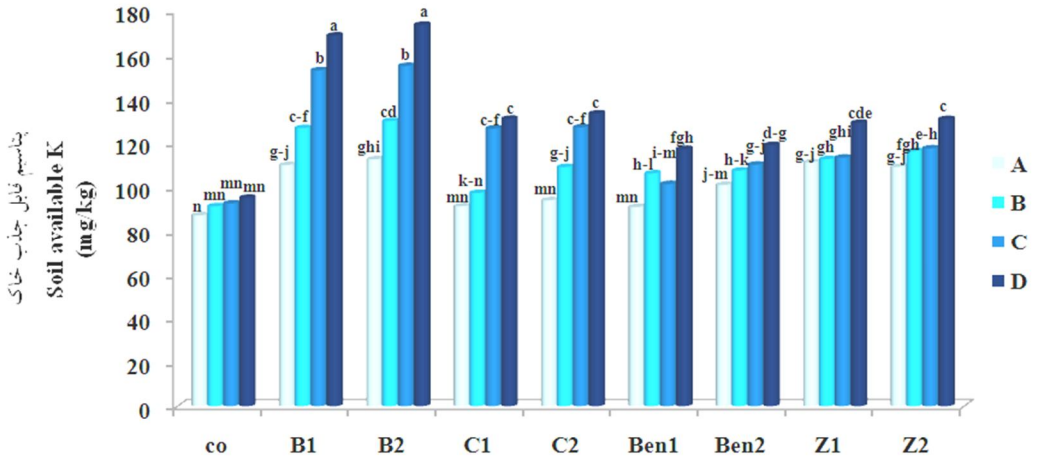

**شکل ۳- اثر متقابل سطوح خشکی در کاربرد مقادیر مختلف اصلاح‌کننده‌های خاک بر میزان پتاسیم قابل‌جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم) خاک در مرحله ٤ برگی گیاه کینوا (A: تخلیه ۲۵ درصد آب قابل‌استفاده، B: تخلیه ٤۰ درصد آب قابل‌استفاده، C: تخلیه ۵۵ درصد آب قابل استفاده، D: تخلیه ۷۰ درصد آب قابل‌استفاده. Co: شاهد، $B_1$: بایوچار ۰/٤٪، $B_2$: بایوچار ۰/۸٪، $C_1$: کمپوست ۰/٤٪، $C_2$: کمپوست ۰/۸٪، $Ben_1$: بنتونیت ۰/۷۵٪، $Ben_2$: بنتونیت ۱/۵٪، $Z_1$: زئولیت ۰/۷۵٪، $Z_2$: زئولیت ۱/۵٪. حروف مشابه، نشان‌دهنده عدم اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد).**

**Figure 3. Interaction of drought levels in application of different amounts of soil amendments on soil available k (mg/kg) in four-leaf stage of quinoa plan (A: discharge of 25% available water, B: discharge of 40% available water, C: discharge of 55% available water and discharge of 70% available water. $C_o$: Control, $B_1$: Biochar 0.4%, $B_2$: Biochar 0.8%, $C_1$: Compost 0.4%, $C_2$: Compost 0.8%, $Ben_1$: Bentonite 0.75%, $Ben_2$: Bentonite 1.5%, $Z_1$: Zeolite 0.75%, $Z_2$: Zeolite 1.5%. Similar letters, indicate a significant difference in the level of 5%).**




شکل ٤- اثر متقابل سطوح خشکی در کاربرد مقادیر مختلف اصلاح‌کننده‌های خاک بر میزان پتاسیم قابل‌جذب خاک (میلی‌گرم در کیلوگرم) در مرحله گلدهی گیاه کینوا (A: تخلیه ۲۵ درصد آب قابل‌استفاده، B: تخلیه ٤٠ درصد آب قابل‌استفاده، C: تخلیه ۵۵ درصد آب قابل استفاده، D: تخلیه ۷۰ درصد آب قابل‌استفاده. Co: شاهد، $B_1$: بایوچار ۰/٤٪، $B_2$: بایوچار ۰/۸٪، $C_1$: کمپوست ۰/٤٪، $C_2$: کمپوست ۰/۸٪، $Ben_1$: بنتونیت ۰/۷۵٪، $Ben_2$: بنتونیت ۱/۵٪، $Z_1$: زئولیت ۰/۷۵٪، $Z_2$: زئولیت ۱/۵٪. حروف مشابه، نشان‌دهنده عدم اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد).

**Figure 4. Interaction of drought levels in application of different amounts of soil amendments on soil available k (mg/kg) flowering stage of quinoa plant (A: discharge of 25% available water, B: discharge of 40% available water, C: discharge of 55% available water and discharge of 70% available water. $C_0$: Control, $B_1$: Biochar 0.4%, $B_2$: Biochar 0.8%, $C_1$: Compost 0.4%, $C_2$: Compost 0.8%, $Ben_1$: Bentonite 0.75%, $Ben_2$: Bentonite 1.5%, $Z_1$: Zeolite 0.75%, $Z_2$: Zeolite 1.5%. Similar letters, indicate a significant difference in the level of 5%).**




شکل ۵- اثر متقابل سطوح خشکی در کاربرد مقادیر مختلف اصلاح‌کننده‌های خاک بر میزان پتاسیم قابل‌جذب خاک (میلی‌گرم در کیلوگرم) در مرحله برداشت گیاه کینوا (A: تخلیه ۲۵ درصد آب قابل‌استفاده، B: تخلیه ٤٠ درصد آب قابل‌استفاده، C: تخلیه ۵۵ درصد آب قابل‌استفاده، D: تخلیه ۷۰ درصد آب قابل‌استفاده. $C_0$: شاهد، $B_1$: بایوچار ۰/٤٪، $B_2$: بایوچار ۰/۸٪، $C_1$: کمپوست ۰/٤٪، $C_2$: کمپوست ۰/۸٪، $Ben_1$: بنتونیت ۰/۷۵٪، $Ben_2$: بنتونیت ۱/۵٪، $Z_1$: زئولیت ۰/۷۵٪، $Z_2$: زئولیت ۱/۵٪. حروف مشابه، نشان‌دهنده عدم اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد).

**Figure 5. Interaction of drought levels in application of different amounts of soil amendments on soil available k (mg/kg) in harvest stages of quinoa plant (A: discharge of 25 % available water, B: discharge of 40% available water, C: discharge of 55% available water and discharge of 70% available water. $C_0$: Control, $B_1$: Biochar 0.4%, $B_2$: Biochar 0.8%, $C_1$: Compost 0.4%, $C_2$: Compost 0.8%, $Ben_1$: Bentonite 0.75%, $Ben_2$: Bentonite 1.5%, $Z_1$: Zeolite 0.75%, $Z_2$: Zeolite 1.5%. Similar letters, indicate a significant difference in the level of 5%).**

با کاربرد بیوچار در خاک، پتاسیم موجود در آن وارد فاز محلول و به علت تعادل بین پتاسیم محلول و تبادلی مقداری نیز وارد از تبادلی می‌شود و در نتیجه هر دو شکل محلول و تبادلی پتاسیم افزایش می‌یابد و هم‌چنین میزان پتاسیم در بیوچار نسبت به کمپوست، بنتونیت و زئولیت بیش‌تر بوده است. نتایج مافلی و همکاران (۲۰۱۱) در مورد تأثیراتی که کاربرد بیوچار ناشی از بقایای برنج بر عناصر قلیایی خاک دارد نشان داد که بیوچار سبب افزایش قابلیت استفاده پتاسیم گردید. وانگ و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند که مصرف بیوچار در خاک سبب افزایش رشد باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم در خاک شده و میزان پتاسیم قابل‌جذب در خاک را افزایش می‌دهد (۵۰). در مطالعه دیگر ژانگ و همکاران (۲۰۲۰) به این نتیجه رسیدند که کاربرد دو درصد بیوچار، میزان مصرف کود پتاسه به اندازه ٤٠ درصد کاهش یافته است زیرا بیوچار با تغییر ساختار کانی‌های رسی و افزایش جمعیت میکروبی خاک، تبدیل پتاسیم کندرها را به پتاسیم قابل‌دسترس را تسریع می‌بخشد. وجود مقدار بالای پتاسیم در بیوچار آن را به عنوان یک منبع پتاسیم آلی خیلی مفید برای گیاه معرفی کرده که می‌تواند رشد و عملکرد گیاه را افزایش دهد (١٤). زو و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند مقادیر بالای پتاسیم موجود در بقایای گیاهی و در بیوچار حاصل از آن‌ها می‌تواند تأثیر مهمی بر وضعیت پتاسیم خاک‌ها داشته باشد (۵۵). از آن‌جا که پتاسیم یکی ازعناصر پرمصرف گیاهی بوده و کمبود آن در خاک‌های ایران رو به گسترش است (۳۸) بیوچار می‌تواند به عنوان ماده اصلاح‌کننده جهت بهبود وضعیت حاصلخیزی پتاسیم خاک‌ها، مورد استفاده قرار می‌گیرد. موخرجی و همکاران (۲۰۱۳) بیان کردند که بیوچار دارای دامنه‌ای از شکل‌های عناصر غذایی بوده که با سرعت‌های متفاوتی آزاد شده و تأثیرات متفاوتی را بر حاصل‌خیزی خاک دارند (۳۷). پژوهشگران دیگری گزارش کردند که بیوچار حاصل از سبوس برنج می‌تواند میزان پتاسیم قابل تبادل خاک را افزایش دهد (٣٦، ٤٠، ٤٣). کم‌ترین و بیش‌ترین میزان پتاسیم قابل‌جذب در تیمارهای A و D بوده است زیرا در تیمار A میزان رطوبت خاک نسبت به تیمار D بالا بوده و گیاه میزان پتاسیم بالایی جذب کرده و به این علت خاک میزان پتاسیم کم‌تری را نشان داده است. این مطلب با نتایج حسینی و همکاران (۲۰۱۵) که گزارش نمودند با افزایش رشد و توسعه ریشه گیاه، میزان جذب پتاسیم به وسیله گیاه افزایش می‌یابد که در نتیجه میزان پتاسیم قابل‌جذب در خاک کاهش می‌یابد، مطابقت دارد (۲۰).

**میزان عناصر کم‌مصرف خاک (در مراحل ٤ برگی، گلدهی و برداشت):** جدول تجزیه واریانس نشان داد که در هر سه مرحله نمونه‌برداری خاک، سطوح تنش خشکی، اصلاح‌کننده‌های آلی و معدنی و اثر متقابل بین این دو عامل تأثیر معنی‌داری را در سطح یک درصد بر غلظت مس خاک داشته است (جدول ٤).

**جدول ٤- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر سطوح خشکی در تیمارهای اصلاح‌کننده بر میزان مس، آهن، منگنز و روی قابل‌جذب خاک در مراحل مختلف رشد گیاه کینوا.**

**Table 4. Analysis of variance (mean squares) effect of drought levels in amendment treatments on soil Cu, Fe, Mn and Zn available in different stages of growth of quinoa plant.**

| منابع تغییرات<br>میانگین مربعات | سطوح خشکی<br>Drought levels | تیمارهای اصلاح‌کننده<br>Amendment treatments | اثر سطوح خشکی* تیمارهای اصلاح‌کننده<br>Effect of drought levels* Amendment treatments | خطا<br>Eror |
|---|---|---|---|---|
| df | 3 | 8 | 24 | 72 |
| $Cu_1$ | $0.914^{**}$ | $0.240^{**}$ | $0.020^{**}$ | 0.004 |
| $Cu_2$ | $0.843^{**}$ | $0.190^{**}$ | $0.018^{**}$ | 0.004 |
| $Cu_3$ | $0.740^{**}$ | $0.116^{**}$ | $0.024^{**}$ | 0.002 |
| $Fe_1$ | $20.50^{**}$ | $3.81^{**}$ | $0.53^{**}$ | 0.012 |
| $Fe_2$ | $15.99^{**}$ | $2.45^{*}$ | $0.24^{ns}$ | 1.16 |
| $Fe_3$ | $1695.06^{ns}$ | $12.11^{ns}$ | $2.91^{ns}$ | 0.48 |
| $Mn_1$ | $17.69^{**}$ | $9.54^{*}$ | $1.80^{ns}$ | 3.95 |
| $Mn_2$ | $11.70^{*}$ | $9.78^{*}$ | $1.9^{ns}$ | 4.00 |
| $Mn_3$ | $8.58^{*}$ | $10.24^{**}$ | $2.49^{ns}$ | 2.90 |
| $Zn_1$ | $0.392^{**}$ | $0.430^{**}$ | $0.034^{**}$ | 0.003 |
| $Zn_2$ | $0.205^{**}$ | $0.196^{**}$ | $0.010^{**}$ | 0.003 |
| $Zn_3$ | $0.13^{**}$ | $0.051^{**}$ | $0.004^{ns}$ | 0.012 |

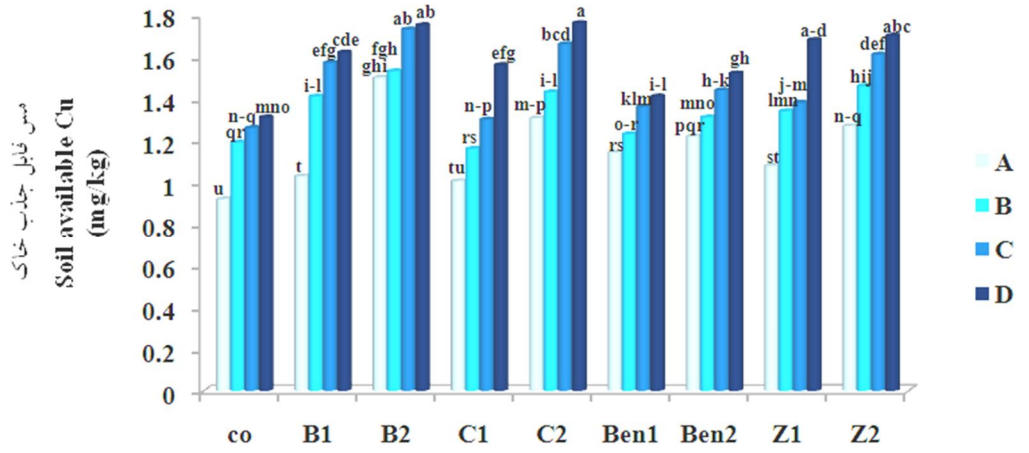
**، * و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح یک درصد، پنج درصد و عدم تفاوت معنی‌دار.

1: میزان عناصر خاک در مرحله ٤ برگی، 2: میزان عناصر خاک در مرحله گلدهی، 3: میزان عناصر خاک در مرحله برداشت گیاه.

*, ** and ns significant in 5%, 1% levels and no significant.

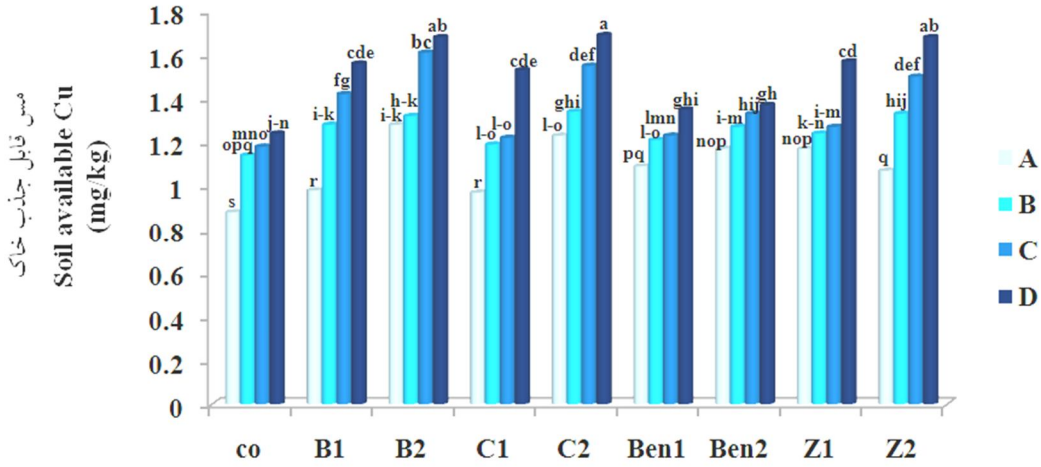
1: amount of soil nutrients in four-leaf stage, 2: : amount of soil nutrients in flowering stage, 3: amount of soil nutrients in harvest stage.

نتایج نشان داد با افزایش سطوح خشکی از ۲۵٪ به ۷۰٪ میزان مس خاک در هر سه مرحله نمونه‌برداری خاک افزایش یافت ولی با افزایش رشد گیاه از مرحله ٤ برگی تا برداشت گیاه غلظت مس قابل‌جذب خاک کاهش نشان داد. هم‌چنین در همه سطوح اصلاح‌کننده‌های مصرفی غلظت مس قابل‌جذب نسبت به شاهد افزایش داشت (شکل‌های ٦، ٧ و ٨).



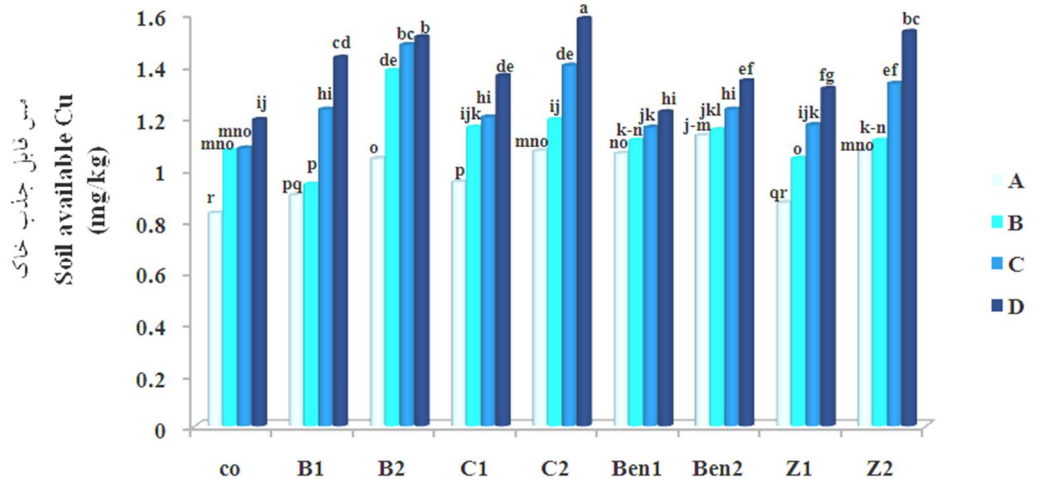

شکل ٦- اثر متقابل سطوح خشکی در کاربرد مقادیر مختلف اصلاح‌کننده‌های خاک بر میزان مس قابل‌جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم) خاک در مرحله ٤ برگی گیاه کینوا (A: تخلیه ۲۵ درصد آب قابل‌استفاده، B: تخلیه ٤۰ درصد آب قابل‌استفاده، C: تخلیه ۵۵ درصد آب قابل‌استفاده، D: تخلیه ۷۰ درصد آب قابل‌استفاده. $C_0$: شاهد، $B_1$: بایوچار ۰/٤٪، $B_2$: بایوچار ۰/۸٪، $C_1$: کمپوست ۰/٤٪، $C_2$: کمپوست ۰/۸٪، $Ben_1$: بنتونیت ۰/۷۵٪، $Ben_2$: بنتونیت ۱/۵٪، $Z_1$: زئولیت ۰/۷۵٪، $Z_2$: زئولیت ۱/۵٪. حروف مشابه، نشان‌دهنده عدم اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد).

**Figure 6. Interaction of drought levels in application of different amounts of soil amendments on soil available Cu (mg/kg) in four-leaf stage of quinoa plant (A: discharge of 25 % available water, B: discharge of 40% available water, C: discharge of 55% available water and discharge of 70% available water. $C_0$: Control, $B_1$: Biochar 0.4%, $B_2$: Biochar 0.8%, $C_1$: Compost 0.4%, $C_2$: Compost 0.8%, $Ben_1$: Bentonite 0.75%, $Ben_2$: Bentonite 1.5%, $Z_1$: Zeolite 0.75%, $Z_2$: Zeolite 1.5%. Similar letters, indicate a significant difference in the level of 5%).**




شکل ۷- اثر متقابل سطوح خشکی در کاربرد مقادیر مختلف اصلاح‌کننده‌های خاک بر میزان مس قابل‌جذب خاک (میلی‌گرم در کیلوگرم) در مرحله گلدهی گیاه (A: تخلیه ۲۵ درصد آب قابل‌استفاده، B: تخلیه ٤۰ درصد آب قابل‌استفاده، C: تخلیه ۵۵ درصد آب قابل‌استفاده، D: تخلیه ۷۰ درصد آب قابل‌استفاده. $C_0$: شاهد، $B_1$: بایوچار ۰/٤٪، $B_2$: بایوچار ۰/۸٪، $C_1$: کمپوست ۰/٤٪، $C_2$: کمپوست ۰/۸٪، $Ben_1$: بنتونیت ۰/۷۵٪، $Ben_2$: بنتونیت ۱/۵٪، $Z_1$: زئولیت ۰/۷۵٪، $Z_2$: زئولیت ۱/۵٪. حروف مشابه، نشان‌دهنده عدم اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد).

**Figure 7. Interaction of drought levels in application of different amounts of soil amendments on soil available Cu (mg/kg) flowering stage of quinoa plant (A: discharge of 25 % available water, B: discharge of 40% available water, C: discharge of 55% available water and discharge of 70% available water. $C_0$: Control, $B_1$: Biochar 0.4%, $B_2$: Biochar 0.8%, $C_1$: Compost 0.4%, $C_2$: Compost 0.8%, $Ben_1$: Bentonite 0.75%, $Ben_2$: Bentonite 1.5%, $Z_1$: Zeolite 0.75%, $Z_2$: Zeolite 1.5%. Similar letters, indicate a significant difference in the level of 5%).**



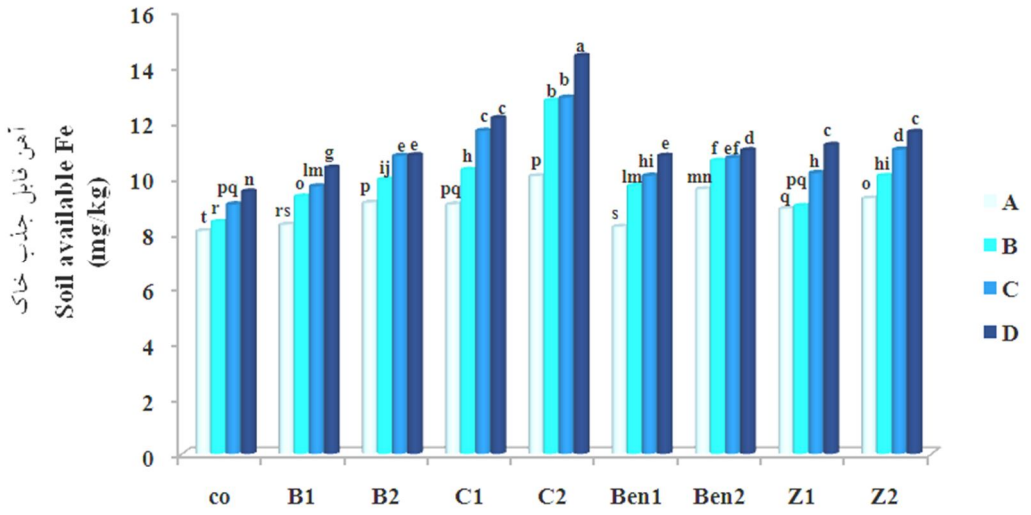

**شکل ۸- اثر متقابل سطوح خشکی در کاربرد مقادیر مختلف اصلاح‌کننده‌های خاک بر میزان مس قابل‌جذب خاک (میلی‌گرم در کیلوگرم) در مرحله برداشت گیاه کینوا (A: تخلیه ۲۵ درصد آب قابل‌استفاده، B: تخلیه ٤٠ درصد آب قابل‌استفاده، C: تخلیه ۵۵ درصد آب قابل‌استفاده، D: تخلیه ۷۰ درصد آب قابل‌استفاده. $C_0$: شاهد، $B_1$: بایوچار ۰/٤٪، $B_2$: بایوچار ۰/۸٪، $C_1$: کمپوست ۰/٤٪، $C_2$: کمپوست ۰/۸٪، $Ben_1$: بنتونیت ۰/۷۵٪، $Ben_2$: بنتونیت ۱/۵٪، $Z_1$: زئولیت ۰/۷۵٪، $Z_2$: زئولیت ۱/۵٪. حروف مشابه، نشان‌دهنده عدم اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد).**

**Figure 8. Interaction of drought levels in application of different amounts of soil amendments on soil available Cu (mg/kg) in harvest stages of quinoa plant (A: discharge of 25% available water, B: discharge of 40% available water, C: discharge of 55% available water and discharge of 70% available water. $C_0$: Control, $B_1$: Biochar 0.4%, $B_2$: Biochar 0.8%, $C_1$: Compost 0.4%, $C_2$: Compost 0.8%, $Ben_1$: Bentonite 0.75%, $Ben_2$: Bentonite 1.5%, $Z_1$: Zeolite 0.75%, $Z_2$: Zeolite 1.5%. Similar letters, indicate a significant difference in the level of 5%).**

با بررسی جدول مقایسه میانگین مشاهده شد که در مرحله ٤ برگی شدن گیاه با افزایش تنش خشکی از تنش ملایم به تنش شدید تیمار کمپوست زباله شهری در سطح ۰/۸٪ نسبت به سایر اصلاح‌کننده‌های خاک دارای مقدار بیش‌تری از مس (۱/۷٦ میلی‌گرم بر کیلوگرم) می‌باشد که نسبت به شاهد ۳٤/۳۵٪ افزایش نشان داد (شکل ٦). در مراحل گلدهی و برداشت گیاه نیز بیش‌ترین میزان مس قابل‌جذب خاک به ترتیب ۱/٦۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم و ۱/۵۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم مربوط به ۰/۸٪ کمپوست زباله شهری بود (شکل‌های ۷ و ۸). با توجه به این‌که میزان مس در کمپوست زباله شهری نسبت به بیوچار، بنتونیت و زئولیت بیش‌تر بوده (جدول ۱) و در نتیجه افزودن کمپوست زباله شهری به خاک سبب افزایش میزان مس در خاک می‌شود. منصاح و همکاران (۲۰۱۸) بیان کردند که با اضافه نمودن کمپوست به خاک حلالیت عناصر کم‌مصرف در اثر تغییرات در ویژگی‌های شیمیایی خاک نظیر کاهش پ‌ـهاش و تشکیل کمپلکس‌های محلول افزایش می‌یابد که منجر به جذب بیش‌تر این عناصر توسط گیاه می‌شود. عیاری و همکاران (۲۰۱۲) نیز گزارش کردند که کاربرد کمپوست زباله شهری علاوه بر این که غلظت مس قابل‌جذب در خاک را افزایش داده است با احیای چرخه عناصر، آثار مفیدی بر حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاهان دارد. قریب (۲۰۱٤) هم با بررسی استفاده از کمپوست زباله شهری بر میزان عناصر کم‌مصرف قابل‌جذب خاک، بیان کرد کاربرد کمپوست زباله شهری غلظت عناصر مس، آهن و منگنز و روی را افزایش داده است و سطوح بالاتر کاربرد کمپوست توانست میزان این عناصر را در خاک بیش‌تر افزایش

دهد (۱۲). کم‌ترین میزان مس از تیمارهای شاهد در سطح خشکی ملایم (A) برای هر سه مرحله نمونه‌برداری خاک مشاهده شد (شکل‌های ٦، ۷ و ۸).

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که در مرحله ٤ برگی گیاه تأثیر سطوح خشکی، اصلاح‌کننده‌های خاک و اثر متقابل بین تنش خشکی و اصلاح‌کننده‌ها در سطح احتمال یک درصد بر میزان آهن قابل‌جذب معنی‌دار گردید ولی در مرحله گلدهی اثر سطوح خشکی در سطح احتمال یک درصد، اصلاح‌کننده‌های خاک در سطح پنج درصد خاک معنی بود (جدول ٤). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح خشکی و اصلاح‌کننده‌های خاک بر میزان آهن قابل‌جذب مرحله ٤ برگی نشان داد که بیش‌ترین میزان آهن خاک تحت تنش خشکی شدید از تیمار ۰/۸٪ کمپوست زباله شهری و به مقدار ۱٤/۳۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک به‌دست آمد که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری را با سایر اصلاح‌کننده‌ها نشان داد (شکل ۹).




**شکل ۹- اثر متقابل سطوح خشکی در کاربرد مقادیر مختلف اصلاح‌کننده‌های خاک بر میزان آهن قابل‌جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم) خاک در مرحله چهار برگی شدن گیاه کینوا (A: تخلیه ۲۵ درصد آب قابل‌استفاده، B: تخلیه ٤۰ درصد آب قابل‌استفاده، C: تخلیه ۵۵ درصد آب قابل‌استفاده، D: تخلیه ۷۰ درصد آب قابل‌استفاده. $C_0$: شاهد، $B_1$: بایوچار ۰/٤٪، $B_2$: بایوچار ۰/۸٪، $C_1$: کمپوست ۰/٤٪، $C_2$: کمپوست ۰/۸٪، $Ben_1$: بنتونیت ۰/۷۵٪، $Ben_2$: بنتونیت ۱/۵٪، $Z_1$: زئولیت ۰/۷۵٪، $Z_2$: زئولیت ۱/۵٪. حروف مشابه، نشان‌دهنده عدم اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد).**

**Figure 9. Interaction of drought levels in application of different amounts of soil amendments on soil available Fe (mg/kg) in in four-leaf stage of quinoa plant (A: discharge of 25% available water, B: discharge of 40% available water, C: discharge of 55% available water and discharge of 70% available water. $C_0$: Control, $B_1$: Biochar 0.4%, $B_2$: Biochar 0.8%, $C_1$: Compost 0.4%, $C_2$: Compost 0.8%, $Ben_1$: Bentonite 0.75%, $Ben_2$: Bentonite 1.5%, $Z_1$: Zeolite 0.75%, $Z_2$: Zeolite 1.5%. Similar letters, indicate a significant difference in the level of 5%).**

با توجه به این‌که میزان آهن در کمپوست زباله شهری در مقایسه با سایر اصلاحگرها بیش‌تر بوده و در نتیجه افزودن کمپوست زباله شهری به خاک سبب افزایش میزان آهن در خاک نسبت به سایر تیمارها می‌شود. رجایی و توکلی (۲۰۱٦) بیان کردند که خاک تیمار شده به‌وسیله کمپوست زباله شهری مقادیر بالای مس، آهن، روی و منگنز نشان داده که به دلیل وجود مقادیر بالای این عناصر در کمپوست زباله شهری بوده

است (٤٤). تن و همکاران (۲۰۱۱) بیان کردند که کاربرد کمپوست زباله شهری به سه علت باعث افزایش آهن قابل‌استفاده خاک شده است. اول آن‌که تجزیه مواد آلی در خاک باعث آزاد شدن اسیدهای آلی و کاهش pH خاک می‌شود که این فرآیند باعث افزایش جذب آهن و جلوگیری از رسوب آن شده است، دوم آن‌که مواد آلی موجود در خاک، یون‌های آهن را کلات کرده و از رسوب حفظ نموده‌اند، سوم این‌که کمپوست مصرفی دارای مقادیری آهن بوده که از میزان آهن موجود در سایر اصلاح‌کننده‌ها بیش‌تر می‌باشد (٤٨). تغییر در قابلیت استفاده عناصر غذایی کم‌مصرف در خاک تحت‌تأثیر ویژگی‌های مواد آلی خاک می‌باشد. با تجزیه مواد آلی، عناصر غذایی موجود در آن آزاد می‌شود (۹). در اثر تجزیه مواد آلی موجود در آن، pH خاک کم شده و در نتیجه آن غلظت عناصر غذایی به‌خصوص عناصر کم‌مصرف را در خاک افزایش می‌دهد (۱۰). مطالعات نشان داد که ماده آلی اضافه شده به خاک با تشکیل کمپلکس با فسفر، روی، آهن، منگنز و مس، باعث افزایش حلالیت این عناصر و از رسوب آن‌ها جلوگیری می‌نماید. هم‌چنین گزارش شده است کمپوست زباله شهری تأثیر معنی‌داری در سطح یک درصد بر میزان آهن و منگنز کل و قابل‌استخراج با DTPA داشته است (۲۹). با وقوع تنش خشکی در مرحله گلدهی، میزان آهن قابل‌جذب خاک افزایش یافت به‌طوری‌که تنش خشکی در سطح ۷۰٪ آن موجب افزایش بیش‌تر غلظت آهن خاک نسبت به سایر سطوح شده است که از نظر آماری نیز با سایر سطوح خشکی اختلاف معنی‌داری دارد (جدول۵).

**جدول ۵- اثر سطوح خشکی و تیمارهای اصلاح‌کننده بر میزان آهن قابل‌جذب خاک (میلی‌گرم در کیلوگرم) در مرحله گلدهی گیاه کینوا.**

**Table 5. Effect of drought levels and amendment treatments on soil available Fe (mg/kg) in flowering stage of quinoa plant.**

| $Z_2$ | $Z_1$ | $Ben_2$ | $Ben_1$ | $C_2$ | $C_1$ | $B_2$ | $B_1$ | Co | اصلاح‌کننده‌ها Amendments |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $10.51^{b}$ | $9.13^{bc}$ | $9.43^{b}$ | $8.79^{bc}$ | $11.80^{a}$ | $9.11^{bc}$ | $9.16^{bc}$ | $9.00^{bc}$ | $8.24^{c}$ | |
| D | | C | | B | | A | | | سطوح خشکی Drought levels |
| $10.13^{a}$ | | $9.27^{bc}$ | | $8.78^{bc}$ | | $8.33^{c}$ | | | |

در هر ردیف میانگین‌هایی که دارای حرف یا حروف مشترک هستند دارای تفاوت آماری در سطح ۵ درصد نمی‌باشند.

Means with the same letter or letters in each row are not significantly different at probability levels of 5%.

به‌نظر می‌رسد در تنش خشکی ۷۰ درصد میزان جذب آهن به‌وسیله گیاه کاهش یافته و در نتیجه میزان آهن در خاک افزایش یافته است. میزان آهن مرحله گلدهی تحت‌تأثیر تیمار اصلاح‌کننده نیز قرار گرفت. به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان آهن قابل‌جذب در تیمارهای ۰/۸٪ کمپوست زباله شهری و ۱/۵٪ زئولیت و کم‌ترین آن در تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۵). مرجوی و مشایخی (۱۳۹۸) بیان کردند که مصرف کمپوست زباله شهری میزان آهن، مس و روی را در خاک افزایش می‌دهد (۳۵).

با توجه به جدول ٤ ملاحظه می‌شود که در مرحله ٤ برگی، سطوح خشکی در سطح یک درصد و اصلاح‌کننده‌های خاک در سطح پنج درصد تأثیر معنی‌داری بر میزان منگنز قابل‌جذب خاک داشته‌اند.

هم‌چنین سطوح خشکی و اصلاح‌کننده‌های خاک تأثیر معنی‌داری در سطح پنج درصد بر میزان منگنز قابل‌جذب خاک در مرحله گلدهی داشته‌اند. در مرحله برداشت کینوا نیز سطوح خشکی در سطح پنج درصد و اصلاح‌کننده‌ها در سطح پنج درصد تأثیر معنی‌داری را بر میزان منگنز قابل‌جذب خاک ایجاد کرده‌اند.

میزان منگنز خاک در هر سه مرحله نمونه‌برداری خاک، تحت‌تأثیر سطوح خشکی قرار گرفت. بیش‌ترین میزان منگنز قابل‌جذب خاک در هر سه مرحله نمونه‌برداری خاک در شرایط خشکی شدید (D) به ترتیب به مقادیر ۱۵/۷۲، ۱٤/٥٦، ۱۳/٦٦ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک و کم‌ترین آن از تنش ملایم (A) به‌دست آمد (جدول ٦).

**جدول ٦- اثر سطوح خشکی و تیمارهای اصلاح‌کننده بر میزان منگنز قابل‌جذب خاک (میلی‌گرم در کیلوگرم) در مراحل مختلف رشد گیاه کینوا.**

**Table 6. Effect of drought levels and amendment treatments on soil available Mn (mg/kg) in different stages of growth of quinoa plant.**

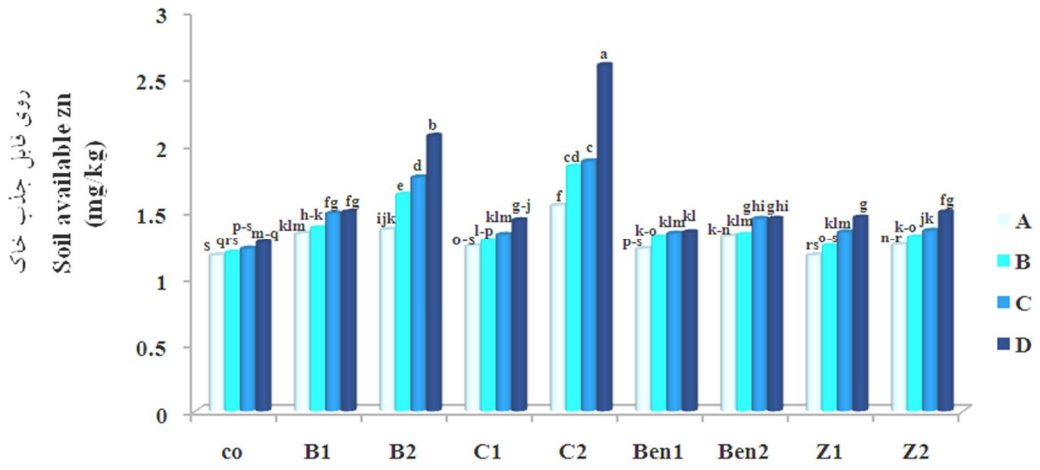
| III | II | I | تیمار |
|---|---|---|---|
| | | اصلاح‌کننده‌های آلی و معدنی Organic and mineral amendments | |
| $11.27^{d}$ | $12.33^{d}$ | $13.23^{d}$ | Co |
| $12.43^{abcd}$ | $13.30^{abcd}$ | $14.27^{abcd}$ | $B_1$ |
| $14.06^{a}$ | $14.78^{a}$ | $15.73^{a}$ | $B_2$ |
| $12.64^{abcd}$ | $13.43^{abcd}$ | $14.40^{abcd}$ | $C_1$ |
| $13.88^{ab}$ | $14.69^{ab}$ | $15.56^{ab}$ | $C_2$ |
| $12.27^{abcd}$ | $12.88^{bcd}$ | $13.86^{bcd}$ | $Ben_1$ |
| $12.58^{abcd}$ | $14.47^{abc}$ | $14.63^{abcd}$ | $Ben_2$ |
| $12.39^{abcd}$ | $12.63^{cd}$ | $13.61^{cd}$ | $Z_1$ |
| $13.84^{abc}$ | $13.66^{abcd}$ | $15.42^{abc}$ | $Z_2$ |
| | | سطوح خشکی Drought levels | |
| $12.53^{b}$ | $13.23^{b}$ | $14.02^{b}$ | A |
| $12.56^{b}$ | $13.25^{b}$ | $14.04^{b}$ | B |
| $12.51^{b}$ | $13.27^{b}$ | $14.32^{b}$ | C |
| $13.66^{a}$ | $14.56^{a}$ | $15.72^{a}$ | D |

I: مرحله ٤ برگی شدن، II: مرحله گلدهی، III: مرحله برداشت گیاه. در هر ستون و ردیف میانگین‌هایی که دارای حرف یا حروف مشترک هستند دارای تفاوت آماری در سطح ۵ درصد نمی‌باشند.

Means with the same letter or letters in each row are not significantly different at probability levels of 5%.

در شرایط تنش شدید رطوبتی میزان جذب منگنز به‌وسیله گیاه کاهش پیدا کرده و در نتیجه میزان منگنز در خاک افزایش یافته است. از بین تیمارهای مختلف اصلاح‌کننده، تیمار آلی ۰/۸٪ بیوچار در تمام مراحل نمونه‌برداری بیش‌ترین میزان منگنز قابل‌جذب خاک را ایجاد کردند (جدول ٦). بیوچار نسبت به سایر اصلاحگرها حاوی مقدار بالای منگنز بوده و در نتیجه مقدار منگنز بیش‌تری را به خاک اضافه کرده است. هم‌چنین می‌توان بیان نمود که افزایش غلظت منگنز قابل‌جذب خاک در اثر کاربرد بیوچار، علاوه بر ارتباط با مقادیر قابل‌ملاحظه این فلز در بیوچار، به تجزیه مواد آلی موجود در اصلاح‌گر و در نتیجه تولید

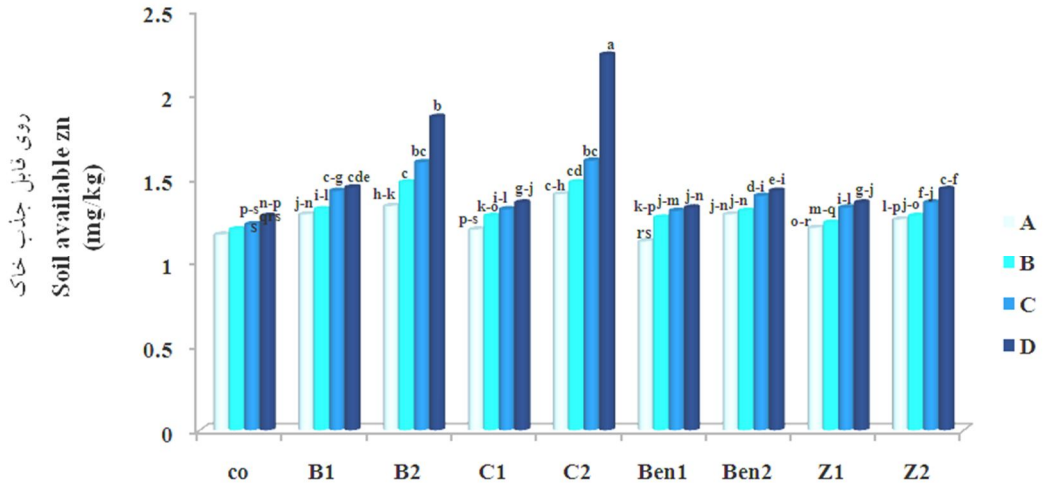
اسیدهای آلی و گاز دی اکسیدکربن که منجر به افزایش اسید کربنیک خاک می‌گردد، نیز مرتبط می‌باشد که در نهایت با کاهش pHخاک می‌تواند بر قابلیت جذب عناصر کم‌مصرف مانند منگنز اثر بگذارد (۱۶). با کاربرد بیوچار و افزایش مقدار مصرف آن در مرحله ٤ برگی، مقدار منگنز قابل‌جذب خاک افزایش یافت. چن و همکاران (۲۰۱۱) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. لنتز و اپولیتو (۲۰۱۲) در پژوهشی در شمال مرکزی آیداهو بر خاک نشان دادند از بین اصلاح کننده های آلی از جمله بیوچار، کود حیوانی و مخلوط بیوچار و کود حیوانی تنها بیوچار سبب افزایش غلظت منگنز قابل‌جذب در خاک شده است. ساختار متخلل بیوچار سبب سطح ویژه زیاد آن و در خاک باعث افزایش ظرفیت نگهداری خاک می‌گردد. علاوه بر این بیوچار، ظرفیت ماندگاری مواد مغذی را در خاک بهبود می‌دهد و از آبشوئی آن‌ها در محیط خاک جلوگیری می‌نماید. علت این موضوع می‌تواند دو مورد باشد؛ اول این‌که مواد مغذی در منافذ کربنی شده به دام می‌افتد و دوم این که اکسیداسیون زیستی آهسته باعث تولید گروه‌های کربوکسیل در حاشیه بیوچار می‌شود که ظرفیت نگهداری مواد مغذی را افزایش می‌دهد (٤٦). پژوهش‌های انجام شده در این زمینه نشان می‌دهد که بیوچار میزان منگنز را نسبت به کمپوست و شاهد در خاک افزایش داده است (۳۳، ۳۹). در مراحل ٤ برگی و گلدهی کینوا، میزان روی قابل‌جذب خاک به‌طور معنی‌داری تحت‌تأثیر تیمارهای خشکی، اصلاح‌کننده‌ها و اثر متقابل این عوامل در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت. در مرحله سوم نمونه‌برداری سطوح خشکی و اصلاح‌کننده‌ها اثر معنی‌داری در سطح یک درصد بر میزان روی خاک داشتند (جدول ٤). اعمال تنش خشکی و افزایش سطح آن از ملایم (۲۵٪) به شدید (۷۵٪) در تمام دوره‌های نمونه‌برداری خاک باعث افزایش میزان روی قابل‌جذب خاک شده است (شکل ۱۰).




**شکل ۱۰- اثر متقابل سطوح خشکی در کاربرد مقادیر مختلف اصلاح‌کننده‌های خاک بر میزان روی قابل‌جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم) خاک در مراحل ٤ برگی گیاه کینوا (A: تخلیه ۲۵ درصد آب قابل‌استفاده، B: تخلیه ٤۰ درصد آب قابل‌استفاده، C: تخلیه ۵۵ درصد آب قابل استفاده، D: تخلیه ۷۰ درصد آب قابل استفاده. $C_0$: شاهد، $B_1$: بایوچار ۰/٤٪، $B_2$: بایوچار ۰/۸٪، $C_1$: کمپوست ۰/٤٪، $C_2$: کمپوست ۰/۸٪، $Ben_1$: بنتونیت ۰/۷۵٪، $Ben_2$: بنتونیت ۱/۵٪، $Z_1$: زئولیت ۰/۷۵٪، $Z_2$: زئولیت ۱/۵٪. حروف مشابه، نشان‌دهنده عدم اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد).**

**Figure 10. Interaction of drought levels in application of different amounts of soil amendments on soil available Zn (mg/kg) in four-leaf stage of quinoa plant (A: discharge of 25 % available water, B: discharge of 40% available water, C: discharge of 55% available water and discharge of 70% available water. $C_0$: Control, $B_1$: Biochar 0.4%, $B_2$: Biochar 0.8%, $C_1$: Compost 0.4%, $C_2$: Compost 0.8%, $Ben_1$: Bentonite 0.75%, $Ben_2$: Bentonite 1.5%, $Z_1$: Zeolite 0.75%, $Z_2$: Zeolite 1.5%. Similar letters, indicate a significant difference in the level of 5%).**

با افزایش رطوبت، میزان رشد گیاه و درنتیجه جذب روی به وسیله گیاه افزایش یافته و متعاقباً میزان روی خاک کاهش یافته است. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل خشکی و اصلاح‌کننده‌های خاک نشان داد که بیش‌ترین میزان روی قابل‌جذب خاک در مرحله ٤ برگی و گلدهی کینوا، تحت شرایط خشکی شدید از تیمار آلی ۰/۸٪ کمپوست ترتیب ۲/٦۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک برای مرحله ٤ برگی و ۲/۲٤ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک برای مرحله گلدهی به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارهای آزمایش داشته است (شکل‌های ۱۰ و ۱۱). اصلاح‌کننده‌های آلی سبب افزایش مقدار روی قابل‌استفاده در خاک می‌شوند زیرا مقدار این عنصر در این اصلاح‌کننده‌ها بالا بوده و هم‌چنین از طریق تشکیل اسیدهای آلی و افزایش اسید کربنیک و نهایتاً کاهش اسیدیته خاک قابلیت جذب عناصر کم‌مصرف مانند روی را در خاک افزایش می‌دهند (۳۰، ٤۸).




**شکل ۱۱- اثر متقابل سطوح خشکی در کاربرد مقادیر مختلف اصلاح‌کننده‌های خاک بر میزان روی قابل‌جذب خاک (میلی‌گرم در کیلوگرم) در مرحله گلدهی گیاه کینوا (A: تخلیه ۲۵ درصد آب قابل‌استفاده، B: تخلیه ٤۰ درصد آب قابل‌استفاده، C: تخلیه ۵۵ درصد آب قابل‌استفاده، D: تخلیه ۷۰ درصد آب قابل‌استفاده. $C_0$: شاهد، $B_1$: بایوچار ۰/٤٪، $B_2$: بایوچار ۰/۸٪، $C_1$: کمپوست ۰/٤٪، $C_2$: کمپوست ۰/۸٪، $Ben_1$: بنتونیت ۰/۷۵٪، $Ben_2$: بنتونیت ۱/۵٪، $Z_1$: زئولیت ۰/۷۵٪، $Z_2$: زئولیت ۱/۵٪. حروف مشابه، نشان‌دهنده عدم اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد).**

**Figure 11. Interaction of drought levels in application of different amounts of soil amendments on soil available Zn (mg/kg) flowering stage of quinoa plant (A: discharge of 25 % available water, B: discharge of 40% available water, C: discharge of 55% available water and discharge of 70% available water. $C_0$: Control, $B_1$: Biochar 0.4%, $B_2$: Biochar 0.8%, $C_1$: Compost 0.4%, $C_2$: Compost 0.8%, $Ben_1$: Bentonite 0.75%, $Ben_2$ :Bentonite 1.5%, $Z_1$: Zeolite 0.75%, Z2: Zeolite 1.5%. Similar letters, indicate a significant difference in the level of 5%).**

نتایج به‌دست آمده با گزارش سایر پژوهشگران نیز مطابقت دارد به‌عنوان مثال اینال و همکاران (۲۰۱۵) بیان کردند که کاربرد سطوح ۲/۵، ۵، ۱۰ و ۲۰ گرم در کیلوگرم بیوچار فراهمی عناصر روی، منگنز و مس را افزایش داد (۲۱). هم‌چنین اپولیتو و همکاران (۲۰۱۵) بیان کردند که کاربرد ۱۰ درصد بیوچار همراه با ۲ درصد کود دامی سبب افزایش مقدار روی قابل‌استفاده گردید (۲۲). لیم و همکاران نیز (۲۰۱٦)

بیان کردند که کاربرد اصلاح‌کننده‌های آلی مانند بیوچار و کمپوست منجر به اصلاح خاک و افزایش عناصر غذایی خاک می‌شود (۳۰). با توجه به جدول ۷ بیش‌ترین میزان روی قابل‌جذب خاک در مرحله برداشت کینوا، ۱/٦۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم است که از تیمار ۰/۸٪ کمپوست به‌دست آمد.

**جدول ۷- اثر سطوح خشکی و تیمارهای اصلاح‌کننده بر میزان روی قابل‌جذب خاک (میلی‌گرم در کیلوگرم) در مرحله برداشت گیاه کینوا.**

**Table 7. Effect of drought levels and amendment treatments on soil available Zn (mg/kg) in harvest stages of quinoa plant.**

| $Z_2$ | $Z_1$ | $Ben_2$ | $Ben_1$ | $C_2$ | $C_1$ | $B_2$ | $B_1$ | Co | اصلاح‌کننده‌ها amendments |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $1.27^{bc}$ | $1.21^{d}$ | $1.26^{bc}$ | $1.17^{e}$ | $1.67^{a}$ | $1.35^{b}$ | $1/31^{b}$ | $1.24^{ac}$ | $1.10^{f}$ | |
| D | | C | | B | | | A | | سطوح خشکی Drought levels |
| $1.30^{a}$ | | $1.26^{ab}$ | | $1.21^{bc}$ | | | $1.15^{c}$ | | |

در هر ردیف میانگین‌هایی که دارای حرف یا حروف مشترک هستند دارای تفاوت آماری در سطح ۵ درصد نمی‌باشند.

Means with the same letter or letters in each row are not significantly different at probability levels of 5%.

مانیراکیزا و سکر (۲۰۲۰) مشاهده کردند که کاربرد کمپوست میزان روی را در خاک به‌طور معنی‌داری نسبت بیوچار و شاهد افزایش داده است (۳۳). حمیدپور و همکاران (۲۰۱۲) با افزایش میزان کمپوست، افزایش قابل‌توجهی را در غلظت روی در خاک مشاهده نمودند (١٦). وارمن و همکاران (۲۰۰۹) بیان کردند که با افزایش سطوح کمپوست زباله شهری، مقدار روی، مس،آهن و منگنز قابل‌جذب به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (۵۲). مشابه این نتایج توسط کربونل و همکاران (۲۰۱۱)، هارگریوز و همکاران (۲۰۰۸) و ژانگ و همکاران (۲۰۰٦) نیز گزارش شده است (٤، ۱۸، ۵۷).

## نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که با افزایش سطوح تنش خشکی از ۲۵٪ (شاهد) به ۷۰٪ (تنش شدید) میزان عناصر غذایی قابل‌جذب خاک شامل فسفر، پتاسیم، مس، آهن، منگنز و روی افزایش یافت ولی با افزایش رشد گیاه از مرحله ٤ برگی شدن تا مرحله برداشت گیاه، با رشد و توسعه گیاه و جذب عناصر خاک از طریق ریشه، میزان عناصر فوق در خاک کاهش نشان داد. با این‌حال، اصلاح خاک از طریق مواد آلی و معدنی توانست عامل جبران تأثیر منفی خشکی بر عناصر غذایی خاک در مراحل مختلف رشد گیاه باشد. از طرفی با کاربرد اصلاح‌کننده‌های آلی بیوچار و کمپوست زباله شهری افزایش معنی‌دار مس، آهن، منگنز و روی قابل‌جذب خاک مشاهده شد و این افزایش نشان‌دهنده پتانسیل این اصلاح‌کننده‌ها در برطرف نمودن کمبود این عناصر در شرایط خشکی در خاک می‌باشد و هم‌چنین مصرف اصلاح‌کننده‌های آلی (بیوچار کاه و کلش برنج و کمپوست زباله شهری) در مقایسه با اصلاح‌کننده‌های معدنی (بنتونیت و زئولیت) منجر به تجمع بیش‌تر عناصر غذایی قابل‌جذب خاک شدند. بنابراین چنین نتیجه‌گیری می‌شود که جهت افزایش میزان عناصر غذایی خاک در مراحل مختلف رشد گیاه از مرحله چهاربرگی شدن تا برداشت دانه، در شرایط استرس خشکی، مصرف کمپوست زباله شهری و بیوچار به مراتب بهتر از کاربرد زئولیت و بنتونیت تأثیرگذار بوده است. البته زئولیت و بنتونیت نیز با اثری که بر میزان نگهداشت رطوبت خاک داشته‌اند، توانستند اثرات تنش‌های خشکی روی عناصر غذایی خاک را کاهش دهند.

## منابع


1. Agegnehu, G., Bass, A.M., Nelson, P.N., and Bird, M.I. 2016. Benefits of biochar, compost and biochar–compost for soil quality: maize yield and greenhouse gas emissions in a tropical agricultural soil. Science of the Total Environment. 543: 295-306.
2. Bangroo, S.A., Kirmani, N.K., Ali, T., Wani, M.A., Bhat, M.A., and Bhat, M.I. 2011. Adapting agriculture for enhancing eco-efficiency through soil carbon sequestration in agro-ecosystem. Journal of Research Agricultural in Sience. 2: 164-169.
3. Bender Ozenç, D. 2008. Growth and transpiration of tomato seedlings grown in Hazelnut Husk compost under water-deficit stress. Compost Science and Utilization. 16: 125-13.
4. Carbonell, G., Miralles de Imperial, R., Torrijos, M., Del gado, M., and Rodriguez, J.A. 2011. Effects of municipal solid waste compost and mineral fertilizer amendments on soil properties and heavy metals distribution in maize plants (*Zea mays* L.), Chemosphere. 85: 1614-1623.
5. Chintala, R., Mollinedo, J., Schumacher, T.E., Malo, D.D., and Julson, J.L. 2014. Effect of biochar on chemical properties of acidic soil. Archives of Agronomy and Soil Science. 60: 393-404.
6. Dabhi, R., Bhatt, N., and Pandit, B. 2013. Super absorbent polymersan innovative water saving technique for optimizing crop yield. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. 10: 5333-5340.
7. Deenik, J.L., McClellan, T., Uehara, G., Antal, M.J., and Campbell, S. 2010. Charcoal volatile matter content influences plant growth and soil nitrogen transformations. Soil Science Society of America Journal. 74: 1259-1270.
8. Dume, B., Mosissa, T., and Nebiyu, A. 2016. Effect of biochar on soil properties and lead (Pb) availability in a military camp in South West Ethiopia. African Journal of Environmental Science and Technology .10: 77-85.
9. Fellet, G., Marchiol, L., Vedove, G.D., and Peressotti, A. 2011. Application of biochar on mine tailings: Effects and perspectives for land reclamation. Chemosphere. 83: 1262-1267.
10. Fernandez-Luqueno, F., Reyes-Varela, V., Martinez-Suarez, C., Salomon-Hernandez, G., Yanez-Meneses, J., Ceballos-Ramerez, J.M., and Dendooven, L. 2010. Effect of different nitrogen sources on plant characteristics and yield of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Journal of Biotechnology and Bioresource Technology. 101: 396-403.
11. Foster, E.J., Neil Hansenc, B., Matt Wallenstein, B.D., and Cotrufoa, F. 2016. Biochar and manure amendments impact soil nutrients and microbial enzymatic activities in a semi-arid irrigated maize cropping system. Agriculture, Ecosystems and Environment. 233: 404-414.
12. Gharib, Z. 2014. Heavy elements in soil and wastewater. Journal of Scientific Research and Development. 1: 38-44.
13. Giancarla, V., Madosă, E., Şumălan, R., and Ciulca, S. 2012. Evaluation of some indirect indices to identify drought tolerance in barley. Journal of Horticulture, Forestry, and Biotechnology. 16: 239-241.
14. Gopal, M., Gupta, A., Hameed, K.S., Sathyaseelan, N., Rajeela, T.K., and Thomas, G.V. 2020. Biochars produced from coconut palm biomass residues can aid regenerative agriculture by improving soil properties and plant yield in humid tropics. Biochar. 2: 211-226.
15. Haefele, S.M., Konboon, Y., Wongboon, W., Amarante, S., Maarifat, A.A., and Pfeiffer, E.M. 2011. Effects and fate of biochar from rice residues in rice-based systems. Field Crops Research. 121: 430-40.
16. Hamidpour, M., Afyuni, M., Khadivi, E., Zorpas, A., and Inglezakis, V. 2012. Composted municipal waste effect on chosen properties of calcareous soil. International Agrophysics. 26: 365-374.

17.Harb, E.m.Z., and Mahmoud, M.A. 2009. Enhancing of Growth, Essential Oil Yleld and Components of Yarrow Plant (*Achillea millefolium*) Grown under safe agriculture conditions using zeolite and Compost. In:Proceedings of 4rd Conference on Recent Technologies in Agriculture, Giza, Egypt.
18.Hargreaves, J.C., Adl, M.S., and Warman, P.R. 2008. A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture Agriculture, Ecosystems and Environment. 123: 1-14.
19.Hirich, A., Choukr, R., and Jacobsen, S. 2013. The combined effect of deficit irrigation by treated wastewater and organic amendment on quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) productivity. Journal Desalination and Water Treatment. 25: 2208-2213.
20.Hosseini, M., Movahedi Naeini, S.A., and Bamri, A. 2015. The effect of different tillage methods on the amount of available potassium in soils with different extractants in a soil with high specific surface area. Water and Soil. 4: 966-979. (Translated in Persian)
21.Inal, A., Gunes, A., Sahin, O., Taskin, M.B., and 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: 106-113.
22.Ippolito, J.A., Spokas, K.A., Novak, J.M., Lentz, R.D., and Cantrell, K.B. 2015. Biochar elemental composition and factors influencing nutrient retention. P 138-164. In: L. Lehmann, and S. Joseph, (eds.). Biochar for Environmental Management, second ed. Routledge, Earthscan.
23.Iqbal, H., Yaning, C., Waqas, M., Rehman, H., Shareef, M., and Iqbal, S. 2018. Hydrogen peroxide application improves quinoa performance by affecting physiological and biochemical mechanisms under water-deficit conditions. Journal of Agronomy and Crop Science. 6: 541-53.
24.Islami, T., Guritno, B., Basuki, N., and Suryanto, A. 2011. Biochar for sustaining productivity of cassava based cropping systems in the degraded lands of East Java, Indonesia. Tropical Agriculture. 49: 40-46.
25.Jacobsen, S., Razzaghi, F., Alvarez-Flores, R., and Carrasco, K. 2015. Drought Responses and Adaptation. P 157-171. In: D. Bazile, D. Bertero and C. Nieto. (eds.). State of the Art Report of Quinoa in the World in 2013, FAO.
26.Kang, J., Hesterberg, D., and Osmond, D.L. 2008. Soil organic matter effects on phosphorus sorption: A path analysis. Soil Science Society of America Journal. 73: 360-366.
27.Karmaka, S., Lague, C., Agnew, J., and Landry, H. 2007. Integrated decision support system (DSS) for manure management. Computers and Electronics. 57: 190-201.
28.Lentz, R., and Ippo lito, J. 2012. Biochar and manure affect calcareous soil and corn silage nutrient concentrations and uptake. Journal of Environmental Quality. 41: 1033-1043.
29.Li, B.Y., Zhou, D.M., Cang, L., Zhang, H.L., Fan, X.H., and Qin, S.W. 2007. Soil micronutrient availability to crops as affected by long-term inorganic and organic fertilizer applications. Journal of Soil and Tillage Research. 96: 166-173.
30.Lim, S.L., Lee, L.H., and Wu, T.Y. 2016. Sustainability of using composting and vermicomposting technologies for organic solid waste biotransformation: recent overview, greenhouse gases emissions and economic analysis. Cleaner Production. 111: 262-278.
31.Lindsay, W.L., and Norvell, W.A. 1978. Development of a DTPA test for Zinc, Iron, manganese and copper. Soil Science Society of American Journal. 42: 421-428.
32.Malekian, A., Valizadeh, E., Dastoori, M., Samadi, S., and Bayat, V. 2012. Soil water retention and maize (*Zea mays* L.) growth as effected by different amounts of Pumice. Australian Journal of Crop Science. 6: 450-454.
33.Manirakiza, N., and Şeker, C. 2020. Effects of compost and biochar amendments on soil fertility and crop growth in a calcareous soil. Journal of Plant Nutrition. 20: 1-18.

34. Mkhabela, M.S., and Warman, P.R. 2005. The influence of municipal solid waste compost on yield, soil phosphorus availability and uptake by two vegetable crops grown in a Pugwash sandy loam soil in Nova Scotia. Agriculture, Ecosystems and Environment. 106: 57-67.
35. Marjovvi, A., and Mashayekhi, P. 2018. Effects of sewage sludge and municipal compost application on bio avaialability of soil nutrients in onion (*Allium cepa* L.) cultivation. Environmental Sciences. 17: 198-208. (In Persian)
36. Mensah, A.K., and Frimpong, K.A. 2018. Biochar and/or compost applications improve soil properties, growth, and yield of maize grown in acidic rainforest and coastal savannah soils in Ghana. International Journal of Agronomy. 7: 1-8.
37. Mukherjee, A., and Zimmerman, A.R. 2013. Organic carbon and nutrient release from a range of laboratory-produced biochars and biochar-soil mixtures. Geoderma. 194: 122-30.
38. Najafi-Ghiri, M., Abtahi, A., Owliaie, H.R., Hashemi, S.S., and Koohkan, H. 2011. Factors affecting potassium pools distribution in highly calcareous soils of southern Iran. Arid land Research and Management. 25: 313-327.
39. Najafi-Ghiri, M. 2014. The effect of using different biochar on some soil properties and the ability to absorb some nutrients in a calcareous soil. Journal of Soil Research (Soil and Water Sciences) 3: 352-358. (In Persian)
40. Najafi-Ghiri, M., and Boostani, H.R. 2017. Effect of application of crop and licorice root residues and their biochars on potassium status of a calcareous soil. Journal of water and soil conservation. 24: 77-93. (In Persian)
41. Omidvari, Sh., Fatehi, Sh., and Qaderi, J. 2019. The effect of municipal waste compost and chemical fertilizers on soil nutrient concentrations. Journal of Plant Production Research. 3: 137-151. (In Persian)
42. Olsen, S.R., and Sommers, L.E. 1990. Phosphorus. P 403-431. In: A.L. Page (ed), Method of soil analysis. Part 2. 2nd agron Monoger., ASA, Madison, WI.
43. Parichehre, M., SadeghZadeh, F., Bahmanyar, A.M., and Ghajar Sepanlu, M. 2017. Effects of Rice Straw and Dicer Biochars on Chemical Characteristics of Clay-Loam, Saline-Sodic Soil. Journal of Soil and Water Science. 4: 49-61. (In Persian)
44. Rajaie, M., and Tavakoly, A.R. 2016. Effects of municipal waste compost and nitrogen fertilizer on growth and mineral composition of tomato. International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture. 5: 339-347.
45. Rizwan, M., Ali, S., Ibrahim, M., Farid, M., Adrees, M., Bharwana, S.A., Rehman, M.Z., Qayyum, M.F., and Abbas, F. 2015. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of drought and salt stress in plants: a review. Environmental Science and Pollution Research. 22: 15416-15431.
46. Robbiani, Z. 2013. Hydrothermal carbonization of biowaste/fecal sludge. Lappeenranta University of Technology. 41: 1-71.
47. Shirmardi, M., and Tofighi, H. Effect of Organic Matter on Phosphorus Stabilization Kinetics in Several Different Soils. Iranian Soil and Water Research. 46: 567-577. (In Persian)
48. Tan, K.H. 2011. Principle of soil chemistry. 4th ed. CRC, Georgia, U.S.A. 390p.
49. Van Zwieten, L., Kimber, S., Morris, S., Chan, K., Downie, A., Rust, J., Joseph, S., and Cowie, A. 2010. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. Plant and Soil. 327: 235-246.
50. Wang, L., Xue, C., Nie, X., Liu, Y., and Chen, F. 2018. Effects of biochar application on soil potassium dynamics and crop uptake. Journal of Plant Nutrition and Soil Science. 181: 635-643.

51. Waraich, E.A., Ahmad, R.M., Saifullah, Y., and Ashraf, E. 2011. Role of mineral nutrition in alleviation of drought stress in plants. Australian Journal of Crop Science. 6: 764-777.
52. Warman, P.R., Burnham, J.C., and Eaton, L.J. 2009. Effects of repeated applications of municipal solid waste compost and fertilizers to three lowbush blueberry fields. Scientia Horticulturae. 122: 393-398.
53. Weber, J., Karczewska, A., Drozd, J., Licznar, M., Licznar, S., Jamroz, E., and Kocowicz, A. 2007. Agricultural and ecological aspects of a sandy soil as affected by the application of municipal solid waste composts. Soil Biology and Biochemistry. 39: 1294-1302.
54. Westeman, R.E.L. 1990. Soil testing and plant analysis. SSSA, Madison, Wisconsin, USA. 784p.
55. Xu, G., Wei, L.L., Sun, J.N., Shao, H.B., and Chang, S.X. 2013. What is more important for enhancing nutrient biochar availability with biochar application into a sandy soil: Direct or indirect mechanism. Ecological Engineering. 52: 119-124.
56. Zahoor, R., Dong, H., Abid, M., Zhao, W., Wang, Y., and Zhou, Z. 2017. Potassium fertilizer improves drought stress alleviation potential in cotton by enhancing photosynthesis and carbohydrate metabolism. Environmental and Experimental Botany. 137: 73-83.
57. Zhang, M., Heaney, D., Henriquez, B., Solberg, E., and Bittner, E. 2006. A four-year study on the influence of biosolids/MSW compost application in less productive soils in Alberta: nutrient dynamics. Compost Science and Utilization. 14: 68-80.
58. Zhang, A., Liu, Y., Pan, G., Hussain, Q., Li, L., Zheng, J., and Zhang, X. 2012. Effect of biochar amendment on maize yield and greenhouse gas emissions from a soil organic carbon poor calcareous loamy soil from Central China Plain. Plant and Soil. 351: 263-275.
59. Zhang, M., Fan, C.H., Li, Q.L., Li, B., Zhu, Y.Y., and Xiong, Z.Q. 2015. A 2-yr field assessment of the effects of chemical and biological nitrification inhibitors on nitrous oxide emissions and nitrogen use efficiency in an intensively managed vegetable cropping system. Agriculture, Ecosystems and Environment. 201: 43-50.
60. Zhang, M., Riaz, M., Liu, B., Xia, H., El-Desouki, Z., and Jiang, C. 2020. Two-year study of biochar: Achieving excellent capability of potassium supply via alter clay mineral composition and potassium-dissolving bacteria activity. Science of the Total Environment. 717: 1-12.

*J. of Soil Management and Sustainable Production, Vol. 11(2), 2021*
*http://ejsms.gau.ac.ir*
*DOI: 10.22069/ejsms.2021.18118.1960*

**(Research Full Paper)**

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

# The effect of some organic and mineral amendments on soil macronutrient and micronutrient under Quinoa cultivation in stress status (water)

**S. Rahimi Alashty[*1], M.A. Bahmanyar[2], M. Ghajar Sepanlou[3], F. Sadegh Zadeh[3] and A. Mokhtassi-Bidgoli[4]**

[1]Ph.D. Student, Dept. of Soil Science, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University,
[2]Professor, Dept. of Soil Science, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University,
[3]Associate Prof., Dept. of Soil Science, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University,
[4]Associate Prof., Dept. of Agronomy, Tarbiat Modares University

Received: 07.06.2020; Accepted: 02.14.2021

**Abstract**

**Background and Objectives:** In drought stress, in addition to inhibiting water uptake, the availability and uptake of various nutrients is also limited. Proper soil nutrition through the use of organic and inorganic modifiers is known as one of the soil management methods under various environmental stresses.the main objective of this research is to test the performance of concurrent application of amendents in field under qinoa.

**Materials and Methods:** In order to investigate the changes in the concentration of nutrients (phosphorus, potassium, copper, iron, manganese, zinc) in soil by application of organic amendments (rice straw biochar, municipal waste compost) and mineral amendments (bentonite and zeolite) under drought stress, a factorial experiment was conducted based on randomized complete block design with three replications in research greenhouse of faculty of agricultural, University of Tarbiat Modares in 2019. Organic amendments (biochar, compost) in 2 levels (0.4 and 0.8%) and mineral amendments (bentonite and zeolite) in 2 levels (0.75 aand 1.5%) were used and drought stress in 4 levels (discharge of 25% available water (control), 40%, 55% and 70% (servere stress) was applied to the soil, which was a total of 108 pots. Soil sampling was done in three stages four-leaf stage, flowering and harvesting of quinoa.

**Results:** The results showed that organic and mineral amendments under different levels of drought affected significantly on the P concentration (in four-leaf stage and flowering stage), K (in each three stages), Cu (in each three stages), Fe in four-leaf stage and available Zn in four-leaf stage and flowering stages of quinoa. With increasing drought levels, Application of organic and mineral amendments increased P, K, Cu, Fe, Mn and Zn in all three sampling stages. While the concentration of these elements in the first stage of sampling (four-leaf stage) was more than others.

**Conclusion:** The results showed that the application of four soil amendments increased the concentration of macro and micronutrient compared to control in drought stress status, but municipal waste compost at 0.8% level and then biochar at 0.8% level could provide the most suitable nutritional conditions in loam soil. Therefore, according to the results obtained in this experiment, based on the findings of this study, in drought stress conditions, the use of municipal waste compost and biochar compared to zeolite and bentonite is recommended to improve soil nutritional status.

***Keywords:*** Bentonite, Biochar, Compost, Drought Stress, Zeolite

* Corresponding Author; Email: sepideh.rahimy@yahoo.com