

اثر کاربرد بیوچارهای مختلف و مواد اولیه آن‌ها بر رشد گیاه ذرت و فراهمی پتاسیم در یک خاک آهکی

مجید فروهر^۱، * رضا خراسانی^۲، امیر فتوت^۳، حسین شریعتمداری^۴ و کاظم خاوازی^۵

دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشگاه فردوسی مشهد، مربی پژوهش بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران، ^۳دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه فردوسی مشهد، ^۴استاد گروه علوم خاک، دانشگاه صنعتی اصفهان، ^۵استاد بخش تحقیقات بیولوژی خاک مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۱۴

چکیده

سابقه و هدف: امروزه استفاده از بیوچار در مدیریت پایدار حاصلخیزی خاک به‌عنوان یک تفکر راهبردی چندمنظوره و سازگار با محیط‌زیست، توجه بسیاری از پژوهشگران را در سطح جهانی به خود معطوف کرده است. با توجه به اثرات بارز و در عین حال متفاوت مشاهده شده از بیوچارهای مختلف در افزایش کربن آلی خاک، غلظت قابل‌استفاده برخی عناصر غذایی و رشد گیاه، ضروری است قبل از استفاده گسترده از هر نوع بیوچاری، واکنش گیاه نسبت به آن، مورد بررسی قرار گیرد. در همین راستا در پژوهش حاضر تأثیر مصرف سه نوع بیوچار مختلف و مواد اولیه آن‌ها، بر فراهمی پتاسیم و رشد گیاه ذرت در خاک مورد مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: این پژوهش به‌صورت آزمایشگاهی و گلخانه‌ای در قالب دو طرح کاملاً تصادفی انجام شد. تیمارهای آزمایش در هردو بخش گلخانه‌ای و آزمایشگاهی عبارت بودند از شاهد (بدون مصرف ماده آلی)، کمپوست زباله شهری، لجن فاضلاب، کود گاوی و بیوچارهای آن‌ها. در بخش آزمایشگاهی، اثر تیمارها بر پتاسیم قابل‌استفاده خاک و پارامترهای کمیت-شدت پتاسیم بررسی شد. در بخش گلخانه‌ای، اثر تیمارها بر رشد گیاه، غلظت و جذب پتاسیم در گیاه مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از نتایج هر دو بخش، ارتباط بین پتاسیم قابل‌استفاده خاک با پارامترهای کمیت-شدت پتاسیم و روابط بین پارامترهای گیاهی با پتاسیم قابل‌استفاده خاک مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: در بین تیمارها، کود گاوی و بیوچار آن با ایجاد افزایش بیش‌تری در پارامترهای کمیت-شدت پتاسیم، سبب افزایش پتاسیم قابل‌استفاده خاک شدند. در حالی‌که لجن فاضلاب و بیوچار آن با ایجاد افزایش کم‌تری در پارامترهای کمیت-شدت پتاسیم، پتاسیم قابل‌استفاده خاک را به مقدار کم‌تری افزایش دادند. کمپوست زباله شهری و بیوچار آن از لحاظ تأثیر بر پارامترهای کمیت-شدت پتاسیم و ایجاد افزایش در پتاسیم قابل‌استفاده خاک، در بین این دو قرار داشتند. در مجموع، ترتیب کلی تیمارها از لحاظ افزایش فراهمی پتاسیم، به‌صورت زیر بود. ۱- بیوچار کود گاوی ۲- کود گاوی ۳- بیوچار کمپوست زباله شهری ۴- کمپوست زباله شهری ۵- بیوچار لجن فاضلاب و لجن فاضلاب،

* مسئول مکاتبه: khorasani@um.ac.ir

۶- شاهد. با این حال با توجه به وابستگی رشد گیاه به عوامل متعددی فراتر از پتاسیم قابل استفاده خاک، ترتیب تیمارها در بهبود شرایط رشد گیاه با ترتیب تیمارها در افزایش فراهمی پتاسیم، مطابقت نداشت. ترتیب برتری تیمارها در بهبود شرایط رشد گیاه و افزایش وزن خشک گیاه به صورت زیر استنتاج شد: ۱- کود گاوی ۲- بیوچار لجن فاضلاب و لجن فاضلاب ۳- بیوچار کمپوست زباله شهری ۴- بیوچار کود گاوی ۵- شاهد و کمپوست زباله شهری.

نتیجه گیری: با توجه به برتری بیوچار کمپوست زباله شهری نسبت به کمپوست زباله شهری از هر دو جنبه تأثیر بر فراهمی پتاسیم و تأثیر بر وزن خشک گیاه، می توان در شرایط مشابه آزمایش، مصرف بیوچار کمپوست زباله شهری را بر مصرف کمپوست زباله شهری ترجیح داد. با توجه به کاهش رشد گیاه در بیوچار کود گاوی نسبت به کود گاوی و در عین حال برتری بیوچار کود گاوی از لحاظ تأثیر بر فراهمی پتاسیم و با توجه به خصوصیات آن، به نظر می رسد که در مصرف بیوچار کود گاوی باید ملاحظاتی مانند شوری و موازنه عناصر غذایی با دقت بیشتری مورد توجه قرار گرفته و مدیریت شود. علی رغم تشابه بیوچار لجن فاضلاب با لجن فاضلاب در افزایش رشد گیاه و مقدار پتاسیم قابل استفاده، با توجه به بالاتر بودن ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم در این بیوچار و در نتیجه احتمال تداوم بیش تر تأمین پتاسیم قابل استفاده توسط آن، می توان در شرایط مشابه آزمایش، مصرف این بیوچار را بر مصرف لجن فاضلاب ترجیح داد.

واژه های کلیدی: بهسازهای آلی، کمپوست زباله شهری، کود گاوی، لجن فاضلاب

مقدمه

بیش تر کربن بیوچار را نسبت به کربن زیست توده و افزایش غلظت قابل استفاده برخی عناصر غذایی مانند فسفر و پتاسیم در خاک، می تواند چالش های زیست محیطی و بهداشتی مطرح در مصرف مستقیم برخی منابع آلی مانند کود دامی و لجن فاضلاب (نشر گازهای گلخانه ای، خطر وجود کلیفرم های مدفوعی، تخم انگل و انباشت تجمعی عناصر سنگین) را نیز مرتفع سازد (۱۹، ۲۳ و ۲۷). بیوچار ماده جامد غنی از کربن آلی است که می تواند از پیرولیز^۲ انواع مواد آلی حاصل شود. به عبارت دیگر بیوچار از تخریب حرارتی بسیاری از مواد آلی (زیست توده گیاهی، فضولات جانوری، لجن فاضلاب و ...) در شرایط نبود یا کمبود اکسیژن ایجاد می شود و در مقابل تجزیه میکروبی، ماندگاری چندین ساله پیدا می کند (۲۲). این ماده حاوی هیدروکربن های حلقوی متعدد با گروه های عاملی فراوان می باشد (۸، ۳۵ و ۳۸). بحران

بر اساس گزارش کمیته فنی خاک فائو (۲۰۱۵)، از دست رفتن کربن آلی خاک ها، کمبود عناصر غذایی و در مواردی سمیت آن ها، از مهم ترین فاکتورهای تهدیدکننده خاک ها در ارائه وظایف اکوسیستمی شان محسوب می شوند (۳۴). بیش از ۶۰ درصد از خاک های مناطق خشک و نیمه خشک ایران از لحاظ محتوای کربن آلی، فقیر محسوب می شوند. ۳۰ درصد از خاک ها نیز دچار کمبود پتاسیم هستند (۴۰). بنابراین در مدیریت خاک های کشاورزی کشور، توجه هم زمان به تأمین منابع آلی و عناصر غذایی، ضروری است. یکی از راهکارهای پیشنهادی برای مدیریت پایدار حاصلخیزی در چنین خاک هایی، استفاده از بیوچارهایی^۱ مانند بیوچارهای حاصل از کمپوست زباله شهری، لجن فاضلاب و کود دامی می باشد (۱۰). اتخاذ این استراتژی، علاوه بر بهره گیری از ماندگاری

ضمن گزارش تأثیر مثبت بعضی بیوچارهای حاصل از کود مرغی در افزایش عناصر غذایی فسفر و پتاسیم در یک خاک آهکی، بررسی تأثیر آن‌ها بر رشد گیاه را نیز پیشنهاد کردند (۴۶). فروهر و همکاران (۲۰۱۸) با مصرف بیوچارهای حاصل از کود گاوی، لجن فاضلاب و کمپوست زباله شهری در یک خاک آهکی، افزایش بارزی در مقدار فسفر و پتاسیم قابل استفاده گیاه مشاهده کردند و برای مصرف بیوچارهای مذکور، پژوهش بیش‌تری با تأکید بر رشد گیاه و بررسی روابط فراهمی عناصر غذایی پیشنهاد کردند (۹). عربی (۲۰۱۸) در ناحیه استپی یا نیمه‌خشک شمال‌شرق استان گلستان با کاربرد بیوچار حاصل از درختان جنگلی سپیدار شاهد افزایش عملکرد دانه و درصد روغن در سویا بود (۳). علی‌رغم پژوهش‌های پرشماری که اثر مثبت بیوچار را بر ویژگی‌های خاک و رشد گیاه تأیید می‌کند، مطالعاتی نیز نشان‌دهنده عدم تأثیر و یا تأثیر منفی بیوچار بر رشد گیاه و عملکرد محصول می‌باشد (۱، ۷، ۹، ۱۴، ۳۲، ۳۶، ۳۷، ۳۹ و ۴۴). این امر ناشی از این واقعیت است که نوع رفتار بیوچار در خاک و تأثیر آن بر رشد گیاه، بستگی به عواملی مانند نوع مواد اولیه، شرایط دمایی و اتمسفری محفظه تولید بیوچار، شرایط خاک و اقلیم، مقدار مصرف بیوچار و نوع گیاه دارد (۲۳ و ۲۹).

در اغلب پژوهش‌های انجام شده با بیوچار، به سه موضوع کم‌تر پرداخته شده است. اول این‌که بیوچارها اغلب منشأ گیاهی داشته‌اند و بیوچارهای دارای منشأ جانوری کم‌تر بررسی شده‌اند. دوم این‌که مقایسه تأثیر بیوچارها و مواد اولیه آن‌ها کم‌تر انجام شده است. سوم این‌که اغلب، مقدار قابل استفاده عناصر و رشد گیاه بررسی شده‌اند و شکل‌های مختلف یک عنصر و فراهمی آن کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به این سه موضوع و با توجه به فقدان پژوهش‌های کافی در مورد نوع رفتار بیوچارهای مختلف در خاک

تغییر اقلیم و لزوم تعدیل آن از یک طرف و تناسب بیوچار برای ماندگار کردن کربن ترسیب‌شده و تعدیل شدت تغییر اقلیم از طرف دیگر سبب شد که در دهه اول قرن حاضر (قرن بیست و یکم) پژوهش‌های زیادی در مورد بیوچار و مصرف آن در خاک در کشورهای اروپایی و مناطق حاره انجام شود. بسیاری از این مطالعات، نشان‌دهنده تأثیر مثبت انواع بیوچار بر مقدار قابل استفاده عناصر غذایی، باروری خاک، رشد گیاه و عملکرد محصول بودند (۵، ۱۱، ۱۷، ۱۸، ۲۰، ۳۱ و ۴۵). در سال‌های اخیر دامنه مطالعات در مورد مصرف بیوچارها علاوه بر خاک‌های اسیدی و شدیداً هوازده، به مناطق خشک و نیمه‌خشک و خاک‌های آهکی نیز گشوده شده است. در شرایط خاک‌های آهکی، مصرف بیوچارهای هریک از مواد کاه گندم و کود مرغی (۲۶)، کود مرغی (۱۷)، ضایعات آلی شهری (۴۲) و چوب ذرت (۲)، به ترتیب سبب افزایش مقدار فسفر و پتاسیم قابل استفاده و بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه ذرت، افزایش وزن خشک اندام هوایی و غلظت عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در گیاه ذرت، افزایش جذب پتاسیم و رشد گیاه ذرت و افزایش جذب پتاسیم و رشد گیاه گندم شدند. امین (۲۰۱۶) در مطالعه خود در یک خاک آهکی، اثر بیوچار حاصل از چوب ذرت را بر پارامترهای کمیت- شدت پتاسیم بررسی کرد. در گزارش این پژوهشگر اثر بیوچار مذکور بر پارامترهای کمیت- شدت پتاسیم معنی‌دار بود (۲). نجفی قیری و همکاران (۲۰۱۴) با مصرف ۵ نوع بیوچار تهیه شده از بقایای گیاهی مختلف در یک خاک آهکی، شاهد تأثیر مثبت بیوچار بر شکل‌های محلول و تبادلی پتاسیم بودند. آن‌ها پتانسیل بیوچارهای مذکور برای تامین پتاسیم در خاک‌های کشورمان را قابل توجه و درخور پژوهش بیش‌تری دانستند (۳۰). زلفی باوریانی و همکاران (۲۰۱۶)

پژوهش یکسان بود. بیوچارهای مورد استفاده در این پژوهش، در دستگاه مجهزی که به همین منظور ساخته شده بود، در شرایط یکسان دمایی (۴۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت) و در حضور جریان مداومی از گاز N_2 تولید شده بودند. در طول مدت پیرولیز، دما و اتمسفر محفظه پیرولیز به دقت کنترل شد. مایعات و بخارات حاصل از پیرولیز به‌طور کامل به بیرون از محفظه هدایت شد و به این ترتیب از رسوب کردن و اختلاط آن‌ها با بیوچارهای در حال شکل‌گیری ممانعت شد (۹). خاک مورد استفاده در هر یک از بخش‌های آزمایشگاهی و گلخانه‌ای پژوهش، از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری از اراضی زراعی مرکز تحقیقات کشاورزی خراسان رضوی با مشخصات جغرافیایی ۳۶/۲۱۰۵۸ درجه شمالی و ۵۹/۶۴۳۹۶ درجه شرقی برداشت شده بود.

و تأثیر آن‌ها بر رشد گیاه در شرایط خاک‌های آهکی کشور، پژوهش حاضر، شکل گرفت. در این مطالعه، تأثیر سه نوع بیوچار حاصل از کود گاوی، لجن فاضلاب و کمپوست زباله شهری در مقایسه با مواد اولیه آن‌ها، بر رشد گیاه ذرت، غلظت، جذب و فراهمی پتاسیم، مورد بررسی قرار گرفت. در بررسی فراهمی پتاسیم، علاوه بر پتاسیم قابل استفاده، شکل‌های مختلف پتاسیم نیز با استفاده از روابط کمیت- شدت پتاسیم تعیین و تغییرات آن‌ها تحت تأثیر تیمارها مورد مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در دو بخش مجزای آزمایشگاهی و گلخانه‌ای انجام شد. مشخصات خاک مورد مطالعه (جدول ۱) و تیمارها (جدول ۲) در هر دو بخش

جدول ۱- مشخصات خاک مورد آزمایش.

Table 1. Some characteristics of the soil.

اسیدیته گل اشباع pH	هدایت الکتریکی عصاره اشباع EC ($dS m^{-1}$)	رطوبت ظرفیت مزرعه FC (%)	رطوبت اشباع SP (%)	کربن آلی OC (%)	نیترژن کل TN (%)	فسفر قابل استفاده Available P ($mg kg^{-1}$)	پتاسیم قابل استفاده Available K ($mg kg^{-1}$)	آهک معادل TNV (%)	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	بافت texture SCL
8	1	12.2	24.3	0.23	0.04	6.3	76	16	72	7	21	SCL

جدول ۲- برخی از خصوصیات مواد اولیه و بیوچارهای مورد استفاده در آزمایش.

Table 2. Some characteristics of biochars and their feedstock.

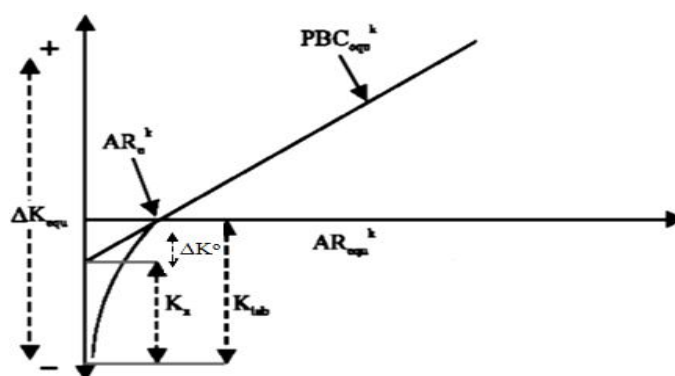
اسیدیته سوسپانسیون ۱:۵ pH 1:5	هدایت الکتریکی عصاره ۱:۵ EC1:5 ($dS m^{-1}$)	کربن آلی OC (%)	نیترژن کل total N (%)	فسفر کل total P (%)	پتاسیم کل total K (%)	ماده اولیه و بیوچار Feedstock and biochars
7.4	9.36	10.3	1.37	0.44	0.56	کمپوست زباله شهری Municipal Waste Compost (MWC)
8.8	9.5	11	1.09	0.58	0.72	بیوچار کمپوست زباله شهری Biochar of MWC (BMWC)
7.5	3.37	12.9	1.87	0.58	0.11	لجن فاضلاب شهری Sewage Sludge (SS)
7.8	3.68	15.2	1.52	0.59	0.11	بیوچار لجن فاضلاب Biochar of SS(BSS)
8.3	22.8	25.8	1.94	0.91	2.46	کود گاوی Cow Manure(CM)
10.5	40.6	28.7	1.79	1.02	2.89	بیوچار کود گاوی Biochar of C M (BCM)

با آمونیوم استات یک نرمال) و پارامترهای کمیت- شدت پتاسیم اندازه‌گیری شد. این پارامترها عبارت بودند از نسبت فعالیت در حال تعادل پتاسیم ($ARKe$)، پتاسیم به سهولت قابل تبادل (ΔK^0)، پتاسیم به سختی قابل تبادل که در واقع بخشی از پتاسیم غیر تبدلی است که قابلیت تبدیل به فرم تبدلی را دارد (Kx)، پتاسیم قابل دسترس (K_L) یا مجموع ΔK^0 و Kx) و ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم (PBC^K). برای آزمایش Q/I (کمیت- شدت)، غلظت‌های صفر، $0/1$ ، $0/2$ ، $0/4$ ، $0/8$ ، $1/6$ ، $2/4$ و $3/2$ میلی‌مولار پتاسیم (از نمک پتاسیم کلراید) در محلول $0/002$ مولار کلسیم (از نمک کلسیم کلراید) تهیه شدند (۴، ۶، ۱۵). ۲۵ میلی‌لیتر از هر یک از غلظت‌های مذکور به نمونه‌های $2/5$ گرمی از هر خاک (در سه تکرار) اضافه شد و به مدت ۲ ساعت در دمای 25 درجه سانتی‌گراد آزمایشگاه تکان داده شد. پس از ۵ دقیقه سانتریفیوژ کردن با دور 3000 دور در دقیقه، قابلیت هدایت الکتریکی محلول صاف رویی به وسیله دستگاه هدایت‌سنج و غلظت کلسیم و کلسیم + منیزیم آن، به روش تیتراسیون با EDTA (۲۵) و غلظت پتاسیم آن به روش طیف‌سنجی نشر اتمی، اندازه‌گیری شد. تغییر در پتاسیم تبدلی (ΔK)، از تفاوت غلظت پتاسیم در محلول اولیه و محلول تعادلی به دست آمد. برای محاسبه نسبت فعالیت پتاسیم، با استفاده از فرمول تجربی $I = 0.013EC$ (لیندزی، ۱۹۷۹)، قدرت یونی محلول (I) محاسبه شد و پس از آن، ضرایب فعالیت یون با استفاده از معادله توسعه‌یافته دبای‌هاکل، محاسبه و با ضرب غلظت در ضریب فعالیت، فعالیت یون‌های مورد نظر تعیین شد (۲۴). سپس با استفاده از رابطه زیر، فاکتور شدت یا نسبت فعالیت پتاسیم (ARK) محاسبه شد. $ARK = \frac{aK}{(aCa+Mg)^{\frac{1}{2}}}$ با رسم تغییرات مقدار پتاسیم جذب‌شده یا آزادشده در مقابل نسبت فعالیت پتاسیم برای هر خاک، نمودار کمیت

بخش آزمایشگاهی: برای بررسی تأثیر تیمارها بر فراهمی پتاسیم و یافتن بخشی از دلایل تغییرات پتاسیم قابل‌استفاده، از طریق بررسی تغییرات شکل‌های مختلف پتاسیم و همچنین برای بررسی ارتباط بین تغییرات پتاسیم قابل‌استفاده خاک با رشد گیاه، غلظت و جذب پتاسیم، بخش آزمایشگاهی پژوهش شکل گرفت و به صورت طرح کاملاً تصادفی با ۷ تیمار و سه تکرار انجام شد. برای تعیین شکل‌های مختلف پتاسیم، از روابط کمیت- شدت پتاسیم استفاده شد. تیمارهای آزمایش در این بخش نیز عبارت بودند از: شاهد (بدون مصرف ماده آلی)، کمپوست زباله شهری (کارخانه تولید کمپوست زباله شهری شهرداری مشهد)، بیوجار کمپوست زباله شهری، لجن فاضلاب مشهد (تصفیه‌خانه اولنگ)، بیوجار لجن فاضلاب، کود گاوی و بیوجار کود گاوی. مقدار مصرف هر یک از تیمارها، یک درصد وزن خاک بود. نمونه‌های 800 گرمی از خاک مورد آزمایش (جدول ۱) که قبلاً هوا خشک شده و از الک 2 میلی‌متری عبور کرده بودند، به دقت توزین شدند. هر نمونه با یکی از تیمارها به خوبی مخلوط شد. هر یک از مخلوط‌ها به قوطی‌های پلاستیکی 1 لیتری درب‌دار منتقل شدند (روی درب هر قوطی سه سوراخ برای تهویه، تعبیه شده بود). با توجه به تعداد ۷ تیمار ذکر شده و در نظر گرفتن سه تکرار برای هر تیمار، تعداد کل قوطی‌ها یا واحدهای آزمایشی ۲۱ عدد بود. رطوبت شاهد و تیمارها به حد ظرفیت مزرعه (FC) رسانده شد و پس از بستن درب قوطی‌ها، به مدت ۲ ماه در شرایط انکوباتور (دمای 25 درجه سانتی‌گراد) نگهداری شدند. در طول این مدت، رطوبت خاک داخل قوطی‌ها هر سه روز یکبار بررسی و در حد FC تنظیم شد. در پایان دوره انکوباسیون، خاک هر یک از ۲۱ قوطی به طور جداگانه هوا خشک شد و در آن‌ها پتاسیم قابل‌استفاده (قابل عصاره‌گیری

عمودی، نشان‌دهنده K_L ، فاصله بین تقاطع قسمت غیرخطی با محور عمودی و تقاطع امتداد قسمت خطی با محور عمودی، یا تفاضل $K_L - \Delta K^0$ نشان‌دهنده K_X بود. مقایسه بین تیمارها از لحاظ تأثیر بر مقدار پتاسیم قابل‌استفاده و پارامترهای فراهمی پتاسیم، با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. هم‌چنین روابط همبستگی بین پتاسیم قابل‌استفاده و هر یک از پارامترهای کمیت شدت آن نیز مورد بررسی قرار گرفت.

به‌شدت پتاسیم حاصل شد. پارامترهای این نمودارها شامل پتاسیم به سهولت قابل تبادل، پتاسیم به سختی قابل تبادل، مجموع پتاسیم تبدلی، نسبت فعالیت پتاسیم در حال تعادل و ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم برای هر واحد آزمایشی مطابق شکل ۱، تعیین شد. شیب قسمت خطی این نمودار، نشان‌دهنده PBC^k ، محل برخورد قسمت خطی نمودار با محور افقی، نشان‌دهنده AR_{eq}^k ، محل برخورد امتداد قسمت خطی نمودار با محور عمودی، نشان‌دهنده ΔK^0 ، محل برخورد قسمت غیرخطی نمودار با محور



شکل ۱- نمونه‌ای از منحنی کمیت- شدت پتاسیم و پارامترهای آن.

Figure 1. A typical Q:I curve of potassium and its parameters.

پتاسیم، سایر عناصر غذایی بر اساس آزمایش خاک و توصیه‌های مبتنی بر آزمون خاک برای هر گلدان تامین شد. هر تیمار با خاک داخل یک گلدان، مخلوط شد. تعداد گلدان‌ها یا واحدهای آزمایشی با احتساب ۷ تیمار و سه تکرار، ۲۱ عدد بود. در هر گلدان ۵ بذر ذرت رقم ۷۰۴ سینگل کراس کاشته شد بعد از سبز شدن، در مرحله رشدی V2 تا V3 (دو برگگی تا سه‌برگی)، تعداد گیاهان در هر گلدان به ۲ گیاه کاهش داده شد. برای هر تیمار دو گلدان اضافی به‌منظور نمونه‌برداری خاک در طول دوره آزمایش و تعیین رطوبت آن و محاسبه مقدار آب لازم برای این‌که در حدامکان گیاه دچار تنش کم‌آبی نشود (رطوبت

بخش گلخانه‌ای: این بخش از پژوهش به‌صورت طرح کاملاً تصادفی با ۷ تیمار و سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش عبارت بودند از شاهد (بدون مصرف ماده آلی)، کمپوست زباله شهری (کارخانه تولید کمپوست زباله شهری شهرداری مشهد)، بیوجار کمپوست زباله شهری، لجن فاضلاب شهری (تصفیه‌خانه خین عرب مشهد)، بیوجار لجن فاضلاب، کود گاوی و بیوجار کود گاوی. مقدار مصرف هر یک از تیمارها، یک درصد وزن خاک بود. از خاک مورد آزمایش که هوا خشک شده و از الک ۶ میلی‌متری عبور کرده بود، نمونه‌های ۵ کیلوگرمی به‌دقت وزن شده و به داخل گلدان‌های ۶ لیتری منتقل شدند. به‌جز

مصرف لجن فاضلاب به دست آمد. مقایسه بیوچارها با مواد اولیه آن‌ها نشان داد که به جز بیوچار لجن فاضلاب، سایر بیوچارها پتاسیم قابل استفاده خاک را بیش از مواد اولیه خود افزایش دادند. در بین بیوچارها، بیوچار کود گاوی و در بین مواد اولیه، کود گاوی بیش‌ترین افزایش در پتاسیم قابل استفاده خاک را موجب شدند. افزایش پتاسیم تحت تأثیر هر یک از تیمارها نسبت به شاهد می‌تواند علاوه بر ورود مستقیم پتاسیم توسط تیمارها به خاک، ناشی از تأثیر تیمارها بر واکنش‌های رهاسازی پتاسیم خاک نیز باشد. به عنوان نمونه، با در نظر گرفتن محتوای پتاسیم بیوچار کود گاوی (جدول ۲)، مصرف یک درصد وزن خاک از آن، سبب اضافه شدن ۲۹۸ میلی‌گرم پتاسیم در هر کیلوگرم خاک می‌شود که با فرض قابل استفاده بودن کل آن و احتساب مقدار پتاسیم قابل استفاده خاک (۷۶ میلی‌گرم در کیلوگرم)، مقدار پتاسیم قابل استفاده تحت تأثیر این تیمار باید به ۳۷۳/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک برسد. این در حالی است که مقدار پتاسیم قابل استفاده تحت تأثیر این تیمار به ۴۶۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک رسیده است. بنابراین به نظر می‌رسد مصرف بیوچار کود دامی علاوه بر ورود مستقیم مقادیری از پتاسیم به خاک، سبب رهاسازی بخشی از پتاسیم از منابع خاکی آن از جمله پتاسیم موجود در ساختمان کانی‌ها نیز شده است. در مطالعات ونگ و همکاران (۲۰۱۸) نیز، مصرف بیوچار حاصل از بامبو، پتاسیم قابل استفاده خاک را نسبت به شاهد افزایش داد (۴۱). آن‌ها طی این پژوهش، گزارش کردند که بیوچار در افزایش فعالیت باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم (K-dissolving bacteria) تأثیر معنی‌داری داشت. این باکتری‌ها هوادیدگی کانی‌های حاوی پتاسیم را تسهیل می‌کنند (۴۱). ویدوواتی و آسناه (۲۰۱۴) با مصرف بیوچار در یک خاک اینسپتی‌سول فقیر از پتاسیم، افزایش ۱۸۴ درصدی در

خاک گلدان‌ها در هر تیمار از ۶۰ تا ۵۰ درصد گنجایش زراعی کم‌تر نشود) در نظر گرفته شد. بر اساس توزین‌های روزانه گلدان‌های اضافی، در این فاصله زمانی، رطوبت خاک گلدان‌ها به حدود ۶۰ تا ۵۰ درصد گنجایش زراعی می‌رسید. بنابراین هر ۴ تا ۵ روز، آبیاری گلدان‌ها تا رسیدن رطوبت خاک گلدان به حد گنجایش زراعی، انجام شد. ۶۰ روز بعد از سبز شدن، بوته‌های هر گلدان از محل طوقه قطع شدند. اندام هوایی و ریشه به دقت با آب مقطر شستشو داده شدند. سپس تا رسیدن به وزن ثابت، در آون تهویه‌دار و دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. وزن خشک اندام هوایی و ریشه گیاه، غلظت پتاسیم در اندام هوایی و ریشه گیاه، جذب یا محتوای پتاسیم در ریشه و اندام هوایی گیاه و محتوای پتاسیم کل گیاه، در هر تیمار تعیین شد. محتوای پتاسیم اندام هوایی گیاه از حاصلضرب وزن خشک اندام هوایی در غلظت پتاسیم آن حاصل شد. محتوای پتاسیم ریشه نیز از حاصلضرب وزن خشک ریشه در غلظت پتاسیم ریشه محاسبه شد. محتوای کل پتاسیم گیاه، از مجموع محتوای پتاسیم اندام هوایی و ریشه تعیین شد. آنالیز آماری داده‌ها برای بررسی اثر تیمارها بر پارامترهای اندازه‌گیری‌شده، با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۸/۱ انجام شد.

نتایج و بحث

پتاسیم قابل استفاده خاک: نتایج آزمون دانکن ($\alpha=0/05$) برای مقایسه اثر تیمارها بر مقدار پتاسیم قابل استفاده خاک نشان داد که مصرف هر یک از بیوچارها یا مواد اولیه آن‌ها سبب افزایش پتاسیم قابل استفاده خاک نسبت به شاهد شد (جدول ۳). بیش‌ترین افزایش در مقدار پتاسیم قابل استفاده خاک در اثر مصرف بیوچار کود گاوی حاصل شد، در حالی که کم‌ترین افزایش در مقدار این پارامتر در اثر

کرد. مطالعات دیگری نیز تأثیر بیوجار در افزایش پتاسیم قابل استفاده خاک را مورد تأیید قرار داده‌اند (۱۲، ۲۱ و ۲۸).

پتاسیم قابل استفاده خاک را گزارش کردند (۴۲). آمین (۲۰۱۶) نیز با مصرف بیوجار چوب بلال ذرت در مقادیر ۲۰، ۴۰ و ۶۰ تن در هکتار، افزایش معنی داری در مقدار پتاسیم محلول و قابل استفاده خاک ملاحظه

جدول ۳- اثر تیمارها بر پتاسیم قابل استفاده و پارامترهای کمیت- شدت پتاسیم در خاک (آزمون دانکن، $\alpha=0.05$).

Table 3. The effects of treatments on Kava and Q:I parameters of potassium (Duncan, $\alpha=0.05$).

ظرفیت بافری بالمقوه پتاسیم PBC ^K (Cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹ I ^{1/2} mmol ^{-1/2})	مجموع پتاسیم تبادلی K _L (Cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹)	پتاسیم به سختی قابل تبادل K _X (Cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹)	پتاسیم به سهولت قابل تبادل -ΔK ⁰ (Cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹)	نسبت فعالیت پتاسیم در حال تعادل ARKe (mmol I ⁻¹) ^{1/2}	پتاسیم قابل استفاده Kava (AAC) [*] (mg kg ⁻¹)	تیمار Treatment
1.58 ^b	0.144 ^d	0.133 ^d	0.012 ^d	0.0077 ^d	75.7 ^f	شاهد Ctr
1.61 ^b	0.26 ^c	0.154 ^{cd}	0.106 ^c	0.066 ^c	98 ^d	کمپوست زیاله شهری MWC
1.66 ^b	0.38 ^c	0.302 ^{bc}	0.078 ^c	0.047 ^c	108 ^c	بیوجار کمپوست زیاله شهری BMWC
1.65 ^b	0.34 ^c	0.308 ^{bc}	0.03 ^d	0.018 ^d	78 ^e	لجن فاضلاب شهری SS
1.85 ^a	0.306 ^c	0.278 ^{bcd}	0.031 ^d	0.017 ^d	79 ^e	بیوجار لجن فاضلاب شهری BSS
1.13 ^c	0.83 ^b	0.344 ^b	0.486 ^b	0.42 ^b	225 ^b	کود گاوی CM
0.95 ^d	2.7 ^a	1.62 ^a	1.1 ^a	1.16 ^a	465 ^a	بیوجار کود گاوی BCM

* پتاسیم قابل استفاده، عصاره‌گیری شده با استات آمونیوم ۱ نرمال دارای pH=۷.

در هر ستون، اعداد دارای حداقل یک حرف مشابه، در سطح احتمال ۵ درصد، تفاوت معنی داری با همدیگر ندارند.

* available K, Extracted by NH₄CH₃COO 1 N, pH=7.

In each column numbers with a similar letter are not different at alpha = 0.05.

مقایسه کود گاوی و بیوجار آن نشان داد که نسبت فعالیت پتاسیم در حال تعادل خاک در تیمار بیوجار کود گاوی به‌طور معنی داری بیش‌تر از این نسبت در تیمار کود گاوی بود. افزایش نسبت فعالیت پتاسیم تحت تأثیر کود گاوی و بیوجار آن در مقایسه با شاهد و سایر تیمارها می‌تواند علاوه بر ورود مستقیم مقادیری پتاسیم محلول توسط این دو تیمار به خاک و نیز تأثیر آن‌ها بر رهاسازی پتاسیم از منابع خاکی آن،

پارامترهای کمیت- شدت پتاسیم: به‌جز لجن فاضلاب و بیوجار آن، سایر تیمارها سبب افزایش معنی دار نسبت فعالیت پتاسیم در حال تعادل خاک (ARKe) نسبت به شاهد شدند (جدول ۳). کم‌ترین نسبت فعالیت پتاسیم در حال تعادل خاک در شاهد به مقدار $(\text{mmol I}^{-1})^{1/2}$ ۰/۰۷۷ و بیش‌ترین نسبت فعالیت پتاسیم در حال تعادل خاک در تیمار بیوجار کود گاوی به‌میزان $(\text{mmol I}^{-1})^{1/2}$ ۱/۱۶ مشاهده شد.

(۲۰۰۷)، نمونه‌های خاک تیمار شده با لجن فاضلاب مقدار پتاسیم به سهولت قابل تبادل کم‌تری نسبت به شاهد داشتند. این پژوهشگران بیان نمودند که احتمالاً مصرف لجن فاضلاب در خاک مذکور، به تغییر شکل پتاسیم به سهولت قابل تبادل به پتاسیم به سختی قابل تبادل کمک کرده است. در پژوهش انجام شده توسط آمین (۲۰۱۶) در یک خاک آهکی با بافت شنی، مصرف بیوجار چوب ذرت، سبب افزایش معنی‌داری در مقدار پتاسیم به سهولت قابل تبادل خاک شد. در پژوهش ایشان، مصرف هر یک از مقادیر ۲۰، ۴۰ و ۶۰ تن از بیوجار مذکور افزایش معنی‌دار ΔK^0 را، نسبت به شاهد در پی داشت.

مطابق نتایج آزمون دانکن ($\alpha=0/05$) پتاسیم به سختی قابل تبادل خاک (K_x) که در واقع بخشی از پتاسیم غیرتبادلی است که در مواضع جذب اختصاصی نگهداری می‌شود و قابلیت تبدیل به فرم تبدیلی را دارد، تحت تأثیر هر یک از تیمارهای لجن فاضلاب، کود گاوی، بیوجار کود گاوی و بیوجار کمپوست زباله شهری نسبت به شاهد افزایش یافت (جدول ۳). تیمارهای کمپوست زباله شهری و بیوجار لجن فاضلاب تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشتند. تفاوت بین بیوجارها با مواد اولیه آنها تنها در مورد کود گاوی و بیوجار آن معنی‌دار بود، به طوری که بیوجار کود گاوی سبب افزایش معنی‌دار پتاسیم به سختی قابل تبادل خاک نسبت به کود گاوی شد. در پژوهش انجام شده توسط ونگ و همکاران (۲۰۱۸)، مصرف بیوجار حاصل از بامبو در تناوب گندم-ذرت در دو خاک انتی‌سول و آلفی‌سول دو تأثیر متفاوت بر مقدار پتاسیم به سختی قابل تبادل خاک داشت. مصرف این بیوجار در خاک انتی‌سول سبب افزایش در پتاسیم به سختی قابل تبادل خاک شد ولی در خاک آلفی‌سول تغییری در این پارامتر ایجاد نکرد.

احتمالاً به جذب کلسیم و منیزیم توسط این دو تیمار و در نتیجه کاهش فعالیت این دو کاتیون در محلول خاک نیز مربوط باشد. در پژوهش انجام شده توسط آمین (۲۰۱۶)، مصرف بیوجار حاصل از چوب بلال ذرت در یک خاک آهکی با بافت شنی، افزایش معنی‌داری در نسبت فعالیت پتاسیم در حال تعادل خاک نسبت به شاهد ایجاد کرد. یلدهالی و همکاران (۲۰۰۷) در جریان اصلاح یک خاک ورتی‌سول قلیایی با بافت رسی، با مصرف ۱۰۰ تن در هکتار لجن فاضلاب و لجن سربراره (از محصولات فرعی کارخانجات ذوب‌آهن)، افزایش معنی‌داری در نسبت فعالیت پتاسیم در حال تعادل خاک گزارش دادند (۴۳). آنها این امر را به آزاد شدن پتاسیم از این دو لجن نسبت دادند. عدم همخوانی نتایج مصرف لجن فاضلاب در پژوهش ما با این پژوهش، احتمالاً می‌تواند با تفاوت بافت خاک و در نتیجه تفاوت کانی‌شناسی خاک و نیز تفاوت مقدار مصرف لجن فاضلاب در دو پژوهش مرتبط باشد.

مطابق جدول ۳، پتاسیم به سهولت قابل تبادل خاک (ΔK^0)، تحت تأثیر تیمارهای لجن فاضلاب و بیوجار آن، تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت. این پارامتر در اثر مصرف کمپوست زباله شهری، کود گاوی و بیوجارهای آنها، نسبت به شاهد، به طور معنی‌داری افزایش یافت. بیش‌ترین مقدار پتاسیم به سهولت قابل تبادل خاک در اثر مصرف بیوجار کود گاوی حاصل شد که به طور معنی‌داری بیش‌تر از ماده اولیه آن یعنی کود گاوی بود. تیمارهای بیوجار کمپوست زباله شهری و بیوجار لجن فاضلاب، تفاوت معنی‌داری با مواد اولیه خود نداشتند. عدم تغییر ΔK^0 در تیمارهای لجن فاضلاب و بیوجار آن نسبت به شاهد، احتمالاً می‌تواند با محتوای کم پتاسیم و همچنین وفور مکان‌های جذب ویژه پتاسیم در این دو تیمار مرتبط باشد. در مطالعات یلدهالی و همکاران

ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم (PBC^K) خاک با مصرف بیوچار لجن فاضلاب، به طور معنی داری نسبت به شاهد افزایش یافت (جدول ۳). در مقابل، مصرف کود گاوی یا بیوچار کود گاوی سبب کاهش ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم خاک نسبت به شاهد شدند. این پارامتر در تیمارهای کمپوست زباله شهری، لجن فاضلاب و بیوچار کمپوست زباله شهری، تفاوت معنی داری با شاهد نداشت. بیوچار لجن فاضلاب نسبت به لجن فاضلاب سبب افزایش معنی دار ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم خاک شد اما بیوچار کود گاوی نسبت به کود گاوی، کاهش ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم خاک را به دنبال داشت. بنابراین صرف نظر از مقدار پتاسیم قابل استفاده، به نظر می رسد که تأمین پتاسیم قابل استفاده در تیمار بیوچار لجن فاضلاب به طور معنی داری از تداوم بیشتری نسبت به لجن فاضلاب، سایر تیمارها و شاهد برخوردار است. در مقابل، تأمین پتاسیم قابل استفاده در تیمار بیوچار کود گاوی، به طور معنی داری از تداوم کمتری نسبت به کود گاوی برخوردار است. این دو تیمار کمترین ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم خاک را نسبت به شاهد و سایر تیمارها موجب شدند. آمین (۲۰۱۶) در پژوهش‌های خود مشاهده کرد که مصرف بیوچار حاصل از چوب ذرت در یک خاک آهکی سبب افزایش معنی دار PBC^K در مقایسه با شاهد شد. در مقابل، یلدهالی و همکاران (۲۰۰۷) با مصرف لجن فاضلاب در خاک، شاهد کاهش ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم خاک نسبت به شاهد بودند (۴۳). آن‌ها بیان نمودند که ممکن است مقادیر پتاسیم آزاد شده از لجن فاضلاب از طریق افزایش نسبت فعالیت پتاسیم در محلول خاک سبب کاهش PBC^K شده باشد.

در مجموع با توجه به داده‌های جدول ۳، در بین تیمارها، کود گاوی و بیوچار آن با ایجاد افزایش در پارامترهای $ARKe$ ، ΔK^0 ، Kx و K_L ، سبب افزایش

بارز پتاسیم قابل استفاده خاک نسبت به شاهد شدند. در حالی که کمپوست زباله شهری و بیوچار آن با ایجاد افزایش کمتری در پارامترهای ΔK^0 ، K_L و Kx ، موجبات افزایش کم‌تر پتاسیم قابل استفاده خاک نسبت به شاهد را فراهم آوردند. به همین ترتیب، لجن فاضلاب و بیوچار آن با تحت تأثیر قرار دادن تنها، پارامترهای K_L و Kx و ایجاد کم‌ترین افزایش در آن‌ها، کم‌ترین افزایش در پتاسیم قابل استفاده خاک نسبت به شاهد را موجب شدند. همچنین با توجه به جدول‌های ۳ و ۴، تفاوت بین هر بیوچار و ماده اولیه‌اش از لحاظ نحوه تأثیر بر پتاسیم قابل استفاده خاک، مشخص شد. در تیمار کود گاوی، پتاسیم قابل استفاده خاک، با $ARKe$ ، ΔK^0 و K_L ، همبستگی مثبت داشت (جدول ۴). اما در تیمار بیوچار کود گاوی همبستگی پتاسیم قابل استفاده خاک، علاوه بر $ARKe$ ، ΔK^0 و K_L ، با Kx نیز مثبت و معنی دار بود. بنابراین به نظر می رسد، افزایش در $ARKe$ ، K_L و مؤلفه‌های آن (K و ΔK^0)، سبب افزایش در پتاسیم قابل استفاده خاک در تیمار بیوچار کود گاوی نسبت به کود گاوی (جدول ۳)، شده باشد. در برخی منابع علمی، از Kx نیز به عنوان منبع پتاسیم قابل استفاده نام برده شده است (۱۵). در تیمار کمپوست زباله شهری، پتاسیم قابل استفاده خاک با $ARKe$ ، ΔK^0 و K_L همبستگی مثبت و معنی داری داشت اما در تیمار بیوچار کمپوست زباله شهری همبستگی پتاسیم قابل استفاده خاک علاوه بر $ARKe$ ، ΔK^0 و K_L ، با Kx نیز مثبت و معنی دار بود (جدول ۴). با در نظر گرفتن این مطالب و با توجه به جدول ۳، به نظر می رسد افزایش پتاسیم قابل استفاده خاک در اثر مصرف بیوچار کمپوست زباله شهری نسبت به کمپوست زباله شهری، بیش‌تر از طریق افزایش در پارامتر Kx ، رخ داده باشد. در هر دو تیمار لجن فاضلاب و بیوچار آن، پتاسیم قابل استفاده، با Kx و

K_L همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان داد (جدول ۴). به‌نظر می‌رسد عدم افزایش پتاسیم قابل‌استفاده خاک در اثر مصرف بیوچار لجن فاضلاب نسبت به لجن

فاضلاب (جدول ۳) به‌خاطر مشابه بودن تأثیر این دو تیمار بر پارامترهای K_L و K_X باشد.

جدول ۴- ضرایب همبستگی بین پتاسیم قابل‌استفاده خاک با پارامترهای کمیت شدت پتاسیم و پارامترهای گیاهی در تیمارهای مختلف.
Table 4. Coefficient of correlation between available soil potassium and potassium Q:I parameters and plant parameters under different treatments.

shoot K uptake	Shoot K conc.	K_L	K_X	ΔK^0	ARKe	
0.99**	0.99**	0.92**	0.42 ^{ns}	0.99**	0.99**	پتاسیم قابل‌استفاده در خاک تیمار شده با کمپوست زباله شهری K-available in soil treated by MWC
0.99**	0.99**	0.98**	0.94**	0.97**	0.97**	پتاسیم قابل‌استفاده در خاک تیمار شده با بیوچار کمپوست زباله شهری K-available in soil treated by BMWC
0.96**	0.75 ^{ns}	0.99**	0.99**	0.73 ^{ns}	0.68 ^{ns}	پتاسیم قابل‌استفاده در خاک تیمار شده با لجن فاضلاب K-available in soil treated by SS
0.92**	0.7 ^{ns}	0.99**	0.98**	0.78 ^{ns}	0.67 ^{ns}	پتاسیم قابل‌استفاده در خاک تیمار شده با بیوچار لجن فاضلاب K-available in soil treated by BSS
0.99**	0.99**	0.97**	0.75 ^{ns}	0.99**	0.99**	پتاسیم قابل‌استفاده در خاک تیمار شده با کود گاوی K-available in soil treated by CM
0.99**	0.99*	0.99**	0.99**	0.99**	0.99**	پتاسیم قابل‌استفاده در خاک تیمار شده با بیوچار کود گاوی K-available in soil treated by BCM

** و * به‌ترتیب در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد معنی‌دار است.

** , * not significant at $\alpha=0.01$ and $\alpha=0.05$ respectively.

^{ns} در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نیست.

^{ns} not significant at $\alpha=0.05$.

پارامترهای گیاهی: نتایج آزمون دانکن ($\alpha=0.05$) برای مقایسه اثر تیمارها بر وزن خشک اندام هوایی گیاه ذرت نشان داد که به‌جز کمپوست زباله شهری، سایر تیمارها سبب افزایش وزن خشک اندام هوایی گیاه نسبت به شاهد شدند (جدول ۵). در بین تیمارها و مواد اولیه، بیش‌ترین وزن خشک اندام هوایی ذرت در اثر مصرف کود دامی حاصل شد. در بین بیوچارها، بیش‌ترین وزن خشک اندام هوایی از مصرف بیوچار لجن فاضلاب به‌دست آمد. مقایسه بیوچارها با مواد اولیه آن‌ها نشان داد که، اگرچه وزن خشک گیاه در کمپوست زباله شهری و بیوچار آن تفاوت معنی‌داری

با هم نداشتند، اما بیوچار کمپوست زباله شهری به‌طور معنی‌داری وزن خشک گیاه را نسبت به شاهد بالا برد در حالی‌که کمپوست زباله شهری، افزایش معنی‌داری در وزن خشک گیاه نسبت به شاهد ایجاد نکرد. بنابراین بیوچار کمپوست زباله شهری برتر از کمپوست زباله شهری بود. بین بیوچار لجن فاضلاب با مواد اولیه آن تفاوتی از لحاظ تأثیر بر وزن خشک گیاه وجود نداشت، اما بیوچار کود گاوی نسبت به ماده اولیه‌اش، سبب کاهش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی شد. شاید یکی از دلایل این کاهش در وزن خشک اندام هوایی، شوری بسیار بیش‌تر بیوچار کود

اینال و همکاران (۲۰۱۵) با مصرف کود مرغی و بیوچار آن روی لوبیا و ذرت، نتایج متفاوتی را مشاهده کردند. بر اساس گزارش آن‌ها، بیوچار کود مرغی وزن خشک اندام هوایی را هم در لوبیا و هم در ذرت افزایش داد، در حالی که کود مرغی فقط در ذرت توانست وزن خشک اندام هوایی را افزایش دهد و در لوبیا تأثیری بر این پارامتر نداشت (۱۶). افزایش رشد گیاه در اثر افزایش فراهمی پتاسیم، با مصرف بیوچارهای حاصل از چوب ذرت (۲) و بیوچار مخلوطی از چمنیان (*Lolium perenne*, *Bromus hordeaceus*, *Jacobaea vulgaris* and *Holcus lanatus*) نیز گزارش شده است (۳۳).

گاوی نسبت به کود گاوی باشد (جدول ۲). در مجموع، با توجه به این که وزن خشک اندام هوایی تابعی از شرایط محیطی و خاکی است و با توجه به این که شرایط محیطی گلخانه برای تمام تیمارها یکسان بوده است، می‌توان وزن خشک گیاه را به عنوان شاخصی از شرایط خاکی رشد گیاه در نظر گرفت. بر این اساس می‌توان چنین استنباط کرد که از لحاظ شرایط خاکی مناسب رشد گیاه، ترتیب برتری تیمارها در مواد اولیه به صورت کود گاوی < لجن فاضلاب < کمپوست و در بیوچارها به صورت بیوچار لجن < بیوچار کمپوست < بیوچار کود گاوی بوده است.

جدول ۵- اثر تیمارها بر وزن اندام هوایی، غلظت و محتوای پتاسیم در گیاه.

Table 5. The effects of treatments on plant weight, K-concentration and K-uptake in plant*.

محتوای کل پتاسیم در گیاه K total uptake (mg pot ⁻¹)	محتوای پتاسیم در اندام هوایی K shoot Uptake (mg pot ⁻¹)	غلظت پتاسیم در اندام هوایی K shoot Conc. (%)	وزن اندام هوایی گیاه Shoot dry weight (g)	تیمار Treatment
449.4 ^d	391.2 ^d	0.86 ^d	45.4 ^d	شاهد Ctr
1172.3 ^b	1075.1 ^b	2.29 ^c	46.95 ^{cd}	کمپوست زباله شهری MWC
1221.1 ^b	1159.1 ^b	2.37 ^c	49.03 ^c	بیوچار کمپوست زباله BMWC
626.8 ^c	568.6 ^c	1.02 ^d	55.66 ^b	لجن فاضلاب SS
659.9 ^c	601.6 ^c	1.07 ^d	56.42 ^b	بیوچار لجن فاضلاب BSS
1681.2 ^a	1598.8 ^a	2.67 ^b	59.93 ^a	کود گاوی CM
1605.5 ^a	1497.1 ^a	3.07 ^a	48.78 ^c	بیوچار کود گاوی BCM

* در هر ستون اعداد دارای حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد با همدیگر ندارند.

* In each column, numbers with one similar letter, are alike ($\alpha=0.05$).

بین غلظت پتاسیم در اندام هوایی گیاه و پتاسیم قابل‌استفاده خاک وجود داشت (جدول ۴). در بین مواد اولیه، کود گاوی و در بین بیوچارها، بیوچار کود گاوی بیش‌ترین غلظت پتاسیم اندام هوایی گیاه را

غلظت پتاسیم در اندام هوایی گیاه به‌جز در تیمار لجن فاضلاب و بیوچار آن، در سایر تیمارها نسبت به شاهد افزایش یافت (جدول ۵). به‌جز در این دو تیمار، در سایر تیمارها همبستگی مثبت و معنی‌داری

شدند. در تمام تیمارها همبستگی مثبت و معنی‌داری بین محتوای پتاسیم اندام هوایی گیاه و پتاسیم قابل‌استفاده خاک وجود داشت (جدول ۴). در بین مواد اولیه، کود گاوی و در بین بیوچارها، بیوچار کود گاوی بیش‌ترین محتوای پتاسیم در اندام هوایی گیاه را موجب شدند. از نظر محتوای پتاسیم در اندام هوایی، ترتیب مواد اولیه به‌صورت کود گاوی < کمپوست < لجن < شاهد، بود. ترتیب بیوچارها نیز به‌صورت: بیوچار کود گاوی < بیوچار کمپوست < بیوچار لجن < شاهد ملاحظه شد. بین بیوچارها با ماده اولیه آن‌ها نیز تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. در مطالعات ویدئواتی و همکاران (۲۰۱۴)، مصرف بیوچار حاصل از زباله آلی شهری (برگ‌ها و ساقه‌های انواع درختان میوه و درختچه‌های زینتی، بقایای میوه‌ها و سبزیجات، چمن‌ها و ...)، جذب پتاسیم در برگ‌های ذرت را ۱۲۸ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (۴۲). در مطالعات انجام‌شده توسط ونگ و همکاران (۲۰۱۸) در دو خاک آلفی‌سول و انتی‌سول جذب پتاسیم در گیاهان تیمار شده با بیوچار حاصل از بامبو، بسته به نوع خاک و نوع گیاه متفاوت بود. جذب پتاسیم در گندم و ذرت در خاک آلفی‌سول تیمار شده با بیوچار به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از خاک انتی‌سول بود. علاوه بر آن، جذب پتاسیم در گندم بیش از ذرت بود (۴۱).

نتیجه‌گیری کلی

استفاده از هر یک از بیوچارهای حاصل از کود گاوی، کمپوست زباله شهری، لجن فاضلاب و مواد اولیه آن‌ها، در شرایط آزمایش توانست سبب افزایش فراهمی پتاسیم و افزایش جذب پتاسیم در گیاه ذرت شود. نحوه تأثیر تیمارها در افزایش فراهمی پتاسیم، بسته به نوع بیوچار و نوع ماده اولیه متفاوت بود. کود گاوی و بیوچار آن با ایجاد افزایش بیش‌تری در

موجب شدند. مقایسه بیوچارها و مواد اولیه آن‌ها نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین هر یک از بیوچارهای کمپوست زباله شهری و لجن فاضلاب با مواد اولیه آن‌ها وجود نداشت، اما تفاوت بین بیوچار کود گاوی و ماده اولیه آن معنی‌دار بود. به‌طوری‌که بیوچار کود گاوی سبب افزایش غلظت پتاسیم اندام هوایی نسبت به کود گاوی شد. با توجه به وزن خشک کم‌تر اندام هوایی و عدم تغییر معنی‌دار جذب یا محتوای پتاسیم اندام هوایی و کل گیاه در بیوچار کود گاوی (جدول ۵)، می‌توان افزایش غلظت پتاسیم گیاه تحت تأثیر این تیمار نسبت به تیمار کود گاوی را مربوط به اثر تغلیظ ناشی از کاهش رشد اندام هوایی دانست. همچنین عدم افزایش غلظت پتاسیم گیاه در تیمارهای لجن فاضلاب و بیوچار آن نسبت به شاهد، با توجه به افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی و افزایش محتوای پتاسیم کل و اندام هوایی می‌تواند به اثر رقت ناشی از افزایش رشد گیاه در این دو تیمار نسبت داده شود. در سایر موارد به‌نظر می‌رسد که تغییر غلظت پتاسیم گیاه، تحت تأثیر هر دو عامل جذب مطلق و اثر رقت/تغلیظ بوده است. از لحاظ غلظت پتاسیم اندام هوایی، ترتیب مواد اولیه: به‌صورت کود گاوی < کمپوست < لجن < شاهد بود. ترتیب غلظت پتاسیم اندام هوایی گیاه در بین بیوچارها نیز به‌صورت: بیوچار کود گاوی < بیوچار کمپوست < بیوچار لجن < شاهد بود. لو و همکاران (۲۰۱۴) نیز با مصرف ۱۸ نوع بیوچار در گیاه ذرت در یک خاک آهکی، افزایش متوسط ۳۳ درصدی را در غلظت پتاسیم اندام هوایی گیاه نسبت به شاهد گزارش کردند (۲۶).

آزمون مقایسه میانگین‌ها برای مقایسه اثر تیمارها بر محتوا یا جذب پتاسیم در اندام هوایی گیاه (جدول ۵) نشان داد که تمام تیمارها سبب افزایش معنی‌دار جذب پتاسیم در اندام هوایی گیاه نسبت به شاهد

شهری نسبت به کمپوست زباله شهری از دو جنبه تأثیر بر فراهمی پتاسیم و تأثیر بر وزن خشک گیاه، می‌توان در شرایط مشابه آزمایش، مصرف بیوچار کمپوست زباله شهری را بر مصرف کمپوست زباله شهری ترجیح داد. با توجه به کاهش رشد گیاه در بیوچار کود گاوی نسبت به کود گاوی و در عین حال برتری بیوچار کود گاوی از لحاظ تأثیر بر فراهمی پتاسیم و با توجه به خصوصیات بیوچار کود گاوی، به نظر می‌رسد که در مصرف بیوچار کود گاوی باید ملاحظاتی مانند شوری و موازنه عناصر غذایی با دقت بیشتری مورد توجه قرار گرفته و مدیریت شود. علی‌رغم تشابه بیوچار لجن فاضلاب با لجن فاضلاب در افزایش رشد گیاه و مقدار پتاسیم قابل‌استفاده، با توجه به بالاتر بودن ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم در این بیوچار و در نتیجه احتمال تداوم بیش‌تر تامین پتاسیم قابل‌استفاده توسط آن، می‌توان در شرایط مشابه آزمایش، مصرف این بیوچار را بر مصرف لجن فاضلاب ترجیح داد.

پارامترهای کمیت- شدت پتاسیم، سبب افزایش پتاسیم قابل‌استفاده خاک نسبت به شاهد شدند. لجن فاضلاب و بیوچار آن، با ایجاد افزایش کم‌تری در پارامترهای کمیت- شدت پتاسیم، پتاسیم قابل‌استفاده خاک را به مقدار کم‌تری افزایش دادند. کمپوست زباله شهری و بیوچار آن از لحاظ تأثیر بر پارامترهای کمیت- شدت پتاسیم و ایجاد افزایش در پتاسیم قابل‌استفاده خاک در بین این دو، قرار داشتند. ترتیب برتری تیمارها از لحاظ افزایش فراهمی پتاسیم، به‌صورت زیر بود: بیوچار کود گاوی < کود گاوی < بیوچار کمپوست زباله شهری < کمپوست زباله شهری < بیوچار لجن فاضلاب = لجن فاضلاب < شاهد. ترتیب برتری تیمارها در بهبود شرایط رشد گیاه و افزایش وزن خشک گیاه به‌صورت زیر استنتاج شد: کود گاوی < بیوچار لجن فاضلاب = لجن فاضلاب < بیوچار کمپوست زباله شهری < بیوچار کود گاوی < شاهد = کمپوست زباله شهری. در مجموع، با توجه به برتری بیوچار کمپوست زباله

منابع

1. Aguilar-Chavez, A., Diaz-Rojas, M., Cardenas-Aquino, M.D., Dendooven, L., and Luna-Guido, M. 2012. Greenhouse gas emissions from a wastewater sludge-amended soil cultivated with wheat (*Triticum* spp. L.) as affected by different application rates of charcoal. *Soil Biology and Biochemistry*, 52: 90-95.
2. Amin, A.E.A.Z. 2016. Impact of Corn Cob Biochar on Potassium Status and Wheat Growth in a Calcareous Sandy Soil. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*. 47: 17. 2026-2033.
3. Arabi. Z., Eghtedaey, H., Gharehchmaghloo, B., and Faraji, A. 2018. Effects of biochar and bio-fertilizer on yield and qualitative properties of soybean and some chemical properties of soil. *Arab. J. Geosci.* 11: 672. 1-9.
4. Bahmani, M., Salehi, M.H., and Hosseinpour, A. 2012. The study of the Quantity- Intensity ratio of potassium in the calcareous soils of arid and semi-arid region in Isfahan and Charmahal provinces. *J. Water Soil*. 26: 2. 349-360. (In Persian)
5. Biederman, L.A., and Harpole, W.S. 2013. Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis. *Global Change Biology Bioenergy*. 5: 202-214.
6. Bostani, A., and Savaghebi, G.R. 2007. Quantity- intensity curve of potassium and correlation of its parameters with the characteristics of some soil cultivated by sugarcane of Khuzestan province. *Iran. J. Agric. Sci.* 37: 3. 471-479. (In Persian)

7. Chan, K.Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A., and Joseph, S. 2007. Agronomic values of green waste biochar as a soil amendment. *Austr. J. Soil Res.* 45: 629-634.
8. Chintala, R., Mollinedo, J., Schumacher, T.E., Malo, D.D., Papiernik, S., Clay, D.E., and Gulbrandson, D.W. 2013. Nitrate sorption and desorption by biochars produced from microwave pyrolysis. *Microporous and Mesoporous Materials.* 179: 250-257.
9. 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 Sci. Soc. Amer. J.* 74: 1259-1270.
10. Forouhar, M., Khorassani, R., Fotovat, A., Shariatmadari, H., and Khavazi, K. 2018. The influence of different biochars and their feedstock on some soil chemical properties and nutrients over the time in a calcareous soil. *J. Water Soil.* 32: 2. 299-312. (In Persian)
11. Galinato, S.P., Yoder, J.K., and Granatstein, D. 2011. The economic value of biochar in crop production and carbon sequestration. *Energy Policy.* 39: 6344-6350.
12. Gaskin, J.W., Speir, R.A., Harris, K., Das, K.C., Lee, R.D., Morris, L.A., Fisher, D.S. 2010. Effect of peanut hull and pine chip biochar on soil nutrients, corn nutrient status, and yield. *Agron. J.* 102: 623-633.
13. Gayomba, S.R., Zhai, Z., Jung, H., and Vatamaniuk, O.K. 2015. Local and systemic signaling of iron status and its interactions with homeostasis of other essential elements. *Frontiers in Plant Science.* 6: 716-726.
14. Haefele, S.M., Konboon, Y., Wongboon, W., Amarante, S., Maarifat, A.A., Pfeiffer, E.M., and Knoblauch, C. 2011. Effects and fate of biochar from rice residues in rice-based systems. *Field Crops Research.* 121: 430-440.
15. Hosseinpour, A., and Kalbasi, M. 2000. Quantity-Intensity ratio of potassium and the correlation of its parameters with soil properties in some soils of Iran. *J. Water Soil Sci.* 4: 1. 43-55. (In Persian)
16. 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.
17. Jeffery, S., Verheijen, F.G.A., and van der Velde, M., and Bastos, A.C. 2011. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment.* 144: 175-187.
18. Jha, P., Biswas, A.K., Lakaria, B.L., and Rao, A.S. 2010. Biochar in agriculture - prospects and related implications. *Current Science.* 99: 1218-1225.
19. Keiluweit, M., Nico, P.S., Johnson, M., and Kleber, M. 2010. Dynamic molecular structure of plant biomass-derived black carbon (biochar). *Environmental Science and Technology.* 44: 1247-1253.
20. Kookana, R.S., Sarmah, A.K., Van Zwieten, L., Krull, E., and Singh, B. 2011. Biochar application to soil: Agronomic and environmental benefits and unintended consequences. *Advances in agronomy.* 112: 103-143.
21. Lehmann, J., da Silva, J.P., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W., and Glaser, B. 2003. Nutrient availability and leaching in an archaeological anthrosol and a ferralsol of the central Amazon Basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant and Soil.* 249: 343-357.
22. Lehmann, J., Gaunt, J., and Rondon, M. 2006. Biochar sequestration in terrestrial ecosystems a review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change.* 11: 403-427.
23. Lehmann, J., and Stephen J. 2009. *Biochar for Environmental Management Science and Technology.* London. Sterling, VA. 499p.
24. Lindsay, W. 1979. *Chemical Equilibria in Soils.* John Wiley and Sons, New York. Pp: 1-20.
25. Loeppert, R.H., and Suarez, D.L. 1996. Carbonate and Gypsum, P 436-474. In: D.L. Sparks (ed.) *Methods of Soil Analysis. Part 3: chemical methods.* SSSA Book Series no. 5, Madison, WI.

26. Luo, Y., Jiao, Y., Zhao, X., Li, G., Zhao, L., and Meng, H. 2014. Improvement to maize growth caused by biochars derived from six feedstocks prepared at three different temperatures. *J. Integ. Agric.* 13: 533-540.
27. Masek, O., Brownsort, P., Cross, A., and Sohi, S. 2013. Influence of production conditions on the yield and environmental stability of biochar. *Fuel*. 103: 151-155.
28. McElligott, K.M., Page-Dumroese, D.S., Coleman, M., and McElligott, K. 2011. Bioenergy production systems and biochar application in forests: potential for renewable energy, soil enhancement, and carbon sequestration. US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station: Fort Collins, CO. 14p.
29. Mukherjee, A., and Lal, R. 2014. The biochar dilemma. *Soil research*. 52: 217-230.
30. Najafi Ghiri, M. 2014. The effect of different biochars on some soil properties and availability of some nutrients in a calcareous soil. *Iran. J. Soil Res.* 29: 2. 351-358.
31. Novak, J.M., Busscher, W.J., Laird, D.L., Ahmedna, M., Watts, D.W., and Niandou, M.A.S. 2009. Impact of biochar amendment on fertility of a southeastern coastal plain soil. *Soil Science*. 174: 105-112.
32. Nzanza, B., Marais, D., and Soundy, P. 2012. Effect of arbuscular mycorrhizal fungal inoculation and biochar amendment on growth and yield of tomato. *Inter. J. Agric. Biol.* 14: 965-969.
33. Oram, N.J., Van de Voorde, T.F.J., Ouwehand, G.J., Bezemer, T.M., Mommer, L., Simon Jeffery, S., and Groenigen, J.W.V. 2014. Soil amendment with biochar increases the competitive ability of legumes via increased potassium availability. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 191: 92-98
34. Pennock, D., McKenzie, N., and Montanarella, L. 2015. Status of the world's soil resources. Technical summary. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy.
35. Preston, C.M., and Schmidt, M.W.I. 2006. Black (pyrogenic) carbon: a synthesis of current knowledge and uncertainties with special consideration of boreal regions. *Biogeosciences*. 3: 397-420.
36. Quilliam, R.S., Marsden, K.A., Gertler, C., Rousk, J., DeLuca, T.H., and Jones, D.L. 2012. Nutrient dynamics, microbial growth and weed emergence in biochar amended soil are influenced by time since application and reapplication rate. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 158: 192-199.
37. Rajkovich, S., Enders, A., Hanley, K., Hyland, C., Zimmerman, A.R. and Lehmann, J. 2012. Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biochars with varying properties to a temperate soil. *Biology and Fertility of Soils*. 48: 271-284.
38. Schmidt, M.W.I., and Noack, A.G. 2000. Black carbon in soils and sediments: analysis, distribution, implications and current challenges. *Global Biogeochemical Cycles*. 14: 777-793.
39. Spokas, K.A., Cantrell, K.B., Novak, J.M., Archer, D.W. et al. 2012. Biochar: A synthesis of its agronomic impact beyond carbon sequestration. *J. Environ. Qual.* 41: 973-989.
40. Tehrani, M., Balali, M.R., Moshiri, F. and Daryashenas, A. 2013. Recommendation and estimating of fertilizers in Iran: Challenges and Solutions. *Iran. J. Soil Res.* 26: 2. 123-144.
41. Wang, L., Xue, C., Nie, X., Liu, Y., and Chen, F. 2018. Effects of biochar application on soil potassium dynamics and crop uptake. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 181: 5. 635-643.
42. Widowati and Asnah. 2014. Biochar can enhance potassium fertilization efficiency and economic feasibility of Maize cultivation. *J. Agric. Sci.* 6: 2. 24-32.
43. Yeledhalli, N.A., Prakash, S.S., Patil, C.V., Ravi, M.V., and Rao, K.N. 2007. Potassium kinetics in solid wastes amended vertisols of north eastern arid zone of Karnataka. *Karnataka J. Agric. Sci.* 20: 3. 518-523.

44. Zhang, Z.H., Solaiman, Z.M., Meney, K., Murphy, D.V., and Rengel, Z. 2013. Biochars immobilize soil cadmium, but do not improve growth of emergent wetland species *Juncus subsecundus* in cadmium-contaminated soil. *J. Soil Sed.* 13: 1. 140-151.
45. Zhao, X.R., Li, D., Kong, J., and Lin, Q. M. 2014. Does biochar addition influence the change points of soil phosphorus leaching? *J. Integ. Agric.* 13: 3. 499-506.
46. Zolfi, M., Rownaghi, A.M., Karimian, N., Ghasemi, R., and Yasrebi, J. 2016. The effect of biochars produced of cheeken manure in different temperatures, on chemical properties of a calcareous soil. *J. Water Soil Sci.* 75: 73-86. (In Persian)



The Effects of biochars and their feedstock and corn growth and availability of potassium in a calcareous soil

M. Forouhar^{1,2}, *R. Khorasani³, A. Fotovat⁴, H. Shariatmadari⁵ and K. Khavazi⁶

¹Ph.D. Student, Dept. of Soil Science, Ferdowsi University of Mashhad, Iran, ²Instructor of Soil and Water Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resource Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran, ³Associate Prof., Dept. of Soil Science, Ferdowsi University of Mashhad, Iran, ⁴Professor, Dept. of Soil Science, Ferdowsi University of Mashhad, Iran, ⁵Professor, Dept. of Soil Science, Isfahan University of Technology, ⁶Professor, Dept. of Soil Biology Researches, Soil and Water Research Institute, AREEO, Iran

Received: 03.05.2019; Accepted: 09.03.2019

Abstract

Background and Objectives: Today, the use of biochar in the sustainable management of soil fertility, has been drawing the attention of scientists as a multi-purpose and environmentally friendly strategic idea. There are several scientific reports, which imply the outstanding positive effect of biochar on soil fertility and plant growth. On the contrary, some inconsistent reports have mentioned negative or no effect of biochar. Therefore, it is necessary to investigate the effect of any biochar on the soil and plant before any widespread use of any kind. In the present study, the effect of three different biochar and their raw materials on potassium availability and corn growth was studied.

Materials and Methods: The study was carried out as a two-part-experiment, including laboratory and greenhouse parts. In both parts of the study, treatments included the control (soil without any biochar or its feedstock), Municipal Waste Compost (MWC), Biochar of Municipal Waste Compost (BMWC), Sewage Sludge (SS), Biochar of Sewage Sludge (BSS), Cow Manure (CM) and Biochar of Cow Manure (BCW). In each study, application rates of treatments to the soil, were 1% w/w. In the laboratory part, the effects of the treatments on available-K and parameters of Quantity/Intensity (Q/I) ratio of potassium were investigated. Also the effects of the treatments on plant growth, K-concentration and K-content of corn were investigated in the greenhouse part.

Results: The CM and its biochar, highly increased the available-K by highly increasing the potassium-Q/I parameters compared to the control. While the SS and its biochar lightly increased the available-K by lightly increasing the potassium-Q/I parameters. The CMW and its biochar, intermediately increased the available-K by intermediately increasing the potassium-Q/I parameters compared to the control. Treatments could improve could improve the growth, k-concentration and k-content of corn compared to the control, excepting of MWC in the case of the plant growth and SS and BSS in the case of k-concentration. Totally, the descending order of treatments in terms of increasing K-availability was as the follows: 1-BCM, 2-CM, 3-BMWC, 4-MWC, 5-SS and BSS, 6-control. The descending order of treatments in improving plant growth conditions and increasing dry weight of the plant was as the follows: 1-CM, 2-BSS and SS, 3-BMWC, 4-BCM, 5-Control and MWC.

Conclusion: Considering the superiority of BMWC to MWC, in terms of affecting on K-availability and plant dry weight, BMWC can be preferred to MWC. Considering the

* Corresponding Author; Email: khorasani@um.ac.ir

superiority of BCM to CM in terms of the effect on K-availability, K-concentration and content of plant compared to the control, meanwhile its decreasing effect on plant growth compared to CM, it seems that some considerations such as salinity and nutritional balance must be carefully considered and managed in the case of BCM application. Despite the similarity of BSS and SS in terms of increasing plant growth, BSS application can be preferred to SS because of the more value of PBC^K and consequently, the more continually K-supply.

Keywords: Biochar, Cow manure, Municipal waste compost, Organic amendments, Sewage sludge

