



## اثر زغال زیستی کاه گندم و نئوپان اشباع شده با آهن بر جذب آهن و رشد دو رقم سویا در یک خاک آهکی

جلال الدین خالی زاده<sup>۱</sup>، \*اسماعیل دردی پور<sup>۲</sup>، مجتبی بارانی مطلق<sup>۲</sup> و عبدالرضا قرنجیکی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، <sup>۲</sup> دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم

کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، <sup>۳</sup> استادیار مؤسسه تحقیقات پنبه کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۱/۰۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۰۵

### چکیده

**سابقه و هدف:** زغال زیستی یک محصول غنی از کربن است که از گرماکافت بقایای آلی کربن دار در شرایط عدم وجود اکسیژن یا اکسیژن محدود تولید می شود. کاربرد زغال زیستی به دلیل ویژگی های منحصر به فرد مانند مقادیر کربن آلی، سطح ویژه و ظرفیت تبادل کاتیونی بالا موجب افزایش قدرت جذب و نگهداری آب و عناصر غذایی و در نتیجه موجب افزایش سطح حاصلخیزی خاک می شود. بنابراین هدف از این پژوهش بررسی اثر زغال زیستی اشباع شده با کود آهن بر رشد و جذب آهن توسط سویا در یک خاک آهکی بود.

**مواد و روش ها:** خاک آهکی دارای کمبود آهن قابل استفاده (۳۰-۰ سانتی متری) از شرق استان گلستان تهیه شد و پس از هوا خشک شدن از الک ۲ میلی متری عبور داده شد. دو نوع زغال زیستی از کاه گندم و نئوپان در دمای ۳۰۰ درجه سانتی گراد تهیه و با سولفات آهن  $Fe_2SO_4 \cdot 7H_2O$  اشباع سازی شد. آزمایشی گلدانی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار انجام شد. فاکتورها شامل زغال های زیستی (زغال زیستی کاه گندم (WB) و زغال زیستی نئوپان (PB) با ۲/۵ درصد وزنی)، زغال های زیستی اشباع شده با آهن (زغال زیستی اشباع شده کاه گندم ۲/۵ درصد وزنی (Fe-IWB1) و ۵ درصد وزنی (Fe-IWB2)، زغال زیستی نئوپان اشباع شده ۲/۵ درصد وزنی (Fe-IPB1) و ۵ درصد وزنی (Fe-IPB2)، کود سکوسترین آهن (S) و تیمار شاهد (C) و دو رقم سویا (ویلیامز و سامان) بود. گلدان های کشت شده به مدت ۱۲ هفته در حدود ظرفیت مزرعه به روش وزنی نگهداری شدند. سپس ارتفاع، عملکرد وزن تر و وزن خشک، غلظت و جذب آهن کل شاخساره و مقدار آهن فراهم خاک بعد از برداشت اندازه گیری شد.

**یافته ها:** تصاویر SEM نشان داد که آهن روی سطوح زغال های زیستی جذب سطحی یا انباشته شده است. مصرف زغال زیستی اشباع شده با آهن سبب افزایش فراهمی آهن در خاک گردید. هم چنین ارتفاع، وزن تر و وزن خشک هر دو رقم سویا در هر دو سطح تیمارهای زغال های زیستی اشباع شده با آهن از تیمار زغال های زیستی اشباع نشده و شاهد به طور معنی داری بیش تر بود ( $P \leq 0/01$ ) ولی با تیمار سکوسترین آهن تفاوت معنی داری نداشت. هم چنین غلظت و مقدار جذب آهن در شاخساره در هر دو رقم سویا با مصرف زغال های زیستی اشباع شده در مقایسه با خاک

\* مسئول مکاتبه: e.dordipour@yahoo.com

شاهد و زغال‌های زیستی اشباع نشده افزایش معنی‌دار داشت ( $P \leq 0/01$ ). پاسخ ارقام به زغال‌های زیستی اشباع شده با آهن نشان داد که وزن خشک و جذب آهن شاخساره رقم سامان در هر دو سطح زغال‌زیستی اشباع شده با آهن به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از رقم ویلیامز بود.

**نتیجه‌گیری:** مصرف زغال‌زیستی اشباع شده با آهن در خاک آهکی دچار کلروز آهن باعث افزایش فراهمی آهن شد. بنابراین زغال‌زیستی اشباع شده با آهن علاوه بر بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک به خوبی می‌تواند کمبود آهن گیاه را برطرف سازد.

**واژه‌های کلیدی:** اشباع‌سازی، آهن، خاک، زغال‌زیستی، سویا

### مقدمه

آهن یکی از عناصر کم‌مصرف ضروری برای گیاهان است. متوسط مقدار این عنصر در پوسته زمین حدود ۵ درصد است ولی قابلیت استفاده آن در خاک‌ها کم است و تحت‌تأثیر عوامل مختلفی از جمله پهاش مقادیر ماده آلی و آهک خاک و غیره قرار می‌گیرد. آهن به مقدار نسبتاً کم به‌وسیله گیاه جذب می‌شود به‌طوری‌که حد بحرانی آهن ۲/۵ تا ۴/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (۳۳). در گیاه نیز آهن نقش مهمی در ساخت کلروفیل دارد (۶۳) و به‌عنوان کوفاکتور برای چندین آنزیم که در فرایندهای مختلف متابولیکی نقش دارند، عمل می‌کند. هم‌چنین در شرایط کمبود آهن حساسیت گیاه به بیماری افزایش می‌یابد (۱۱). پهاش بالا و کربنات کلسیم دو عامل اصلی محدودکننده فراهمی آهن برای گیاه می‌باشند (۱۳). کلیک و کتکت (۲۰۰۷) گزارش کردند آهن به سرعت از حالت  $Fe^{2+}$  محلول به  $Fe^{3+}$  نامحلول اکسید می‌شود که کمبود آهن در خاک را در پی دارد (۷). علاوه بر عوامل خاکی، هم‌چنین برخی از عوامل تغذیه‌ای مانند فیتات‌ها و ترکیبات پلی‌فنولیک از جذب آهن جلوگیری می‌کنند (۶۸). خاک‌های آهکی، که دارای پهاش قلیائی و درصد کم ماده آلی هستند، غلظت آهن محلول‌شان چندین برابر کم‌تر از حد

بحرانی آهن در خاک‌های غیرآهکی است و این امر سبب کاهش پخشیدگی آهن از محلول به سطح ریشه می‌شود (۸ و ۱۰). امروزه استفاده از زغال‌زیستی نویدهای امیدبخشی را در رفع کلروز آهن ایجاد کرده است. زغال‌زیستی یک ماده غنی از کربن، دانه ریز و متخلخل می‌باشد، که به‌عنوان اصلاح‌کننده خاک از طریق حرارت دادن زیست‌توده مانند پسماندهای آلی، دامی، بقایای گیاهی، فاضلاب، چوب و غیره در شرایط محدود یا فاقد اکسیژن تولید می‌شود (۴۳ و ۷۴). امروزه زغال‌زیستی به‌عنوان یک راه‌حل مناسب در بهبود کیفیت خاک و افزایش سطح حاصلخیزی آن مطرح می‌شود. اصلاح و بهبود وضعیت خاک، مدیریت مواد زائد، کاهش اثر تغییرات اقلیم و تولید انرژی چهار جنبه کاربردی مهم زغال‌زیستی می‌باشد (۳۲). توانایی بالای زغال‌زیستی در حفظ آب و عناصر غذایی ناشی از ساختار متخلخل و سطح ویژه بالایی که دارد باعث فراهمی آب و عناصر غذایی برای گیاه و جلوگیری از هدررفت آب و آبشویی عناصر غذایی می‌شود (۶۷). ون زویتن و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند کاربرد زغال‌زیستی در یک خاک آهکی باعث افزایش زیست‌توده سویا شد (۶۶). موخرجی و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که کاربرد زغال‌زیستی موجب افزایش وزن تر و خشک

عصاره‌گیر DTPA (۳۳) اندازه‌گیری شد که در جدول ۱ آمده است.

**تولید زغال‌زیستی و تعیین ویژگی‌های آن:** زغال‌های زیستی مورد استفاده حاصل از دو نوع ماده آلی اولیه شامل کاه‌گندم و نئوپان بود که از طریق گرماکافت آهسته (افزایش ۵ درجه سانتی‌گراد در هر دقیقه) با دمای نهایی ۳۰۰ درجه سلسیوس به مدت ۲ ساعت در شرایط اکسیژن محدود در یک کوره الکتریکی تهیه شد (۳۸). برخی از خصوصیات زغال‌های زیستی تولیدی اندازه‌گیری شده در جدول ۲ آمده است. پ‌هاش با روش سان و همکاران (۲۰۱۴) در سوسپانسیون ۱:۲۰ زغال‌زیستی به آب مقطر (۵۹)، هدایت الکتریکی در عصاره ۱:۱۰ زغال‌زیستی به آب مقطر (۷۱) و ظرفیت تبادل کاتیونی به روش اصلاح شده استات آمونیوم نرمال پ‌هاش ۷ (۱۷)، کربن آلی با استفاده از دی‌کرومات پتاسیم ۰/۱۶۷ مولار (۵۴) و عملکرد و خاکستر (۵۶) اندازه‌گیری شد. مقدار آهن فراهم زغال‌زیستی از طریق عصاره‌گیری با DTPA (۳۳) و قرائت با دستگاه جذب اتمی (Unicam 919A) اندازه‌گیری شد. همچنین از سطح زغال‌های زیستی قبل و بعد از اشیاع‌سازی با استفاده از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM مدل Tescan-MIRA) عکس تهیه گردید.

**اشیاع‌سازی زغال‌های زیستی با آهن:** زغال‌های زیستی با استفاده از آهن (II) اشیاع‌سازی شدند. بدین‌منظور ابتدا سطح زغال‌های زیستی چندین بار با آب مقطر شستشو شد، سپس به مدت ۴۸ ساعت در آون در درجه حرارت ۵۰ درجه سانتی‌گراد خشک شد. ۵ گرم از زغال‌زیستی را در یک لیتر محلول حاوی ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر آهن (II) که از نمک  $Fe_2SO_4 \cdot 7H_2O$  تهیه شده بود غوطه‌ور شد. پ‌هاش محلول با استفاده از HCl ۰/۱ مولار و NaOH ۰/۱ مولار روی ۶ تنظیم شد. مخلوط زغال‌زیستی و

و ارتفاع گیاه سویا شد (۴۰). لاهوری و همکاران (۲۰۱۷) گزارش دادند استفاده از زغال‌زیستی در ترکیب با مواد معدنی باعث افزایش وزن خشک ساقه و ریشه کلم چینی نسبت به تیمار خاک شاهد شدند (۲۸). رضانی و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند افزودن زغال‌زیستی با سولفات آهن (اختلاط) به خاک آهکی، عملکرد ماده خشک گیاه را تا ۴۷ و ۸۰ درصد به ترتیب نسبت به تیمار شاهد در خاک بدون و با مصرف گوگرد، افزایش داد (۴۶). جوزف و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند وزن خشک گندم با استفاده از زغال‌زیستی غنی‌شده با آهن به‌طور قابل‌توجهی افزایش پیدا کرد (۲۵). سویا با سطح زیرکشت حدود ۱۰۳ و ۰/۱ میلیون هکتار به ترتیب در جهان و ایران، یکی از گیاهان روغنی مهم است (۷۰) که حساسیت بالایی به کمبود آهن دارد. بنابراین، با توجه به وسعت خاک‌های آهکی و پتانسیل بالای آن در ایجاد کلروز آهن به‌ویژه در کشت‌زارهای سویا و نیاز بالای کشور به دانه‌های روغنی، بررسی اثر استفاده از زغال‌زیستی اشیاع شده با آهن بر تولیدات گیاهی به‌ویژه در اراضی کشاورزی که از سطح ماده آلی و حاصلخیزی پایینی نیز برخوردارند، ضروری به‌نظر می‌رسد.

### مواد و روش‌ها

**نمونه‌برداری و آماده‌سازی خاک:** برای انجام این پژوهش از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری یک خاک آهکی که دچار کمبود آهن بود از شرق استان گلستان نمونه‌برداری گردید. پس از هواخشک کردن و عبور از الک دو میلی‌متری، برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه از جمله بافت خاک (۶)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره گل اشیاع (۴۷)، پ‌هاش (۶۲)، ظرفیت تبادل کاتیونی (۵۸)، مقدار ماده آلی (۴۱)، کربنات کلسیم معادل (۳۴) و آهن فراهم با

محلول آهن (II) به مدت ۲۴ ساعت تکان داده شد. چندین بار شستشو گردید تا آهن آزاد سطح زغال‌های زیستی حذف شود (۵۱). سپس با استفاده از کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲ صاف و زغال‌های زیستی برجامانده با آب مقطر

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی منتخب خاک مورد استفاده.

Table 1. Some selected physical and chemical characteristics of the soil.

کلاس بافتی Textural class	سیلت Silt	شن Sand	رس Clay	کربنات کلسیم معادل CCE*	کربن آلی OC	آهن فراهم Ava.Fe	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC	شوری EC	پ‌هائش pH	نام منطقه Region of soil
	%					mg Kg <sup>-1</sup>	Cmol(+)/Kg <sup>-1</sup>	dS m <sup>-1</sup>		
لوم سیلتی	63	14.5	22.5	17	0.936	3.42	15.5	0.8	7.8	آقامام Agh Emam

\* CCE: calcium carbonates equivalent

جدول ۲- برخی از خصوصیات زغال‌های زیستی تولید شده.

Table 2. Some properties of the produced biochars.

خاکستر Ash	عملکرد Yield	کربن آلی OC	آهن فراهم Ava.Fe	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC	شوری EC	پ‌هائش pH	زغال‌زیستی Biochar
	%		mg Kg <sup>-1</sup>	Cmol(+)/Kg <sup>-1</sup>	dS m <sup>-1</sup>		
28.4	51.2	61.3	20.12	108.5	3.07	6.96	کاه‌گندم Wheat straw
12.0	71.4	74.5	20.20	60.7	3.25	6.2	نئوپان Particleboard

تعداد ۱۰ عدد بذر سویا در گلدان‌های ۵ کیلوگرمی کشت و پس از سبز و استقرار گیاهان به ۳ بوته تنک شدند. عناصر ضروری بر اساس نتیجه آزمون خاک، فسفر به مقدار ۴۰ میلی‌گرم از منبع سوپر فسفات تریپل (TSP) و پتاسیم به مقدار ۱۰۰ میلی‌گرم از منبع کلرید پتاسیم (KCl) به صورت پیش کشت و نیتروژن به مقدار ۷۵ میلی‌گرم از منبع اوره  $[CO(NH_2)_2]$ ، یک مرتبه پیش کشت و دومرتبه در طول فصل رشد گیاه به صورت سرک همراه با آبیاری به گلدان‌ها اضافه گردید. رطوبت گلدان‌ها در طول فصل رشد با استفاده از آب مقطر و به روش توزین در حد ظرفیت مزرعه نگهداری شد. هم‌چنین جهت حذف اثرات محیطی در طول دوره رشد موقعیت گلدان‌ها دو بار در هفته به صورت تصادفی تغییر داده شد. بعد از

طرح آماری و کشت گلخانه‌ای: آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام گردید. فاکتور اول شامل زغال‌های زیستی (زغال‌زیستی کاه‌گندم (WB) و زغال‌زیستی نئوپان (PB) با ۲/۵ درصد وزنی)، زغال‌های زیستی اشباع‌شده (زغال‌زیستی اشباع‌شده کاه‌گندم ۲/۵ درصد وزنی (Fe-IWB1) و ۵ درصد وزنی (Fe-IWB2)، زغال‌زیستی نئوپان اشباع‌شده ۲/۵ درصد وزنی (Fe-IPB1) و ۵ درصد وزنی (Fe-IPB2))، کود سکوسترین آهن (۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) (S) و تیمار شاهد (C) می‌باشد و فاکتور دوم سویا (*Glycine max*) با دو رقم ویلیامز (Williams) و سامان (Saman) تهیه شده از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان بود.

**نتایج و بحث**

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که اثرات اصلی رقم و کود بر وزن تر و خشک و ارتفاع معنی‌دار بود ( $P \leq 0.01$ ). هم‌چنین اثر متقابل رقم و کود بر وزن تر و خشک گیاه ( $P \leq 0.01$ ) و ارتفاع گیاه ( $P \leq 0.05$ ) معنی‌دار شد. اثر رقم بر غلظت آهن کل شاخساره و آهن فراهم خاک اثر معنی‌داری نداشت ولی بر جذب آهن شاخساره اثر معنی‌داری داشت ( $P \leq 0.01$ ).

گذشت ۱۲ هفته، ابتدا ارتفاع گیاه ثبت سپس به صورت کف‌بر برداشت شد. وزن تر و خشک (۴۸ ساعت در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد در آون) شاخساره توزین و غلظت آهن کل در شاخساره (۲۴) و خاک (۳۳) اندازه‌گیری گردید. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌های مربوط به اثر تیمارهای اصلی و برهم‌کنش آن‌ها با آزمون حداقل فاصله معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد بررسی شد. هم‌چنین نمودارها توسط نرم‌افزار Excel ترسیم گردید.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس پارامترهای اندازه‌گیری‌شده.

Table 3. ANOVA results of measured parameters.

میانگین مربعات Mean square			درجه آزادی DF				منبع تغییرات S.O.V
آهن فراهم خاک Ava. Fe	جذب آهن شاخساره Shoot Fe uptake	غلظت آهن کل شاخساره Shoot Fe Conc.	ارتفاع Height	وزن خشک Dry weight	وزن تر Fresh weight		رقم Variety
1.9 <sup>ns</sup>	0.77 <sup>**</sup>	1.6 <sup>ns</sup>	1435.5 <sup>**</sup>	38.44 <sup>**</sup>	83.3 <sup>**</sup>	1	کود Fertilizer
44.4 <sup>**</sup>	0.74 <sup>**</sup>	2908.1 <sup>**</sup>	717.5 <sup>**</sup>	15.59 <sup>**</sup>	58.1 <sup>**</sup>	7	رقم × کود V×F
2.4 <sup>**</sup>	0.07 <sup>**</sup>	591.9 <sup>**</sup>	22.0 <sup>*</sup>	1.46 <sup>**</sup>	4 <sup>**</sup>	7	خطا E
0.74	0.01	125.9	8.1	0.36	0.4	48	ضریب تغییرات CV%
18.9	11.9	8.2	4.6	9.6	3.1		

<sup>\*</sup>, <sup>\*\*</sup> و <sup>ns</sup> به ترتیب بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، یک درصد و عدم تفاوت معنی‌دار است.

<sup>\*</sup>, <sup>\*\*</sup> and <sup>ns</sup> i.e. statistical significant at *P. values* 0.05 and 0.01 and not significant, respectively.

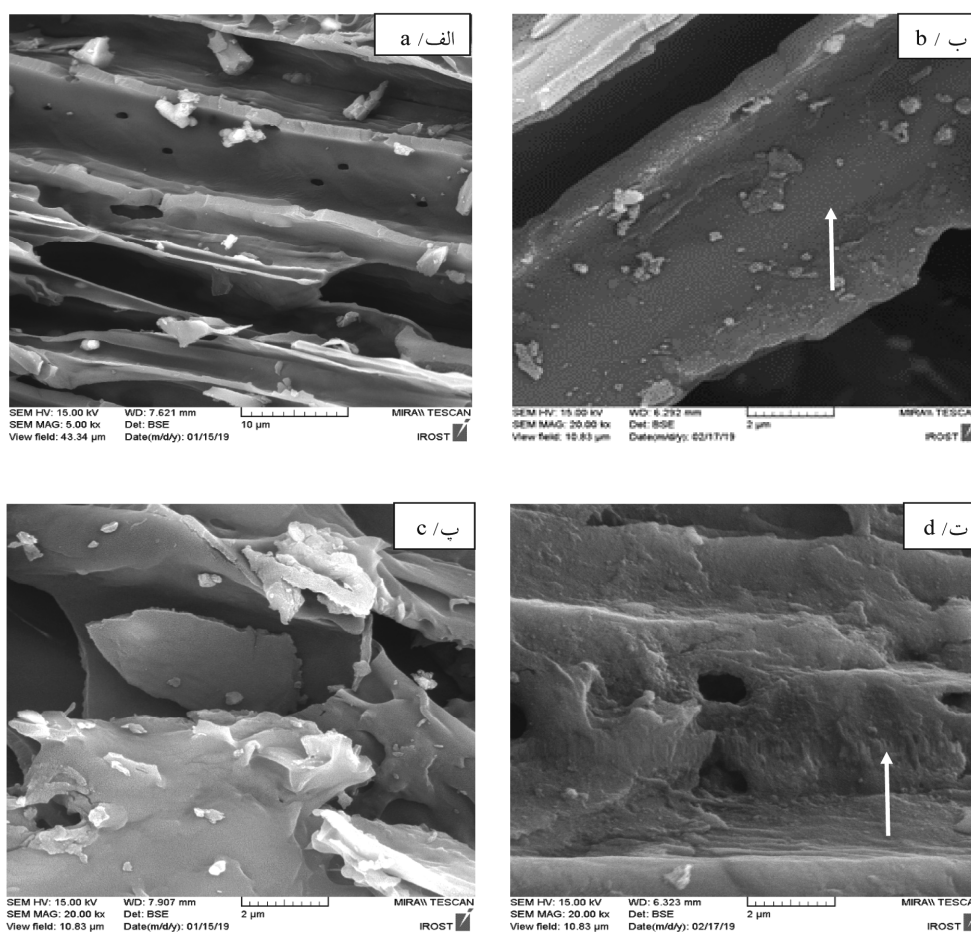
زغال‌زیستی کاه‌گندم، قبل از اشباع‌سازی (شکل ۱ الف) دارای منافذ (تخلخل) فراوان با اندازه کوچک می‌باشد و ساختار لانه زنبوری دارد. ولی سطح زغال‌زیستی نئوپان قبل از اشباع‌سازی (شکل ۱ پ) دارای خلل و فرج کم‌تر ولی با اندازه بزرگ‌تر می‌باشد. هم‌چنین سطح هر دو زغال‌زیستی قبل از اشباع‌سازی صاف و شفاف می‌باشد. توانایی زغال‌های زیستی در

هم‌چنین اثر کود و اثر متقابل رقم و کود بر غلظت و جذب آهن شاخساره و آهن فراهم خاک معنی‌دار بود ( $P \leq 0.01$ ).

**تصاویر سطحی میکروسکوپ الکترونی روبشی:**  
تصاویر SEM تهیه شده از سطح زغال‌های زیستی قبل و بعد از اشباع‌سازی با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (شکل ۱) نشان می‌دهد که سطح

و کارایی استفاده کود را افزایش می‌دهد (۴۴). ولی سطوح زغال‌زیستی کاه‌گندم (شکل ۱ ب) و نئوپان (شکل ۱ ت) بعد از اشیاع‌سازی با آهن به‌صورت برجسته و کدر مشاهده می‌شود. این تغییر شکل سطوح زغال‌های زیستی پس از اشیاع‌سازی دلالت بر جذب سطحی یا انباشتگی آهن در سطح آن‌ها دارد (۴۴ و ۵۱).

جذب عناصر به ساختار و شکل منافذ سطح آن‌ها بستگی دارد (۲۳). افزایش تخلخل زغال‌زیستی در ارتباط نزدیکی با سطح ویژه و ظرفیت تبادل کاتیونی بیشتر آن است (۵۷ و ۷۱). همچنین تخلخل زغال‌زیستی برای کاربردش در خاک به‌ویژه برای افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک، نگهداری عناصر غذایی و پناه‌گاه ریزجانداران خاک مفید است



شکل ۱- عکس‌های SEM از سطوح الف- زغال‌زیستی کاه‌گندم، ب- زغال‌زیستی کاه‌گندم اشیاع‌شده با آهن، پ- زغال‌زیستی نئوپان و ت- زغال‌زیستی نئوپان اشیاع‌شده با آهن.

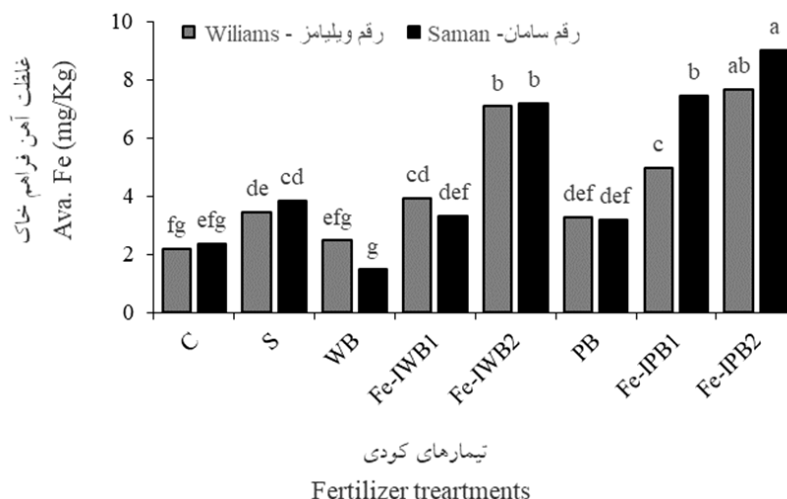
Figure 1. SEM photos from surfaces of a. Wheat straw biochar, b. Fe impregnated wheat straw biochar, c. Particleboard biochar and d. Fe impregnated Particleboard biochar.

خاکی که رقم ویلیامز کشت شده بود میزان آهن فراهم در تیمارهای زغال‌زیستی کاه‌گندم بیشتر از خاکی است که رقم سامان کشت شده بود. در حالی‌که در تیمارهای زغال‌زیستی نئوپان روندی کاملاً

غلظت آهن فراهم خاک پس از برداشت: آزمون مقایسات میانگین داده‌ها نشان داد که مقدار آهن فراهم خاک به‌طور معنی‌داری تحت‌تأثیر برهم‌کنش رقم و کود قرار گرفته است (شکل ۲). به‌طوری‌که در

آهن قابل استفاده در خاک شده است و احتمالاً به همین دلیل اثر آن بیش‌تر از تیمار سکوسترین آهن شده باشد. همچنین، زغال زیستی گندم به دلیل قدرت جذب بالاتر آن (جدول ۲) احتمالاً آهن را کم‌تر از زغال زیستی نئوپان آزاد کرده است. رضانی و همکاران (۲۰۱۶) گزارش دادند مصرف مخلوط زغال زیستی و سولفات آهن در یک خاک آهکی باعث افزایش آهن عصاره‌گیری شده با DTPA شد (۴۶). مواد آلی از جمله زغال زیستی با بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک موجب تحرک و فراهمی بیش‌تر آهن و در نتیجه افزایش عملکرد گیاه می‌شوند (۱۴ و ۷۱). ساپادیت و همکاران (۲۰۱۲) گزارش دادند افزودن زغال زیستی به خاک تحت کشت سویا خصوصیات شیمیایی و فراهمی عناصر خاک را افزایش می‌دهد (۶۰). صادق‌زاده و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند مصرف زغال زیستی باگاس نیشکر در مقادیر ۰/۳ و ۰/۹ درصد وزنی در یک خاک آهکی غلظت آهن فراهم خاک را افزایش ندادند ولی مصرف زغال زیستی شلتوک برنج به میزان ۰/۹ درصد وزنی به‌طور قابل توجهی غلظت آهن فراهم خاک را افزایش داد (۴۸).

برعکس مشاهد شد به نحوی که در خاکی که رقم ویلیامز کشت شده بود میزان آهن فراهم در تیمارهای زغال زیستی نئوپان کم‌تر از خاکی است که رقم سامان کشت شده بود. بیش‌ترین مقدار آهن فراهم خاک مربوط به تیمار زغال زیستی ۵٪ اشباع شده نئوپان بود. شکل ۲ نشان می‌دهد که همه زغال‌های زیستی به‌ویژه زغال‌های زیستی اشباع شده با آهن موجب افزایش مقدار آهن فراهم خاک شده‌اند. همچنین غلظت آهن فراهم خاک با افزایش درصد وزنی زغال‌های زیستی نیز افزایش یافت. افزایش آهن قابل استفاده در تیمار سکوسترین نسبت به شاهد می‌تواند ناشی از قدرت کلات‌کنندگی سکوسترین باشد. در تیمارهای زغال زیستی این افزایش احتمالاً می‌تواند به دو دلیل باشد. با توجه به مقدار بالای ماده آلی در زغال زیستی (جدول ۲) تجزیه آن در طول رشد گیاه احتمالاً باعث تولید ترکیبات آلی با قدرت کلات‌کنندگی بالا مثل اسیدهیومیک و اسید فولیک شده باشد ثانیاً در تیمارهای زغال زیستی که با آهن اشباع‌سازی شده است (که شکل ۱ ب و ت نیز بیانگر آن است)، آزادسازی آهن از سطوح آن‌ها باعث افزایش بیش‌تر



شکل ۲- اثر متقابل رقم و کود بر غلظت آهن فراهم خاک بعد از برداشت گیاه (میانگین‌های با حروف مشابه روی ستون‌ها در سطح LSD 5% معنی دار نیست).

Figure 2. Interactive effect of variety and fertilizer on soil available Fe concentration after plant cutting (Means for columns followed by the same letters are not significant at Lsd,  $P \leq 0.05$ ).

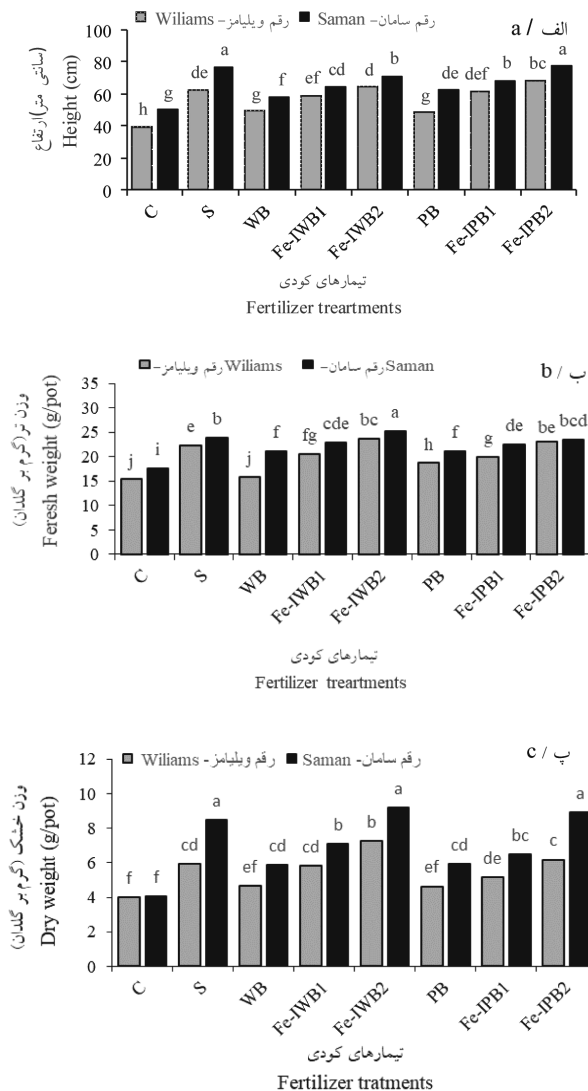
اثر مستقیم، جدول ۲ و شکل ۲) ناشی از بهبود خصوصیات فیزیکی (نگهداری رطوبت بالا و کاهش چگالی ظاهری)، شیمیایی (افزایش ماده آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی، جدول ۲ و کاهش هدررفت عناصر غذایی) و زیستی (افزایش رشد جمعیت میکروبی) خاک باشد. به این موارد در پژوهش‌های دیگران نیز اشاره شده است (۹، ۱۸، ۳۱، ۳۵ و ۵۲). چون آهن جزء عناصر ضروری برای بسیاری از فرآیندهای رشدی گیاه مانند رشد مریستمی و ساخت کلروفیل (۳۷ و ۳۹) هست، بنابراین انتظار می‌رود با کمبود آن‌ها، جذب و غلظت آن‌ها در اندام‌ها و در نتیجه رشد گیاه کاهش یابد. مصرف مخلوط زغال‌زیستی و کود، بهره‌وری کود را افزایش می‌دهد (۴۲). گلاسر و همکاران (۲۰۰۲) به این نتیجه رسیدند که میزان مصرف بهینه زغال‌زیستی ممکن است برای هر خاک و گونه‌های گیاهی متفاوت باشد (۱۸). لی و همکاران (۲۰۱۵) و گرابر و همکاران (۲۰۱۰) گزارش دادند ارتفاع گیاه سویا (۳۰) با افزودن زغال‌زیستی و زغال‌زیستی + پلی‌آکریل‌امید و ارتفاع گوجه‌فرنگی (۱۹) با افزایش میزان مصرف زغال‌زیستی به خاک تا ۳۹٪ بیشتر، افزایش یافت. زغال‌زیستی با دو مکانیسم مستقیم و غیرمستقیم رشد گیاه را افزایش می‌دهد. زغال‌زیستی با افزایش فراهمی عناصر غذایی (کلسیم، منیزیم، فسفر، پتاسیم، گوگرد و عناصر کم‌مصرف) به‌طور مستقیم و بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک به‌طور غیرمستقیم، بر رشد گیاه مؤثر است (۱۲). کیم و همکاران (۲۰۱۶) دریافتند که استفاده از زغال‌زیستی می‌تواند ظرفیت نگهداری آب خاک را افزایش دهد که آن نیز به نوبه خود باعث بهبود روابط آبی گیاه و در نتیجه موجب افزایش رشد و ارتفاع گیاه می‌شود (۲۷). با مصرف بیشتر زغال‌زیستی وزن تر و خشک زیست‌توده سویا (۳۰، ۳۵، ۶۰، ۶۶ و ۶۸)، لویا در شرایط شور و غیرشور (۱۶) و ذرت (۳۵) افزایش می‌یابد. شمیم

شاخص‌های رشدی گیاه: بر طبق نتایج به‌دست آمده (شکل‌های ۳- الف، ب، پ)، هر دو رقم سویا بیش‌ترین ارتفاع را در سطح ۵٪ زغال‌زیستی نئوپان اشباع‌شده با آهن داشتند. ولی بیش‌ترین مقدار وزن تر برای هر دو رقم سویا در سطح ۵٪ زغال‌زیستی کاه‌گندم اشباع‌شده با آهن مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با تیمارهای خاک شاهد، سکوسترین آهن و زغال‌زیستی اشباع نشده داشت. مصرف زغال‌های زیستی اشباع‌شده با آهن و تیمار سکوسترین آهن باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع، وزن تر و وزن خشک هر دو رقم سویا نسبت به خاک شاهد شد. در تمام تیمارهای کودی و خاک شاهد ارتفاع، وزن تر و وزن خشک رقم سامان بیش‌تر از رقم ویلیامز بود و افزایش میزان مصرف زغال‌زیستی باعث بهبود شاخص‌های رشدی گیاه شد. آهن‌گ افزایش ارتفاع و وزن تر با مصرف زغال‌زیستی در رقم ویلیامز با شیب تندتری نسبت به رقم سامان صورت گرفته است. ماده خشک هر دو رقم سویا با مصرف زغال‌زیستی افزایش پیدا کرد ولی میزان افزایش ماده خشک در زغال‌های زیستی اشباع‌شده با آهن بیش‌تر از زغال‌زیستی اشباع‌نشده بود. با افزایش میزان مصرف زغال‌های زیستی اشباع‌شده با آهن عملکرد ماده خشک گیاه افزایش پیدا کرد ولی آهن‌گ افزایش وزن خشک گیاه با مصرف زغال‌زیستی در رقم سامان با شدت بیش‌تری (به‌ویژه در زغال‌های زیستی نئوپان) صورت گرفت. این نتایج با نتایج رضانی و همکاران (۲۰۱۶) مطابقت داشت (۴۶). با توجه به کمبود آهن در خاک مورد آزمایش (جدول ۱) افزایش فراهمی عناصر غذایی به‌ویژه آهن به دنبال مصرف زغال‌های زیستی به‌ویژه اشباع‌شده با آهن (شکل ۲)، منجر به تحریک و بهبود شاخص‌های رشدی گیاه شد (شکل ۳). افزایش شاخص‌های رشد در تیمار سکوسترین آهن می‌تواند ناشی از تأمین آهن باشد. ولی این افزایش در تیمارهای زغال‌زیستی می‌تواند علاوه بر فراهمی آهن



با مصرف بیشتر زغال‌زیستی عملکرد اندام هوایی گیاه افزایش می‌یابد (۱۵ و ۲۹). از مزایای مصرف زغال‌زیستی در خاک افزایش کارایی و کاهش آبشویی عناصر غذایی است، بیدرمن و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند مصرف زغال‌زیستی کاه برنج باعث افزایش تولید زیست‌توده گیاهی اسفناج شد (۵). بنابراین، با افزایش مقدار مصرف زغال‌زیستی وزن خشک گیاه افزایش می‌یابد.

و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که تیمارهای زغال‌زیستی و مخلوط زغال‌زیستی با کودشیمیایی در یک خاک آهکی به‌ترتیب سبب افزایش ۶۷ و ۳۹۱ درصد در وزن خشک کل گیاه گردید (۵۵). لاهوری و همکاران (۲۰۱۷) گزارش دادند استفاده از زغال‌زیستی تنباکو به تنهایی و همراه با مواد معدنی باعث افزایش وزن خشک ساقه و ریشه کلم چینی نسبت به تیمار شاهد شدند (۲۸). لاکیتان و همکاران (۲۰۱۸) و فاگنبرو و همکاران (۲۰۱۳) گزارش دادند



شکل ۳- اثر متقابل رقم و کود بر الف- ارتفاع، ب- وزن تر و پ- وزن خشک (میانگین‌های با حروف مشابه روی ستون‌ها در سطح LSD 5% معنی‌دار نیست).

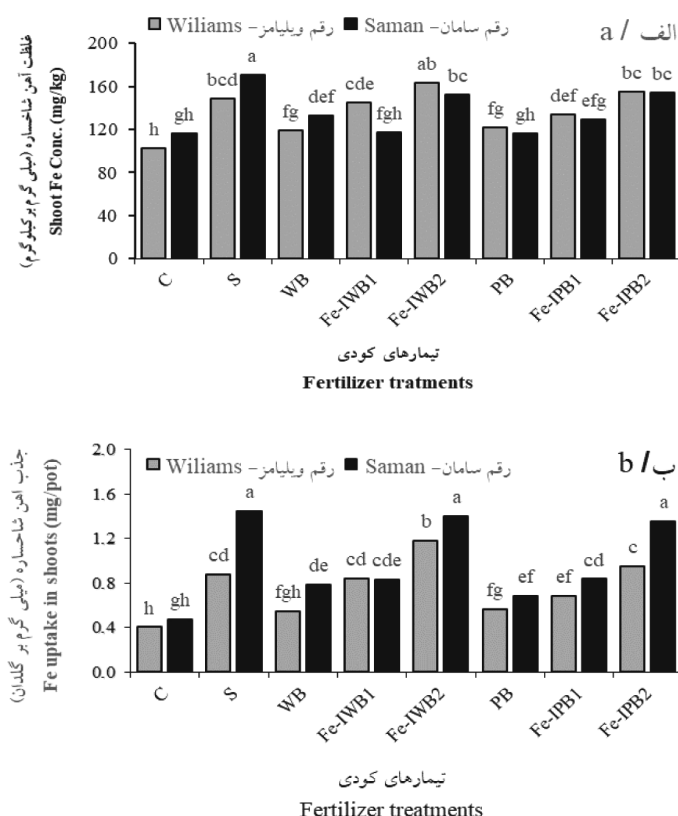
Figure 3. Interactive effect of variety and fertilizer on A. height, B. Fresh and C. dry weights (Means for columns followed by the same letters are not significantly different at Lsd, P=0.05).

زغال زیستی اشباع شده نئوپان نسبت به تیمار سکوسترین، می‌تواند به دلیل افزایش رشد و ماده خشک گیاه (شکل ۳ پ) و در نتیجه اثر رقت (۲۱) باشد. تفویضی و همکاران (۲۰۱۴) و سالاردینی و مورفی (۱۹۷۸) نیز افزایش غلظت آهن کل در گیاه را در نتیجه مصرف آهن گزارش کردند (۴۹ و ۶۱). رجایی و توکلی (۲۰۱۸)، گزارش کردند با مصرف سکوسترین آهن به صورت خاکی و محلول پاشی، غلظت آهن در برگ پرتقال افزایش یافت (۴۵). آینال و همکاران (۲۰۱۵) با افزودن کود مرغی و زغال زیستی آن به کشت گلدانی لوبیا در یک خاک آهکی گزارش دادند که غلظت آهن، منگنز، روی و مس به طور قابل توجهی در گیاه افزایش یافت (۲۲). در واقع، مواد آلی به ویژه زغال زیستی می‌تواند فراهمی عناصر خاک و فعالیت ریشه برای جذب عناصر را به روش‌های مختلفی از جمله تغییر پ‌هاس خاک، تولید عوامل کلات‌کننده، بهبود تهویه خاک و افزایش فعالیت میکروبی تحت تأثیر قرار دهد. با این حال، بسته به نوع عناصر و ترکیبات آلی، آن‌ها می‌توانند اثرات مثبت یا منفی داشته باشند (۶۳). یوئن و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند افزودن زغال زیستی به خاک می‌تواند حاصلخیزی خاک و غلظت عناصر در سویا را افزایش دهد (۷۵). ون زویتن و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند کاربرد زغال زیستی ممکن است کارایی مصرف کود را بهبود بخشد (۶۶). سلیم (۲۰۱۶)، گزارش داد افزودن زغال زیستی در مقادیر ۲ و ۵ درصد وزنی و زغال زیستی همراه با جلبک باعث کاهش غلظت آهن در ریشه گندم ولی باعث افزایش غلظت آن در برگ گندم شد (۵۰).

غلظت و جذب آهن شاخساره: نتایج آزمون مقایسات میانگین (شکل ۴ الف و ب) نشان داد که پاسخ رقم سامان به تیمارهای کودی زغال زیستی کاه‌گندم از پاسخ رقم ویلیامز به آن متفاوت بود. به طوری که غلظت آهن شاخساره رقم ویلیامز در سطوح زغال زیستی کاه‌گندم افزایشی بود ولی مقدار آن در رقم سامان ابتدا کاهش سپس افزایش یافت. همچنین غلظت آهن شاخساره بین دو رقم در تیمارهای کودی مختلف به غیر از تیمارهای سکوسترین آهن و زغال زیستی ۲/۵٪ کاه‌گندم اشباع شده، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. زغال‌های زیستی ۵٪ اشباع شده نئوپان و کاه‌گندم برای هر دو رقم سویا نتوانستند مقدار غلظت آهن شاخساره را نسبت به خاک شاهد افزایش دهند. زغال‌های زیستی ۲/۵٪ اشباع شده نئوپان و کاه‌گندم نتوانستند مقدار غلظت آهن شاخساره را برای رقم ویلیامز نسبت به خاک شاهد افزایش دهند ولی برای رقم سامان تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. در این پژوهش مشاهده شد که مصرف زغال زیستی به همراه آهن یا بدون آن و کاربرد سکوسترین آهن به تنهایی غلظت آهن در گیاه را افزایش داد. نتایج با نتایج رضانی و همکاران (۲۰۱۶) مطابقت داشت، آن‌ها گزارش دادند با مصرف مخلوط زغال زیستی و سولفات آهن غلظت آهن شاخساره و دانه برنج افزایش یافت (۴۶). افزایش غلظت آهن شاخساره در هر دو رقم در تیمارهای سکوسترین و زغال‌های زیستی می‌تواند به دلیل افزایش فراهمی آهن در آن‌ها- همان‌طور که در بخش غلظت آهن فراهم خاک پس از برداشت بحث شد- و جذب بیشتر آهن بوده باشد. همچنین کاهش غلظت آهن در رقم سامان در تیمارهای زغال زیستی اشباع شده گندم و نئوپان و رقم ویلیامز در تیمارهای

جذب آهن در تیمارهای زغال زیستی در رقم سامان و به‌ویژه رقم ویلیامز بیش‌تر از تیمار سکوسترین آهن بوده است. این امر احتمالاً علاوه بر فراهمی بیش‌تر آهن به‌دلیل بهبود شرایط فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک برای رشد گیاه در تیمارهای زغال زیستی، بوده باشد. هم‌چنین پ‌هاش زغال‌های زیستی به‌ویژه نئوپان اندکی اسیدی (جدول ۲) می‌باشد که می‌تواند موجب بهبود فراهمی آهن در این تیمارها شده باشد. عناصر کم‌مصرف مثل بور، کلر، مس، آهن، روی، منگنز، مولیبدن و نیکل برای رشد سالم گیاه حیاتی است (۲). با توجه به توانایی بالای زغال‌زیستی در نگهداری عناصر فلزی، می‌تواند روی جذب عناصر تأثیر بگذارد (۲۰). زغال‌زیستی می‌تواند چگالی ظاهری خاک را کاهش دهد که منجر به افزایش رشد و نفوذ ریشه در خاک و در نتیجه باعث افزایش جذب عناصر غذایی از محلول خاک می‌شود (۱۸ و ۳۱). عثمان و همکاران (۲۰۱۶)، آدجیمو و همکاران (۲۰۱۶)، واگز و همکاران (۲۰۱۷)، ازوما و همکاران (۲۰۱۱) و ماجور و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند مصرف زغال‌زیستی مقدار جذب فسفر، آهن، مس و منگنز در گوجه‌فرنگی (۶۴)، جذب آهن و روی در ذرت (۱)، جذب آهن در سویا (۶۸)، جذب عناصر در ذرت (۶۵) و جذب پتاسیم، مس و منگنز در سویا (۳۵) را افزایش داد. هم‌چنین افزایش جذب عناصر دیگر از جمله نیتروژن در سویا، تربچه و گوجه‌فرنگی (۶۶)، فسفر و نیتروژن (۳، ۴ و ۲۶)، فسفر و پتاسیم در نیشکر (۷۲) با مصرف زغال‌زیستی گزارش شده است.

پاسخ دو رقم سویا از نظر جذب آهن در سطوح مختلف تیمارهای کودی متفاوت بود به‌طوری‌که رقم ویلیامز با افزایش سطوح زغال‌زیستی کاه‌گندم روند افزایشی نشان داد در حالی‌که جذب آهن رقم سامان ابتدا ثابت سپس افزایش یافت. هم‌چنین جذب آهن در رقم سامان به‌طورکلی بیش‌تر از رقم ویلیامز در تمام سطوح کودی بود (شکل ۴ ب). بیش‌ترین مقدار جذب آهن شاخساره در رقم سامان در زغال‌های زیستی ۵٪ اشباع‌شده نئوپان و کاه‌گندم و تیمار سکوسترین آهن و کم‌ترین مقدار آن در تیمار خاک شاهد مشاهده شد. زغال‌های زیستی ۲/۵٪ اشباع‌شده و اشباع‌نشده نئوپان و کاه‌گندم توانستند مقدار جذب آهن شاخساره را نسبت به خاک شاهد برای رقم سامان افزایش دهند که در آن جذب آهن در زغال‌های زیستی اشباع‌شده بیش‌تر از اشباع‌نشده بود. در رقم ویلیامز بیش‌ترین مقدار جذب آهن کل در تیمار ۵٪ وزنی زغال‌زیستی اشباع‌شده کاه‌گندم بود و کم‌ترین مقدار آن در خاک شاهد مشاهده شد. زغال‌زیستی ۵٪ اشباع‌شده نئوپان و زغال‌زیستی ۲/۵٪ اشباع‌شده کاه‌گندم توانستند به اندازه تیمار سکوسترین آهن جذب آهن شاخساره را افزایش دهند. بقیه تیمارهای زغال‌زیستی نیز توانستند مقدار جذب آهن شاخساره را در مقایسه با مقدار آن در خاک شاهد افزایش دهند. جذب آهن همان‌طور که انتظار می‌رفت به‌دلیل افزایش فراهمی آهن (شکل ۲) در نتیجه مصرف سکوسترین آهن و زغال‌های زیستی به‌ویژه شکل اشباع‌شده آن‌ها که در بخش‌های بالا نیز بحث شد، افزایش یافته است. البته وزن خشک گیاه و



شکل ۴- اثر متقابل رقم و کود بر الف- غلظت آهن و ب- جذب آهن در شاخساره (میانگین‌های با حروف مشابه روی ستون‌ها در سطح 5% LSD معنی‌دار نیست).

Figure 4. Interactive effect of variety and fertilizer on A. Fe concentration and B. Fe uptake in shoots (Means for columns followed by the same letters are not significant at Lsd, P=0.05).

### نتیجه‌گیری

آهن سبب افزایش میزان غلظت و جذب آهن در اندام هوایی سویا در خاک آهکی شدند. به‌طوری‌که بیش‌ترین مقدار غلظت و جذب آهن شاخساره در هر دو رقم سویا در سطح ۵ درصد زغال‌زیستی کاه گندم اشباع‌شده با آهن مشاهده شد. از طرف دیگر مصرف مقادیر بالای زغال‌زیستی از نظر اقتصادی شاید مقرون به صرفه نباشد و اشباع یا غنی‌سازی آن‌ها با عناصر غذایی می‌تواند راه کار مناسبی برای کاهش مقدار مصرف آن باشد. بنابراین، مصرف زغال‌زیستی اشباع شده با آهن، می‌تواند رهیافت امیدبخشی برای رفع کلروز آهن در گیاهان حساس به‌ویژه سویا در خاک‌های آهکی باشد.

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که مصرف زغال‌زیستی اشباع‌نشده (بدون آهن) در سطح ۲/۵ درصد شاخص‌های رشدی گیاه را افزایش داد ولی با مصرف زغال‌زیستی اشباع‌شده با آهن و افزایش میزان مصرف آن‌ها، شاخص‌های رشدی گیاه افزایش بیشتری داشت. بیش‌ترین وزن تر و خشک گیاه در سطح ۵ درصد زغال‌زیستی کاه‌گندم اشباع‌شده به‌دست آمد. زغال‌زیستی با بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک و با توجه به قدرت بالای آن در جذب و نگهداری آب و عناصر غذایی، باعث افزایش فراهمی آهن در خاک و تأمین تدریجی آن برای گیاه شد. مصرف زغال‌های زیستی اشباع‌شده با

منابع

1. Adejumo, S.A., Owolabi, M.O., and Odesola, I.F. 2016. Agro-physiologic effects of compost and biochar produced at different temperatures on growth, photosynthetic pigment and micronutrients uptake of maize crop. *Afric. J. Agric. Res.* 11: 661-673.
2. Alloway, B.J., Graham, R.D., and Stacey, S.P. 2008. Micronutrient deficiencies in Australian field crops. P 63-92, In: B.J. Alloway (ed.), *Micronutrient deficiencies in global crop production*. Springer, Netherlands.
3. Atkinson, C.J., Fitzgerald, J.D., and Hipps, N.A. 2010. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. *Plant and soil.* 337: 1-18.
4. Barrow, C.J. 2012. Biochar: potential for countering land degradation and for improving agriculture. *Applied Geography.* 34: 21-28.
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. Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. *Agron. J.* 54: 464-465.
7. Çelik, H., and Katkat, A.V. 2007. Some parameters in relation to iron nutrition status of peach orchards. *J. Biol. Environ. Sci.* 1: 111-115.
8. Celik, I., Ortas, I., and Kilic, S. 2004. Effects of compost, mycorrhiza, manure and fertilizer on some physical properties of a Chromoxerert soil. *Soil and Tillage Research.* 78: 59-67.
9. Chan, K.Y., Zwieten, L.V., Meszarost, L., Downie, A., and Joseph, S. 2008. Using poultry litter biochars as soil amendments. *Austr. J. Soil Res.* 46: 3. 437-444.
10. Chand, M., Randhawa, N.S., and Bhumbla, D.R. 1981. Effectiveness of zinc chelates in zinc nutrition of greenhouse rice crop in a saline-sodic soil. *Plant and soil.* 59: 217-225.
11. Chatterjee, C., Gopal, R., and Dube, B.K. 2006. Impact of iron stress on biomass, yield, metabolism and quality of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Scientia Horticulturae.* 108: 1-6.
12. Cheng, Y., Cai, Z.C., Chang, S.X., Wang, J., and Zhang, J.B. 2012. Wheat straw and its biochar have contrasting effects on inorganic N retention and N<sub>2</sub>O production in a cultivated Black Chernozem. *Biology and Fertility of Soils.* 48: 941-946.
13. Cifuentes, F.R., and Lindemann, W.C. 1993. Organic matter stimulation of elemental sulfur oxidation in a calcareous soil. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 57: 727-731.
14. Du Laing, G., Rinklebe, J., Vandecasteele, B., Meers, E. and Tack, F.M. 2009. Trace metal behaviour in estuarine and riverine floodplain soils and sediments: a review. *Science of the total environment.* 407: 3972-3985.
15. Fagbenro, J.A., Oshunsanya, S.O., and Onawumi, O.A. 2013. Effect of Saw Dust Biochar and NPK 15: 15: 15 Inorganic Fertilizer on Moringa oleifera Seedlings Grown in an Oxisol. *Agrosearch.* 13: 57-68.
16. Farhangi-Abriz, S., and Torabian, S. 2018. Effect of biochar on growth and ion contents of bean plant under saline condition. *Environmental Science and Pollution Research.* 25: 11556-11564.
17. Gaskin, J.W., Steiner, C., Harris, K., Das, K.C., and Bibens, B. 2008. Effect of low-temperature pyrolysis conditions on biochar for agricultural use. *Transactions of the ASABE.* 51: 2061-2069.
18. Glaser, B., Lehmann, J., and Zech, W. 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal—a review. *Biology and Fertility of Soils.* 35: 219-230.
19. Graber, E.R., Harel, Y.M., Kolton, M., Cytryn, E., Silber, A., David, D.R., Tsechansky, L., Borenshtein, M., and Elad, Y. 2010. Biochar impact on development and productivity of pepper and tomato grown in fertigated soilless media. *Plant and Soil.* 337: 481-496.

20. Gunarathne, V., Mayakaduwa, S., and Vithanage, M. 2017. Biochar's Influence as a Soil Amendment for Essential Plant Nutrient Uptake. P 47-67, In: M. Naeem, et al (eds), Essential Plant Nutrients. Springer, International Publishing. Gewerbestrasse 11, 6330 Cham, Switzerland.
21. Havlin, J.L., Beaton, J.D., Tisdale, S.L., and Nelson, W.L. 2005. Soil fertility and fertilizers. 7<sup>th</sup> ed. Pearson/Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ. 515p.
22. Inal, A., Gunes, A., Sahin, O.Z.G.E., 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.
23. Jiang, T.Y., Jiang, J., Xu, R.K., and Li, Z. 2012. Adsorption of Pb (II) on variable charge soils amended with rice-straw derived biochar. Chemosphere. 89: 249-256.
24. Jones, J.B.Jr., and Case, V.W. 1990. Sampling, handling, and analyzing plant tissue samples. P 389-427, In: R.L. Westerman (ed.), Soil testing and plant analysis. 3<sup>rd</sup> ed. SSSA, Madison, WI, USA.
25. Joseph, S., Anawar, H.M., Storer, P., Blackwell, P., Chee, C.H.I.A., Yun, L.I.N., Munroe, P., Donne, S., Horvat, J., Jianli, W.A.N.G., and Solaiman, Z.M. 2015. Effects of enriched biochars containing magnetic iron nanoparticles on mycorrhizal colonisation, plant growth, nutrient uptake and soil quality improvement. Pedosphere. 25: 749-760.
26. Joseph, S.D., Camps-Arbestain, M., Lin, Y., Munroe, P., Chia, C.H., Hook, J., Van Zwieten, L., Kimber, S., Cowie, A., Singh, B.P. and Lehmann, J. 2010. An investigation into the reactions of biochar in soil. Soil Research. 48: 501-515.
27. Kim, H.S., Kim, K.R., Yang, J.E., Ok, Y.S., Owens, G., Nehls, T., Wessolek, G., and Kim, K.H. 2016. Effect of biochar on reclaimed tidal land soil properties and maize (*Zea mays* L.) response. Chemosphere. 142: 153-159.
28. Lahori, A.H., Zhang, Z., Guo, Z., Li, R., Mahar, A., Awasthi, M.K., Wang, P., Shen, F., Kumbhar, F., Sial, T.A., and Zhao, J. 2017. Beneficial effects of tobacco biochar combined with mineral additives on (im) mobilization and (bio) availability of Pb, Cd, Cu and Zn from Pb/Zn smelter contaminated soils. Ecotoxicology and environmental safety. 145: 528-538.
29. Lakitan, B., Alberto, A., Lindiana, L., Kartika, K., Herlinda, S., and Kurnianingsih, A. 2018. The benefits of biochar on rice growth and yield in tropical riparian wetland, South Sumatera, Indonesia. Chiang Mai Univ. J. Natur. Sci. 17: 111-126.
30. Lee, S.S., Shah, H.S., Awad, Y.M., Kumar, S., and Ok, Y.S. 2015. Synergy effects of biochar and polyacrylamide on plants growth and soil erosion control. Environmental Earth Sciences. 74: 2463-2473.
31. Lehmann, J. 2009. Biochar for environmental management. Science and technology, Earthscan, London, & Sterling, VA. UK. Pp: 1-12.
32. Lehmann, J., and Joseph, S. eds. 2015. Biochar for environmental management: science, technology and implementation. Routledge.
33. Lindsay, W.L., and Norvell, W.A. 1978. Development of a DTPA Soil Test for Zinc, Iron, Manganese, and Copper. Soil Sci. Soc. Amer. J. 42: 421-428.
34. Loeppert, R.H., and Suarez, D.L. 1996. Carbonate and gypsum. P 437-474. In: D.L. Sparks, et al. (eds.), Methods of Soil Analysis. Part 3. 3<sup>rd</sup> ed. Part 3. Chemical methods. SSSA and ASA, Madison, WI, USA.
35. Major, J., Rondon, M., Molina, D., Riha, S.J., and Lehmann, J. 2010. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. Plant and Soil. 333: 117-128.
36. Malakouti M.J., Karimian N.A., and Keshavarz P. 2006. Diagnosis and recommendation integrated system for balanced fertilization, Tarbiatmodarres university press, Tehran, Iran. 718p. (In Persian)

37. Marschner, H. 2012. Marschner's mineral nutrition of higher plants. 3<sup>rd</sup> ed. Academic press is an imprint of Elsevier, Amsterdam, Boston, London, New York. 651p.
38. Méndez, A., Gómez, A., Paz-Ferreiro, J., and Gascó, G. 2012. Effects of sewage sludge biochar on plant metal availability after application to a Mediterranean soil. *Chemosphere*. 89: 1354-1359.
39. Mengel, K., and Kirkby, E.A. 2001. Principles of plant nutrition. 5<sup>th</sup> ed. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands. 849p.
40. Mukherjee, A., Lal, R., and Zimmerman, A.R. 2014. Effects of biochar and other amendments on the physical properties and greenhouse gas emissions of an artificially degraded soil. *Science of the Total Environment*. 487: 26-36.
41. Nelson, D.W., and Sommers, L.E. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. P 961-1010, In: D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston, and M.E. Sumner. (eds.), *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical methods*. SSSA and ASA, Madison, WI, USA.
42. Novak, J.M., Busscher, W.J., Laird, D.L., Ahmedna, M., Watts, D.W., and Niandou, M.A. 2009. Impact of biochar amendment on fertility of a southeastern coastal plain soil. *Soil Science*. 174: 105-112.
43. Prendergast-Miller, M.T., Duvall, M., and Sohi, S.P. 2011. Localisation of nitrate in the rhizosphere of biochar-amended soils. *Soil biology and Biochemistry*. 43: 2243-2246.
44. Qiao, Y., Wu, J., Xu, Y., Fang, Z., Zheng, L., Cheng, W., Tsang, E.P., Fang, J., and Zhao, D. 2017. Remediation of cadmium in soil by biochar-supported iron phosphate nanoparticles. *Ecological engineering*, 106: 515-522.
45. Rajaie, M., and Tavakoly, A.R. 2018. Iron and/or acid foliar spray versus soil application of Fe-EDDHA for prevention of iron deficiency in Valencia orange grown on a calcareous soil. *J. Plant Nutr.* 41: 150-158.
46. Ramzani, P.M.A., Khalid, M., Naveed, M., Ahmad, R., and Shahid, M. 2016. Integrating the organic amendment with iron fertilization for improving productivity and Fe biofortification in rice under acidified calcareous soil. *Pak. J. Agric. Sci.* 53: 2. 407-417.
47. Rhoades, J.D. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. P 417-235. In: D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston and M.E. Sumner. (eds.), *Methods of Soil Analysis Part 3. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison*.
48. Sadegh-Zadeh, F., Tolekolai, S.F., Bahmanyar, M.A., and Emadi, M. 2018. Application of Biochar and Compost for Enhancement of Rice (*Oryza Sativa* L.) Grain Yield in Calcareous Sandy Soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 49: 552-566.
49. Salardini, A.A., and Murphy, L.S. 1978. Grain sorghum (*Sorghum bicolor* Pers.) responses to organic iron on calcareous soils. *Plant and Soil*. 49: 57-70.
50. Salim, B.B.M. 2016. Influence of biochar and seaweed extract applications on growth, yield and mineral composition of wheat (*Triticum aestivum* L.) under sandy soil conditions. *Annals of Agricultural Sciences*. 61: 257-265.
51. Samsuri, A.W., Sadegh-Zadeh, F., and Seh-Bardan, B.J. 2013. Adsorption of As (III) and As (V) by Fe coated biochars and biochars produced from empty fruit bunch and rice husk. *J. Environ. Chem. Engin.* 1: 981-988.
52. Schultz, H., Dunst, G., and Glaser, B. 2013. Positive effects of composted biochar on plant growth and soil fertility. *Agronomy for Sustainable Development*, 33: 4. 817-827.
53. Schumacher, B.A. 2002. Methods for the determination of total organic carbon (TOC) in soils and sediments. In: *Soils and Sediments*. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/R-02/069 (NTIS PB2003-100822).

54. Shamim, M.I.A., Dijkstra, F.A., Abuyusuf, M., and Hossain, A.I. 2015. Synergistic effects of biochar and NPK fertilizer on soybean yield in an alkaline soil. *Pedosphere*. 25: 713-719.
55. Song, W., and Guo, M. 2012. Quality variations of poultry litter biochar generated at different pyrolysis temperatures. *J. Anal. Appl. Pyrolysis*. 94: 138-145.
56. Suksabye, P., Pimthong, A., Dhurakit, P., Mekvichitsaeng, P., and Thiravetyan, P. 2016. Effect of biochars and microorganisms on cadmium accumulation in rice grains grown in Cd-contaminated soil. *Environmental Science and Pollution Research*. 23: 962-973.
57. Sumner, M.E., Miller, W.P., Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A., Loeppert, R.H., and Johnston, C.T. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficients. P 1201-1229, In: D.L. Sparks, et al. (eds.), *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods*. SSSA and ASA, Madison, WI, USA.
58. Sun, Y., Gao, B., Yao, Y., Fang, J., Zhang, M., Zhou, Y., Chen, H., and Yang, L. 2014. Effects of feedstock type, production method and pyrolysis temperature on biochar and hydrochar properties. *Chem. Engin. J*. 240: 574-578.
59. Suppadit, T., Phumkokrak, N., and Pongsuk, P. 2012. The effect of using quail litter biochar on soybean (*Glycine max* [L.] Merr.) production. *Chilean J. Agric. Res.* 72: 244.
60. Tafvizi, M., Motesharezadeh, B., and Savaghebi, G. 2014. Investigating the effects of lead contamination and foliar application of iron on some physiological characteristics in two forage corn (*Zea mays* L.) hybrids in calcareous soil. *Iran. J. Field Crop Sci.* 45: 2. 213-226. (In Persian)
61. Thomas, G.W. 1996. Soil pH and soil acidity. P 475-490, In: D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston, and M.E. Sumner (eds.) *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods*. SSSA and ASA, Madison, WI, USA.
62. Tisdale, S., Nelson, W., Havlin, J., and Beaton, J. 1999. *Soil fertility and fertilizers. An introduction to nutrient management*. 503p.
63. Usman, A.R.A., Al-Wabel, M.I., Abdulaziz, A.H., Mahmoud, W.A., EL-Naggar, A.H., Ahmad, M., Abdulelah, A.F., and Abdulrasoul, A.O. 2016. Conocarpus biochar induces changes in soil nutrient availability and tomato growth under saline irrigation. *Pedosphere*. 26: 27-38.
64. 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. *Soil Use and Management*. 27: 205-212.
65. Van Zwieten, L., Kimber, S., Morris, S., Chan, K.Y., Downie, A., Rust, J., Joseph, S., and Cowie, A. 2010. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plant and Soil*. 327: 235-246.
66. Wang, K., Wang, P., Liu, J., Sparrow, M., Haginoya, S., and Zhou, X. 2005. Variation of surface albedo and soil thermal parameters with soil moisture content at a semi-desert site on the western Tibetan Plateau. *Boundary-Layer Meteorology*. 116: 117-129.
67. Waqas, M., Kim, Y.H., Khan, A.L., Shahzad, R., Asaf, S., Hamayun, M., Kang, S.M., Khan, M.A., and Lee, I.J. 2017. Additive effects due to biochar and endophyte application enable soybean to enhance nutrient uptake and modulate nutritional parameters. *J. Zhejiang Univ. Sci. B*. 18: 109-124.
68. Welch, R.M. 2002. The impact of mineral nutrients in food crops on global human health. *Plant and Soil*. 247: 83-90.
69. World Agricultural Production. 2011. United States Department of Agriculture. Foreign Agricultural Service Circular Series WAP 04-11. ([https://downloads.usda.library.cornell.edu/usda-esmis/files/5q47rn\\_72z/7d278t47g/7s75dc87f/worldag-production-04-08-2011.pdf](https://downloads.usda.library.cornell.edu/usda-esmis/files/5q47rn_72z/7d278t47g/7s75dc87f/worldag-production-04-08-2011.pdf)).



70. Xu, G., Wei, L.L., Sun, J.N., Shao, H.B., and Chang, S.X. 2013. What is more important for enhancing nutrient bioavailability with biochar application into a sandy soil: Direct or indirect mechanism?. *Ecological engineering*. 52: 119-124.
71. Yang, L., Liao, F., Huang, M., Yang, L., and Li, Y. 2015. Biochar improves sugarcane seedling root and soil properties under a pot experiment. *Sugar technology*. 17: 1. 36-40.
72. Yang, X., Liu, J., McGrouther, K., Huang, H., Lu, K., Guo, X., He, L., Lin, X., Che, L., Ye, Z., and Wang, H. 2016. Effect of biochar on the extractability of heavy metals (Cd, Cu, Pb and Zn) and enzyme activity in soil. *Environmental Science and Pollution Research*. 23: 974-984.
73. Yao, Y., Gao, B., Zhang, M., Inyang, M. and Zimmerman, A.R. 2012. Effect of biochar amendment on sorption and leaching of nitrate, ammonium, and phosphate in a sandy soil. *Chemosphere*. 89: 1467-1471.
74. Yooyen, J., Wijitkosum, S., and Sriburi, T. 2015. Increasing yield of soybean by adding biochar. *J. Environ. Res. Dev*. 9: 4. 1066. 1074.



---

## Effect of iron impregnated wheat straw and particleboard biochar on the iron uptake and growth of two soybean cultivars in a calcareous soil

J. Khallizadeh<sup>1</sup>, \*E. Dordipour<sup>2</sup>, M. Baranimotlagh<sup>2</sup> and A. Gharanjiki<sup>3</sup>

<sup>1</sup>M.Sc. Student, Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources,

<sup>2</sup>Associate Prof., Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources,

<sup>3</sup>Assistant Prof., Cotton Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension

Organization (AREEO), Gorgan, Iran

Received: 03.25.2019; Accepted: 06.26.2019

---

### Abstract

**Background and Objectives:** Biochar is a carbon-rich product which is produced using pyrolysis of carbon-containing organic residues under anaerobic or oxygen-limited conditions. Due to unique properties such as high organic carbon, specific surface area and cation exchange capacity, application of biochar leads to increase in adsorption and holding capacity of water and nutrients. This, in turn, results in improved soil fertility. The aim of this study was to investigate the effect of iron impregnated biochar on iron uptake and growth of soybean grown in calcareous soil.

**Materials and Methods:** An iron deficient calcareous soil (0-30 cm) was collected from east of Golestan province and after air drying, it was passed through a 2 mm sieve. Two types of biochar were produced from wheat straw and particleboard (at 300 °C) and impregnated with iron sulfate ( $\text{Fe}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ). A pot experiment was conducted as a factorial arrangement in a completely randomized design with four replications. Factors were biochars (wheat straw biochar (WB) and particleboard biochars (PB) with 2.5% w/w), iron impregnated biochars (Fe impregnated wheat straw biochar 2.5% w/w (Fe-IWB1) and 5% w/w (Fe-IWB2), 2.5% w/w (Fe-IPB1) and 5% w/w (Fe-IPB2) Fe impregnated particleboards, Fe-Sequestrene (S) and control (C) and two Soybean cultivars (Williams and Saman). The sown pots were maintained in field capacity by weighing method for 12 weeks. Then, height, fresh and dry weights, total iron concentration and uptake of shoot and soil available iron contents were determined after the harvest.

**Results:** The application of Fe impregnated biochar increased iron availability in the soil. Also, SEM images showed that iron was adsorbed or accumulated on biochars surfaces. Height, fresh and dry weights of both soybean cultivars in Fe impregnated biochars were significantly higher than those of biochars and control treatments ( $P \leq 0.01$ ), but there were no significant differences among them with treatment Fe-Sequestrene. Furthermore, with the application of Fe impregnated biochars, the iron concentration and uptake number of shoots in both soybean cultivars increased significantly compared to control and non-impregnated biochars treatments ( $P < 0.01$ ). Cultivars responses to Fe impregnated biochars showed that shoot dry weight and iron uptake of the Saman variety were significantly higher than those of Williams variety in both levels of Fe impregnated biochars.

**Conclusion:** The application of Fe impregnated biochar in calcareous soils with iron chlorosis increased iron availability. Therefore, in addition to improving the physical, chemical and biological properties of soil, Fe impregnated biochars like Fe-Sequestrene can effectively remove the iron deficiency of the plant.

**Keywords:** Biochar, Impregnation, Iron, Soil, Soybean

---

\* Corresponding Author; Email: [e.dordipour@yahoo.com](mailto:e.dordipour@yahoo.com)