

## اثر کاربرد فسفر و زغال زیستی بر فراهمی فسفر، رشد و عملکرد سورگوم تلقیح شده با باکتری حل کننده فسفات

عبدالحسین ضیائیان<sup>۱\*</sup>، ابوالفتح مرادی<sup>۲</sup>، غلامرضا زارعیان<sup>۲</sup> و جهانبخش میرزاوند<sup>۲</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۲۷)

### چکیده

به دلیل آهکی بودن خاک‌های کشور ما، فراهمی فسفر برای گیاهان پائین است. به منظور بررسی اثرات کاربرد ریزجانداران خاک و زغال زیستی بر فراهمی فسفر، رشد و عملکرد سورگوم و برخی خصوصیات شیمیایی خاک، یک آزمایش گلدانی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. در این تحقیق اثرات دو تیمار تلقیح و عدم تلقیح باکتری حل کننده فسفات و دو تیمار مصرف زغال زیستی (صفر و ۱/۵ درصد وزنی) بر چهار سطح صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی گرم بر کیلوگرم  $P_2O_5$  از منبع سوپر فسفات تریپل، در سه تکرار، مطالعه گردید. نتایج نشان داد که تلقیح باکتری حل کننده فسفات و کاربرد زغال زیستی اثر افزایشی معنی داری بر حجم ریشه، عملکرد تر و خشک ریشه، وزن تر علوفه و جذب فسفر، نیتروژن و پتاسیم داشت. مصرف فسفر از طریق افزایش ارتفاع و قطر ساقه‌ها موجب افزایش معنی دار وزن علوفه گردید. کاربرد فسفر همچنین شوری خاک را افزایش و کربن آلی خاک را کاهش داد اما تلقیح باکتریایی مقدار کربن آلی را افزایش و شوری خاک را کاهش داد. کاربرد زغال زیستی نیز میزان کربن آلی و شوری خاک را افزایش داد اما هیچکدام تأثیر معنی داری بر اسیدیته خاک نداشتند. داده‌ها نشان دادند که هر چند کاربرد منفرد زغال زیستی و یا باکتری تأثیر معنی داری بر افزایش جذب فسفر داشتند اما کاربرد توأم زغال زیستی با فسفر، باکتری با فسفر و همچنین کاربرد توأم هر سه با هم از طریق افزایش بیش تر جذب فسفر موجب افزایش عملکرد سورگوم شدند به عبارت دیگر زغال زیستی یا باکتری تأثیر مثبتی بر اثر بخشی مصرف فسفر داشتند به طوری که بیش ترین ارتفاع بوته، علوفه تر و خشک و بیش ترین جذب کل فسفر، نیتروژن، پتاسیم و روی از کاربرد توأم باکتری حل کننده فسفات و زغال زیستی و مصرف ۵۰ میلی گرم  $P_2O_5$  به ازای هر کیلوگرم خاک حاصل گردید.

**واژه‌های کلیدی:** زغال زیستی، ریزجانداران، سورگوم علوفه‌ای و کودهای شیمیایی فسفره

ضیائیان ع، مرادی ا، زارعیان غ، جهانبخش م. ۱۳۹۹. اثر کاربرد فسفر و زغال زیستی بر فراهمی فسفر، رشد و عملکرد فسفر تلقیح شده ب باکتری حل کننده فسفات. تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۸، شماره ۲، صفحه: ۱۹۰-۲۰۰.

۱- دانشیار بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران، (مکاتبه کننده)

۲- استادیار بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران.  
پست الکترونیک: [ziaeian@yahoo.com](mailto:ziaeian@yahoo.com)

## مقدمه

زیستی از سوختن زیست توده‌های گیاهی و ضایعات کشاورزی در حضور مقدار کم و یا نبود اکسیژن تولید می‌شود (Kameyama *et al.*, 2010). زغال زیستی با افزایش فراهمی عناصر غذایی در خاک، جذب آن‌ها توسط گیاه را افزایش داده و از طریق بهبود حاصلخیزی خاک باعث افزایش رشد گیاه می‌شود (Blackwell *et al.*, 2006; Lehmann *et al.*, 2009). کاربرد زغال زیستی می‌تواند ساختمان خاک، تخلخل، وزن مخصوص ظاهری، ظرفیت ذخیره آب و وضعیت میکروبی و تغذیه‌ای خاک در منطقه ریشه گیاه را تحت تأثیر قرار دهد و از این طریق باعث افزایش رشد گیاه شود (Amonette & Joseph, 2013; Ouyang *et al.*, 2009). با توجه به پائین بودن کارایی مصرف فسفر در خاک‌های آهکی کشور، استفاده از راهکارهای مناسب برای افزایش فراهمی و تأمین فسفر مورد نیاز گیاه ضروری است. استفاده از موجودات خاکزی یکی از راهکارهای مدیریتی برای این کار پیشنهاد شده است. علاوه بر این با توجه به نقش اصلاحی و تغذیه‌ای زغال زیستی بنظر می‌رسد این ماده بتواند بر فراهمی فسفر تأثیر بگذارد. به همین منظور تحقیق حاضر بر روی سورگوم علوفه‌ای، به علت سازگاری با شرایط خشکی، اجرا گردید.

## مواد و روش‌ها

این تحقیق گلخانه‌ای در شیراز با موقعیت جغرافیایی ۳۳ درجه و ۵۲ دقیقه طول شرقی، و ۳۹ درجه و ۲۹ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ۱۵۰۰ متر از سطح دریا انجام شد. در این تحقیق، با استفاده از یک آزمایش فاکتوریل سه فاکتوره، اثرات منفرد و توأم دو سطح عدم مصرف (B0) و مصرف باکتری حل‌کننده فسفات (B1) و دو سطح عدم مصرف (C0) و مصرف زغال زیستی (C1) و چهار سطح صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم  $P_2O_5$  (به ترتیب  $P_0$ ،  $P_1$ ،  $P_2$  و  $P_3$ ) از منبع سوپر فسفات تریپل، در سه تکرار بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک، جذب عناصر غذایی و رشد و عملکرد سورگوم مطالعه شد. برای تهیه زغال زیستی، مقدار ۸۰ گرم از چوب خرد شده مرکبات در بشر ۲۵۰ میلی لیتر قرار داده شده و به وسیله ورقه‌های آلومینیمی کاملاً پوشانده شدند تا شرایط دسترسی اکسیژن محدود ایجاد گردد. گرماکافت نمونه‌ها در کوره الکتریکی در دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس به مدت چهار

فسفر به عنوان یک عنصر ضروری پرمصرف، نقش مهمی در فرآیند تولید و انتقال انرژی گیاهان دارد (Wandruszka, 2006). سطح وسیعی از اراضی کشاورزی ایران آهکی است. در خاک‌های آهکی گرچه ممکن است میزان کل عناصر غذایی از جمله فسفر بالا باشد، اما قابلیت جذب فسفر عمدتاً توسط کربنات کلسیم، pH بالا و مواد آلی پائین محدود شده و اغلب به فرم تثبیت شده و یا فرم‌های غیرقابل استفاده برای گیاه وجود دارد (Oelkers & Valsami-Jones, 2008). در چنین شرایطی گرچه استفاده بیش‌تر از کودهای فسفوری در ظاهر رایج‌ترین راه برای تأمین نیاز فسفر گیاه محسوب می‌شود ولی به دلایل مختلف از جمله افزایش قیمت جهانی و وارداتی بودن بخش عمده کودهای شیمیایی، یافتن راهکارهایی برای کاهش مصرف کودهای شیمیایی فسفاتی ضروری است (Cimo *et al.*, 2014). افزایش مواد آلی خاک‌ها و بهره‌گیری از موجودات مفید خاکزی به منظور بهبود وضعیت حاصلخیزی خاک، افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی و تأمین سلامتی گیاه از مهم‌ترین شیوه‌های علمی برای افزایش راندمان کودهای شیمیایی از جمله فسفر محسوب می‌شود. باکتری‌های حل‌کننده فسفات موجود در خاک از جمله ریزجاندارانی هستند که قادرند فسفر تثبیت شده و تجمع یافته در خاک را به فرم قابل استفاده گیاه تبدیل نموده و ضمن کاهش مصرف کودهای فسفوره باعث افزایش جذب فسفر در گیاهان می‌شوند (Munir *et al.*, 2004; Khan *et al.*, 2007; Alimadadi *et al.*, 2010; Eftekhari *et al.*, 2010; Khassehe Sirjani *et al.*, 2011). این ریز جانداران از فرآیندهای متفاوتی در انحلال ترکیبات فسفر خاک استفاده می‌کنند. لی و همکاران (Lee *et al.*, 2005) و گلیک و همکاران (Glick *et al.*, 2007) تولید هورمون‌های گیاهی و آبسووار و عمر (Abusuwar & Omer, 2011) افزایش فراهمی عناصر معدنی خاک همچون فسفر را از طریق تولید اسیدهای آلی و معدنی و نیز تولید آنزیم فسفاتاز توسط این باکتری‌ها را فرآیندهای احتمالی این ریزجانداران در انحلال ترکیبات فسفوری گزارش داده‌اند. همچنین نشان داده است که جذب فسفر توسط گیاهان در حضور زغال زیستی افزایش می‌یابد (Sparkes & Stoutjesdijk, 2011; Uzoma *et al.*, 2011).

مبنای پنج کیلوگرم در هکتار محاسبه شد. برای تلقیح بهتر مقداری آب شکر به بذور اضافه و به طور کامل به هم زده شد تا به طور یکنواختی بذرها را پوشاند. قبل از اجرای آزمایش، یک نمونه از خاک مورد استفاده به آزمایشگاه ارسال و برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن‌ها بر اساس دستورالعمل‌های موجود (Behbahani Zadeh & AliEhyaee, 1993) تعیین گردید (جدول ۲).

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های شیمیایی زغال زیستی

Table 1. Some chemical characteristics of used Biochare

P <sub>ava</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	CEC (Cmol kg <sup>-1</sup> )	Humidity	Residual Ash (%)	OC	EC (dS m <sup>-1</sup> )	pH
20.8	13.2	4.64	10.0	87.7	18.5	10.4

جدول ۲- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

Table 2. Selected physical and chemical characteristics of studied soils

Sand	Silt	Clay	Zn	Fe	Mn	Cu	K <sub>ava</sub>	P <sub>ava</sub>	O.C	T.N.V	pH	EC (ds m <sup>-1</sup> )
(%)			(mg kg <sup>-1</sup> )				(%)					
30	40	30	0.41	6.2	9.6	0.76	202	8	0.92	39	7.76	0.69

و حجم ریشه‌ها اندازه‌گیری شد. پس از برداشت، غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم و روی در علوفه و ریشه‌های خشک (Emami, 1996) و در نهایت جذب کل آن‌ها و میزان شوری، اسیدیته و کربن آلی خاک‌ها تعیین شد (AliEhyaee & Behbahani Zadeh, 1993). در پایان با استفاده از نرم افزار SAS تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه انجام و میانگین تیمارها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد مورد مقایسه قرار گرفت.

### نتایج و بحث

**نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای مختلف بر پارامترهای مورد مطالعه**  
داده‌ها (جدول ۳) نشان دادند که کاربرد فسفر با تأثیر معنی‌دار بر ارتفاع و قطر ساقه‌ها موجب افزایش معنی‌دار عملکرد تر و خشک و در نهایت موجب افزایش جذب کل نیتروژن، فسفر، پتاسیم و روی گردید (جدول ۴). از طرف دیگر کاربرد فسفر تأثیر معنی‌داری بر حجم، وزن تر و وزن خشک ریشه‌ها و میزان کربن آلی، شوری و اسیدیته خاک پس از برداشت داشت. کاربرد باکتری نیز تأثیر معنی‌داری در سطح ( $P < 0.01$ ) بر عملکرد علوفه تر و خشک و جذب

ساعت صورت گرفت. آهنگ افزایش دمای کوره حدود ۱۰ درجه سلسیوس بر دقیقه بود و یک شبانه‌روز به نمونه‌ها اجازه داده شد تا به دمای محیط برسند (Gaskin *et al.*, 2008). برخی از ویژگی‌های زغال زیستی در جدول یک نشان داده شده است. مایه تلقیح حل‌کننده فسفات مورد استفاده باکتری سودوموناس گونه *Pseudomonas fluorescens* با جمعیت حدود  $10^8$  سلول در هر گرم مایه تلقیح بود که از مؤسسه تحقیقات خاک و آب تهیه و به صورت بذرمال مصرف شد مقدار باکتری مصرفی بر

ابتدا ۴۸ کیسه پلاستیکی خاک به وزن پنج کیلوگرم تهیه شد. بر اساس نتایج تجزیه خاک، به هر کیسه ۸۰ میلی‌گرم نیتروژن از منبع اوره (۳۰ میلی‌گرم قبل از کشت و ۵۰ میلی‌گرم در دو مرحله بصورت سرک)، ۵۰ میلی‌گرم پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم و ۱۰ میلی‌گرم روی از منبع سولفات روی ( $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ ) به ازاء هر کیلوگرم خاک اضافه گردید. در ادامه کیسه‌ها به دو دسته تقسیم شدند. به نیمی از خاک‌های هر دسته ۱/۵ درصد وزنی، معادل ۷۵ گرم زغال زیستی برای پنج کیلوگرم خاک گلدان، زغال زیستی اضافه شد و نیمی دیگر زغال زیستی اضافه نشد. هر دسته از خاک‌ها به چهار گروه تقسیم شدند و به هر گروه یکی از مقادیر صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌گرم  $P_2O_5$  بر کیلوگرم خاک از منبع سوپرفسفات تریپل اضافه و کاملاً مخلوط شدند. در نیمی از گلدان‌های هر گروه ۱۲ بذر تلقیح شده با باکتری کشت شد و در نیمی دیگر ۱۲ بذر تلقیح نشده با باکتری کشت شد. بعد از سبز شدن، با تنک کردن تعداد گیاهان به شش گیاه در هر گلدان کاهش یافت. آبیاری گلدان‌ها بر اساس کسر رطوبت از ظرفیت نگهداری آب خاک (FC)، و با توزین تصادفی چند گلدان انجام گرفت. در زمان برداشت، قطر و ارتفاع بوته‌ها، وزن تر و خشک اندام‌های هوایی و ریشه‌ها و طول

علاوه بر این کاربرد باکتری توانست با ۳۸/۷ درصد برتری حجم ریشه‌ها، وزن تر و خشک ریشه‌ها را افزایش دهد. کاربرد باکتری همچنین موجب ۲۰ درصد افزایش کربن آلی و ۳۶/۶ کاهش در شوری خاک پس از برداشت شد. کاربرد زغال زیستی نیز با تأثیر معنی‌دار بر حجم ریشه‌ها، وزن تر و خشک ریشه‌ها را به ترتیب ۳۶/۶ و ۳۳/۹ درصد افزایش معنی‌دار داد. با کاربرد زغال زیستی عملکرد علوفه تر از ۷۶/۴ به ۸۹/۲ گرم در گلدان افزایش معنی‌دار یافت. کاربرد زغال زیستی همچنین موجب افزایش میزان کربن آلی و شوری خاک پس از برداشت شد و آن‌ها را به ترتیب ۶۴ و ۳۶/۶ درصد افزایش داد (جدول ۴).

#### اثرهای کاربرد توأم تیمارهای مختلف بر پارامترهای اندازه‌گیری شده

بر اساس نتایج به دست آمده بیش‌ترین ارتفاع بوته، بالاترین عملکرد تر و خشک اندام‌های هوایی (به ترتیب ۱۲۹/۳ و ۲۵/۳ گرم در گلدان) و بالاترین جذب فسفر در حالی از کاربرد توأم ۵۰ میلی‌گرم فسفر، تلقیح باکتریایی و کاربرد زغال زیستی به دست آمد که از لحاظ آماری با برخی تیمارهای دیگر تفاوت معنی‌داری نداشت. کاربرد توأم ۵۰ میلی‌گرم فسفر و زغال زیستی با ۲۷/۵ درصد برتری نسبت به شاهد بالاترین قطر ساقه‌ها را به میزان ۷/۲۷ میلی‌متر تولید نمود. همین تیمار بیش‌ترین حجم و بالاترین وزن ریشه تر و خشک را به ترتیب به میزان‌های ۵۵ سانتیمتر مکعب و ۴۳/۳ و ۱۲/۴ گرم در گلدان تولید نمود. در حالی که حداکثر شوری ناشی از کاربرد منفرد فسفر و زغال زیستی به ترتیب ۱/۵۷ و ۱/۵۳ دسی‌زیمنس بر متر بود بیش‌ترین شوری خاک به میزان ۲/۳۶ دسی‌زیمنس بر متر از کاربرد توأم ۷۵ میلی‌گرم فسفر و زغال زیستی به دست آمد که در مقایسه با تیمار شاهد با شوری خاک پس از برداشت (۱/۰۵ دسی‌زیمنس بر متر) تفاوت معنی‌داری داشت. به عبارت دیگر کاربرد توأم فسفر و زغال زیستی اثرات سوء شوری را تشدید کرده بود. بیش‌ترین میزان شوری خاک پس از برداشت از کاربرد توأم ۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم فسفر و زغال زیستی به دست آمد که با افزودن باکتری به این ترکیب تیماری، شوری خاک به میزان ۰/۳۶ واحد کاهش یافت (جدول ۵). داده‌های جدول ۵ نشان می‌دهند که هر چند کاربرد منفرد زغال زیستی و باکتری تأثیر معنی‌داری بر جذب فسفر داشتند اما کاربرد توأم زغال زیستی با فسفر و یا باکتری با فسفر

کل فسفر، نیتروژن و پتاسیم، حجم، وزن تر و وزن خشک ریشه‌ها و کربن آلی و شوری خاک پس از برداشت داشت. تأثیر کاربرد زغال زیستی بر جذب کل فسفر، نیتروژن، پتاسیم و روی، حجم، وزن تر و وزن خشک ریشه‌ها و کربن آلی و شوری خاک پس از برداشت معنی‌دار بود. کاربرد توأم فسفر، باکتری و زغال زیستی نیز بر حجم، وزن تر و وزن خشک ریشه‌ها و کربن آلی خاک پس از برداشت و جذب کل نیتروژن، فسفر، پتاسیم و روی تأثیر معنی‌داری داشت.

#### اثرهای اصلی کاربرد تیمارهای مختلف بر پارامترهای مورد مطالعه

نتایج (جدول ۴) نشان داد که مصرف فسفر تا سطح ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک موجب افزایش عملکرد تر و خشک اندام‌های هوایی و با مصرف بیش‌تر موجب کاهش غیر معنی‌دار این دو پارامتر گردید. بالاترین عملکرد تر و خشک اندام‌های هوایی به ترتیب به میزان‌های ۹۶/۴ و ۲۰/۳ گرم در گلدان از کاربرد ۷۵ میلی‌گرم P2O5 در کیلوگرم خاک به دست آمد که نسبت به شاهد‌های مربوطه به ترتیب ۳۳ و ۵۱ درصد افزایش عملکرد داشتند. علاوه بر این بیش‌ترین وزن تر و خشک ریشه‌ها، بیش‌ترین مقدار شوری خاک پس از برداشت و بالاترین میزان جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم از کاربرد ۷۵ میلی‌گرم P2O5 در کیلوگرم خاک به دست آمد. نتایج تأثیر کاربرد فسفر بر ویژگی‌های خاک نشان داد که کاربرد فسفر شوری خاک را افزایش و کربن آلی خاک را کاهش داده بود اما تأثیری بر اسیدیته خاک نداشت. در مجموع در بیش‌تر پارامترهای اندازه‌گیری شده، مقادیر ۵۰ و ۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم فسفر تفاوت آماری معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. لذا با توجه به اینکه تیمار ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم فسفر مقرون به صرفه تر از ۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم فسفر است این تیمار، صرف نظر از کاربرد کود زیستی حل‌کننده فسفات و ماده اصلاح‌کننده زغال زیستی، به عنوان بهترین مقدار فسفر برای تولید سورگوم در شرایط آزمایش پیشنهاد می‌گردد. کاربرد باکتری حل‌کننده فسفات با تأثیر غیرمعنی‌دار بر ارتفاع و قطر بوته‌ها موجب افزایش معنی‌دار به ترتیب ۳۴ و ۳۶/۷ درصد وزن علوفه تر و خشک و در نهایت موجب افزایش معنی‌دار ۲۴۰، ۱۲۸۰ و ۷۴۰ میلی‌گرم در گلدان جذب فسفر، نیتروژن و پتاسیم توسط اندام‌های هوایی گردید.

باکتری‌های حل‌کننده فسفات می‌توانند به عنوان یک کود زیستی مؤثر بخشی از نیتروژن مورد نیاز گیاه را فراهم کند و برای کاهش مصرف کود شیمیایی نیتروژنه به کار گرفته شود و با تولید هورمون رشد می‌توانند برای افزایش رشد مؤثر باشد (Egamberdiyeva, 2007). نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد زغال زیستی نیز تأثیر معنی‌داری بر عملکرد خشک بوته‌ها، حجم ریشه‌ها، حجم، وزن تر و خشک ریشه‌ها، کربن آلی و شوری خاک پس از برداشت گردید. نیگوسی و همکاران (Nigussie *et al.*, 2012) گزارش نمودند که با مصرف زغال زیستی شوری خاک افزایش می‌یابد آن‌ها علت عمده این امر را شوری بالای زغال زیستی‌های مختلف ذکر نموده‌اند. با اینحال گزارش شده است که اثر زغال زیستی بر ویژگی‌های خاک به سه عامل میزان مصرف، دمای تولید زغال زیستی و شرایط خاک بستگی دارد. با افزایش مقدار مصرف زغال زیستی، خصوصیات شیمیایی و بیولوژیکی خاک تغییرات بیشتری می‌یابند (Hammes & Schmidt, 2009). استروبل (Streubel, 2011) گزارش نمود که کاربرد زغال زیستی در خاک باعث افزایش معنی‌داری pH خاک می‌شود. گزارشات (Rutigliano *et al.*, 2014; Scisłowska *et al.*, 2015) نشان داده است که مصرف زغال زیستی علاوه بر افزایش pH خاک، میزان کربن آلی خاک را نیز افزایش می‌دهد. بنابراین، در خاک‌های با ماده آلی کم، بخصوص در مناطق خشک و نیمه خشک، مصرف زغال زیستی به عنوان یک ماده اصلاحی، می‌تواند سبب افزایش کربن آلی خاک گردد. نیگوسی و همکاران (Nigussie *et al.*, 2012) در مطالعه و بررسی اثر زغال زیستی بر خواص خاک و جذب عناصر غذایی در کاهو افزایش جذب مواد مغذی خاک و در نتیجه برای بالا بردن حاصلخیزی خاک مفید می‌باشد. بر اساس مطالعات انجام شده زغال زیستی با افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی، جذب عناصر غذایی توسط گیاه را افزایش داده و باعث افزایش رشد و محصول گیاه می‌شود. در حقیقت کاربرد زغال زیستی باعث بهبود حاصلخیزی خاک می‌شود (Blackwell *et al.*, 2009; Lehmann *et al.*, 2003).

و یا کاربرد توام هر سه با هم سبب افزایش بیش‌تر جذب فسفر شدند به عبارت دیگر کاربرد زغال زیستی یا باکتری تأثیر مثبتی بر کارایی و اثر بخشی مصرف فسفر داشتند. بر اساس نتایج به دست آمده، فسفر، باکتری حل‌کننده فسفات و زغال زیستی از طریق افزایش ارتفاع بوته‌ها و یا قطر ساقه‌ها موجب افزایش عملکرد و در نهایت موجب افزایش جذب نیتروژن، فسفر، پتاسیم و روی توسط سورگوم شدند. تحقیقات نشان داده است که کاربرد باکتری‌های محرک رشد از طریق مکانیسم‌های مختلفی همچون تولید آنزیم ACC دامیناز موجب تحریک رشد و افزایش عملکرد علوفه در گیاهان می‌شود (Larsen *et al.*, 2009). همچنین نشان داده شده است که باکتری‌های محرک رشد از طریق مکانیسم‌هایی مانند تولید هورمون‌های گیاهی (Glick *et al.*, 2007) و افزایش فسفر قابل دسترس (Larsen *et al.*, 2009) نیز در تحریک رشد و افزایش عملکرد گیاهان مختلف نقش ایفاء می‌کنند. لی و همکاران (Lee *et al.*, 2005) با بررسی اثر تلقیح گیاه لوبیا با باکتری‌های محرک رشد گزارش کردند که استفاده از این باکتری‌ها از طریق بهبود پارامترهای رشد منجر به افزایش وزن خشک گیاه می‌گردد. بنظر می‌رسد که در این تحقیق نیز باکتری‌های حل‌کننده فسفر توانسته باشند با ترشح مواد تحریک‌کننده رشد جذب آب و عناصر غذایی را افزایش داده باشند و در نتیجه موجب افزایش رشد بوته و وزن تر و خشک بوته‌های سورگوم مورد مطالعه گردیده باشند. افزایش میزان جذب عناصر غذایی توسط بوته‌ها در اثر کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفر موید این نکته است. نتیجه‌گیری دقیق‌تر این امر به مطالعات بیش‌تر و کامل‌تری نیاز دارد. نشان داده شده است که تولید مواد تنظیم‌کننده رشد گیاه مهم‌ترین سازوکار تأثیرگذار باکتری حل‌کننده فسفر بر رشد و ریخت‌شناسی ریشه محسوب می‌شود که به صورت افزایش سطح ریشه گیاه میزبان بروز می‌کند (Banerjee *et al.*, 2006) و در نتیجه افزایش جذب عناصر غذایی و آب از خاک و رشد بیش‌تر گیاه ناشی از آن می‌باشد (Vessey, 2003). در همین رابطه جورج و همکاران (George *et al.*, 1995) گزارش دادند که تحریک رشد در گیاهان به وسیله باکتری‌های حل‌کننده فسفر می‌تواند تغذیه فسفر را بهبود بخشد و میزان تثبیت نیتروژن را افزایش دهد. علاوه بر این نشان داده شده است که

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثرهای فسفر، باکتری حل‌کننده فسفات و زغال زیستی بر برخی پارامترهای اندازه‌گیری شده

Table 3. Analysis of variance results for phosphorus, phosphorous soluble bacteria and biochar effects on some measurement parameters

Sources of variation	df	Stems Height	Stems diameter	Fresh forage yield	Dry forage yield	Volume of Roots	Fresh roots weight	Dry roots weight	Total N uptake	Total P uptake	Total K uptake	Total Zn uptake	Soil organic carbon	Soil salinity	Soil acidity
Phosphorous	3	666**	5.47**	1231*	248**	536**	319**	30**	492301**	3263**	307530**	304088**	2.30**	0.34**	0.169*
Bacteria	1	122 <sup>ns</sup>	0.001 <sup>ns</sup>	6154**	232**	105**	573**	41**	197762**	732**	66380**	5084 <sup>ns</sup>	0.75**	2.02**	0.088 <sup>ns</sup>
Phosphorous* Bacteria	3	113 <sup>ns</sup>	0.90 <sup>ns</sup>	2661**	50**	276**	510**	52**	112751**	756**	72473**	52062**	1.81**	0.29**	0.007 <sup>ns</sup>
Biochare	1	120 <sup>ns</sup>	0.19 <sup>ns</sup>	1970*	0.06 <sup>ns</sup>	400**	539**	39**	1170 <sup>ns</sup>	1513**	39503*	95052**	4.97**	2.03**	0.003 <sup>ns</sup>
Phosphorous *Biochare	3	56 <sup>ns</sup>	0.42 <sup>ns</sup>	694 <sup>ns</sup>	72**	347**	496**	34**	125262**	1821**	46245**	104628**	0.25**	0.31**	0.048 <sup>ns</sup>
Bacteria * Biochare	1	70 <sup>ns</sup>	3.63 <sup>ns</sup>	98 <sup>ns</sup>	85**	36 <sup>ns</sup>	148*	10**	89010**	2626**	98918**	75050**	0.75**	4.21**	0.090 <sup>ns</sup>
P * Bacteria * Biochare	3	95 <sup>ns</sup>	2.60 <sup>ns</sup>	306 <sup>ns</sup>	77**	262**	272**	30**	38563**	2120**	30251*	47899**	0.21**	0.08 <sup>ns</sup>	0.016 <sup>ns</sup>
Error	32	98	0.95	311	8	34	24	0.57	5930	151	7802	10214	0.03	0.06	0.033
CV(%)		17.9	15.0	21.3	19.5	20.0	22.6	11.5	14.3	20.4	16.9	18.9	13.0	18.4	2.48

\* (ns), \*\* و \* به ترتیب غیر معنی‌داری، معنی‌دار در سطح ۱٪ و ۵٪).

(Ns, \*\* and \* represent non-significant, significant at 1% and 5% level, respectively).

جدول ۴- اثرات اصلی تیمارهای مختلف بر برخی پارامترهای اندازه‌گیری شده

Table 4. The main effects of different treatments on some measurement parameters

Treatments	Stems Height	Stems diameter	Fresh forage yield	Dry forage yield	Volume of Roots	Fresh roots weight	Dry roots weight	Total P uptake	Total N uptake	Total K uptake	Total Zn uptake	Soil organic carbon	Soil salinity	Soil acidity
	(cm)	(mm)	(g pot <sup>-1</sup> )	(g pot <sup>-1</sup> )	(cm <sup>3</sup> )	(g pot <sup>-1</sup> )	(g pot <sup>-1</sup> )	(mg pot <sup>-1</sup> )	(mg pot <sup>-1</sup> )	(mg pot <sup>-1</sup> )	(ug pot <sup>-1</sup> )	(%)	(dS m <sup>-1</sup> )	
P0	47.1b	5.83c	72.4b	10.0c	19.3b	16.4b	4.3c	418 c	3530 d	4000 c	375 c	1.83a	1.27b	7.44a
P25	50.5 b	6.13bc	79.0b	11.5c	30.3a	18.4b	6.9b	508 b	4380 c	4450 bc	486 b	1.63ab	1.30b	7.47a
P50	62.2a	7.33a	83.2ab	14.9b	34.2a	27.4a	7.1b	580 b	5380 b	4880 b	526 b	1.46b	1.17b	7.27a
P75	60.6a	6.82ab	96.4a	20.3a	32.3a	24.6a	8.0a	785 a	8190 a	7570 a	753 a	0.83c	1.57a	7.24a
B0	53.5a	6.53a	71.4b	12.0b	24.3b	18.2b	5.6b	463 b	4730 b	4850 b	524 a	1.25b	1.53a	7.31a
B1	56.7a	6.78a	97.1a	16.4a	33.7a	25.1a	7.5a	703 a	6010 a	5590 a	544 a	1.50a	1.12b	7.40a
C0	54.5a	6.47a	76.4b	14.1a	26.1b	18.3 b	5.6b	520 b	5320 a	4940 b	490 a	1.05b	1.12b	7.34a
C1	55.8a	6.59a	89.2a	14.4a	31.9a	25.0a	7.5a	647 a	5420 a	5510 a	579 a	1.69a	1.53a	7.36a

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری ( $P \leq 0.05$ ) ندارند. در جدول فوق P0، P25، P50 و P75 به ترتیب بیانگر صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌گرم  $P_2O_5$  بر کیلوگرم خاک، B0 و B1 به ترتیب بیانگر عدم مصرف و مصرف ۵ گرم در گلدان باکتری و C0 و C1 به ترتیب بیانگر عدم مصرف و مصرف ۱/۵ درصد وزنی زغال زیستی است.

Means with common letters have no significant difference according to Duncan's multiple range test ( $p < 0.05$ ). In this table, P0, P25, P50 and P75 indicator if application of zero, 25, 50 and 75 mg .kg<sup>-1</sup> of  $P_2O_5$ , B0 and B1 represented 0 and 5g phosphate solubilizing bacteria per pot and C0 and C1 represented 0 and 1.5% by weight biochar per each pot.

جدول ۵- اثرات کاربرد توأم فسفر، باکتری حل کننده فسفات و زغال زیستی بر برخی پارامترهای اندازه گیری شده  
 Table 4. The combined effects of phosphorous, phosphate solubilizing bacteria and biochar on some measured parameters

Treatments	Stems Height	Stems diameter	Fresh forage yield	Dry forage yield	Volume of Roots	Fresh roots weight	Dry roots weight	Total P uptake	Total N uptake	Total K uptake	Total Zn uptake	Soil organic carbon	Soil salinity	Soil acidity
	(cm)	(mm)	(g pot <sup>-1</sup> )	(g pot <sup>-1</sup> )	(cm <sup>3</sup> )	(g pot <sup>-1</sup> )	(g pot <sup>-1</sup> )	(mg pot <sup>-1</sup> )	(mg pot <sup>-1</sup> )	(ug pot <sup>-1</sup> )	(ug pot <sup>-1</sup> )	(%)	(dS m <sup>-1</sup> )	
P0B0C0	45.8d	5.70cd	54.2ef	7.8fg	19.7ef	14.3cd	4.5fgh	363f	2767gh	2990ef	3300ef	1.61bc	1.05de	7.61a
P0B0C1	48.0cd	5.33d	57.3ef	7.5fg	20.7ef	13.3d	3.6h	430def	2513h	3420ef	3617def	2.90b	1.60bc	7.33abc
P0B1C0	49.3bcd	5.80cd	83.8be	12.2dg	20.0ef	22.8bc	5.0fg	433def	3967fg	5203cd	4070def	2.06a	1.26cd	7.45abc
P0B1C1	45.2ad	6.47ad	94.3bcd	12.4dg	16.7f	15.2cd	4.1fgh	520 def	4900def	4390de	3997def	2.44a	1.63cd	7.46abc
P25B0C0	56.0ad	6.30bcd	64.2def	11.3dg	40.0bc	22.8bc	3.2h	480def	4401 ef	4577df	5153cde	0.93de	1.02de	7.38abc
P25B0C1	49.1bcd	6.63ad	103.7ab	12.8cf	44.0b	27.5b	9.6b	540de	5727cde	5850cd	6307bc	1.93b	1.40b	7.42abc
P25B1C0	47.3cd	5.70cd	65.8cf	9.5efg	17.5f	12.2d	3.6gh	490def	3537fgh	2990ef	2700f	1.31c	1.75bc	7.48abc
P25B1C1	49.7bcd	5.90cd	82.3be	12.6dg	19.7ef	10.8d	4.0gh	617cd	384fgh	4390de	5267cd	2.36a	2.08a	7.52ab
P50B0C0	54.4ad	6.57ad	48.2f	7.4g	40.0bc	12.7b	10.0b	300f	2810 gh	2610f	2323f	1.20cd	1.06de	7.23bc
P50B0C1	60.8ad	8.27a	59.2ef	13.4cde	55.0a	43.3a	12.4a	490def	6510bc	5260cd	7087bc	1.83b	2.02a	7.20bc
P50B1C0	65.8abc	7.60abc	95.7bcd	17.9bc	26.7def	16.9cd	4.2fgh	920b	5917cd	5267cd	5230cd	0.72fg	1.07de	7.14c
P50B1C1	71.8a	6.87abc	129.3a	25.3a	35.0bcd	26.7b	5.4ef	1137a	11140a	8597a	8580a	0.84ef	2.02a	7.48abc
P75B0C0	55.6d	6.20bcd	98.7abc	16.1bcd	20.0ef	12.7d	6.9cd	527def	7020bc	6273bc	6813bc	0.46g	2.02a	7.26abc
P75B0C1	58.5ad	7.23ad	85.5be	19.4b	30.0cde	26.8d	6.4de	573de	609.cd	7847b	7303b	1.10cde	2.36a	7.15c
P75B1C0	67.9ab	7.83ab	99.7abc	14.3cde	25.0def	14.5cd	7.8c	643cd	6277bcd	6393bc	5267bc	0.81ef	1.80cd	7.31abc
P75B1C1	56.6ad	6.00bcd	101.7ab	20.7b	34.0bcd	26.7b	10.9b	867b	7520 b	6544bc	6443bc	1.13cd	2.00a	7.23bc

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری ( $P \leq 0.05$ ) ندارند. در جدول فوق P0, P25, P50, P75 و به ترتیب بیانگر صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌گرم  $P_2O_5$  بر کیلوگرم خاک، B0 و B1 به ترتیب بیانگر عدم مصرف و مصرف ۵ گرم در گلدان باکتری و C0 و C1 به ترتیب بیانگر عدم مصرف و مصرف ۱/۵ درصد وزنی زغال زیستی است.

Means with common letters have no significant difference according to Duncan's multiple range test ( $p < 0.05$ ). In this table, P0, P25, P50 and P75 indicator if application of zero, 25, 50 and 75 mg .kg<sup>-1</sup> of  $P_2O_5$ , B0 and B1 represented 0 and 5g phosphate solubilizing bacteria per pot and C0 and C1 represented 0 and 1.5% by weight biochar per each pot.



و یا کاربرد توام هر سه با هم سبب بهبود راندامان مصرف فسفر شدند به طوری که کاربرد توام باکتری حل‌کننده فسفات و زغال زیستی و مصرف ۵۰ میلی گرم  $P_2O_5$  به ازای هر کیلوگرم خاک به ترتیب موجب ۵۶/۸، ۲۰/۵، ۱۳۸/۶، ۲۲۴/۴، ۸۶/۷، ۲۰، و ۲۱۳ درصد افزایش ارتفاع بوته، قطر بوته، وزن تر اندام‌های هوایی، وزن خشک اندام‌های هوایی، وزن تر ریشه، وزن خشک ریشه و میزان جذب کل فسفر شد. این نتیجه نشان می‌دهد که می‌توان با کاربرد زغال زیستی یا ریزجانداران خاکزی از جمله باکتری حل‌کننده فسفر، کارایی مصرف فسفر را افزایش داد. اما باید توجه داشت که مصرف طولانی مدت زغال زیستی می‌تواند شوری خاک را افزایش دهد به همین دلیل پیشنهاد می‌شود این آزمایش بر روی محصولات دیگر و در شرایط مزرعه نیز انجام شود.

بر اساس گزارشات موجود جذب فسفر توسط گیاهان نیز در حضور زغال زیستی افزایش می‌یابد (Sparkes & Nigussie Stoutjesdijk, 2011; Uzoma *et al.*, 2011; *et al.*, 2012). اما در مورد فرآیند اساسی افزایش جذب فسفر در اثر کاربرد زغال زیستی، مطالعات اندکی انجام شده است. منبع تغذیه مستقیم از فسفر، محدود شدن ذخیره فسفر در خاک از طریق ظرفیت تبادل آنیونی، تغییر pH خاک ناشی از تغییر حلالیت ترکیبات فسفردار در خاک، فعالیت‌های میکروبی و معدنی شدن فسفر فرآیندهای احتمالی این امر گزارش شده است (Sparkes & Stoutjesdijk, 2011).

### نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد که هر چند کاربرد منفرد زغال زیستی و باکتری تأثیر معنی‌داری بر جذب فسفر داشتند اما کاربرد توأم زغال زیستی با فسفر و یا باکتری با فسفر

### References

- Abusuwar A.O., and Omer E.A. 2011. Effect of intercropping, phosphorus fertilization and rhizobium inoculation on the growth and nodulation of some leguminous and cereal forage. *Agriculture and Biology Journal of North America*. 2(1): 109-124.
- AliEhyae M., and Behbahani Zadeh A.A. 1993. Description of Soil Chemical Analysis Methods. Technical publication No. 1024, Vol. 2. Soil and Water Research Institute, Tehran, Iran. 112p. (In Persian)
- Alimadad, A., Jahansouz M. R., Besharaty H., and Tavakkol-Afshari R. 2010. Evaluating the effects of phosphate solubilizing microorganisms, mycorrhizal fungi and seed priming on nodulation of chickpea. *Iranian Journal of Soil Research (Soil and Water Science)*, 24 (1): 43-53 (In Persian).
- Amonette J.E., and Joseph S. 2009. Characteristics of Biochar: Microchemical Properties. pp. 33–43. In: Lehmann, J., Joseph, S. (Eds.): *Biochar for Environmental Management Science and Technology*. Earthscan, London, 448p.
- Banerje, M.R., Yesmin L., and Vessey J. K. 2006. Plant-growth-promoting rhizobacteria as biofertilizers and biopesticides, pp.137-181. In: *Handbook of Microbial Biofertilizers*. Ed., Rai, M.K., Food Production Press, U.S.A. 578p.
- Blackwell P., Riethmuller G., and Collins M. 2009. Biochar Application to Soil, in Lehmann, J., and Joseph, S. (Eds.), *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*, Earthscan, United Kingdom, pp. 207–260.
- Cimo G., Kucerik J., Berns A.E., Schaumann G.E., Alonzo G., and Conte P. 2014. Effect of heating time and temperature on the chemical characteristics of biochar from poultry manure. *Journal Agriculture Food Chemistry*, 62: 1912-1918.
- Eftekhari G.H., Fallah A. R., Akbari Gh. A., Mohaddesi A., and Allahdadi I. 2010. Effect of phosphate solubilizing bacteria and phosphate fertilizers on rice growth parameters. *Iranian Journal of Soil Research (Soil and Water Science)*, 23(2): 229-239. (In Persian)
- Egamberdiyeva, D. 2007. The effect of plant growth promoting bacteria on growth and nutrient uptake of maize in two different soils. *Applied Soil Ecology*, 36:184-189.
- Emami A. 1996. Methods of Plant Analysis. Technical Publication No. 182. Soil and Water Research Institute Press, Tehran, 125p. (In Persian)
- Gaskin J.W., Steiner C., Harris K., Das K.C., and Bibens B. 2008. Effect of lowtemperature pyrolysis conditions on biochar for agricultural use. *Transactions of the ASABE*, 51: 2061-2069.

- George E., Marschner H., and Jakobsen, I. 1995. Role of arbuscular mycorrhizal fungi in uptake of phosphorus and nitrogen from soil. *American-Eurasian Journal Agriculture and Environment Science*, 15: 257–270.
- Glick B. R., Cheng Z., Czarny J., Duan J. 2007. Promotion of plant growth by ACC deaminase containing soil bacteria. *European Journal of Plant Pathology*, 119(3): 329–39.
- Hammes K., and Schmidt W.I. 2009. Changes of Biochar in Soil. Science and Technology, Earthscan, United Kingdom, pp.169–82.
- Kameyama K., Miyamoto T., and Shinogi Y. 2010. Increases in available water content of soils by applying bagasse-charcoals. World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World. Brisbane, Australia, pp.105-108.
- Khan M.S., Zaidi A., and Wani P. A. 2007. Role of phosphate-solubilizing microorganisms in sustainable agriculture-A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 27(1): 29-43.
- Khassehe Sirjani A. 2011. Evaluation of biofertilizer containing phosphate solubilizing bacteria and enriched organic p-fertilizer in wheat production. *Iranian Journal of Soil Research (Soil and Water Science)*, 25 (3): 217-224. (In Persian)
- Larsen J., Cornejo P. and Míguel Barea and the plant growth promoting rhizobacteria *Paenibacillus polymyxa* and *P. macerans* in the mycorrhizosphere of *Cucumis sativus*. *Soil Biology and Biochemistry*, 41: 286-292.
- Lee K. D., Bai Y., Smith D., and Han H. S. 2005. Isolation of Plant-Growth-Promoting Endophytic Bacteria from Bean Nodules. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 1(3): 232-236.
- 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: 343–57.
- Lehmann J., Gaunt J., and Rondon M. 2006. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems - A review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 11:395-419.
- Munir I., Ranjha M., Sarfraz Obaid-ur-Rehman S. M., and Mahmood K. 2004. Effect of residual phosphorus on sorghum fodder in two different textured soils. *International Journal Agriculture and Biology*, 6 (6):967-969.
- Nigussie A., Kissi E.K., Misganaw M., and AmbawG. 2012. Effect of biochar application on soil properties and nutrient uptake of lettuces (*Lactuca sativa*) grown in chromium polluted soils. *American-Eurasian Journal Agriculture and Environment Science*, 12 (3): 369-376.
- Oelkers E.H., and Valsami-Jones E. 2008. Phosphate mineral reactivity and global sustainability. *Elements*, 4: 83–87.
- Ouyang L., Wang F., Tang J., Yu L., and Zhang R. 2013. Effects of biochar amendment on soil aggregates and hydraulic properties. *Journal Soil Science Plant Nutrition*, 13: 991-1002.
- Rutigliano F.A., Romano M., Marzaioli R., Baglivo I., Baronti S., Miglietta F., and Castaldi S. 2014. Effect of biochar addition on soil microbial community in a wheat crop. *European Journal Soil Biology*, 60: 9-15.
- Ścisłowska M., Włodarczyk R., Kobyłecki R., and Bis Z. 2015. Biochar to improve the quality and productivity of soils. *Journal Ecology Engineering*, 16: 31-35.
- Sparkes J., and Stoutjesdijk P. 2011. Biochar: Implications for Agricultural Productivity. Research by the Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics and Sciences. Technical Report 11.06. Department of Agriculture, Fisheries and Rorestry. 163p.
- Streubel J.D. 2011. Biochar: Its characterization and utility for recovering phosphorus from anaerobic digested dairy effluent. Ph.D. Dissertation. Washington State University. Soil Science.159p.
- Uzoma K.C., Inoue M., Andry H., Fujimaki H., Zahoor A., and Nishihara E. 2011. Effect of cow manure biochar on maize productivity under sandy soil condition. *Journal Cmpilation British Society of Soil Science. Soil Use and Management*, 27: 205-212.
- Vessey J.K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*, 255: 571–586.
- Wandruszka R. V. 2006. Phosphorus retention in calcareous soils and the effect of organic matter on its mobility. [http:// www. Geochemical transactions .com/ content /7/1/6](http://www.Geochemicaltransactions.com/content/7/1/6).

## Effects of Phosphorous and Biochar Application on the Phosphorous Availability, Growth and Yield of Sorghum Inoculated with Phosphate Solubilizing Bacteria

Abdolhossein Ziaecian<sup>1\*</sup>, Abolfateh Moradi<sup>2</sup>, Gholamreza Zareian<sup>2</sup>, Jahanbakhsh Mirzavand<sup>2</sup>

(Received: February 2019 Accepted: August 2019)

### Abstract

Due to the calcareous nature of our country's soils, the plant phosphorus availability is low. In order to study the effects of soil microorganisms and biochar application on the phosphorous availability, growth and yield of sorghum and some soil chemical characteristics, a pot experiment as factorial in completely randomized design were conducted. In this research, effects of two treatments of inoculation and non-inoculation of phosphate solubilizing bacteria and two biochar consumption treatments (0 and 1.5% by weight) on the four levels of zero, 25, 50 and 75 mg .kg<sup>-1</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> as triple superphosphate source, in three replications were studied. The results showed that phosphate solubilizing bacteria inoculation and biochar application had a significant increase on the volumes, fresh and dry weight of roots, fresh forage yield and phosphorous, nitrogen, potassium and zinc uptake. Using phosphorus increased the forage weight by increasing the height and diameter of the stems. Phosphorus application also increased soil salinity and decreased soil organic carbon, but bacteria inoculation increased the amounts of organic carbon and decreased soil salinity while biochar application increased both of organic carbon and salinity amounts. None of them had a significant effect on soil acidity. Data showed that although single application of the biochar and or bacteria had significant effects on the phosphorus uptake increases, but combined use of biochar and phosphorus and bacteria with phosphorus and also combination of these three treatments caused sorghum yield increases by increasing of phosphorus uptake. In other words, biochar or bacterial had a positive effect on the phosphorus effectiveness so that the highest plant height, fresh and dry forage, and the highest phosphorus, nitrogen, potassium and zinc uptake were obtained from the combined use of phosphorus solubilizing bacteria, biochar and 50 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per kg of soil.

**Keywords:** Biochar, Chemical fertilizer, Foliage sorghum, Phosphate solubilizing bacteria

Ziaecian M., Moradi A., Zareiant Gh., Mirzavand J. 2020. Effect of phosphorus and biochar application on the phosphorus availability, growth and yield of Sorghum incubated with phosphorus solubizing bacteria. *Applied Soil Research*, 8(2): 190-200.

1. Associate Professor, Soil and Water Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Shiraz, Iran

2. Assistant Professors, Soil and Water Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Shiraz, Iran

\* Corresponding Author Email: [ziaecian@yahoo.com](mailto:ziaecian@yahoo.com)