

## تأثیر کاربرد بیوچار و کمپوست ضایعات هرس به همراه باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد بر فراهمی عناصر پرمصرف در ریزوسفر گندم

رقیه واحدی<sup>۱</sup>، میرحسن رسولی صدقیانی<sup>۲\*</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۲/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۹/۱۱)

### چکیده

مواد آلی و ریزجانداران حلالیت و تحرک عناصر غذایی در ریزوسفر را تحت تأثیر قرار داده و زیست‌فراهمی عناصر غذایی گیاه را بهبود می‌بخشند. به منظور ارزیابی تأثیر کاربرد بیوچار، کمپوست ضایعات هرس درختان سیب و انگور و باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد (PGPR) بر قابلیت جذب عناصر پرمصرف در خاک آهکی آزمایشی به صورت فاکتوریل با طرح کاملاً تصادفی در شرایط گلخانه‌ای در رایزوباکس اجرا شد. فاکتورها شامل ماده آلی (بیوچار، کمپوست ضایعات هرس و شاهد)، تلقیح میکروبی (باکتری‌های PGPR و عدم تلقیح) و خاک (خاک ریزوسفر و غیرریزوسفر) بودند. در پایان دوره رشد، pH، هدایت الکتریکی (EC)، کربن آلی (OC) و فراهمی عناصر پرمصرف در خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری و غلظت این عناصر در گیاه اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که بیش‌ترین میزان pH در تیمار بیوچار بدون تلقیح میکروبی (۷/۸۸) بود. مقدار EC و فراهمی N، P و K در تیمار کمپوست همراه با تلقیح باکتری‌های PGPR بطور معنی‌داری بالاتر از سایر تیمارها بود. بیش‌ترین درصد کربن آلی در تیمار کمپوست عدم تلقیح بود که نسبت به تیمار تلقیح میکروبی ۹/۷۸ درصد افزایش داشت. هم‌چنین کمپوست در مقایسه با بیوچار مقادیر بیش‌تری از EC، OC، N، P و K در ریزوسفر و غیرریزوسفر را فراهم کرده که نشان‌دهنده بالاتر بودن EC، OC و محتوای عناصر غذایی کمپوست مصرفی بود. باکتری‌های PGPR فراهمی P و K را به ترتیب ۱/۲۱ و ۱/۲۶ برابر در خاک غیرریزوسفر نسبت به ریزوسفر افزایش داد. در حالی که مقدار EC، OC و N در تیمار تلقیح باکتری‌های PGPR در ریزوسفر به ترتیب ۱/۲۲، ۱/۲۴ و ۱/۱۹ برابر بیش‌تر از غیرریزوسفر بود. جذب بیش‌تر N، P و K توسط گیاه در تلقیح باکتریایی بیوچار سبب افزایش بترتیب ۴۸/۶۰، ۳۲/۵۵ و ۳۲/۱۶ درصدی نسبت به شاهد شد. با اساس یافته‌ها، استفاده از باکتری‌های PGPR و مقادیر مناسب بیوچار و کمپوست ضمن افزایش فراهمی عناصر پرمصرف در خاک جذب این عناصر برای گیاهان را بهبود بخشید.

واژه‌های کلیدی: باکتری‌های PGPR، ریزوسفر، فراهمی عناصر غذایی، مواد آلی

واحدی ر.، رسولی صدقیانی م.ح. ۱۳۹۷. تأثیر کاربرد بیوچار و کمپوست ضایعات هرس به همراه باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد بر فراهمی عناصر پرمصرف در ریزوسفر گندم. تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۶ شماره ۴، ص: ۱۶-۳۰.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

۲- استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه (مکاتبه کننده)

\* پست الکترونیک: [m.rsadaghiani@urmia.ac.ir](mailto:m.rsadaghiani@urmia.ac.ir)

## مقدمه

ترین این عناصر، فسفر، پتاسیم، نیتروژن، منیزیم و گوگرد و همچنین عناصر کم مصرف می باشد ( Bramryd, 2001). روپونگی (Roppongi, 1993) از خاکی که با ۲۰ تن کمپوست در هکتار به مدت ۲۲ سال تیمار شده بوده نمونه برداری کرده و در یک آزمایش شش ساله در گلخانه اثرات باقیمانده کمپوست را بررسی نمود. او ملاحظه کرد که تا پایان دوره، قابلیت استفاده نیتروژن بالا بوده و اثرات معنی دار نیتروژن، فسفر و پتاسیم به ترتیب تا دومین، سومین و پنجمین کشت در محصول مشاهده شده است. برخلاف کمپوست تأثیرات بیوچار در خاک متفاوت است. ایپولیتو و همکاران (Ippolito et al., 2012) پیشنهاد کردند که پیرولیز با دمای پایین منجر به تولید بیوچار با pH کم می شود که امکان بهبود کیفیت خاک های آهکی از طریق کاهش هدررفت عناصر غذایی را فراهم می کند. با این حال، فرآیندهای دخیل در بهبود کیفیت خاک از طریق بیوچار به صورت قطعی مشخص نیست (Sohi et al., 2010). به طوری که افزایش و کاهش در فراهمی عناصر غذایی با افزودن بیوچار به خاک گزارش شده است (Lehmann et al., 2003). کاهش نیتروژن در خاک به علت نسبت C/N زیاد به ویژه در بیوچار چوب گزارش شده است (Gundale et al., 2007). در حالی که، چانت و همکاران (Chan et al., 2007) مشاهده کردند که در سطوح بالاتر بیوچار، جذب نیتروژن در خاک افزایش یافت. یائو و همکاران (Yao et al., 2009) گزارش کردند که با گذشت زمان اقامت بیوچار در خاک برخلاف کاهش نیتروژن، فراهمی سایر عناصر غذایی همانند فسفر و پتاسیم افزایش می یابد. با افزودن بیوچار به خاک قلیایی جذب فسفر افزایش یافته و فراهمی فسفر کاهش می یابد (Chintala et al., 2013). البته بیوچار حاوی مقادیر زیادی فسفر می باشد، بنابراین ممکن است به طور مستقیم باعث آزادسازی فسفر محلول و افزایش فراهمی آن شود (Chan et al., 2007). افزودن بیوچار قابلیت افزایش سطوح پتاسیم قابل تبادل در خاک از دو طریق افزودن پتاسیم موجود در بخش خاکستر بیوچار و نیز از طریق کاهش تلفات پتاسیم به واسطه شستشو را دارد (Larid et al., 2010). در حالی که، کمپوست در خاک به تأمین بیش تر انرژی، کربن و عناصر غذایی و در نهایت فعالیت میکروبی بیش تر منجر می شود. اطلاعات کمی درباره پاسخ

ریزوسفر عموماً به عنوان حجمی از خاک مجاور و متأثر از ریشه گیاه، تعریف شده است. لذا ریزوسفر به عنوان نقطه داغ فعالیت و اشغال میکروبی می باشد (Hartmann et al., 2009). در مقایسه با خاک غیرریزوسفری، جایی که منابع کربن آلی در حد پایینی است، ریزوسفر با سطوح بالاتری از عناصر، منبع تأمین کننده عناصر غذایی طی فرآیند فتوسنتز است (Duineveld et al., 2001). نقطه شروع و مسیر اصلی ورود عناصر به چرخه غذایی، منطقه ریزوسفر گیاه می باشد. تغییرات ایجاد شده در ریزوسفر عمدتاً زیستی هستند. با این وجود، ویژگی های شیمیایی و فیزیکی خاک نیز تحت تأثیر محیط ریزوسفر قرار گرفته که روی شکل های عناصر و قابلیت استفاده آنها نیز مؤثر می باشد. عرضه مواد فتوسنتزی و مواد و بقایای گیاهی در حال تجزیه (کمپوست و بیوچار) در کنار ریشه و میکروب های همراه، با تغییرات میکروبی ایجاد شده در الگوهای ریشه دهی و زیست فراهمی عناصر غذایی برای خاک و عرضه این عناصر فراهم برای گیاه که از فعالیت های میکروبی حاصل می شود، کلید اصلی در تشکیل و ایفای نقش ریزوسفر است (Krishna et al., 2006). خاک های مناطق خشک و نیمه خشک ایران حاوی ماده آلی کم، اغلب آهکی و دارای واکنش قلیایی هستند. به گونه ای که بسیاری از گیاهان در این خاک ها با مشکل تغذیه ای عناصر غذایی مواجه هستند. از جمله روش های افزایش مقدار قابل جذب این عناصر استفاده از مواد آلی اصلاحی همانند بیوچار و کمپوست حاصل از ضایعات هرس است. بیوچار<sup>۱</sup> غنی از کربن بوده که طی فرآیند پیرولیز<sup>۲</sup> یا گرماکافت توده زیستی در شرایط عدم حضور و یا حضور جزئی اکسیژن تولید شده (Liu et al., 2011) و قابلیت ذخیره کربن در خاک برای مدت هزاران سال را دارد. در حالی که کمپوست فرآورده حاصل از تجزیه مواد آلی توسط ریزجانداران در یک محیط گرم، مرطوب و هوازی و حاوی مقادیر فراوانی عناصر معدنی بوده که بخشی از آنها به تدریج و پیوسته در خاک، آزاد و در دسترس گیاه قرار می گیرد (Das et al., 2010). از مهم

1- Biochar  
2- Pyrolysis

(PGPR) بر فراهمی عناصر غذایی پرمصرف در شرایط رایزوباکس انجام گرفت.

### مواد و روش‌ها

این آزمایش بصورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی که فاکتورها شامل منابع آلی (بیوچار ضایعات هرس درختان سیب و انگور، کمپوست ضایعات هرس درختان سیب و انگور و شاهد بدون ماده آلی)، تلقیح میکروبی (باکتری‌های PGPR و شاهد بدون تلقیح میکروبی) و خاک (خاک ریزوسفری و غیرریزوسفری) بود. برای انتخاب نمونه خاک و آماده‌سازی بستر کشت، نمونه‌های خاک غیرزراعی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی-متری استان آذربایجان شهرستان سلماس تهیه شد و بعد از هوا خشک کردن از غربال دو میلی‌متری عبور داده شد. سپس در دستگاه اتوکلاو و با دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس و فشار ۱/۵ اتمسفر به مدت دو ساعت استریل شدند. قبل از استریل کردن خاک، برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نظیر بافت خاک به روش هیدرومتری (Gee & Bauder, 1986). pH و EC در عصاره‌های صاف شده یک به پنج خاک به آب، کربن آلی به روش والکی-بلاک (Walkley & Black, 1934)، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون با سود، نیتروژن کل به روش کج‌دال (Kjeldahl, 1883)، پتاسیم به روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم و با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر و فسفر قابل جذب به روش اولسن (Olsen, 1954) اندازه‌گیری شدند (جدول ۱). برای تهیه بیوچار نیز ضایعات هرس درختان سیب و انگور از باغ‌های استان آذربایجان غربی شهرستان ارومیه جمع‌آوری و به قطعات ۲۰ میلی‌متری خرد شد. سپس در آن در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شد. نمونه‌های خشک شده ابتدا به راکتور (استوانه فلزی به قطر هفت و ارتفاع ۳۱ سانتی‌متر) و سپس به کوره الکتریکی برای تولید بیوچار منتقل شدند. تولید در دمای ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد انجام شد. هم‌چنین کمپوست ضایعات هرس از گلخانه تحقیقاتی گروه علوم خاک دانشگاه ارومیه تهیه شد. در نهایت بیوچار تولید شده و کمپوست ضایعات هرس آسیاب و از الک ۰/۵ میلی‌متری عبور داده شد. pH و EC بیوچار در عصاره صاف شده سوسپانسیون یک به

ریزجانداران به اضافه کردن بیوچار وجود دارد (Lehmann *et al.*, 2011). از طرفی، وجود ریزجانداران در ریزوسفر، بر چرخه عناصر غذایی در سیستم‌های خاک-ریشه بسیار مؤثر است. باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد یا PGPR<sup>۱</sup>، از ریزجانداران آزادزی ریزوسفری بوده که باعث بهبود رشد و سلامت گیاه از طریق فرآیندهای تغذیه‌ای و فیزیولوژیکی مانند حل‌کنندگی فسفات، تثبیت نیتروژن در ریزوسفر، تولید هورمون‌های گیاهی و کنترل عوامل بیماری‌زا از طریق تولید سیدروفور و آنتی‌بیوتیک‌ها می‌شوند (Kuklinsky-Sorbal *et al.*, 2004). خاک‌های غنی شده با بیوچار به‌علاوه جذب و غیرفعال‌سازی مواد مهارکننده رشد، افزایش مواد مغذی (N، P، K و سایر عناصر)، تغییر سطوح قابلیت فراهمی عناصر غذایی، حفاظت فیزیکی مستقیم ریزجانداران از تغذیه شکارچیان در منافذ بیوچار و یا تغییر فرآیندهای علامت‌دهی بین گیاه و میکروب با تغییر دینامیک ریزجانداران همراه بوده (Domene *et al.*, 2014) که این تغییرات در روابط گیاه و ریزجانداران مؤثر است.

نقطه شروع و مسیر اصلی عناصر غذایی منطقه ریزوسفر بوده و رفتار شیمیایی، زیستی و تحرک عناصر غذایی در ریزوسفر مشابه با غیرریزوسفر نیست. از طرفی جدا کردن این دو بخش از هم نیز عملاً امکان‌پذیر نیست. در این راستا، رایزوباکس از جمله ابزارهایی بوده که به‌منظور مطالعه دقیق‌تر فرآیندهای ریزوسفری مورد استفاده قرار می‌گیرد. چرا که با محدود کردن ریشه‌ها در حجم معینی از خاک، منجر به افزایش تراکم ریشه شده و نمونه‌برداری از خاک ریزوسفری را آسان می‌سازد. با وجود پژوهش‌های فراوان صورت گرفته پیرامون تأثیر مواد آلی بر فراهمی عناصر غذایی پرمصرف، تاکنون درک کاملی از اثرات متقابل بین ریشه، ماده آلی و نیز تأثیرات متقابل آن‌ها با تلقیح میکروبی و تأثیرات تأثیرات آن‌ها بر فراهمی عناصر غذایی پرمصرف در خاک‌های آهکی به‌دلیل وجود روابط پیچیده بین این ترکیبات در شرایط رایزوباکس حاصل نشده است. لذا این پژوهش با هدف بررسی تأثیر ریزوسفر گندم تیمار شده با بیوچار و کمپوست حاصل از ضایعات هرس درختان به‌همراه باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد

1- Plant growth promoting rhizobacteria

با هیپوکلیت سدیم ۵/۰ درصد به تعداد شش بذر در قسمت ریزوسفری ریزوباکسها کشت شدند. پس از جوانه زدن بذرها، چهار بوته (بوته‌های سالم‌تر و قوی‌تر) نگه‌داشته شدند. در طول دوره کشت از آب مقطر به‌منظور آبیاری و برای تأمین مواد غذایی مورد نیاز برای تغذیه گیاهان از محلول غذایی Rorison عاری از فسفر استفاده شد. در پایان، پس از ۶۵ روز ریزوباکسها باز شدند. بخش هوایی گیاه پس از شستشو با آب مقطر، به مدت ۴۸ ساعت در آون و در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. نیتروژن به روش کج‌دال، پتاسیم به روش هضم خشک و فسفر به روش هضم خشک و رنگ آمیزی با روش آمونیم وانادات تعیین شد. از هر ریزوباکس دو نمونه خاک، یکی از بخش ریزوسفر و دیگری از بخش غیرریزوسفری برداشت شد. سپس pH و EC در عصاره‌های صاف شده یک به پنج کمپوست به آب و یک به پنج ضایعات هرس به آب، نیتروژن کل به روش کج‌دال، فسفر و پتاسیم به روش هضم خشک عصاره-گیری و سپس فسفر با روش مولیبدات وانادات (رنگ زرد)، پتاسیم با فلیم‌فتمتر و کربن به روش والکی-بلاک اندازه‌گیری شد (جدول ۲). برای انجام آزمون گلخانه‌ای و به‌منظور کشت گیاه از ریزوباکس<sup>۱</sup> استفاده شد. باکس-های ریزوسفر در ابعاد ۲۰ در ۱۵ در ۲۰ سانتی‌متر (طول، عرض، ارتفاع) استفاده شد. فضای هر باکس با استفاده از صفحات مشبک نایلونی ۳۲۵ مش به دو قسمت: (۱) ناحیه ریزوسفری به ضخامت دو سانتی‌متر، (۲) ناحیه غیرریزوسفری به ضخامت ۵/۸ سانتی‌متر (این ناحیه در طرف دیگر ناحیه ریزوسفری نیز با همان ضخامت تکرار شد) تقسیم شد. برای انجام آزمون‌های گلخانه‌ای، بیوچار و کمپوست ضایعات هرس هر کدام برحسب ۱/۵ درصد کربن آلی خالص به خاک (۵/۷۹۹ کیلوگرم خاک برای هر باکس) اضافه و به باکسها منتقل شد. هم‌چنین مقدار ۸۰ میلی‌گرم فسفر از منبع خاک فسفات به‌عنوان منابع نامحلول فسفر در هر کیلوگرم خاک به فاصله‌ی پنج سانتی‌متری زیر بذرها قرار داده شد. برای تلقیح میکروبی از سویه‌های میکروبی موجود در بانک میکروبی گروه علوم خاک دانشگاه ارومیه که شامل سودوموناس‌های گروه فلورسنت (ترکیبی از گونه‌های *P. aeruginosa*، *P. fluorescens* و *P. putida*) بودند، استفاده شد. برای تلقیح بذرها از روش اضافه کردن محلول باکتری‌ها (یک میلی‌لیتر از سوسپانسیون برای هر بذر) به خاک اطراف بذرها هم‌زمان با کاشت استفاده شد. پس از افزودن مایه‌های تلقیح، برای کشت گیاه، بذرهای گندم (*Triticum aestivum* L.) رقم پیش‌تاز پس از ضدعفونی

۱۰ بیوچار به آب، فسفرکل بیوچار به روش هضم با اسید (Rajkovich et al., 2011)، پتاسیم در عصاره حاصل از هضم تر به روش فلیم‌فتمتری (Rajkovich et al., 2011)، نیتروژن و کربن بیوچار نیز به روش سوزاندن خشک با دستگاه ESC 4010 CHNSO Analyzer اندازه‌گیری شد (Rajkovich et al., 2011). هم‌چنین برخی ویژگی‌های کمپوست مانند pH و EC در عصاره صاف شده یک به پنج کمپوست به آب و یک به پنج ضایعات هرس به آب، نیتروژن کل به روش کج‌دال، فسفر و پتاسیم به روش هضم خشک عصاره-گیری و سپس فسفر با روش مولیبدات وانادات (رنگ زرد)، پتاسیم با فلیم‌فتمتر و کربن به روش والکی-بلاک اندازه‌گیری شد (جدول ۲). برای انجام آزمون گلخانه‌ای و به‌منظور کشت گیاه از ریزوباکس<sup>۱</sup> استفاده شد. باکس-های ریزوسفر در ابعاد ۲۰ در ۱۵ در ۲۰ سانتی‌متر (طول، عرض، ارتفاع) استفاده شد. فضای هر باکس با استفاده از صفحات مشبک نایلونی ۳۲۵ مش به دو قسمت: (۱) ناحیه ریزوسفری به ضخامت دو سانتی‌متر، (۲) ناحیه غیرریزوسفری به ضخامت ۵/۸ سانتی‌متر (این ناحیه در طرف دیگر ناحیه ریزوسفری نیز با همان ضخامت تکرار شد) تقسیم شد. برای انجام آزمون‌های گلخانه‌ای، بیوچار و کمپوست ضایعات هرس هر کدام برحسب ۱/۵ درصد کربن آلی خالص به خاک (۵/۷۹۹ کیلوگرم خاک برای هر باکس) اضافه و به باکسها منتقل شد. هم‌چنین مقدار ۸۰ میلی‌گرم فسفر از منبع خاک فسفات به‌عنوان منابع نامحلول فسفر در هر کیلوگرم خاک به فاصله‌ی پنج سانتی‌متری زیر بذرها قرار داده شد. برای تلقیح میکروبی از سویه‌های میکروبی موجود در بانک میکروبی گروه علوم خاک دانشگاه ارومیه که شامل سودوموناس‌های گروه فلورسنت (ترکیبی از گونه‌های *P. aeruginosa*، *P. fluorescens* و *P. putida*) بودند، استفاده شد. برای تلقیح بذرها از روش اضافه کردن محلول باکتری‌ها (یک میلی‌لیتر از سوسپانسیون برای هر بذر) به خاک اطراف بذرها هم‌زمان با کاشت استفاده شد. پس از افزودن مایه‌های تلقیح، برای کشت گیاه، بذرهای گندم (*Triticum aestivum* L.) رقم پیش‌تاز پس از ضدعفونی

### نتایج و بحث

برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بستر مورد استفاده در کشت گلخانه‌ای و بیوچار و کمپوست ضایعات هرس به‌ترتیب در جدول ۱ و ۲ نشان داده شده است. خاک مورد استفاده دارای بافت شن لومی (رس ۴/۱۶، سیلت ۱۰ و شن ۸۵/۸۴ درصد) بوده که دارای فسفر قابل دسترس پایین (۷/۶۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) با ۱۴/۲۵ درصد کربنات کلسیم معادل به‌عنوان خاک آهکی، غیر شور (۰/۴۷ دسی‌زیمنس بر متر) و با pH ۷/۴۴ قلیایی بود. هم‌چنین مقدار کم ماده آلی (۰/۴۴ درصد) که بیانگر فقر ماده آلی است از دیگر مشخصه‌های خاک مورد استفاده بود. تجزیه اولیه بیوچار و کمپوست حاصل از ضایعات سیب و انگور نشان داد که به‌طور میانگین بیوچار ضایعات هرس درختان دارای pH قلیایی (۷/۲۹)، هدایت الکتریکی پایین (۰/۰۸ دسی‌زیمنس بر متر)، مقدار کربن آلی ۶۷/۶۶ درصد، مقدار پتاسیم ۱۹/۵ گرم

و در نتیجه باعث تولید بیوچار مقاوم در برابر تجزیه می‌شود. بنابراین کاربرد بیوچار با نسبت C/N بالا احتمالاً محدودیتی از نظر نیتروژن قابل استفاده در خاک ندارد، چرا که بیوچار دارای کربن پایدار در برابر تجزیه ریزجانداران می‌باشد. کمپوست ضایعات هرس نیز دارای pH خنثی (۷/۰۵)، هدایت الکتریکی بالا (۱۷/۸۷ دسی‌زیمنس بر متر)، کربن آلی بالا (۳۰/۰۲ درصد)، پتاسیم ۲۹ گرم بر کیلوگرم و نسبت C/N برابر ۷/۹۲ بود. از مهم‌ترین مشخصه‌های کمپوست مصرفی فسفر کل بالا (۷/۵۴ درصد) بود.

بر کیلوگرم و مقدار فسفر کل ۰/۲۷ درصد بود. کاهش EC می‌تواند برای رشد گیاهان مناسب باشد. بیوچار دارای عناصر مغذی فراوانی نیز در ترکیب خود بوده که این مسئله برای رشد گیاه و بهبود حاصلخیزی خاک بسیار مهم است. علاوه بر این، کربونیزه کردن ضایعات هرس و تولید بیوچار از آن باعث افزایش غلظت عناصر موجود در آن شد. علت این امر احتمالاً آزادسازی عناصر از بخش آلی و تجمع آن در خاکستر بیوچار می‌باشد. از ویژگی‌های بارز بیوچار نسبت بالای C/N (۱۸۶/۷۹) در آن بود. با توجه به این که درجه حرارت منجر به تولید ترکیبات آروماتیک پایدار و خشبی شدن بیش‌تر مواد آلی

جدول ۱- نتایج برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک شنی

Table 1. Results of some physical and chemical properties of sandy soil

Soil texture	pH	EC	O.C	CaCO <sub>3</sub>	N	P	K
		dS m <sup>-1</sup>		%		mg kg <sup>-1</sup>	
Loamy Sand	7.53	0.47	0.25	14.25	0.08	7.64	98

جدول ۲- برخی از ویژگی‌های بیوچار و کمپوست حاصل از ضایعات هرس درختان سیب و انگور

Table 2. Some characteristics of biochar and compost of trees pruning waste of Apple and grape

Characteristics	Unit	pruning waste		Compost of pruning waste apple and grape
		Apple	Grape	
pH	-	7.11	7.47	7.05
EC	dS m <sup>-1</sup>	0.06	0.10	17.87
C	%	64.02	71.30	30.02
N	%	0.22	0.86	3.72
P (Total)	%	0.41	0.13	7.54
K	g.kg <sup>-1</sup>	16.44	22.56	29
C/N	-	291	82.90	7.92

سطح احتمال ۰/۰۵ درصد معنی‌دار شد، ولی این اثرات بر مقدار pH معنی‌دار نبود.

بر اساس جدول ۳ همه مقادیر pH خاک تحت تأثیر منابع آلی و تلقیح میکروبی قرار گرفته است. به طوری که تلقیح میکروبی pH خاک را در بیوچار و کمپوست ضایعات هرس حتی در تیمار شاهد تا حدی کاهش داده است. اما بیش‌ترین مقدار pH در تیمار بیوچار بدون تلقیح میکروبی (۷/۸۸) مشاهده شد. افزایش قابل توجهی در pH خاک با کاربرد یک، دو و سه درصدی بیوچار شلتوک برنج مشاهده شد که تلقیح بیوچار با باکتری‌های حل‌کننده فسفات منجر به کاهش pH به دلیل تولید ترشحات آلی در اثر تجزیه مواد آلی شد (Danish *et al.*, 2014). با افزودن ماده آلی به خاک تفاوت معنی‌داری در pH خاک ریزوسفری و غیرریزوسفری مشاهده نشد، حتی در تیمار شاهد نیز

## pH، EC و کربن آلی خاک

تجزیه واریانس اطلاعات بدست آمده نشان داد که اثر اصلی منابع آلی در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد بر pH، EC و درصد کربن آلی معنی‌دار است. هم‌چنین اثر اصلی تلقیح میکروبی بر pH، EC (p<۰/۰۰۱) و درصد کربن آلی (p<۰/۰۵) معنی‌دار شد. در ارتباط با اثر اصلی خاک نیز نتایج نشان دهنده معنی‌دار بودن pH (p<۰/۰۱)، EC و درصد کربن آلی (p<۰/۰۰۱) بود. هم‌چنین براساس نتایج حاصل از تجزیه آماری، اثر متقابل منابع آلی × تلقیح میکروبی بر pH (p<۰/۰۱)، EC و درصد کربن آلی (p<۰/۰۰۱) معنی‌دار بود. اثر متقابل منابع آلی × خاک بر مقدار pH (p<۰/۰۱)، EC (p<۰/۰۵) و کربن آلی (p<۰/۰۰۱) معنی‌دار بود. اما اثرات متقابل تلقیح میکروبی × خاک بر EC و درصد کربن آلی در

دسی‌زیمنس بر متر را حد قابل تحمل برای گیاهان با حساسیت متوسط بیان کردند. بنابراین نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که میزان EC کم‌تر از مقادیر ذکر شده بود. حتی با وجود EC بالای کمپوست مصرفی، بعد از افزوده شدن به خاک مقدار EC کم‌تر از دو مشاهده شد.

مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که بیش‌ترین درصد کربن آلی در تیمار کمپوست شاهد بود که نسبت به تیمار تلقیح میکروبی ۹/۷۸ درصد افزایش نشان داد. جردن و همکاران (Jordan et al., 2000) نشان دادند زمانی که کمپوست به‌عنوان ماده آلی به خاک اضافه شد، ریزجانداران قسمتی از ماده آلی را صرف افزایش قابلیت دسترس مواد غذایی و بخش دیگر ماده آلی باقیمانده ساختمان خاک را بهبود داد. اثر ریزوسفر تأثیر معنی‌داری بر کربن آلی در مقایسه با غیرریزوسفر در خاک داشت، به‌طوری‌که کاربرد کمپوست ضایعات هرس منجر به افزایش کربن آلی در خاک ریزوسفری و غیرریزوسفری شد که در خاک ریزوسفر ۱۷/۱۰ درصد بیش‌تر از خاک غیرریزوسفر بود (جدول ۴). به‌نظر می‌رسد که بخش کربن فعال موجود در کمپوست پس از افزوده شدن به خاک تجزیه گردیده و همچنین بخشی از کربن موجود در این کود به ذخایر کربن در خاک پیوسته و باعث افزایش سطح کربن آلی خاک شده است. در تیمار بیوچار نیز مقدار ماده آلی افزایش یافت ولی در مقایسه با کمپوست کم‌تر بود. هرچند بدلیل کربن بالای بیوچار مصرفی عکس این مطلب قابل انتظار بود. دلیل این امر را می‌توان به اسکلت کربنی پایدار بیوچار نسبت داد که نسبت به تجزیه مقاوم بود. هرچند که باعث افزایش ماده آلی در خاک شده است. از دلایل دیگر می‌توان به این موضوع اشاره کرد که احتمالاً بخشی از کربن موجود در بیوچار به دلیل ساختار پایدار بیوچار به روش مرسوم (والکی-بلک) قابل اندازه‌گیری نبوده است. تلقیح باکتریایی نسبت به شاهد سبب کاهش کربن آلی در خاک شد (جدول ۵). به‌طوری‌که تیمار شاهد در خاک ریزوسفری منجر به افزایش ۲۱/۱۹ درصدی کربن آلی در مقایسه با غیرریزوسفر شد. این نتیجه کاملاً قابل انتظار بود چرا که باکتری‌های PGPR بخشی از ماده آلی افزوده شده به خاک را به صورت زیتوده میکروبی در خود ذخیره

روند این چنین بود (جدول ۴). با این وجود، میزان pH در خاک ریزوسفری و غیرریزوسفری در تیمارهای آلی بیش‌تر از شاهد بود، به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان pH در خاک ریزوسفری (۷/۷۸) و غیرریزوسفری (۷/۸۱) مربوط به تیمار بیوچار بود. میزان pH خاک ریزوسفر نسبت به خاک غیرریزوسفر کاهش یافت؛ با این حال تفاوت معنی‌داری بین میزان pH خاک ریزوسفری و غیرریزوسفری مشاهده نشد. عدم تغییر معنی‌دار pH در ریزوسفر نسبت به توده خاک به هیچ‌عنوان به معنی غیبت و عدم وجود جریان‌های پروتونی در ریزوسفر نیست به‌طوری‌که این پروتون‌ها در طیف وسیعی از واکنش‌هایی که منجر به مصرف پروتون می‌شوند (مثل انحلال آهک و تبادل کاتیونی) می‌توانند شرکت داشته باشند.

مقایسه میانگین تأثیر منابع آلی و تلقیح میکروبی بر قابلیت هدایت الکتریکی (EC) خاک نشان داد (جدول ۳)، بیش‌ترین میزان EC مربوط به تیمار کمپوست تلقیح باکتریایی بود که ۱/۰۴ برابر بیش‌تر از تیمار بدون تلقیح بود. به‌طور کلی تلقیح میکروبی سبب افزایش EC در تیمارها شد. حتی در تیمار شاهد تلقیح میکروبی میزان EC بیش‌تر از بیوچار بدون تلقیح بود. EC در تمام تیمارهای آلی نسبت به تیمار شاهد در هر دو سطح خاک ریزوسفری و غیرریزوسفری معنی‌دار بود (جدول ۴). به‌طوری‌که کمپوست ضایعات هرس میزان EC در خاک ریزوسفری را به ترتیب ۱/۳۶ و ۱/۴۸ برابر نسبت به خاک غیرریزوسفری و تیمار شاهد در هر دو سطح خاک افزایش داد. باکتری‌های PGPR منجر به افزایش ۱/۲۲ برابری میزان EC در خاک ریزوسفری در مقایسه با خاک غیرریزوسفری شدند (جدول ۵).

بر اساس نتایج به‌دست آمده، مشاهده شد که افزایش EC در تیمار کمپوست به‌دلیل بالا بودن غلظت املاح در کمپوست ضایعات هرس مصرفی بود. کاربرد کودهای آلی غلظت یون‌ها در محلول خاک را افزایش می‌دهد و باعث افزایش EC ریزوسفر نسبت به غیرریزوسفر می‌شود. باکتری‌های PGPR با کاهش pH خاک ریزوسفری به‌دلیل افزایش فعالیت پروتونی زیاد و با توجه به هدایت اکسی‌والانی  $H^+$  باعث افزایش EC محلول خاک ریزوسفری می‌شود. سومار و همکاران (Soumare et al., 2002) میزان سه تا چهار

خاک غیرریزوسفر به ترتیب ۱/۲۱ و ۱/۲۵ برابر نسبت به ریزوسفر افزایش دادند.

ونگ و همکاران (Wang *et al.*, 2001) نشان دادند که خاک ریزوسفری محیطی مهم در خاک بوده که ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن با خاک غیرریزوسفری عمدتاً به دلیل وجود ترکیبات آلی با وزن مولکولی کم و ترشحات ریشه‌ای کم متفاوت بوده که این تفاوت نقش مهمی بر چرخه عناصر غذایی در خاک دارد. هم‌چنین انواع ضایعات گیاهی سلولزی و مواد آلی افزوده شده در معرض تجزیه میکروبی در ریزوسفر بوده که سبب آزاد شدن عناصر غذایی از این مواد آلی شده و فراهمی عناصر غذایی را افزایش می‌دهند. علاوه بر این، نیتروژن کل کمپوست مصرفی بالا بود که همین امر می‌تواند منجر به افزایش نیتروژن خاک گردد (جدول ۲). افزودن کمپوست به خاک سبب افزایش ماده آلی در خاک ریزوسفری شد (جدول ۴). از طرفی به دلیل همبستگی بالای کربن آلی و نیتروژن کل، سبب افزایش نیتروژن کل در خاک ریزوسفری با افزودن مواد آلی به خاک می‌شود (Salardini, 2008). تجزیه مواد آلی در خاک در طیف گسترده‌ای توسط نسبت C/N تعیین می‌شود. هرچه این نسبت کم‌تر باشد، کربن آلی کم و محتوای نیتروژن بالا بوده و نیتروژن زیادی در اثر معدنی شدن ماده آلی در خاک آزاد می‌شود. با توجه به پایین بودن نسبت C/N در کمپوست نسبت به بیوجار (جدول ۲) موجب تجزیه سریع‌تر آن در خاک شده و امکان فراهمی نیتروژن کافی در ریزوسفر برای گیاهان را فراهم کند. بیدرمن و هارپول (Biederman & Harpole, 2013) با بررسی بیوجار و تأثیرات آن بر عملکرد گیاه و چرخه عناصر غذایی گزارش کردند که نسبت C/N از منبع بیوجار اثر قابل پیش‌بینی بر باروری خاک ندارد، با این حال باعث افزایش نیتروژن کل خاک شد. این پدیده احتمالاً به دلیل نیتروژن موجود در ساختار بیوجار بوده که در این قسمت مشارکت کرده اما برای گیاهان و میکروبها غیرقابل دسترس است. از این‌رو با نتایج حاصل از پژوهش حاضر مطابقت داشته، چرا که نسبت C/N بیوجار محدودیتی در فراهمی نیتروژن کل خاک نداشت. هر چند که در فراهمی این عنصر بعد از کمپوست بود. کربن و نیتروژن قابل جذب میکروبها در بیوجار محدود بوده و حتی امکان دارد بیوجار مولکولهای آلی با نسبت C/N بالا را از محلول خاک جذب کرده و معدنی شدن را افزایش داده و سبب عدم کاهش نیتروژن خاک در اثر افزودن بیوجار به خاک شود (Gundale *et al.*,

می‌کنند که قابل اندازه‌گیری با روش والکی- بلک نیست. هم‌چنین از دلایل دیگر، احتمالاً باکتری‌ها با کاهش کربن آلی سبب افزایش قابلیت عناصر غذایی در خاک و به تبع آن در گیاه شده‌اند. هم‌چنین سرعت ورود مواد آلی در ریزوسفر بیش‌تر از غیرریزوسفر است و دلیل آن سلولهای ریزان ریشه می‌باشد، علاوه بر این، ترشحات ریشه‌ای مانند ترکیبات فنولی در ریزوسفر به‌عنوان محرک رشد میکروبی در خاک ریزوسفری بوده و زمانی که تجزیه می‌شوند سبب افزایش کربن آلی و عناصر غذایی در خاک می‌شوند.

### فراهمی عناصر پر مصرف در خاک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی و اثرات متقابل (منابع آلی × تلقیح میکروبی، منابع آلی × خاک و تلقیح میکروبی × خاک) بر میزان عناصر پر مصرف خاک ( $p < 0.001$ ) معنی‌دار شد. مقایسه میانگین اثر منابع آلی و تلقیح میکروبی بر نیتروژن کل نشان داد که افزودن مواد آلی همراه با تلقیح میکروبی تأثیر معنی‌داری نسبت به شرایط بدون تلقیح و نیز شرایط بدون ماده آلی و بدون تلقیح (-Cont-PGPR) بر مصرف خاک داشت (جدول ۳). به طوری که در تیمار کمپوست، حضور باکتری‌های PGPR منجر به افزایش ۱۵/۳۸، ۳۵/۶۳ و ۹/۸۲ درصدی N، P و K نسبت به شرایط بدون تلقیح داشت. هم‌چنین تلقیح با باکتری‌های PGPR در تیمار بیوجار نیز سبب افزایش ۱۸/۱۸، ۴۶/۴۹ و ۲۰/۴۷ درصدی N، P و K در مقایسه با شرایط بدون تلقیح شد. مقدار نیتروژن کل در خاک ریزوسفر بالاتر از خاک غیرریزوسفر بود. بالاترین میزان نیتروژن کل در خاک ریزوسفری تیمار کمپوست بود که ۱/۱۷ برابر نسبت به خاک غیرریزوسفری افزایش نشان داد. کم‌ترین میزان نیتروژن کل نیز در خاک ریزوسفری تیمار شاهد بدون ماده آلی مشاهده شد که افزایش ۱/۵۷ برابری نسبت به خاک غیرریزوسفری داشت (جدول ۴). بالاترین میزان P و K در خاک غیرریزوسفری تیمار (PWC) مشاهده شد که به ترتیب ۱۴/۸۱ و ۱۹/۱۰ درصد نسبت به خاک ریزوسفری افزایش نشان داد. تلقیح میکروبی بیش‌ترین تأثیر در افزایش فراهمی عناصر پر مصرف در خاک ریزوسفری و غیرریزوسفری را داشت (جدول ۵). باکتری‌های PGPR سبب افزایش ۱/۱۹ برابری نیتروژن کل در خاک ریزوسفری در مقایسه با غیرریزوسفر شد. البته این باکتری‌های برخلاف نیتروژن، فراهمی فسفر و پتاسیم را در

آهن و آلومینیوم و افزایش دفع آنیونی بر فراهمی فسفر مؤثر باشند (Gyaneshwar *et al.*, 2002). مجموعه این عوامل در اثر تجزیه مواد آلی باعث شده که گیاه به سهولت فسفر قابل استفاده را از خاک ریزوسفری جذب کرده و منجر به ایجاد تفاوت در خاک ریزوسفری نسبت به خاک غیرریزوسفر شود. آگینگو و همکاران (Agegnehu *et al.*, 2015) با بررسی تأثیر اصلاح کنندگی بیوچار و کمپوست بر کیفیت خاک و رشد گیاه در خاک فراسول مشاهده کردند که بیوچار و کمپوست سبب افزایش فراهمی P، N و K در خاک شد که این افزایش در کمپوست در مقایسه با بیوچار بیش تر بود. هم چنین باکتری های حل کننده فسفات بر اثر تجزیه مواد آلی اسیدهای آلی ترشح کرده که علاوه بر کاهش pH خاک قادر به انحلال فسفات های معدنی شامل فسفات کلسیم در خاک هایی با pH بالا هستند. به نظر می رسد جذب فسفر توسط ریشه گیاه و ریزجانداران منجر به تخلیه مخازن لبایل در خاک های ریزوسفری شده و در نتیجه سرعت آزادسازی فسفر در خاک های ریزوسفر پایین تر از خاک های غیرریزوسفر است. نتایج حاکی از آن بود که کمپوست همانند افزایش سایر عناصر غذایی نسبت به بیوچار در فراهمی پتاسیم در خاک نیز موفق بوده است. در ارتباط با پتاسیم نیز می توان چنین بیان کرد که ماده آلی همراه با باکتری های PGPR وضعیت فیزیکی مناسبی در محیط ریشه ایجاد کرده و باعث بهبود شرایط تهویه ای ریشه و فراهم نمودن امکان رشد و توسعه بیش تر ریشه در خاک را فراهم نموده و سطح جذب ریشه را افزایش می دهد. هم چنین اسیدهای آلی و معدنی، سیدروفور، آگزو پلی- ساکاریدها و آنزیم هایی که توسط این باکتری ها تولید می شود، اشاره کرد که باعث انحلال پتاسیم در خاک می شوند (Basak & Biswas, 2009). اگرچه مواد آلی همانند کمپوست با بهبود ویژگی های فیزیکی بستر ریشه به صورت غیرمستقیم بر افزایش رهاسازی پتاسیم مؤثر هستند، سهم و تأثیر شیمیایی آن ها به مراتب بارزتر است. بیوچار نیز همانند کمپوست در افزایش قابلیت دسترسی پتاسیم در خاک مؤثر است. هافلا و همکاران (Hafele *et al.*, 2011) با مطالعه تأثیر کاربرد بیوچار تهیه شده از بقایای برنج بر عناصر غذایی در خاک قلیایی گزارش کردند که بیوچار سبب افزایش قابلیت استفاده پتاسیم شد. می توان چنین نتیجه گرفت که ماده آلی (کمپوست و بیوچار) از طریق افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی در خاک آهکی منجر به افزایش جذب پتاسیم

2007). اهمیت باکتری ها به عنوان محرک اصلی چرخه نیتروژن به دلایل زیادی هم در خاک ریزوسفری و هم غیرریزوسفری نشان داده شده است (Rosswall, 1983). به طور کلی در ریزوسفر، سوبستراهای کربن، انرژی زیادی که برای چرخه نیتروژن در خاک لازم بوده را تأمین می کند. میشر و همکاران (Mishra *et al.*, 2015) گزارش کردند که سوبه های مختلف باکتری های PGPR سبب افزایش زیست فراهمی نیتروژن کل در ریزوسفر نسبت به نواحی دورتر شد. با توجه به نتایج این تحقیق، چنین نتیجه گیری می توان کرد که فعالیت های میکروبی گیاهان و زیست توده میکروبی آن ها قابلیت افزایش معدنی شدن نیتروژن در ریزوسفر را داشته و بنابراین جذب آن توسط گیاه را افزایش دهند. موریتسوکا و همکاران (Moritsuka *et al.*, 2000) تغییرات پتاسیم، فسفر و نیتروژن را در ریزوسفر گیاه ذرت با استفاده از رایزوباکس مطالعه کردند. آن ها مشاهده کردند که غلظت فسفر و پتاسیم در بخش مرکزی رایزوباکس (ریزوسفر) و نیتروژن در انتهای رایزوباکس (غیرریزوسفر) کاهش یافت. هم چنین آنان دریافتند که میزان عناصر محلول در نزدیک ریشه کاهش یافت که میزان این کاهش به مقدار پخشیدگی عنصر در ریزوسفر بستگی داشت. در ارتباط با فراهمی فسفر، خلیل و همکاران (Khalil *et al.*, 2015) مشاهده کردند که تلقیح کمپوست با باکتری های PGPR منجر به افزایش فسفر قابل استفاده در خاک شد. سیددیکوی و همکاران (Siddiqui *et al.*, 2016) گزارش کردند که بیوچار با فراهم کردن زیستگاه و تأمین کربن برای باکتری های حل کننده فسفات (PSB) می تواند ترکیبات کم محلول فسفر را حل کرده و به بهبود فراهمی فسفر در خاک کمک کند. مکابلا و وارمن (Mkhabela & Warman, 2005) گزارش کردند که کاربرد کمپوست می تواند به اندازه ی کودهای شیمیایی در افزایش فسفر قابل جذب خاک مؤثر باشد. این امر احتمالاً به دلیل افزایش فعالیت میکروبی پس از کاربرد کمپوست و در نتیجه آزادسازی فسفر در طول معدنی شدن مواد آلی می باشد. افزایش بیش تر مقدار فسفر قابل استفاده در خاک غیرریزوسفری در تیمار کمپوست نسبت به سایر تیمارها به علت بالا بودن فسفر کمپوست مصرفی می باشد (جدول ۲). افزایش ترکیبات آلی محلول مانند قندها و اسیدهای آلی در محلول خاک که این ترکیبات با جایگزینی آنیونی با یون های ارتوفسفات روی مکان های جذب، ایجاد پوشش بر روی سطوح جذب کننده، ایجاد کمپلکس با یون های کلسیم،



مختلفی اثر فرآیندهای زیستی و مواد ترشحاتی از ریشه گیاهان و ریزجانداران بر روی هوادیدگی فزهای معدنی در ناحیه ریزوسفر را گزارش کرده‌اند (Norozi *et al.*, 2006).

به‌وسیله محل‌های تبدالی شده و در نتیجه قابلیت جذب پتاسیم توسط گیاه را افزایش داده است. احتمالاً جذب پتاسیم از ریزوسفر توسط گیاه منجر به کاهش پتاسیم در خاک ریزوسفری نسبت به غیرریزوسفر شده است. مطالعات

جدول ۳- مقایسه میانگین منابع آلی و تلقیح میکروبی بر pH، EC، کربن آلی و عناصر پر مصرف در خاک

Table 3. Mean comparisons of the organic source and microbial inoculation on pH, EC, OC and macronutrients in the soil

Treatments	pH	EC	OC	N(Total)	P-Olsen	K- Available
		dS m <sup>-1</sup>	%	%	mg.kg <sup>-1</sup>	mg.kg <sup>-1</sup>
Cont-PGPR+	7.35 <sup>d</sup>	0.47 <sup>d</sup>	0.40 <sup>e</sup>	0.11 <sup>d</sup>	12.08 <sup>e</sup>	224.0 <sup>e</sup>
PWB-PGPR+	7.69 <sup>b</sup>	0.48 <sup>d</sup>	0.72 <sup>d</sup>	0.15 <sup>c</sup>	29.77 <sup>c</sup>	597.30 <sup>c</sup>
PWC-PGPR+	7.56 <sup>c</sup>	1.19 <sup>a</sup>	1.66 <sup>b</sup>	0.26 <sup>a</sup>	105.40 <sup>a</sup>	734.50 <sup>a</sup>
Cont-PGPR-	7.58 <sup>c</sup>	0.31 <sup>e</sup>	0.43 <sup>e</sup>	0.09 <sup>f</sup>	7.63 <sup>f</sup>	154.20 <sup>f</sup>
PWB-PGPR-	7.88 <sup>a</sup>	0.60 <sup>c</sup>	0.91 <sup>c</sup>	0.12 <sup>d</sup>	15.93 <sup>d</sup>	475.0 <sup>d</sup>
PWC-PGPR-	7.64 <sup>bc</sup>	1.14 <sup>b</sup>	1.84 <sup>a</sup>	0.22 <sup>b</sup>	67.85 <sup>b</sup>	662.40 <sup>b</sup>
LSD	0.075	0.053	0.141	0.016	3.12	22.08

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک می‌باشند، براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means with similar letters are not significantly different at 5% probability level according to Duncan tests.

PGPR+ و PGPR-، Cont، PWC، PWB به ترتیب بیوجار، کمیوست، شاهد بدون ماده آلی، شاهد بدون تلقیح میکروبی و تلقیح با باکتری‌های PGPR

PWB، PWC، Cont، PGPR- and PGPR biochar، compost، control (without organic matter)، Control without microbial inoculation and inoculation with PGPR bacteria، respectively.

جدول ۴- مقایسه میانگین منابع آلی و خاک بر pH، EC، کربن آلی و عناصر پر مصرف در خاک

Table 4. Mean comparisons of the organic source and soil on pH, EC, OC and macronutrients in the soil

Parameters	RS			NRS			LSD <sub>0.05</sub>	
	Cont	PWB	PWC	Cont	PWB	PWC		
pH	7.43 <sup>c</sup>	7.78 <sup>a</sup>	7.58 <sup>b</sup>	7.51 <sup>c</sup>	7.81 <sup>a</sup>	7.63 <sup>b</sup>	0.075	
EC	dS m <sup>-1</sup>	0.45 <sup>d</sup>	0.57 <sup>c</sup>	1.20 <sup>a</sup>	0.32 <sup>e</sup>	0.42 <sup>d</sup>	1.13 <sup>b</sup>	0.053
OC	%	0.49 <sup>e</sup>	0.97 <sup>c</sup>	1.93 <sup>a</sup>	0.35 <sup>e</sup>	0.73 <sup>d</sup>	1.60 <sup>b</sup>	0.141
N(Total)	%	0.11 <sup>e</sup>	0.14 <sup>c</sup>	0.26 <sup>a</sup>	0.07 <sup>f</sup>	0.12 <sup>d</sup>	0.22 <sup>b</sup>	0.016
P-Olsen	mg kg <sup>-1</sup>	8.44 <sup>e</sup>	19.06 <sup>d</sup>	79.69 <sup>b</sup>	11.26 <sup>e</sup>	26.65 <sup>c</sup>	93.54 <sup>a</sup>	3.12
K- Available	mg kg <sup>-1</sup>	163.14 <sup>f</sup>	481.5 <sup>d</sup>	624.7 <sup>b</sup>	215.02 <sup>e</sup>	590.7 <sup>c</sup>	772.2 <sup>a</sup>	22.08

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمالی پنج درصد اختلاف آماری معنی‌داری ندارند.

Means with similar letters are not significantly different at 5% probability level according to Duncan tests.

Cont، PWB، PWC، RS و NRS به ترتیب شاهد بدون ماده آلی، بیوجار، کمیوست، خاک ریزوسفر و غیرریزوسفر

Cont، PWB، PWC، RS and NRS، respectively Control (without organic matter)، biochar، compost، rhizospher soil and non-rhizospher soil

جدول ۵- نتایج مقایسه میانگین اثر تلقیح میکروبی و خاک بر EC، کربن آلی و عناصر پر مصرف در خاک

Table 5. Mean comparisons of the microbial inoculation and soil on EC, OC and macronutrients in the soil

Parameters	RS		NRS		LSD <sub>0.05</sub>	
	PGPR-	PGPR+	PGPR-	PGPR+		
EC	dS m <sup>-1</sup>	0.68 <sup>b</sup>	0.79 <sup>a</sup>	0.60 <sup>c</sup>	0.65 <sup>b</sup>	0.053
OC	%	1.18 <sup>a</sup>	1.07 <sup>ab</sup>	0.93 <sup>b</sup>	0.86 <sup>c</sup>	0.141
N(Total)	%	0.15 <sup>c</sup>	0.19 <sup>a</sup>	0.13 <sup>d</sup>	0.16 <sup>b</sup>	0.016
P-Olsen	mg kg <sup>-1</sup>	26.96 <sup>d</sup>	44.50 <sup>b</sup>	33.98 <sup>c</sup>	53.66 <sup>a</sup>	3.12
K- Available	mg kg <sup>-1</sup>	387.1 <sup>c</sup>	459.1 <sup>b</sup>	474.0 <sup>b</sup>	578.1 <sup>a</sup>	22.08

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمالی پنج درصد اختلاف آماری معنی‌داری ندارند.

Means with similar letters are not significantly different at 5% probability level according to Duncan tests.

PGPR-، PGPR+، RS و NRS به ترتیب شاهد بدون تلقیح میکروبی و تلقیح با باکتری‌های PGPR، خاک ریزوسفر و غیرریزوسفر

PGPR- and PGPR+، RS and NRS، respectively Control without microbial inoculation and inoculation with PGPR bacteria، rhizospher soil and non-rhizospher soil

در ارتباط با مقدار نیتروژن، فسفر و پتاسیم ( $p < 0.001$ ) نتایج نشانگر معنی‌دار بودن اثر متقابل منابع آلی و تلقیح

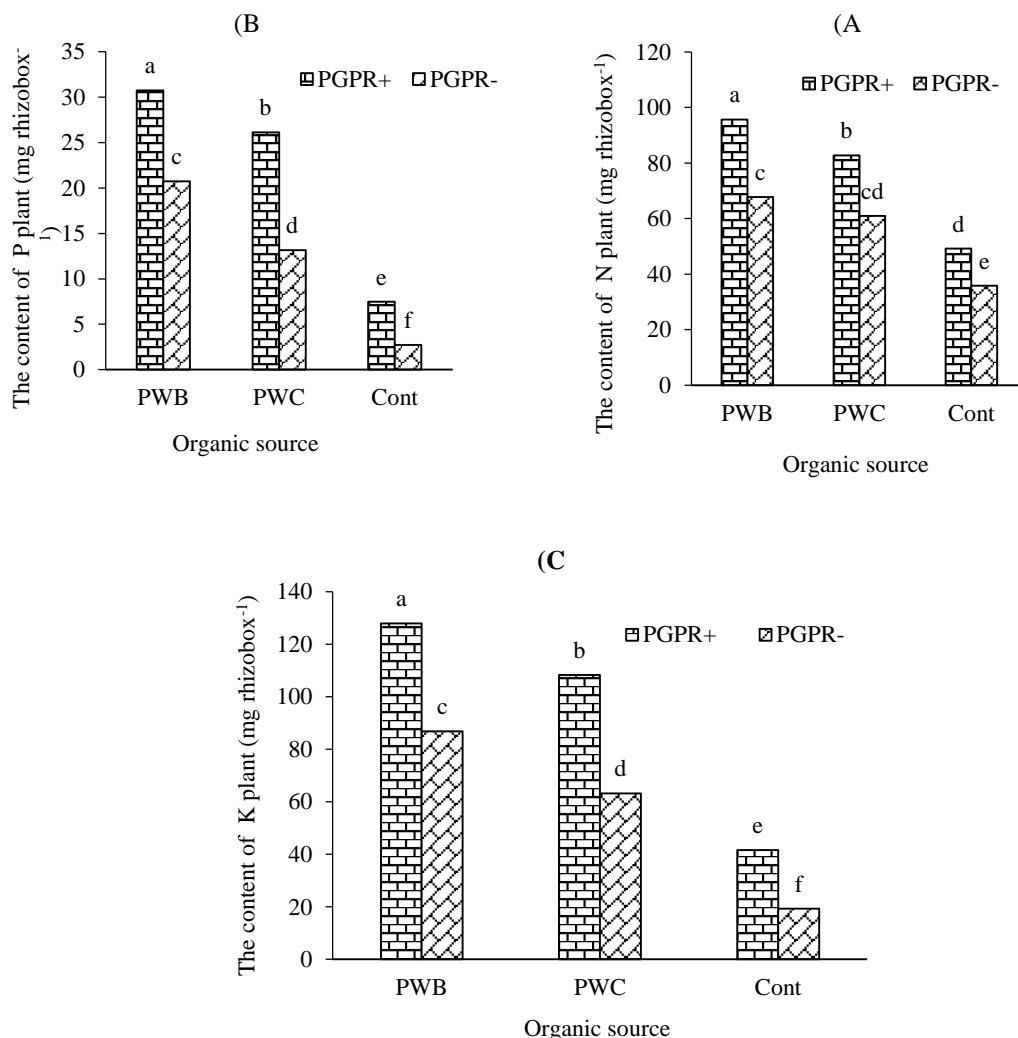
میزان عناصر پر مصرف جذب شده توسط گیاه

باکتری‌های باسیلوس و خاک سبب افزایش (۱/۶۴ درصد) نیتروژن کل نسبت به تیمار خاک و باسیلوس (۱/۲۴ درصد) در بخش هوایی گیاه لوبیا شد. همچنین افزایش عناصر غذایی در گیاهان هم‌زیست با باکتری-های PGPR می‌تواند دلیل تولید تنظیم‌کننده‌های رشد یا هورمون‌های مؤثر در رشد گیاه نسبت داد، چرا که توسط باکتری‌ها در سطح ریشه تحریک شده، سبب افزایش گسترش ریشه و جذب آب و عناصر غذایی می‌شوند. همچنین نتایج بدست آمده نشان داد که ریشه گیاه به‌خوبی توانسته فسفر قابل استفاده گیاه را از منطقه ریزوسفر جذب و به بخش هوایی گیاه منتقل کرده و منجر به کاهش فسفر قابل استفاده در منطقه ریزوسفر نسبت به خاک غیرریزوسفری شود. چنانچه مشاهده شد، بیش‌ترین میزان فسفر قابل استفاده خاک در تیمار کمپوست تلقیح باکتریایی بود. تیمار بیوچار نیز در تلقیح باکتریایی باعث افزایش مقدار فسفر قابل استفاده خاک شده بود هر چند که کمتر از تیمار کمپوست بود. از جمله دلایل افزایش حلالیت فسفر در نتیجه افزودن کمپوست، حضور فسفر زیاد در کمپوست مصرفی و تشکیل کمپلکس‌های فسفوهومیک بوده که سبب کند شدن فرآیند تثبیت فسفر در خاک شده و توانسته بخشی از نیاز گیاه به فسفر را تأمین کند. در ارتباط با تیمار بیوچار نیز می‌توان چنین بیان کرد که باکتری‌های PGPR فعال‌تر از تیمار بدون تلقیح عمل کرده و مقدار بیش‌تری از فسفر قابل استفاده خاک را از طریق ریشه جذب و به بخش هوایی گیاه منتقل کند که منجر به افزایش مقدار فسفر در گیاه شود. بودانیا و همکاران (Budania et al., 2014) گزارش کردند که استفاده از ۶۰ کیلوگرم در هکتار  $P_2O_5$  با عناصر ریزمغذی مخلوط شده با بیوچار همراه با باکتری‌های PGPR باعث افزایش مقدار نیتروژن و فسفر (به ترتیب چهار و ۰/۵ درصدی) در دانه نخود فرنگی (Cicer arietinum L.) و نیز این افزایش بیش‌تر از تیمار شاهد بود. حضور مواد مغذی گیاهی و خاکستر در بیوچار، سطح ویژه بالا و طبیعت متخلخل و ظرفیت ایجاد محیطی برای باکتری‌ها به‌عنوان دلایل اصلی بهبود ویژگی‌های خاک و جذب عناصر غذایی توسط گیاه در خاک‌های تحت تیمار بیوچار می‌باشد (Nigussie et al., 2012). غلظت عناصر در گیاه تحت تأثیر غلظت عناصر

میکروبی بر مقدار این عناصر در گیاه بود. نتایج نشان داد که در تیمارهای ماده آلی حتی در تیمار بدون ماده آلی باکتری‌های PGPR تأثیر معنی‌داری بر میزان عناصر پرمصرف در گیاه داشت (شکل ۱). بیش‌ترین میزان نیتروژن بخش هوایی گیاه در تیمار بیوچار تلقیح باکتریایی مشاهده شد که ۱/۴۱ برابر بیش‌تر از تیمار بیوچار بدون تلقیح بود و با تیمار کمپوست و تیمار شاهد در هر دو سطح تلقیح تفاوت معنی‌داری از لحاظ آماری نشان داد (شکل ۱- A). مقایسه میانگین اثر متقابل تلقیح میکروبی و منابع آلی بیانگر افزایش معنی-دار مقدار فسفر و پتاسیم گیاه بود. البته بیوچار سبب افزایش مقدار فسفر و پتاسیم در تلقیح باکتریایی نسبت به شرایط بدون تلقیح باکتریایی و نیز سایر تیمارها در هر دو سطح تلقیح شد (شکل ۱- B و C). بر اساس نتایج بدست آمده بالاترین میزان عناصر پرمصرف خاک در تیمار کمپوست مشاهده شد. همچنین بیوچار نیز سبب افزایش میزان این عناصر در خاک شد. هرچند که نسبت به کمپوست کاهش نشان داد، علت این کاهش ناشی از سرعت جذب بیش‌تر عناصر N، P، K توسط گیاه بود (شکل ۱). همچنین مقدار نیتروژن کل خاک نیز در تیمار کمپوست نشان دهنده‌ی این بود که به‌علت بالا بودن نیتروژن در خاک توانسته میزان نیتروژن بیش‌تری برای گیاه فراهم کند. نتایج آزمایش هیو و بارکر (Hu & Barker, 2004) نیز نشان داد که کمپوست ضایعات کشاورزی باعث جذب مقادیر زیادی از عناصر غذایی به ویژه نیتروژن در گیاه گوجه فرنگی شد. بیوچار دارای قابلیت جذب آنیونی بوده و سطح ویژه‌ی بالایی داشته که قادر به جذب یون‌های نیترات بوده و موجب نگهداری آن در خاک و کاهش آب‌شویی نیترات و افزایش نیتروژن در محدوده‌ی ریشه شده و در نهایت باعث افزایش میزان نیتروژن گیاه شده است (Zhang et al., 2015). بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت که قابلیت بالای جذب رطوبتی بیوچار و بالا بودن تخلخل ریز در ساختار آن این امکان برای باکتری‌ها و سایر فرآیندهای نیترات‌ساز را تسهیل می‌کند. از طرفی، باکتری‌ها از طریق افزایش وزن خشک ریشه و فراهم کردن سطح جذب، سبب بهبود جذب عناصر معدنی، نظیر نیتروژن در گیاه می‌شوند. ساکینا و همکاران (Saxena et al., 2013) گزارش کردند که کاربرد بیوچار، تلقیح

حاصل از این پژوهش مطابقت داشته، چرا که تیمار بیوجار تلقیح شده با باکتری‌های PGPR نسبت به کمپوست کاهش مقدار پتاسیم در خاک را نشان داد که بیانگر جذب بیشتر پتاسیم توسط گیاه بوده است.

در خاک است. به گونه‌ای انتظار می‌رود با افزایش غلظت عناصر در خاک، غلظت آن‌ها در گیاه نیز بیشتر شود، یا با کاهش غلظت عناصر در خاک، جذب بیشتری توسط گیاه انجام گرفته باشد. لذا یافته‌های پیشین با نتایج



شکل ۱- مقایسه میانگین منابع آلی و تلقیح میکروبی بر مقدار نیتروژن (A)، فسفر (B) و پتاسیم گیاه (C)  
 Figure 1. Mean comparison of the organic source and microbial inoculation on N(A), P(B) and K(C) in plant  
 PGPR+ و PGPR- به ترتیب بیوجار، کمپوست، شاهد بدون ماده آلی، شاهد بدون تلقیح میکروبی و تلقیح با باکتری‌های PGPR  
 PWB, PWC, Cont, PGPR- and PGPR+ biochar, compost, control (without organic matter), control (without microbial inoculation) and inoculation with PGPR bacteria, respectively.

به‌عنوان شکل مقاوم به تجزیه کربن آلی در خاک‌ها و کمپوست ویژگی‌های شیمیایی ریزوسفر (PH, EC و OC) را تغییر داده و منجر به افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی در خاک‌های آهکی و در نهایت افزایش فراهمی آن‌ها در گیاه می‌شود. روش رایزوباکس از تکنیک‌های نوین در ارزیابی خاک ریزوسفری بوده و به همراه تلقیح میکروبی در این شرایط توانست فرآیندهای میکروبی-

### نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان این گونه بیان نمود که منحصر به‌فرد بودن ریزوسفر از لحاظ تغذیه گیاه می‌تواند استراتژی‌های مدیریتی مؤثری را در اختیار کشاورزان و تولید کنندگان قرار داده که منجر به افزایش تولید و کاهش مصرف نهاده‌های کشاورزی از جمله کود شیمیایی شود. همچنین استفاده از بیوجار

ریزوسفر، فرآیندهای بیوژئوشیمیایی ریزوسفر سبب می-شود که ریشه گیاه به آسانی نیاز خود به عناصر غذایی را از این منطقه جذب کرده و منجر به افزایش زیست-فراهمی عناصر در گیاه شود. بنابراین تبدیل ضایعات هرس درختان سیب و انگور به کمپوست و بیوچار و استفاده از قابلیت زیستی ریزجانداران منجر به حاصلخیزی خاک شده و اثرات آن‌ها به صورت بهبود قابلیت دسترسی عناصر غذایی و کاهش کودهای شیمیایی ظاهر می‌شود.

### سپاسگزاری

بخشی از نتایج این تحقیق در قالب طرح پژوهشی شماره ۸۵۱۲۵/۶۰ با استفاده از اعتبارات "صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور" انجام گردیده که بدینوسیله تقدیر و تشکر می‌گردد.

ریزوسفری مرتبط با عناصر غذایی را توجیه نمایند. تجزیه تدریجی مواد آلی بالاخص کمپوست توأم با افزایش فعالیت باکتری‌های PGPR منجر به معدنی شدن مواد آلی شده و سبب افزایش زیست فراهمی عناصر غذایی در خاک می‌شود. ویژگی‌های ریزوسفر به دلیل وجود ترشحات ریشه‌ای، جذب و واجذب عناصر غذایی، جذب آب و نیروهای فیزیکی ریشه با خاک ریزوسفری متفاوت است. تغییرات pH، EC، کربن آلی، ترشح انواع اسیدهای آلی توسط ریزجانداران و ریشه گیاه، تعادلات شیمیایی همانند جذب و انحلال و جذب کاتیون‌ها توسط ریشه گیاهان از جمله عوامل مؤثر بر تغییرات شیمیایی و زیستی حاصل از تجزیه مواد آلی و فعالیت باکتری‌های PGPR بر فراهمی عناصر غذایی در خاک و جذب آن‌ها توسط گیاه می‌باشد. برهم‌کنش مثبت مواد آلی به ویژه بیوچار با باکتری PGPR در

### References

- Agegnehu G., Bird M.I., Bass A.M., Nelson P.N., and Bass A.A. 2015. The ameliorating effects of biochar and compost on soil quality and plant growth on a Ferralsol. *Soil Research*, 53: 1-12.
- Basak B.B., and Biswas D.R. 2009. Influence of potassium solubilizing microorganism (*Bacillus mucilaginosus*) and waste mica on potassium uptake dynamics by Sudan grass (*Sorghum vulgare Pers.*) grown under two Alfisols. *Plant and Soil*, 317: 235-255.
- Biederman L.A., and Harpole W.S. 2013. Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis. *GCB Bioenergy*, 5(2): 202-214.
- Bramryd T. 2001. Effect of liquid and dewatered sewage sludge applied to a Scot pine stand (*Pinus sylvestris L.*) in central Sweden. *Forest Ecology and Management*, 147: 197-216.
- Budania A.K., and Janardan Y. 2014. Effects of PGPR blended biochar and different levels of phosphorus on yield and nutrient uptake by chickpea. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 19 (3): 408-412.
- Chan K. Y., Van Zwieten L., Meszaros I., Downie A., and Joseph S. 2007. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. *Soil Research*, 45: 629-634.
- Chintala R, Mollinedo J, Schumacher T E, Malo D D, Julson J L. 2013. Effect of biochars on chemical properties of acidic soil. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 60: 393-404.
- Danish S., Younis U., Akhtar N., Ameer A., Ijaz M., Nasreen S., Huma F., Sharif S., and Ehsanullah M. 2014. Phosphorus solubilizing bacteria and rice straw biochar consequence on maize pigments synthesis. *International Journal of Biosciences*, 5(12): 31-39.
- Das A., Patel D.P., Munda G.C., and Ghosh P.K. 2010. Effect of organic and inorganic sources of nutrients on yield, nutrient uptake and soil fertility of maize (*Zea mays*)-mustard (*Brassica campestris*) cropping system. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 80(1): 85-88.
- Domene X., Mattana S., Hanley K., Enders A., and Lehmann J. 2014. Medium-term effects of corn biochar addition on soil biota activities and functions in a temperate soil cropped to corn. *Soil Biology and Biochemistry*, 72: 152-162.
- Duineveld B.M., Kowalchuk G.A., Keijzer A., van Elsas J.D., and van Veen J.A. 2001. Analysis of bacterial communities in the rhizosphere of chrysanthemum via denaturing gradient gel electrophoresis of PCR-amplified 16S rRNA as well as DNA fragments coding for 16S rRNA. *Applied and Environmental Microbiology*, 67: 172-178.
- Gee G.W., and Bauder J.W. 1986. Physical and Mineralogical Methods. In: Clute A (Ed.), *Methods of Soil Analysis*, part 1. ASA and SSSA, Medison Wisconsin, pp: 383-409.

- Gundale M.J., and DeLuca T.H. 2007. Charcoal effects on soil solution chemistry and growth of *Koeleria macrantha* in the ponderosa pine/douglas fir ecosystem. *Biology and Fertility of Soils*, 43: 303-311.
- Gyaneshwar P., Naresh Kumar G., Parekh L.J., and Poole P.S. 2002. Role of soil microorganisms in improving P nutrition of plants. *Plant and Soil*, 245: 83-93.
- 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(3): 430-40.
- Hartmann A., Schmid M., van Tuinen D., and Berg G. 2009. Plant-driven selection of microbes. *Plant and Soil*, 321: 235-257.
- Hu Y., and Barker A.V. 2004. Effects of composts and their combinations with other materials on nutrient accumulation in tomato leaves. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 35: 2809-2823.
- Ippolito J.A., Novak J.M., Busscher W.J., Ahmedna M., Rehrah D., and Watts D.W. 2012. Switchgrass biochar affects two Aridisols. *Journal of Environmental Quality*. 41: 1123-1130.
- Jordan N.R., Zhang J., and Huerd S. 2000. Arbuscular-mycorrhizal fungi: potential roles in weed management. *Weed Research*, 40: 397-410.
- Khalil H.M.A., and Hassan R.M. 2015. International Journal of Plant Research, Raising the Productivity and Fiber Quality of Both White and Colored Cotton Using Eco-Friendly Fertilizers and Rice Straw. *International Journal of Plant Research*, 5(5): 122-135.
- Kjeldahl C. 1883. A new method for the determination of nitrogen in organic matter. *Fresenius' Zeitschrift für Analytische Chemie*, 22: 366.
- Krishna, P., Reddy, M.S. and Satyanarayana, T., 2006. Molecular Techniques for Understanding the Microbial Community Structure in Mycorrhizosphere. In: Mukerji K., Manoharachary C., Singh J. Microbial Activity in the Rhizosphere. Springer, Berlin, Heidelberg. (pp. 173-198).
- Kuklinsky-Sorbal J., Araujo W.L., Mendes R., Geraldi I.O., Pizzirani-Kleiner A. A. and Azevedo J.L. 2004. Isolation and characterization of soybean-associated bacteria and their potential for plant growth promotion. *Environmental Microbiology*, 6: 1244-1251.
- Laird D., Fleming P., Wang B.Q., Horton R., Karlen D. 2010. Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. *Geoderma*, 158: 436-442.
- Lehmann J., D.a., Silva J.P. J.r., 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.
- Lehmann J., Rillig M.C., Thies J., Masiello C.A., Hockaday W.C., and Crowley D. 2011. Biochar effects on soil biota: a review. *Soil Biology and Biochemistry*, 43: 1812-1836.
- Liu Y., Yang M., Wu Y., Wang H., Chen Y., and Wu W. 2011. Reducing CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> emission from waterlogged paddy soil with biochar. *Journal of Soils and Sediments*, 11: 930-939.
- Mishra A., Sachan S.H.G, and Pandey D.M. 2015. Maize rhizosphere microbial population in soils of Jharkhand. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 7(4): 218-222.
- Mkhabela M., 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(1): 57-67.
- Moritsuka N., Yanai J., and Kosaki T. 2000. Effect of plant growth on the distribution and forms of soil nutrients in the rhizosphere. *Soil Science and Plant Nutrition*, 46: 439-447.
- Nigussie A., Kissi E., Misganaw M., and Ambaw G. 2012. Effect of biochar application on soil Properties and nutrient uptake of Lettuces (*Lactuca sativa*) grown in chromium polluted soils. Am-Euras. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental*, 12 (3): 369-376.
- Norozi S. 2006. Release of Potassium from some mica minerals through some organic acid in rhizosphere of barley. M. Sc. Thesis in Soil Science. Soil Science Department. Isfahan University of technology, Isfahan, Iran. 158 p. (In Persian).
- Olsen, S.R., 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. United States Department of Agriculture; Washington.
- Rajkovich, S., Enders, A., Hanley, K., Hyland, C., Zimmerman, A. R., and Lehmann, J. 2011. Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biochars with varying properties to a temperate soil. *Biology and Fertility of Soils*, 48(3): 271-284.

- Roppongi K, 1993. Residual effects of rice straw compost after continuous application to upland alluvial soil. *Japanese Soil Science Plant Nutrition*, 64: 417-422.
- Rosswall T .1983. The nitrogen cycle. In: Bolin B, Cook R.B (Ed.), The major biogeochemical cycles and their interactions, Wiley, Chichester, pp. 46-50.
- Salardini A. A. 2008. Soil Fertility, The University of Tehran Press, 428 p. (In Persian)
- Saxena J., Rana G., and Pandey M. 2013. Impact of addition of biochar along with *Bacillus* species on growth and yield of french beans. *Scientia Horticulturae*, 162: 351-356.
- Siddiqui A.R. Nazeer S., Piracha M.A., Saleem M.M., Siddiq I, Shahzad S.M., and Sarwar G. 2016. The production of biochar and its possible effects on soil properties and phosphate solubilizing bacteria. *Journal of Applied Agriculture and Biotechnology*, 1(1): 27-40.
- Sohi S. P., Krull E., Lopez-Capel E., and Bol R. 2010. A review of biochar and its use and function in soil. *Advances in Agronomy*, 105: 47-82.
- Soumare M., Demeyer A., Tack F. M. G., and Verloo M. G., 2002. Chemical Characteristics of Malian and Belgian Solid Waste Composts. *Bioresource Technology*, 81: 97-101.
- Walkley A., Black I.A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1): 29-38.
- Wang Z., Shan X. Q., and Zhang S. 2001. Comparison of speciation and availability of rare earth elements between wet rhizosphere soil and air-dried bulk soil. *Analytica Chimica Acta*, 441: 147-156.
- Yao F.X., Arbestain M.C., Virgel S., Blanco F., Arostegui J., Macia-Agullo J.A., and Macias F. 2009. Simulated geochemical weathering of a mineral ash-rich biochar in a modified Soxhlet reactor. *Chemosphere*, 80: 724-732.
- Zhang A.P., Liu R.L., Gao J., Zhang Q.W., Xiao J.N., Chen Z., Yang S.Q., Hui J.Z., and Yang L.Z. 2015. Effects of biochar on nitrogen losses and rice yield in anthropogenic alluvial soil irrigated with yellow river water. *Journal of Agro-Environment Science*, 10: 116-54.

## The effect of Application of Biochar and Pruning Waste Compost with Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) on Availability of Macronutrient in Wheat Rhizosphere

Roghayeh Vahedi<sup>1</sup>, MirHassan Rasouli-Sadaghiani<sup>2\*</sup>

(Received: May 2017      Accepted: December 2017)

### Abstract

The organic matter and microorganisms affect the solubility and mobility of nutrients in the rhizosphere and so improve their bioavailability. In order to evaluate the effect of biochar, pruning waste compost of apple and grape trees and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on ability for macronutrient uptake in calcareous soil, an experiment carried out in a completely randomized design under greenhouse condition in rhizobox. The factors including: the organic matter (pruning waste biochar, pruning waste compost and control), microbial inoculation (PGPR and control (without microbial inoculation)) and soil (rhizosphere and non-rhizosphere soil). At the end of the growth period, pH, electrical conductivity (EC), Organic carbon and availability of macronutrients in the rhizosphere and non-rhizosphere soils and concentration macronutrients in the plant were determined. The results showed that the highest pH was in biochar (7.88) without microbial inoculation. The amount of EC, N, P and K in compost treatment with PGPR inoculation was significantly higher than other treatments. The highest organic carbon was observed in the control of compost, which increased to 78.9% in comparison with microbial inoculation treatment. Compost in provided more contents of EC, OC, N, P and K in the rhizosphere and non-rhizosphere comparison with biochar, it indicating higher EC, OC and nutrients content in the compost that was used. PGPR inoculation increased the availability of P and K by 1.21 and 1.26 times in non-rhizosphere soil, compared to the rhizosphere. However, EC, OC and N values in the rhizosphere soil of the PGPR inoculation treatment were 1.22, 1.24 and 1.19 times higher than non-rhizosphere soil, respectively. The higher uptake of N, P and k by plant in inoculum of PGPR biochar increased 48.60, 32.55 and 32.16 % compared to the control, respectively. In general, according to the results of this study, it seems that the use of PGPR and appropriate amounts of biochar and compost, while increasing the macronutrients availability in the soil, improve the uptake of these elements for plants.

**Keywords:** Nutrient availability, Organic matter, PGPR, Rhizosphere

Vahedi R. and Rasouli-Sadaghiani M.H. 2019. The effect of application of biochar and pruning waste compost with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on availability of macronutrient in wheat rhizosphere. *Applied Soil Research*, 6(4): 16-30.

1- MSc Student, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Iran.

2- Professor, Faculty of Agriculture, Department of Soil Science, Urmia University, Iran.

\* Corresponding Author Email: [m.rsadaghiani@urmia.ac.ir](mailto:m.rsadaghiani@urmia.ac.ir)