

تأثیر بیوچارهای کاه برنج و خرده چوب نراد بر ویژگی‌های شیمیایی خاک شور - سدیمی با بافت لوم رسی

مأنده پریچهره^{۱*}، فردین صادق‌زاده^۲، محمدعلی بهمنیار^۳، مهدی قاجار سپانلو^۴

تاریخ دریافت: ۹۵/۲/۱۲ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱/۱۹

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد شیمی و حاصلخیزی خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۲- استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۳- استاد گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۴- دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: maedehparichehre@gmail.com

چکیده

باتوجه به ناکافی بودن زمین‌های مناسب کشاورزی در جهان و قابل توجه بودن وسعت اراضی شور- سدیمی، اصلاح این خاک‌ها حائز اهمیت می‌باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که کاربرد بیوچار در خاک، منجر به بهبود کیفیت خاک، افزایش بازده محصول و کاهش تنش‌های مربوط به شوری می‌شود. در این پژوهش تأثیر افزودن بیوچارهای مختلف بر برخی ویژگی‌های شیمیایی، از جمله غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های محلول خاک شور- سدیمی با بافت لوم رسی تهیه شده از منطقه کرفون واقع در استان مازندران، مورد بررسی قرار گرفت. بیوچارهای مختلف از بقایای کشاورزی (کاه برنج) و ضایعات کارخانه چوب (چوب نراد) در دمای ۳۰۰ درجه سلیسیوس به صورت ساده و اسیدی تهیه شدند و در سه سطح (۰، ۲/۵ و ۵ درصد) به یک خاک شور- سدیمی افزوده شدند. نتایج نشان داد که کاربرد بیوچار کاه برنج موجب کاهش بیشتر pH خاک نسبت به بیوچار حاصل از نراد گردید. همچنین کاربرد بیوچار نراد در خاک موجب کاهش هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیم و میزان سدیم، پتاسیم، کلسیم و کلرید در محلول خاک شد؛ در حالی که بیوچار کاه برنج، بیوچار کاه برنج اسیدی و بیوچار نراد اسیدی باعث افزایش شاخص‌ها و عناصر مذکور شدند. نتایج نشان داد در صورتی که آبشویی املاح و زهکشی صورت نپذیرد، فقط می‌توان بیوچار ضایعات چوب نراد را به خاک شور- سدیمی اضافه نمود.

واژه‌های کلیدی: بیوچار، خاک شور- سدیمی، ویژگی‌های شیمیایی، کاه برنج، نراد

Effects of Rice Straw and Dicer Biochars on Chemical Characteristics of Clay-Loam, Saline-Sodic Soil

M Parichehreh^{1*}, F SadeghZadeh², M A Bahmanyar³, M Ghajar Sepanlu⁴

Received: 1 May 2016 Accepted: 08 April 2017

¹- M.Sc. Student of Chemical Engineering and Soil Fertility, Sari Univ. of Agri. Sci. and Natural Resources, Iran

²- Assist. Prof. of Soil Science Dept. Sari Univ. of Agri. Sci. and Natural Resources, Iran

³- Prof. of Soil Science Dept. Sari Univ. of Agri. Sci. and Natural Resources, Iran

⁴- Assoc. Prof. of Soil Science Dept. Sari Univ. of Agri. Sci. and Natural Resources, Iran

* Corresponding Author, Email: maedehparichehreh@gmail.com

Abstract

Due to the insufficient suitable agricultural land and the large extent of saline-sodic soil across the world, the reclamation of the salt affected soils is necessary. Studies indicate that the addition of biochars to the soils improves their qualities, increases crop yield, and reduces salinity stresses. In the present study, the effects of adding various biochars on some chemical characteristics, including the concentration of soluble cations and anions of saline-sodic soil with clay-loam texture, which was taken from the Kafoun region in Mazandaran province, were investigated. Several kinds of simple and acidic biochars were produced from agricultural residues (rice straw) and wood factory waste (dicer) at 300 °C and added to saline-sodic soil in three levels 0, (2.5, and 5%). The results showed that the rice straw biochar reduced the soil pH more than the biochar obtained from dicer. It was also understood that dicer biochar reduced the amount of soil EC, SAR, soluble sodium, potassium, calcium, and chloride. However, the rice straw biochar, acidic rice straw biochar, and acidic dicer biochar increased the amounts of those criteria and elements. Ultimately, it can be concluded that only the dicer biochar should be added to saline- sodic soil, in the absence of leaching and drainage.

Keywords: Biochar, Chemical Characteristics, Dicer, Rice straw, Saline-sodic soil

مقدمه

کاربرد بیوچار می‌تواند نقش مهمی در بهبود کربن آلی خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب (اییل و همکاران ۲۰۱۳)، بهبود تهویه خاک، افزایش درصد اشباع بازی خاک، افزایش نگهداری و قابلیت دسترسی مواد غذایی، کاهش نیاز به کودهای شیمیایی و آبشویی مواد غذایی (لارید ۲۰۰۸، لهما و همکاران ۲۰۰۳، استینر و همکاران ۲۰۰۷)، افزایش رشد و عملکرد گیاهان و کاهش جریان گازهای گلخانه‌ای ایفا کند (لهما و همکاران ۲۰۰۶، لال ۲۰۱۱). ساختار مولکولی بیوچار نسبت به تجزیه میکروبی مقاومتر از مواد آلی غیرذغالی است (روتیگلیانو و همکاران ۲۰۱۴) و می‌تواند بین ۱۰۰ تا

بیوچار که طلای سیاه برای کشاورزی نیز نامیده می‌شود، یک ماده جامد سیاه رنگ، متخلخل، غنی از کربن است که از حرارت دادن زیست توده، شامل چوب، کود، یا برگ در عدم حضور یا حضور میزان اندک اکسیژن حاصل می‌شود و در بهترین حالت بعنوان مطبوع‌کننده خاک توصیف می‌شود. به اصطلاح تخصصی‌تر، بیوچار به وسیله تجزیه حرارتی مواد آلی تحت حضور اندک اکسیژن و در دماهای نسبتاً پایین (کمتر از ۷۰۰ درجه سلسیوس) تولید می‌شود (لهما و جوزف ۲۰۰۹، سوهی و همکاران ۲۰۱۰، گیو و سانگ ۲۰۱۲، لهما ۲۰۰۷، ورهجن و همکاران ۲۰۱۰). شواهد نشان می‌دهند که

کننده به خاک اضافه شود، می تواند قابلیت دسترسی آن - ها را در خاک افزایش دهد (لیرد و همکاران ۲۰۱۰، راجکویچ و همکاران ۲۰۱۲). بنابراین افزودن بیوچار به خاک شور- سدیمی می تواند به اصلاح آن به وسیله اضافه کردن کلسیم و منیزیم، بهبود پایداری

سدیم تبادلی به سه دسته شور، سدیمی و شور- سدیمی تقسیم می شوند (برزگر ۱۳۸۷، ریچاردز ۱۹۵۴). اصلاح کامل خاک های شور و یا حفظ شوری کم اغلب از نظر علمی کاری بس دشوار و تا حدی غیر ممکن است. هزینه- های اصلاح، زهکشی ناکافی، گران بودن مواد اصلاح کننده خاک و کیفیت نامطلوب آب آبیاری از جمله عواملی هستند که در این راستا دخیل هستند. حتی در جاهایی که آب به مقدار کافی جهت شستشوی املاح و آبیاری پیوسته موجود است اصلاح خاک های با خواص نامناسب فیزیکی چندان مقرون به صرفه نیست. اصلاح این خاکها بوسیله آبشویی املاح، توسعه سیستم زهکشی، کشت گیاهان با ریشه عمیق و استفاده از مواد اصلاح کننده امکان پذیر است (برزگر و همکاران ۱۳۸۱).

باتوجه به کاربرد بیوچار در سال های اخیر و پی بردن به نقش آن در کاهش تنش شوری در گیاهان و افزایش عملکرد محصول، تاکنون مطالعات چندانی در ارتباط با تأثیر بیوچار و بیوچار اسیدی بر وضعیت کاتیون ها، آنیون ها و سایر ویژگی های خاک شور- سدیمی گزارش نشده است. لذا هدف از این پژوهش بررسی تأثیر بیوچار تولید شده از کاه برنج و خرده چوب نراد به صورت ساده و اسیدی بر ویژگی های خاک شور- سدیمی می باشد.

مواد و روش ها

موقعیت منطقه، نمونه برداری و تجزیه خاک

۲۰ نمونه خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری منطقه کرفون، واقع در استان مازندران با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۳ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۴۸ دقیقه شرقی تهیه شد. نمونه برداری به صورت تصادفی انجام گرفت و با اختلاط نمونه ها، یک نمونه مرکب حاصل گردید. پس از نمونه برداری، نمونه- های خاک هوا خشک شدند و پس از کوبیدن خاک از الک

۱۰۰۰ سال در خاک باقی بماند (لهمان و همکاران ۲۰۰۶) و ذخیره کربن آلی خاک را افزایش دهد (استینر و همکاران ۲۰۰۷). مطالعات اخیر گزارش داده اند که بیوچار می تواند غنی از عناصری مانند کلسیم و منیزیم باشد (تسای و همکاران ۲۰۱۲) و هنگامی که به عنوان اصلاح خاکدانه ها، بهبود هدایت هیدرولیکی کمک کند و می تواند آبشویی سدیم را افزایش دهد (چاگانتی و همکاران ۲۰۱۵). توماس و همکاران (۲۰۱۳) بیان داشتند که بیوچار می تواند تأثیرات تنش شوری را در گیاهان از طریق جذب نمک اصلاح کند. بیوچار در مقادیر مصرف زیاد (۵۰ تن بر هکتار)، می تواند اثرات نامطلوب تنش شوری را در گیاهان کاهش دهد. افزودن بیوچار به خاک- ها معمولاً باعث افزایش عملکرد و کاهش تنش خشکی محصولات می شود (توماس و همکاران ۲۰۱۳). اصلاح خاک توسط بیوچار کم هزینه بوده و مزایای زیادی دارد که این مزایا شامل افزایش نگهداری آب و افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی است (توماس و همکاران ۲۰۱۳). در آزمایش گلدانی بررسی تأثیر بیوچار بر کاهش تنش شوری در گیاه سیب زمینی مشخص شد که بیوچار قادر است تا تنش شوری را بواسطه جذب سطحی سدیم کاهش دهد (اختر و همکاران ۲۰۱۵a). در آزمایش دیگری اختر و همکاران (۲۰۱۵b) اثرات دراز مدت بیوچار را بر بهبود رشد، فیزیولوژی و عملکرد گندم تحت تنش شوری در گلخانه بررسی کردند. نتایج آنان نشان داد که افزودن بیوچار باعث جذب سطحی سدیم از محلول شده و در نتیجه جذب سدیم توسط گیاه کاهش یافت. نتایج آنان همچنین مشخص کرد که تنش شوری کاهش و غلظت عناصر غذایی قابل جذب از جمله پتاسیم، کلسیم و منیزیم افزایش و در نهایت رشد و عملکرد گندم به طور فزاینده ای در خاک مذکور افزایش یافت.

شوری خاک به عنوان تجمع نمک های محلول در خاک تعریف می شود. آنیون ها و کاتیون های انباشته شده در خاک شور شامل کلریدها، سولفات ها، کربنات ها و بی کربنات های سدیم، پتاسیم، منیزیم و کلسیم می- باشند (جونز و همکاران ۲۰۰۸، هوبر و همکاران ۲۰۰۸). خاک های تحت تأثیر نمک عموماً براساس هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم عصاره اشباع و یا درصد

از آنها در طول آزمایشات استفاده شد (پریچره و همکاران ۱۳۹۴).

جدول ۱- برخی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش.

ویژگی	واحد	مقدار
رطوبت ظرفیت مزرعه	(%)	۳۴
سیلت	(%)	۳۸/۷
رس	(%)	۳۸/۷
شن	(%)	۲۲/۶
بافت خاک	-	لوم رسی
بی کربنات	(meq L^{-1})	۱/۸
منیزیم محلول	(meq L^{-1})	۳۷
کلسیم محلول	(meq L^{-1})	۶۱
کلرید	(meq L^{-1})	۱۹۲/۳
پتاسیم محلول	(meq L^{-1})	۰/۶۷
سدیم محلول	(meq L^{-1})	۱۴۰/۶
قابلیت هدایت الکتریکی	(dS m^{-1})	۱۵/۵
pH	-	۷/۲
نسبت جذب سدیم	(meq L^{-1}) ^{0.5}	۲۰/۱

تعیین ویژگی های بیوچار

برای اندازه گیری pH و هدایت الکتریکی بیوچار، بیوچار را با نسبت ۱:۲۰ (۱ گرم بیوچار، ۲۰ میلی لیتر آب مقطر) با آب مقطر مخلوط کرده و به مدت یک ساعت محتویات داخل بشر را شیک کرده و بعد از آن pH مخلوط مذکور با دستگاه pH متر و هدایت الکتریکی با دستگاه هدایت سنج الکتریکی قرائت گردید (بی نام ۲۰۱۲). بیوچار درون ارلن مایر ۱۰۰ میلی لیتری ریخته شد و روی هیتز به آن آب اکسیژنه غلیظ اضافه شد تا بخش آلی بیوچار اکسید شود. سپس از عناصر باقی مانده در ظرف برای اندازه گیری عناصر معدنی بیوچار استفاده شد. ابتدا چند قطره آب مقطر و ۲/۵ میلی لیتر اسید کلریدریک ۲ نرمال بمنظور انحلال کامل به محتویات ظرف افزوده شد و حجم محلول با آب مقطر به ۴۰ میلی لیتر رسانده شد و محتویات درون ظرف به بالون حجمی ۵۰ میلی لیتر منتقل

شده و به حجم کامل رسید. در مرحله آخر محلول درون بالون حجمی صاف گردید. میزان سدیم، پتاسیم و کلسیم توسط دستگاه فلیم فتومتر قرائت گردید. مقدار منیزیم بیوچار پس از برداشتن ۰/۵ میلی لیتر عصاره و افزودن ۹ میلی لیتر محلول لانتانیم به آن توسط دستگاه جذب اتمی قرائت گردید (نبی زاده ۱۳۹۴، ضامنی ۱۳۹۴).

آزمایشات انکوباسیون

برای انکوباسیون تیمارها، خاک و بیوچار با نسبت های ۰، ۲/۵ و ۵ درصد مخلوط شدند (اختر و همکاران ۲۰۱۵a) نیز از بیوچار با سطح مصرف ۵ درصد استفاده کردند و درون گلدان های پلاستیکی که قسمت تحتانی آنها مسدود شده بود ریخته شده و به مدت یکماه در شرایط آزمایشگاه و با حفظ رطوبت تیمارها در حد رطوبت مزرعه نگهداری شد. پس از یک ماه خاک ها هوا خشک شده و تجزیه های مربوطه روی آنها انجام گرفت.

جدول ۲- برخی ویژگی‌های شیمیایی بیوچارهای مورد آزمایش تولید شده در دمای ۳۰۰°C.

ویژگی	واحد	کاه برنج	کاه برنج اسیدی	نراد	نراد اسیدی
منیزیم	(%)	۱۲/۶۵	۳/۲۲	۲/۵۴	۱/۹۴
کلسیم	(%)	۰/۰۱۵	۰/۰۱۲	۰/۰۱۸	۰/۰۱۵
پتاسیم	(%)	۱/۴۹	۰/۲۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۸
سدیم	(%)	۰/۵۸	۰/۱۶	۰/۰۵۸	۰/۰۷۱
قابلیت هدایت الکتریکی	(dS m ⁻¹)	۱/۱۶	۱/۵۴	۰/۲۶	۰/۶۵
pH	-	۶/۸۰	۲/۴۵	۶/۶۳	۲/۷۵

تیمارهای آزمایش

تیمارها عبارت بودند از خاک شاهد، خاک و بیوچار نراد با نسبت ۲/۵ درصد، خاک و بیوچار نراد با نسبت ۵ درصد، خاک و بیوچار نراد اسیدی با نسبت ۲/۵ درصد، خاک و بیوچار نراد اسیدی با نسبت ۵ درصد، خاک و بیوچار کاه با نسبت ۲/۵ درصد، خاک و بیوچار کاه اسیدی با نسبت ۲/۵ درصد، خاک و بیوچار کاه اسیدی با نسبت ۵ درصد.

طرح آزمایش و تحلیل آماری: این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ فاکتور نوع بایوچار، سطح کاربرد و اسیدی بودن در ۳ تکرار انجام شد. تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Statistix

8 (بی‌نام ۲۰۰۷) انجام شد و نمودارها به وسیله نرم‌افزار Excel رسم گردید. همچنین میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

با توجه به جدول ۳ مشاهده می‌شود که نوع بیوچار، سطح کاربرد و اسیدی بودن دارای تأثیر معناداری بر میزان عناصر کلسیم، منیزیم، کلرید، سدیم و پتاسیم می‌باشند. اما در رابطه با غلظت بی‌کربنات، نوع بیوچار دارای تأثیر معنادار نمی‌باشد و تنها سطح کاربرد و اسیدی بودن آن دارای تأثیر معنادار بر غلظت این عنصر می‌باشد.

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر نوع بیوچار، سطح، اسیدی و غیراسیدی بودن بر غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های خاک شور- سدیمی.

منبع تغییرات	درجه آزادی	سدیم	پتاسیم	بی‌کربنات	کلرید	منیزیم	کلسیم
بیوچار	۱	۳۸۸۷/۵۲**	۴۹/۹۴**	۰/۱۷ ^{ns}	۱۰۶۴۳/۴**	۳۱۸/۰۳**	۱۶۴۰/۲۵**
سطح	۲	۷۰۲۴/۸۲**	۱۵/۲۸**	۷/۳۱**	۲۶۳۶۲/۵**	۱۰۶۹/۶۹**	۳۰۳۰/۰۳**
اسیدی	۱	۶۳۶۰/۰۶**	۴۳/۵۶**	۱/۱۷**	۳۳۳۶۷/۱**	۴۴/۴۴**	۲۷۲۱/۳۶**
بیوچار × سطح	۲	۱۳۲۹/۹۵**	۱۴/۵۷**	۰/۰۹ ^{ns}	۲۶۶۲/۹**	۷۰۳/۰۳**	۵۴۶/۷۵**
بیوچار × اسیدی	۱	۷۵۶۰/۳۰**	۴۶/۲۴**	۸/۵۰**	۱۶۹۴۳/۴**	۲۹۴/۶۹**	۹۹۲/۲۵**
سطح × اسیدی	۲	۱۸۵۳/۶۹**	۱۲/۹۷**	۱/۱۷**	۹۱۳۴/۰**	۱۰۱/۸۶**	۷۳۸/۸۶**
بیوچار × سطح × اسیدی	۲	۲۱۱۵/۸۴**	۱۳/۶۴**	۲/۱۷**	۴۹۱۰/۸**	۶۹۷/۱۹**	۲۸۶/۵۸**
خطا	۲۲	۰/۱۲	۰/۰۰۳۸	۰/۱۳	۳/۷	۲/۸۸	۱/۴۴
ضریب تغییرات (%)		۰/۲۱	۳/۳۹	۲۰/۸۵	۰/۸۰	۳/۶۷	۱/۶۵

** معنادار در سطح احتمال ۱ درصد و ^{ns} غیر معنادار.

میزان pH، هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم خاک می‌باشند.

جدول ۴ نشان می‌دهد که نوع بیوچار، سطح کاربرد و اسیدی و غیراسیدی بودن دارای تأثیر معناداری بر

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر نوع بیوچار، سطح، اسیدی و غیراسیدی بودن بر ویژگی های شیمیایی خاک شور- سدیمی.

منبع تغییرات	درجه آزادی	pH	EC	SAR
بیوچار	۱	۰/۱۲**	۵۱/۷۷**	۱۰/۸۹**
سطح	۲	۰/۱۷**	۳۷/۹۷**	۲۰/۴۴**
اسیدی	۱	۰/۰۱۲*	۲۶/۵۱**	۳۷/۶۲**
بیوچار × سطح	۲	۰/۰۳**	۱۲/۹۴**	۳/۸۶**
بیوچار × اسیدی	۱	۰/۰۰۲ ^{ns}	۴۰/۶۸**	۴۷/۶۱**
سطح × اسیدی	۲	۰/۰۰۴ ^{ns}	۱۷/۱۸**	۱۰/۶۱**
بیوچار × سطح × اسیدی	۲	۰/۰۰۷ ^{ns}	۱۰/۲۵**	۳۲/۴۴**
خطا	۲۲	۰/۰۰۲	۰/۳۹	۰/۰۲
ضریب تغییرات (%)		۰/۵۵	۳/۷۲	۰/۶۱

* معنادار در سطح احتمال ۵ درصد، ** معنادار در سطح احتمال ۱ درصد و ns غیر معنادار

غلظت سدیم

با توجه به نتایج تجزیه واریانس کاربرد بیوچار در خاک دارای تأثیر معنادار بر میزان سدیم محلول بوده است (جدول ۳). همانطور که نتایج مقایسه میانگین ها (جدول ۵) نشان می دهد، افزودن بیوچار به خاک ها سبب افزایش میزان سدیم محلول شده است به استثنای بیوچار نراد که کاربرد آن در خاک میزان سدیم محلول را از ۱۳۴/۸ میلی اکسی والان بر لیتر برای خاک شاهد به میزان ۱۲۸/۹ میلی اکسی والان بر لیتر برای تیمار با ۲/۵ درصد بیوچار و به میزان ۱۰۴/۴ میلی اکسی والان بر لیتر برای تیمار با ۵ درصد بیوچار کاهش داده است. افزایش میزان سدیم محلول در خاک در اثر کاربرد بیوچار می تواند هم به علت این باشد که بیوچار خود مقداری سدیم دارد و هم می تواند بیانگر این موضوع باشد که بیوچار باعث افزایش غلظت کلسیم و منیزیم در خاک شده در نتیجه کلسیم و منیزیم جذب سطحی کلوئیدهای خاک شده و سدیم جذب سطحی شده کلوئیدهای خاک را به داخل محلول خاک رها کرده است.

چاگانتی و همکاران (۲۰۱۵) نیز بیان کردند که بیوچار غنی از کلسیم و منیزیم می باشد و این کلسیم و منیزیم بیوچار می تواند جایگزین سدیم در محل های تبدلی شود و سدیم را به درون خاک آزاد کرده و در نتیجه آبشویی آن را تسریع بخشد. کاهش سدیم محلول با استفاده از کاربرد بیوچار نراد می تواند به این علت باشد که، بیوچار نراد دارای میزان سدیم ناچیزی نسبت به باقی بیوچارها می باشد و با توجه به خاصیت جذب سطحی که بیوچار دارا می باشد، بسیاری از عناصر را جذب می نماید. اختر و همکاران (۲۰۱۵ a, b) نیز بیان کردند که افزودن بیوچار به خاک موجب جذب سطحی بیوچار از محلول خاک گردیده و در نتیجه جذب آن توسط گیاه را کاهش و رشد گیاه را افزایش داده است. علت افزایش مقدار سدیم در بیوچار نراد اسیدی می تواند به این خاطر باشد که، احتمالاً سدیم در بخش خاکستر نراد به صورت بلوری بوده است، و هنگامیکه آن را اسیدشویی نمودیم احتمالاً سبب حل شدن بلورها شده است.

جدول ۵- مقایسه میانگین‌های غلظت عناصر (میلی‌اکی‌والان در لیتر) در تیمارهای مختلف.

تیمارها	سطح	سدیم	پتاسیم	بی‌کربنات	کلرید	منیزیم	کلسیم
شاهد	–	۱۳۴/۸ ^f	۰/۶ ^d	۰/۸ ^d	۱۸۷/۷ ^f	۳۵/۷ ^e	۵۴/۷ ^f
بیوچار نراد	۲/۵	۱۲۸/۹ ^g	۰/۶ ^d	۱/۷ ^{bc}	۱۷۶/۸ ^g	۳۰/۷ ^f	۵۰/۷ ^g
بیوچار نراد	۵	۱۰۴/۴ ^h	۰/۶ ^d	۱/۵ ^c	۱۵۲/۳ ^h	۵۸/۳ ^b	۵۰/۷ ^g
بیوچار نراد اسیدی	۲/۵	۱۹۴/۲ ^c	۰/۷ ^d	۲/۲ ^b	۳۰۲ ^c	۴۴/۸ ^d	۹۱/۷ ^d
بیوچار نراد اسیدی	۵	۲۰۵/۸ ^a	۰/۷ ^d	۲/۸ ^a	۳۴۰ ^a	۵۴/۷ ^c	۹۳/۳ ^{cd}
بیوچارکاه برنج	۲/۵	۲۰۵/۸ ^a	۵/۸ ^b	۳/۳ ^a	۲۷۷/۷ ^e	۷۷ ^a	۹۷ ^b
بیوچارکاه برنج	۵	۱۷۶/۸ ^d	۹/۲ ^a	۳/۲ ^a	۲۸۴/۸ ^d	۴۷ ^d	۷۶/۳ ^e
بیوچار کاه برنج اسیدی	۲/۵	۲۰۱/۵ ^b	۰/۸ ^c	۰/۷ ^d	۳۰۲/۷ ^c	۴۵/۲ ^d	۹۹/۳ ^a
بیوچار کاه برنج اسیدی	۵	۱۷۳/۹ ^e	۰/۸ ^c	۱/۸ ^{bc}	۳۱۲/۳ ^b	۵۵ ^c	۹۴/۷ ^c

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف لاتین مشابه باشند نشان‌دهنده عدم تفاوت معنادار در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون LSD می‌باشند.

غلظت پتاسیم

با توجه به نتایج تجزیه واریانس کاربرد بیوچار در خاک دارای تأثیر معنادار بر میزان پتاسیم محلول بود (جدول ۳). افزودن بیوچار به خاک‌ها سبب افزایش میزان پتاسیم محلول شده است به استثناء بیوچار نراد که کاربرد آن در خاک تأثیر زیادی بر میزان پتاسیم خاک نداشته است (جدول ۵). بیشترین میزان افزایش غلظت پتاسیم در تیمار کاه برنج بوده است که در سطح کم مصرف میزان پتاسیم را از ۰/۶ به ۵/۸ و در بیشترین سطح مصرف بیوچار میزان پتاسیم را از ۰/۶ به ۹/۲ میلی‌اکی‌والان بر لیتر افزایش داده است. افزایش در میزان پتاسیم در تیمار دارای بیوچار کاه برنج می‌تواند به این علت باشد که بیوچار کاه برنج خود دارای میزان پتاسیم بالایی بوده و با افزودن بیوچار پتاسیم محلول خاک افزایش یافته است. افزایش پتاسیم خاک توسط کاربرد بیوچار در خاک توسط سایر پژوهشگران (راندون و همکاران ۲۰۰۷، لیرد و همکاران ۲۰۱۰) نیز گزارش شده است.

غلظت کلرید، منیزیم، کلسیم و بی‌کربنات

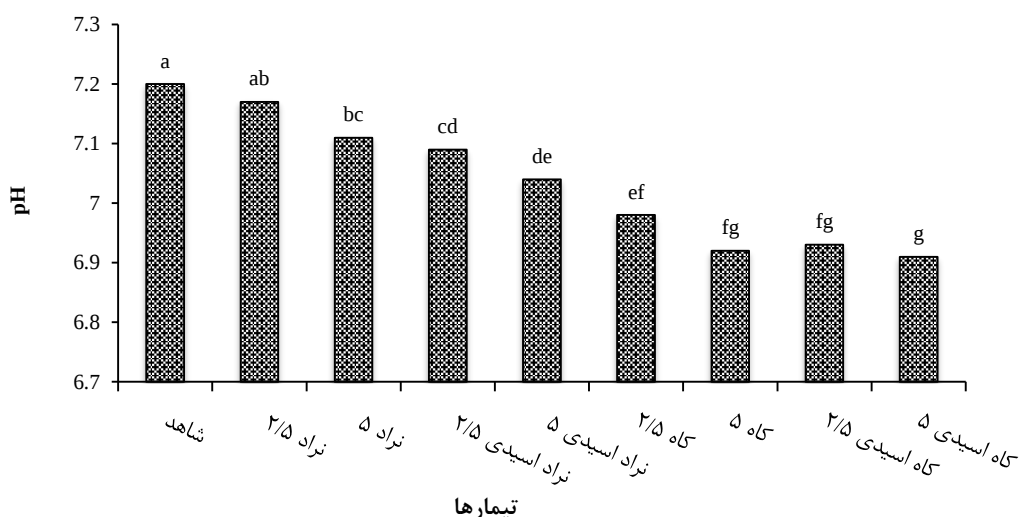
افزودن بیوچار به خاک تأثیر معناداری بر میزان کلسیم، منیزیم و کلرید محلول آن داشته است (جدول ۳).

همچنین نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که افزودن بیوچار به خاک دارای تأثیر معناداری بر میزان بی‌کربنات خاک می‌باشد (جدول ۳). با توجه به نتایج مقایسه میانگین، مشاهده می‌شود که افزودن بیوچار به خاک‌ها به جز در مورد بیوچار نراد در سطح مصرف ۲/۵ درصد که کاهش غلظت عناصر کلرید، منیزیم و کلسیم را به دنبال داشته است، سبب افزایش غلظت این عناصر شده است (جدول ۵). بیشترین میزان افزایش غلظت کلرید در تیمار بیوچار نراد اسیدی در سطح مصرف ۵ درصد بوده است. در رابطه با غلظت منیزیم و کلسیم نیز بیشترین غلظت این عناصر به ترتیب در تیمار بیوچار کاه برنج در سطح مصرف ۲/۵ درصد و در تیمار بیوچار کاه برنج اسیدی در سطح مصرف ۲/۵ درصد مشاهده شد. میزان بی‌کربنات خاک نیز با کاربرد بیوچار افزایش یافت. که این افزایش در تیمارهای بیوچار نراد اسیدی و کاه برنج بیشترین میزان بوده است (جدول ۵). نتایج حاصل از آزمایش راندون و همکاران (۲۰۰۷) بر روی یک خاک لوم رسی نیز بیان‌گر این موضوع می‌باشد که افزودن بیوچار تنه درخت اکالیپتوس به خاک توانسته منیزیم خاک را به میزان بسیار زیادی افزایش دهد. لیرد و همکاران (۲۰۱۰) نیز مشاهده کردند که افزودن بیوچار به خاک میزان کلسیم و منیزیم خاک را افزایش داده است.

pH خاک

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان می‌دهد که افزودن بیوچار تأثیر معناداری بر pH خاک دارد (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین (شکل ۲) نشان می‌دهد که افزودن بیوچار سبب کاهش pH خاک شده که بیشترین میزان این کاهش از ۷/۲ برای خاک شاهد به ۶/۹ برای خاک تیمار شده با ۵ درصد بیوچار کاه اسیدی می‌باشد. که این امر مطابقت دارد با نتایج حاصل از پژوهش گاسکین و همکاران (۲۰۱۰) که مشاهده کردند کاربرد بیوچار پوست بادام زمینی در خاک در بالاترین سطح کاربرد بیوچار (۲۲ تن در هکتار) سبب کاهش pH خاک شد. البته تحقیقات زیادی نیز وجود دارد که بیان کرده‌اند کاربرد بیوچارهای مختلف سبب افزایش pH خاک شده

است (ژانگ و همکاران ۲۰۱۲، موسولیلی و همکاران ۲۰۱۰، چان و همکاران ۲۰۰۷)، که نتایج آنها با نتایج حاصل از مطالعه پیش رو مغایرت دارد. دلیل افزایش pH در اثر کاربرد بیوچار به دمای تولید بیوچار و نوع ماده اولیه‌ای که بیوچار از آن تولید می‌شود مرتبط است. معمولاً بیوچارهای تولید شده در دمای بالا دارای pH بالا هستند و برخی از مواد اولیه (نظیر آزولا، باگاس، سبوس برنج، کاه گندم) نیز دارای pH بالایی می‌باشند (پریچره و همکاران ۱۳۹۴، ژانگ و همکاران ۲۰۱۲، موسولیلی و همکاران ۲۰۱۰، چان و همکاران ۲۰۰۷). در مطالعه حاضر سعی بر این بود که بیوچار از مواد اولیه‌ای تولید شود که دارای pH پایین باشند. همچنین بیوچار در دمای پایین تولید شد تا pH آن پایین باشد.



شکل ۲- مقایسه میانگین‌های pH خاک در تیمارهای مختلف بیوچار .

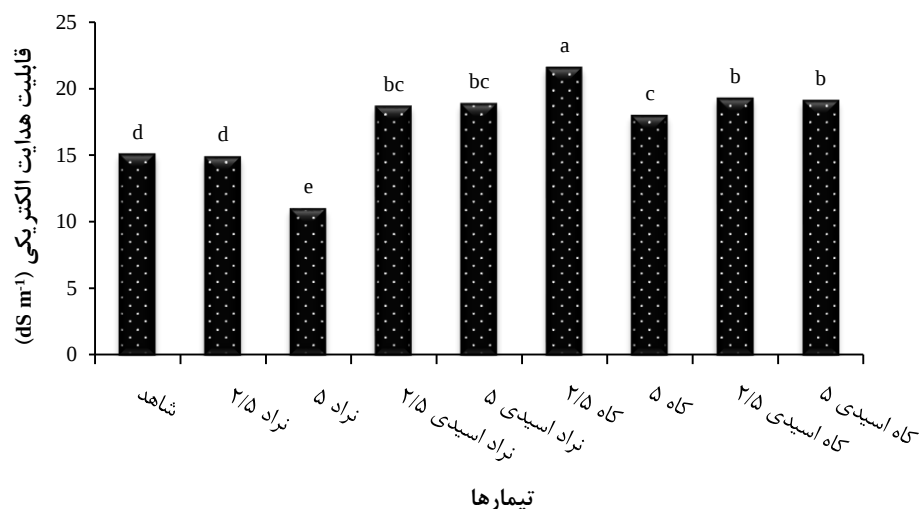
شوری خاک

نتایج تجزیه واریانس بیانگر تأثیر معنی‌دار بیوچار و تیمارهای مختلف آن بر هدایت الکتریکی خاک می‌باشد (جدول ۴). مقایسه میانگین‌های تیمارهای مختلف خاک و بیوچار (شکل ۳) نشان می‌دهد که افزودن بیوچار نراد به خاک سبب کاهش هدایت الکتریکی آن از ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر برای خاک شاهد به میزان ۱۴/۸ دسی‌زیمنس بر متر برای خاک تیمار شده با ۲/۵ درصد بیوچار نراد و همچنین میزان ۱۰/۹ دسی‌زیمنس بر متر

برای خاک تیمار شده با ۵ درصد بیوچار نراد شده است و در سایر تیمارها افزودن بیوچار سبب افزایش هدایت الکتریکی خاک شده است. کرر و همکاران (۲۰۱۳) نیز افزایش هدایت الکتریکی خاک در اثر کاربرد بیوچار چوب راش را گزارش دادند. دلیل این امر می‌تواند وجود مقادیر متفاوتی از سدیم، پتاسیم، منیزیم و سایر فلزات موجود در بیوچار باشد. با توجه به آزمایشات بیوچار کاه برنج دارای میزان بیشتری از عناصر محلول نسبت به بیوچار نراد می‌باشد که ممکن است این عناصر از سطح بیوچار

نراد می‌تواند مؤثر واقع شود. اما اگر کاهش شوری همراه با عملیات اصلاحی دیگر نظیر آبشویی مدنظر باشد سایر بیوچارهای مورد استفاده می‌توانند مؤثر واقع شوند، زیرا کاربرد آنها باعث افزایش شوری در محلول خاک شده است. که دلیل این امر می‌تواند آزادسازی عناصر از سطح کلوئیدهای خاک به درون محلول توسط بیوچار باشد.

به درون محلول آزاد شده باشد و دلیل افزایش هدایت الکتریکی خاک نسبت به خاک شاهد باشد. و در رابطه با بیوچار نراد با توجه به خاصیت جذب سطحی و با وجود میزان اندک عناصر ممکن است علت کاهش هدایت الکتریکی جذب عناصر از محلول خاک بر سطح بیوچار باشد. با توجه به این نتایج می‌توان نتیجه گرفت که اگر تنها کاهش شوری خاک با افزودن بیوچار و بدون هیچ عملیات اصلاحی دیگری مدنظر باشد، افزودن بیوچار

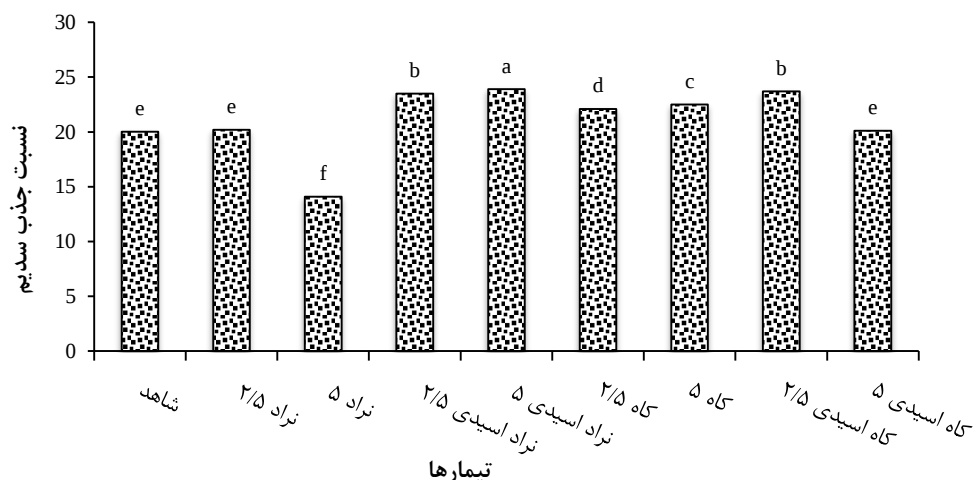


شکل ۳- مقایسه میانگین‌های قابلیت هدایت الکتریکی (EC) خاک در تیمارهای مختلف بیوچار.

که بیوچار غلظت کلسیم و منیزیم را در محلول خاک افزایش داد که این عناصر جایگزین سدیم شده و آبشویی آن را از محلول خاک افزایش داده و در نتیجه نسبت جذب سدیم را کاهش دادند. نتایج آزمایش پیش‌رو بیانگر این مورد است که اگر تنها کاهش نسبت جذب سدیم با افزودن بیوچار و بدون هیچ عملیات اصلاحی دیگری مدنظر باشد، افزودن بیوچار نراد می‌تواند مؤثر واقع شود. اما اگر کاهش نسبت جذب سدیم همراه با عملیات اصلاحی دیگر نظیر آبشویی مدنظر باشد سایر بیوچارهای مورد استفاده می‌توانند مؤثر واقع شوند، زیرا کاربرد آنها باعث افزایش سدیم محلول خاک شده است. زمانیکه سدیم وارد محلول خاک شود به آسانی آبشویی می‌شود.

نسبت جذب سدیم

نسبت جذب سدیم به عنوان غلظت نسبی سدیم بر روی جذر متوسط غلظت کلسیم و منیزیم در محلول خاک می‌باشد. نسبت جذب سدیم تیمارهای مختلف در شکل ۴ نشان داده شده است. با توجه به نتایج تجزیه واریانس افزودن بیوچار به خاک‌ها دارای تأثیر معنی‌داری بر نسبت جذب سدیم خاک بوده است (جدول ۴). مقایسه میانگین‌های تیمارهای مختلف بیوچار بیان‌گر این می‌باشد که افزودن بیوچار به خاک‌ها به‌جز در مورد تیمار بیوچار نراد که نسبت جذب سدیم را کاهش داد، موجب افزایش نسبت جذب سدیم شده است (شکل ۴). چاگانتی و همکاران (۲۰۱۵) بیان کردند که آبشویی خاک‌های تیمار شده با بیوچار و مواد آلی موجب کاهش میزان نسبت جذب سدیم خاک گردیده است. این به این علت بوده است



شکل ۴- مقایسه میانگین نسبت جذب سدیم (SAR) خاک در تیمارهای مختلف بیوچار.

نتیجه‌گیری کلی

بیوچارها سبب افزایش میزان عناصر شده‌اند. بنابراین به منظور کاهش اثرات زیانبار خاک شور- سدیمی اگر تنها کاربرد بیوچار مدنظر باشد، استفاده از بیوچار نراد به دلیل کاهش میزان سدیم خاک می‌تواند مفید واقع شود، ولی اگر بنا بر اصلاح خاک به‌همراه آبشویی باشد، همه بیوچارها مفید هستند. مخصوصاً استفاده از بیوچار کاه برنج که دارای کاتیون‌های کلسیم و منیزیم زیادی است توصیه می‌گردد. کلسیم و منیزیم موجود در بیوچار می‌توانند جانشین سدیم بر روی کلونیدهای خاک شده و سپس سدیم را وارد محلول خاک نمایند که در این صورت آبشویی سدیم امکان‌پذیر است.

با توجه به نتایج حاصله از این پژوهش مشاهده می‌شود که افزودن بیوچار به خاک سبب کاهش pH خاک شده است بنابراین کاربرد آن در خاک‌های سدیمی می‌تواند مفید واقع شود. همچنین مشاهده شد که بیوچار نراد موجب کاهش شوری خاک شده است و سایر بیوچارها منجر به افزایش شوری خاک شدند که این امر می‌تواند به دلیل آزادسازی عناصر به‌وسیله بیوچار از خاک به درون محلول باشد که می‌تواند در بهبود شرایط خاک شور توسط آبشویی حائز اهمیت باشد. در مورد سایر خصوصیات اندازه‌گیری شده نیز همانند شوری مشاهده شده است که بیوچار نراد سبب کاهش و سایر

منابع مورد استفاده

- Abel S, Peters A, Trinks S, Schonsky H, Facklam M and Wessolek G, 2013. Impact of biochar and hydrochar addition on water retention and water repellency of sandy soil. *Geoderma* 202-203: 183-191.
- Akhtar SS, Andersen MN and Liu F, 2015a. Biochar Mitigates Salinity Stress in Potato. *Journal of Agronomy and Crop Science* 201(5): 368-378.
- Akhtar SS, Andersen MN and Liu F, 2015b. Residual effects of biochar on improving growth, physiology and yield of wheat under salt stress. *Agricultural Water Management* 158: 61-68.
- Anonymous, 2007. Statistix-8 and User Guide for the Plant Material Program. Version 2. United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service.
- Anonymous, 2012. Standardized Product Definition and Product Testing Guidelines for Biochar that is Used in Soil. International Biochar Initiative. <http://www.biochar-international.org>.
- Barzegar A, Ali Mohammadi M, and Naseri A, 2002. Effect of different treatments on leaching of southern Ahwaz saline- sodic soil spots using a physical model. *Scientific Journal of Agriculture*, 25(1): 89-103 (In Persian).
- Barzegar A, 2008. Saline- sodic soils: recognition and productivity. Shahid Chamran University of Ahvaz Publications (In Persian).

- Chaganti VN, crohn DM and Simunek J, 2015. Leaching and reclamation of biochar and compost amended saline-sodic soil with moderate SAR reclaimed water. *Agricultural Water Management* 158: 255-265.
- Chan KY, Van Zwieten L, Meszaros I, Downie A and Joseph S, 2007. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. *Austrailian Journal of Soil Research* 45: 629-634.
- Curtin D and Miller JJ, 2008. Electrical conductivity and soluble ions. Pp. 161-171. In: Carter MR and Gregorich EG (eds). *Soil Sampling and Methods of Analysis*. Chapter 2- Diagnostic methods for soil and environmental management. Taylor & Francis.
- Elias Azar Kh, 2002. Reclamation of saline- sodic soil (Soil and water management). Urmia University Press (In Persian).
- Frankenberger WT, Jr, Tabatabai MA, Adriano DC and Doner HE, 1996. Bromine, chlorine, and fluorine. Pp. 833-868. In: Helmke PA, Johnston CT, Loeppert RH, Page AL, Soltanpour PN, Sparks DL, Sumner ME and Tabatabai MA (eds). *Methods of Soil Analysis*. part 3- Chemical Methods. Madison. Wisconsin. USA.
- Fuchs M, Garcia-Perez M, Small P, Flora G, 2014. Campfire Lessons - breaking down the combustion process to understand biochar production. *the Biochar Journal*. Arbaz, Switzerland. <https://www.biochar-journal.org/en/ct/47>.
- Gaskin JW, Speir RA, Harris K, Das KC, Lee RD, Morris LA and Fisher DS, 2010. Effect of peanut hull and pine chip biochar on soil nutrients, corn nutrient status, and yield. *Journal of Agronomy* 102: 623-633.
- Gee GW and Bauder J, 1982. Particle size analysis. Pp. 384-412. In: Keeney DR, Miller AL and Page AL (eds). *Method of Soil Analysis*. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. Madison. Wisconsin.
- Guo M and Song W, 2012. Quality variations of poultry litter biochar generated at different pyrolysis temperatures. *Journal of Analytical and Applied pyrolysis* 94: 138-145.
- Hamblin AP, 1981. Filter-paper method for routine measurement of field water potential. *Journal of Hydrology* 53: 355-360.
- Helmke PA and Sparks DL, 1996. Lithium, sodium, potassium, rubidium, and cesium. Pp.551-574. In: Helmke PA, Johnston CT, Loeppert RH, Page AL, Soltanpour PN, Sparks DL, Sumner ME and Tabatabai MA (eds). *Methods of Soil Analysis*. part 3- Chemical Methods. Madison. Wisconsin. USA.
- Huber S, Prokop G, Arrouays D, Banko G, Bispo A, Jones RJA, Kibblewhite M, Lexer W, Moller A, Rickson RJ, Shishkov T, Stephens M, Toth G, Van den Akker J, Varallyay G and Verheijen F, 2008. *Environmental Assessment of Soil for Monitoring: Volume I Indicators & Criteria*. EUR 23490 EN/1. Office for the Official Publications of the European Communities. Luxembourg. 339pp.
- Jones RJA, Verheijen FGA, Reuter HI and Jones AR, 2008. *Environmental Assessment of Soil for Monitoring Volume V: Procedures & Protocols*. EUR 23490 EN/5, Office for the Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 165p.
- Karer J, Zehetner F, Kloss S, Wimmer B and Soja G, 2013. Biochar application to temperate soils: effect on nutrient uptake and corn yield under field conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 22: 390-403.
- Laird DA, Fleming P, Davis DD, Horton R, Wang B and Karlen DL, 2010. Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil. *Geoderma* 158(3): 443-449.
- Lal R, 2011. Sequestering carbon in soils of agro-ecosystems. *Food Policy* 36: S33-S39.
- Larid DA, 2008. The charcoal vision: a win-win scenario for simultaneously producing bioenergy, permanently sequestering carbon, while improving soil and water quality. *Agronomy Journal* 100(1): 178-181.
- Lehmann J, da Silva JP, 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, Gaunt J and Rondon M, 2006. Biochar sequestration in terrestrial ecosystems-A review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 11: 403-427.
- Lehmann J, 2007. Bio-energy in the black. *Frontiers in Ecology and the Environment*. The Ecological Society of America. 5(7): 381-387.
- Lehmann J and Joseph S, 2009. *Biochar for Environmental Management: Science and technology*. Earthscan, UK. 448p.

- Masulili A, Utomo WH and Syechfani MS, 2010. Rice husk biochar for rice based cropping system in acid soil 1. The characteristics of rice husk biochar and its influence on the properties of acid sulfate soils and rice growth in west Kalimantan, Indonesia. *Journal of Agricultural Science* 2: 39-47.
- Nabizadeh S, 2016. Leaching of Methylene blue and Direct blue 71 in a soil amended with biochar. Thesis for Master's degree in soil science, Faculty of Agricultural Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources university (In Persian).
- Nelson DW and Sommers LE, 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. Pp. 539-579. In: Keeney DR, Miller AL and Page AL (eds). *Method of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. Second edition. American Society of Agronomy. Madison. Wisconsin.
- Parichehreh M, SadeghZadeh F, Bahmanyar A, Ghajar Sepanlu M, 2016. Production of suitable biochar for use in saline soil. Pp 1-7. *Proceedings of the 2nd National Conference on Conservation of Natural Resources and the Environment*. 12- 13 March, University of Mohaghegh Ardabili, Ardebil, Iran (In Persian).
- Rajkovich S, Enders A, Hanely K, Hyland C, Zimmerman Ar and Lehmann J, 2012. Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biochars with varying properties to a temperate soil. *Biology and Fertility of Soils* 48(3): 271-284.
- Richards LA, 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali Soils. In: Anonymous (eds). *Agricultural Handbook No.60. U.S. Salinity Laboratory, Chapter 1. Origin and Nature of Saline and Alkali Soils*. Riverside, California.
- Rondon MA, Lehmann J, Ramírez J and Hurtado M, 2007. Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with biochar additions. *Biology and Fertility of Soils* 43: 699-708.
- Rutigliano FA, Romano M, Marzaioli R, Baglivo I, Baronti F, Miglietta F and Castaldi S, 2014. Effect of biochar addition on soil microbial community in a wheat crop. *European Journal of soil Biology* 60:9-15.
- Sohi SP, 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.
- Steiner Ch, Teixeira WG, Lehmann J, Nehls Th, Macedo JLVD, Blum WEH and Zech W, 2007. Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. *Plant Soil* 291: 275-290.
- Thomas SC, Frye S, Gale N, Garmon M, Launchbury R, Machado N, Melamed S, Murray J, Petroff A and Winsborough C, 2013. Biochar mitigates negative effects of salt additions on two herbaceous plant species. *Journal of Environmental Management* 129: 62-68.
- Tsai WT, Liu SC, Chen HR, Chang YM and Tsai YL, 2012. Textural and chemical properties of swine-manure-derived biochar pertinent to its potential use as a soil amendment. *Chemosphere* 89(2): 198-203.
- Verheijen F, Jeffery S, Bastos AC, Van der Velde M and Diafas I, 2010. Biochar application to soils- A critical scientific review of effects on soil properties, Processes and Functions. *European Commission*. 162p.
- Zameni L, 2016. Nitrate leaching in a soil amended with biochar and Fe-coated biochar. Thesis for Master's degree in soil science, Faculty of Agricultural Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources university (In Persian).
- Zhang A, Bian R, Pan G, Cui L, Hussain Q, Li L, Zheng JI, Zheng Ju, Zhang X, Han X and Yu X, 2012. Effects of biochar amendment on soil quality, crop yield and greenhouse gas emission in a chinese rice paddy: A field study of 2 consecutive rice growing cycles. *Field Crops Research* 127: 153-160.