

## اثر مقادیر بیوپچار و نیکل بر غلظت نیکل و برخی عناصر کم مصرف در ذرت

طیبه رحیمی، عبدالامیر معزی<sup>1</sup> و سعید حجتی

دانش‌آموخته دکتری گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز؛ tayebe\_rahimi@yahoo.com

دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز؛ Moezzi251@gmail.com

دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز؛ S.hojati@scu.ac.ir

دریافت: 97/4/23 و پذیرش: 97/10/10

### چکیده

بیوپچار یک ماده جاذب می‌باشد که قادر به کاهش قابلیت دسترسی فلزات سنگین می‌باشد. برای ارزیابی اثر کاربرد بیوپچار، نیکل و برهمکنش آنها بر رشد و غلظت نیکل و برخی عناصر کم مصرف در اندام هوایی ذرت در یک خاک آهکی، آزمایشی در شرایط گلخانه به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی انجام شد. تیمارها شامل سه سطح بیوپچار (صفر، 2 و 4 درصد وزنی) و سه سطح نیکل (صفر، 50 و 100 میلی‌گرم نیکل بر کیلوگرم خاک به صورت سولفات نیکل) در سه تکرار بود. نتایج نشان داد که مصرف بیوپچار نسبت به شاهد به طور معنی‌داری وزن خشک اندام هوایی ذرت، درجه سبزی و شاخص سطح برگ را افزایش داد اما مصرف نیکل تأثیر معنی‌داری بر این پارامترها نداشت همچنین مصرف بیوپچار، غلظت نیکل را به طور معنی‌داری (33 درصد) در اندام هوایی گیاه کاهش داد. با افزودن غلظت‌های مختلف نیکل به خاک، غلظت این عنصر در اندام هوایی ذرت افزایش یافت. غلظت روی، منگنز و آهن در اندام هوایی ذرت تحت تأثیر کاربرد بیوپچار به طور معنی‌داری کاهش یافت. کاربرد سطوح مختلف نیکل، کاهش غلظت آهن و منگنز در اندام هوایی گیاه را به دنبال داشت. با توجه به نقش مثبت بیوپچار در افزایش وزن خشک، شاخص سطح برگ، قرائت کلروفیل‌متر و همچنین کاهش غلظت نیکل در اندام هوایی ذرت، گمان می‌رود که در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین می‌توان از بیوپچار استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: اصلاح‌کننده‌های آلی، فلزات سنگین، آلودگی نیکل

<sup>1</sup> نویسنده مسئول، آدرس: اهواز، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده کشاورزی، گروه علوم خاک

## مقدمه

تحقیقات زیادی در رابطه با کاهش آلودگی‌های خاک انجام شده است که از آن جمله می‌توان به استفاده از مواد آلی و بیوپچار (زغال زیستی) جهت تثبیت فلزات سنگین اشاره کرد. امروزه استفاده از بیوپچار به عنوان اصلاح کننده آلی خاک‌ها رو به افزایش است. بیوپچار، زغال تهیه شده از زیست توده‌های گیاهی و ضایعات کشاورزی است که سوختن آنها در حضور کم و یا عدم حضور اکسیژن انجام می‌شود (لهمان و همکاران، 2011). ایجاد گروه‌های عامل متفاوتی همچون کربونیل، هیدروکسیل، کربوکسیل، کوپینون و فنول به سبب فرایند گرماکافت<sup>1</sup>، سبب تغییرات در ظرفیت تبادل کاتیونی و در نهایت افزایش یا کاهش در میزان جذب عناصر سنگین نسبت به مواد آلی ساده می‌شود (نامگای و همکاران، 2010). بیوپچار دارای ساختمان متخلخل، سطح باردار و گروه‌های عاملی می‌باشد این خصوصیات فاکتورهای مهمی هستند که بر انتقال، تغییر شکل و قابلیت دسترسی فلزات سنگین در خاک اثر می‌گذارند (حسین و همکاران، 2010). مکانیزم‌های جذب عناصر سنگین توسط بیوپچار شامل برهمکنش‌های الکتروستاتیک، تبادل یونی، رسوب شیمیایی، کمپلکس با گروه‌های عاملی در سطح بیوپچار می‌باشد (ژانگ و همکاران، 2013).

نیکل یکی از عناصر سنگین می‌باشد که به دلیل سمیت آن دارای اهمیت زیادی است (رونی و همکاران، 2007)، به طور کلی سطح بحرانی سمیت نیکل برای گیاهان حساس، گیاهان با حساسیت متوسط و برای گیاهان مقاوم به ترتیب بیشتر از 10، بیشتر از 50 و بیشتر از 1000 میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک گیاه می‌باشد (چن و همکاران، 2009). رادور و همکاران (2014) با افزودن سطوح مختلف نیکل در محلول غذایی و گلدان پی بردند که تیمار 10 میلی‌گرم نیکل در لیتر، سبب کاهش وزن خشک ذرت شد اما در خاک‌های تیمار شده کاربرد 50 میلی‌گرم نیکل در کیلوگرم خاک سبب کاهش وزن خشک ذرت گردید اما در سطوح بالاتر نشانه‌های کلروز در اندام هوایی مشاهده شد. پولیک (1999) گزارش کرد که در شرایط گلخانه سطوح صفر تا 168 میلی‌گرم نیکل در کیلوگرم خاک تأثیر معنی‌داری بر عملکرد ماده تر و خشک کاهو نداشت و غلظت نیکل در بالاترین سطح 168 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک 28/6 میکروگرم در کیلوگرم بود که جذب بسیار کم نیکل برای کاهو را نشان می‌دهد. مندلز و همکاران (2012) قابلیت دسترسی برخی

عناصر سنگین در خاک‌های آلوده مدیترانه‌ای را با کاربرد بیوپچار حاصل از لجن فاضلاب تولید شده در دمای 500 درجه سلسیوس و سطوح 4 و 8 درصد را مورد مطالعه قرار دادند، آن‌ها مشاهده کردند که بیوپچار سبب کاهش قابلیت دسترسی گیاهی، کاهش تحرک و کاهش آبشویی عناصر نیکل، مس، روی، کادمیم و سرب گردید. میزان تأثیر بیوپچار بر عملکرد محصول بستگی به ویژگی‌های خاک، نوع و مقدار بیوپچار مصرفی دارد (حسین و همکاران، 2010). افراسیابی و همکاران (1396) طی تحقیقی در یک خاک آهکی اثر سطوح 2 و 4 درصد تفاله پسته و بیوپچار حاصل از آن که در دمای 200، 400 و 600 درجه سلسیوس به مدت دو ساعت تهیه شده بودند را بر مقدار کادمیم جذب شده در رطوبت‌های مختلف و غلظت‌های 25 و 50 میلی‌گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک و زمان‌های 15 و 90 روز مورد بررسی قرار دادند ایشان گزارش کردند که دمای تولید بیوپچار، مقدار کاربرد آن و برهمکنش آن با رژیم رطوبتی می‌تواند بر توانایی آن در کاهش قابلیت جذب کادمیم تأثیر گذارد چنین به نظر می‌رسد که با افزایش دمای تولید بیوپچار تا 600 درجه سلسیوس توانایی آن در کاهش کادمیم قابل جذب افزایش یابد لیکن این توانایی به سطح کاربرد بیوپچار بستگی دارد و در سطوح بالاتر مصرف بیوپچار بیشتر قابل مشاهده است، آن‌ها همچنین ذکر کردند که به طور کلی با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان اظهار داشت که کاربرد بیوپچار دمای 400 و 600 درجه سلسیوس حاصل از پسته می‌تواند به صورت یک راهکار مناسب و ارزان و به عنوان یک جاذب زیست محیطی سبز مورد استفاده قرار گیرد.

اگرچه استفاده از این بهساز در زمین‌های کشاورزی و تأیید کارایی آن نیاز به تحقیقات بیشتر و مطالعات مزرعه‌ای دارد. اینال و همکاران (2015) با بررسی تأثیر مقادیر صفر، 5، 10 و 20 میلی‌گرم بر کیوگرم کود مرغی و بیوپچار حاصل از آن که در دمای 300 درجه سلسیوس به مدت 2 ساعت تهیه شده بود بر ویژگی‌های شیمیایی خاک آهکی و رشد گیاهان لوبیا و ذرت دریافتند که بیوپچار و کود مرغی سبب بهبود ویژگی‌های شیمیایی خاک و افزایش رشد لوبیا و ذرت گردید. خان محمدی و همکاران (2017) با افزودن لجن فاضلاب و بیوپچار حاصل از لجن فاضلاب در دمای 350 درجه سلسیوس به مدت 3 ساعت، در سطوح صفر، 10، 20 و 40 مگاگرم در هکتار به یک خاک آهکی دریافتند که بیوپچار نسبت به شاهد سبب کاهش میزان سرب قابل دسترس در خاک گردید و میزان کاهش در بیوپچار بیشتر

<sup>1</sup> Pyrolysis

مرطوب (نلسون و سامر، 1996)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع به وسیله هدایت‌سنج الکتریکی، pH در خمیر اشباع به وسیله pH متر، کربنات کلسیم معادل (لوپرت و سوارز، 1996)، روی، نیکل، آهن، منگنز و مس (لیندزی و نورول، 1978)، نیتروژن کل به روش میکروکلدال (بریمنر 1996) اندازه‌گیری و نتایج آن در جدول 1 نشان داده شده است. کود گاوی پوسیده از دانشکده دامپزشکی دانشگاه شهید چمران اهواز تهیه شد که مقداری از آن پس هوا از خشک شدن و عبور از الک دو میلی‌متری مقداری از آن برای تهیه بیوپچار مورد استفاده قرار گرفت. از آنجا که برای تولید بیوپچار نیاز به شرایط بی‌هوازی می‌باشد از فویل‌های آلومینیوم برای ایجاد شرایط بدون اکسیژن استفاده گردید. نمونه‌های کود گاوی در داخل فویل‌های آلومینیوم گذاشته شده و در دمای 400 درجه سلسیوس با نرخ افزایش دمای 15 درجه در دقیقه در داخل کوره به مدت سه ساعت حرارت داده و سپس بیوپچار تولید شده خرد شده و از الک دو میلی‌متری عبور داده شد. خصوصیات بیوپچار از جمله pH در عصاره یک به ده بیوپچار به آب مقطر، ظرفیت تبادل کاتیونی (دوکا و همکاران، 2011) و غلظت کل عناصر نیکل، منگنز، روی و آهن (راجکوویچ و همکاران، 2011) اندازه‌گیری شد که نتایج آن در جدول 2 آمده است.

از لجن فاضلاب بود همچنین سبب افزایش 5/2 درصدی عملکرد ذرت در خاک لومی رسی شده و جذب سرب، روی، آهن، منگنز و مس توسط ذرت کاهش یافت اما میزان جذب روی، آهن، منگنز و مس با کاربرد لجن فاضلاب افزایش یافت آنها بیان کردند که بیوپچار سبب غیر متحرک شدن سرب در خاک شده است، آنها دریافتند که میزان آهن، روی و منگنز و مس قابل استفاده در تیمارهای لجن فاضلاب بیشتر از بیوپچار حاصل از لجن فاضلاب می‌باشد. با توجه به مطالب فوق در مورد تاثیر بیوپچار بر عناصر سنگین در خاک و تاثیر بر گیاهان مختلف و با توجه به اینکه بیوپچار به عنوان یک ماده اصلاحی کمتر در خاک‌های آهنی مورد بررسی قرار گرفته است، این تحقیق با هدف بررسی اثر سطوح مختلف بیوپچار و سطوح نیکل بر گیاه ذرت انجام شد.

### مواد و روش‌ها

برای انجام این آزمایش، خاک کافی از افق سطحی (صفر تا 30 سانتی‌متری) مزارع کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز تهیه شد. پس از هوا خشک کردن و عبور از الک دو میلی‌متری برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه از جمله بافت به روش هیدرومتری (بویوکاز و همکاران، 1962)، ظرفیت تبادل کاتیونی (سامر و میلر، 1996) ماده آلی به روش اکسایش

جدول 1- برخی خصوصیات خاک مورد مطالعه

TN	Mn	Fe	Cu	Ni	Zn*	OM	EC <sub>e</sub>	pH	CEC	آهنک	بافت
(%)	mg kg <sup>-1</sup>					(%)	(dS m <sup>-1</sup> )		(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	(%)	
0/05	3/9	6/15	0/46	0/02	2/4	0/9	1/9	7/4	15/3	45/7	رس سیلتی

\* روی، منگنز، مس، نیکل و آهن قابل استفاده توسط DTPA عصاره گیری شده است.

نیتروژن، آهن، روی، منگنز و مس به ترتیب در مقادیر 150، 2/5، 2/5، 10 و 2/5 میلی‌گرم بر کیلوگرم بصورت محلول به ترتیب از منابع اوره، (کلات آهن Fe-EDDHA) و سولفات‌های روی، منگنز و مس به تمام گلدان‌ها قبل از کاشت به صورت یکنواخت اضافه شد. نیتروژن مورد نیاز به دو قسمت تقسیم، نیمی از نیتروژن همراه با سایر عناصر غذایی و مابقی در اواسط فصل رشد به گلدان‌ها افزوده شد. تعداد 8 عدد بذر ذرت رقم سینکل گراس 704 در عمق حدود دو سانتی‌متری در تاریخ 26 بهمن ماه 1394 کاشته شد. بعد از جوانه زنی و استقرار گیاهان تعداد آنها در هر گلدان به چهار بوته که به طور یکنواخت در سطح گلدان قرار گرفته، کاهش داده شد و

تصاویر SEM از نمونه های کود گاوی و بیوپچار حاصل از آن در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه شهید چمران اهواز گرفته شده که در تصویر شماره 1 نشان داده شده است. جهت بررسی اثر سطوح مختلف بیوپچار و نیکل و برهمکنش آنها بر رشد و غلظت نیکل توسط ذرت آزمایش گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل: سه سطح بیوپچار (صفر، 2 و 4 درصد) و سه سطح نیکل (صفر، 50 و 100 میلی‌گرم نیکل در هر کیلوگرم خاک به صورت سولفات نیکل) بر روی نمونه‌های هفت کیلوگرمی خاک اعمال گردید و خاک‌های تیمار شده به مدت سه ماه در حالت انکوباسیون نگهداری شدند. سپس

در در آن و در دمای 65 درجه سلسیوس تا رسیدن به وزن ثابت خشک شدند و پس از توزین توسط آسیاب برقی پودر شدند. یک گرم ماده خشک گیاهی در کوره الکتریکی در دمای 550 درجه سلسیوس به صورت خاکستر در آورده و خاکستر حاصله در 5 میلی لیتر اسید کلریدریک 2 نرمال حل شد. پس از صاف نمودن با کاغذ صافی حجم نهایی محلول با استفاده از آب مقطر به حجم 50 میلی لیتر رسانیده شد. غلظت عناصر نیکل، روی، منگنز و آهن در این عصاره توسط دستگاه جذب اتمی مدل SavantAA اندازه گیری شد. داده های جمع آوری شده با استفاده از نرم افزار MSTATC و Exell تجزیه و تحلیل شد.

در طول دوره رشد به مدت 8 هفته روزانه گلدان های حاوی گیاهچه های ذرت توسط آب مقطر در حد 70 درصد رطوبت ظرفیت مزرعای (FC) نگهداری شدند. قبل از برداشت ابتدا درجه سبزی (Greeness) گیاه در هر گلدان با استفاده از کلروفیل متر دستی (SPAD-502) قرائت شد، جهت تعیین شاخص سطح برگ، ابتدا طول و بزرگترین پهنای هر برگ بوسیله خط کش اندازه گیری و سطح برگ ها توسط رابطه 1 محاسبه گردید سپس سطح برگ محاسبه شده را بر مساحت فضای اشغال شده توسط برگ ها تقسیم نموده تا شاخص سطح برگ بدست آید. رابطه 1:  $A = L \times W \times 0.75$ ، A، L و W به ترتیب سطح برگ، طول برگ و بزرگترین پهنای برگ می باشد. پس از برداشت گیاهان در تاریخ 26 فروردین ماه 1395، نمونه ها

جدول 2- برخی خصوصیات شیمیایی کود گاوی و بیوجار حاصل از آن

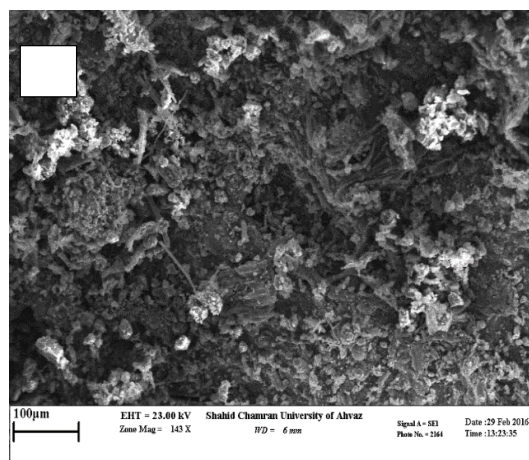
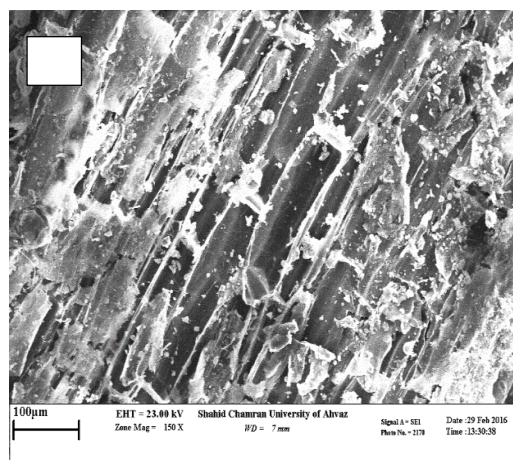
Fe	Mn	Ni	Zn*	pH	CEC	خاکستر	منبع
mg kg <sup>-1</sup>					(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	%	
867	256	ND*	209	7/9	43	-	کود گاوی
1020	318	ND	323	9/0	129	64	بیوجار حاصل از کود گاوی

\* زیر حد تشخیص دستگاه جذب اتمی

کلسیم، منیزیم و پتاسیم همچنین به از بین رفتن گروه های عاملی اسیدی و غنی شدن کربنات ها در اثر فرایند گرمکافت نسبت داده اند (مندز و همکاران، 2014)، همچنین کاهش عملکرد بیوجار سبب تغلیظ و غنی شدن آن از عناصر آهن، روی و منگنز در مقایسه با کود گاوی شده است.

## نتایج و بحث

جدول شماره 2 برخی خصوصیات کود گاوی و بیوجار مشتق شده از آن را نشان می دهد. مطابق با این جدول pH، ظرفیت تبادل کاتیونی، غلظت عناصر آهن، روی و منگنز بیوجار حاصله نسبت به کود گاوی افزایش یافته است. افزایش pH بیوجار را به هیدرولیز نمک های



شکل 1- تصاویر SEM مربوط به کود گاوی (A) و بیوجار (B)

در خاک افزایش می‌یابد (چیانگ و همکاران، 2007). همچنین تشکیل گروه‌های عاملی کربوکسیلیک و گروه‌های عاملی آروماتیک هیدروکسید در طول اکسیداسیون بیوپچار ظرفیت تبادل کاتیونی خاک را افزایش می‌دهد و احتمالاً سبب تشکیل کمپلکس‌های پایدار بیوپچار - فلز سنگین در خاک می‌شود (لیانگ و همکاران، 2006).

با افزایش سطح نیکل در خاک غلظت آن در اندام هوایی ذرت به طور معنی‌داری افزایش یافت. افزودن سطح 100 میلی‌گرم نیکل بر کیلوگرم خاک با افزایش سطح نیکل نسبت به سطح 50 میلی‌گرم بر کیلوگرم، غلظت نیکل اندام هوایی را 54 درصد افزایش داد. همچنین برهمکنش منفی و معنی‌داری بین سطوح بیوپچار و سطوح نیکل بر غلظت نیکل اندام هوایی وجود داشت. به طوری که کاربرد 100 میلی‌گرم بر کیلوگرم نیکل و 4 درصد بیوپچار به صورت توأم، نسبت به سطح 50 میلی‌گرم نیکل بدون کاربرد بیوپچار، غلظت نیکل اندام هوایی را معادل 24 درصد کاهش داد. متانت (1392) گزارش کرد که غلظت نیکل در سطح 50 میلی‌گرم نیکل در کیلوگرم خاک نسبت به سطح 200 از 0/75 به 3/2 میلی‌گرم بر کیلوگرم در اندام هوایی ذرت به طور معنی‌داری افزایش یافت.

نتایج آنالیز واریانس داده‌ها (جدول 3)، نشان داد که اثر سطوح بیوپچار حاصل از کود گاوی و نیکل و برهمکنش آن‌ها بر غلظت نیکل، آهن و منگنز اندام هوایی ذرت معنی‌دار است، در حالی که کاربرد سطوح نیکل و برهمکنش سطوح بیوپچار و سطوح نیکل تأثیر معنی‌داری بر غلظت روی اندام هوایی ذرت نداشت و تنها افزودن سطوح بیوپچار بر غلظت روی در اندام هوایی اثر معنی‌داری داشت.

داده‌های جدول 4، نشان داد که سطوح مختلف بیوپچار به کار رفته میانگین غلظت نیکل اندام هوایی ذرت را به طور معنی‌داری ( $P < 0/05$ ) کاهش داد. کاربرد سطح 2 و 4 درصد بیوپچار نسبت به شاهد به ترتیب غلظت نیکل را 20 و 48 درصد کاهش داد. همچنین کاربرد سطح 4 درصد بیوپچار نسبت به سطح 2 درصد، غلظت نیکل اندام هوایی را معادل 33 درصد کاهش داد. مندز و همکاران (2014) بیان کردند، کاربرد 5 درصد بیوپچار حاصل از ضایعات کاغذ تهیه شده در دمای 500 درجه سلسیوس در یک خاک آلوده به نیکل، سبب کاهش تحرک، شستشو و قابلیت دسترسی نیکل شد. ژانگ و همکاران (2013) اظهار کردند که بیوپچار با بالا بردن pH می‌تواند سبب کاهش تحرک فلزات سنگین در خاک شود. بیوپچار بر روی سطوح خود دارای گروه‌های عاملی است و بار منفی گروه‌های عاملی در طول زمان و در طی اکسایش

جدول 3- نتایج تجزیه واریانس اثر بیوپچار و نیکل بر برخی ویژگی‌های رشد ذرت و غلظت برخی عناصر در اندام هوایی

میانگین مربعات								
منابع	درجه آزادی	قرانت کلروفیل متر	شاخص سطح برگ	وزن خشک (گرم در گلدان)	غلظت Ni (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	غلظت Fe (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	غلظت Zn (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	غلظت Mn (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
بیوپچار	2	61/1 <sup>***</sup>	2/8 <sup>*</sup>	12/02 <sup>***</sup>	6/7 <sup>***</sup>	105/21 <sup>**</sup>	147/4 <sup>**</sup>	300/6 <sup>***</sup>
Ni	2	0/57 <sup>ns</sup>	0/35 <sup>ns</sup>	1/62 <sup>ns</sup>	53/3 <sup>***</sup>	151/56 <sup>**</sup>	6/31 <sup>ns</sup>	189/96 <sup>***</sup>
برهمکنش بیوپچار و Ni	4	0/15 <sup>ns</sup>	0/2 <sup>ns</sup>	0/004 <sup>ns</sup>	2/12 <sup>***</sup>	53/6 <sup>*</sup>	9/2 <sup>ns</sup>	22/189 <sup>*</sup>
خطا	18	1/94	0/3	0/684	0/27	14/8	7/66	7/6

<sup>\*\*\*</sup>، <sup>\*\*</sup> و <sup>\*</sup> به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال 0/1، 1 و 5 درصد <sup>ns</sup>

جدول 4- اثر ساده سطوح بیوجار و سطوح نیکل و برهمکنش آنها بر غلظت‌های نیکل، روی، آهن و منگنز اندام هوایی ذرت

میانگین	سطح نیکل (میلی گرم بر کیلوگرم)			سطوح بیوجار (درصد)
	100	50	0	
غلظت نیکل (میلی گرم بر کیلوگرم)				
3/59 A	6/47 <sup>a</sup>	4/13 <sup>c</sup>	0/17 <sup>c</sup>	0
2/78 B	5/2 <sup>b</sup>	3/04 <sup>d</sup>	0/103 <sup>c</sup>	2
1/86 C	3/1 <sup>d</sup>	2/41 <sup>d</sup>	0/08 <sup>c</sup>	4
	4/92 A	3/19 B	0/11 C	میانگین
غلظت روی (میلی گرم در کیلوگرم)				
35/46A	35/46 <sup>a</sup>	33/5 <sup>ab</sup>	37/41 <sup>a</sup>	0
29/34 B	29/21 <sup>bc</sup>	28/35 <sup>bc</sup>	30/46 <sup>bc</sup>	2
27/81 B	26/11 <sup>c</sup>	29/71 <sup>bc</sup>	27/6 <sup>c</sup>	4
	30/26A	30/52A	31/82A	میانگین
غلظت آهن (میلی گرم بر کیلوگرم)				
43/72A	37/15 <sup>d</sup>	45/42 <sup>ab</sup>	48/58 <sup>a</sup>	0
38/41 B	39/2 <sup>bcd</sup>	38/23 <sup>cd</sup>	43/8 <sup>cd</sup>	2
37/32 B	29/6 <sup>e</sup>	38/5 <sup>cd</sup>	37/8 <sup>abc</sup>	4
	35/34 B	40/72 A	43/40 A	میانگین
غلظت منگنز (میلی گرم بر کیلوگرم)				
43/06 A	37/85 <sup>cd</sup>	42/98 <sup>b</sup>	48/33 <sup>a</sup>	0
35/34 B	34/67 <sup>de</sup>	30/07 <sup>ef</sup>	41/28 <sup>bc</sup>	2
31/74 C	27/57 <sup>f</sup>	31/43 <sup>ef</sup>	36/23 <sup>d</sup>	4
	33/36 B	34/83 B	41/9 A	میانگین

میانگین‌هایی که در هر ردیف یا ستون در یک حرف بزرگ یا کوچک مشترک و اعدادی در بدنه جدول در یک حرف کوچک مشترک هستند، از لحاظ آماری با آزمون دانکن در سطح 5 درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

درصد حجمی بیوجار حاصل از کود گاوی در دمای 500 درجه سلسیوس بسیار کارآمدتر از کمپوست سبب کاهش فراهمی زیستی کادمیم و روی می‌شود که عمدتاً به دلیل افزایش بیشتر pH خاک در حالت کاربرد بیوجار نسبت به کمپوست می‌باشد که بر کاهش دسترسی فلزات در خاک اثر می‌گذارد. رجیبی (1393) گزارش کرد که میانگین غلظت آهن در اندام هوایی اسفناج در سطح 3 و 6 درصد وزنی بیوجار نسبت به شاهد به ترتیب 16 و 22 درصد کاهش معنی‌داری داشته است و عنوان کرد که کاهش غلظت آهن را شاید بتوان به کاهش آهن قابل دسترس در اثر کاربرد بیوجار پسته تولید شده در دمای 400 درجه نسبت داد همچنین نشان داد که غلظت آهن قابل دسترس در خاک پس از برداشت اسفناج با افزایش سطوح بیوجار حاصل از پسته کاهش یافته است. هوبن و همکاران (2013) گزارش کردند که با افزایش بیوجار حاصل از کاه در دمای 600 درجه سلسیوس به مدت 30 دقیقه در سطوح 1، 5 و 10 درصد به خاک‌های آلوده به فلزات سنگین، غلظت کادمیم، روی و سرب در اندام هوایی کلزا بدلیل کاهش قابلیت دسترسی این عناصر در اثر مصرف بیوجار، کاهش یافت.

غلظت روی، آهن و منگنز اندام هوایی ذرت با افزودن سطوح بیوجار نسبت شاهد به طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول 4)، افزودن 2 و 4 درصد بیوجار نسبت به شاهد به ترتیب سبب کاهش 17 و 21 درصدی غلظت روی اندام هوایی ذرت شد همچنین بین سطوح 2 و 4 درصد بیوجار اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. کاربرد 4 درصد بیوجار نسبت به شاهد سبب کاهش 18/5 درصدی در غلظت آهن اندام هوایی ذرت گردید اما بین سطوح 2 و 4 درصد بیوجار اختلاف معنی‌داری از نظر تأثیر بر غلظت آهن وجود نداشت، قابل ذکر است که کاربرد 4 درصد بیوجار نسبت به شاهد و سطح 2 درصد بیوجار به ترتیب غلظت منگنز اندام هوایی را 26 و 10 درصد کاهش داد. در اثر کاربرد بیوجار غلظت آهن، منگنز و روی اندام هوایی کاهش یافت که شاید بتوان این مسئله را به کاهش قابلیت دسترسی آهن و منگنز خاک در اثر افزایش احتمالی pH ناشی از افزودن بیوجار به خاک نسبت داد. افزایش pH خاک در اثر کاربرد بیوجار توسط پژوهشگران زیادی از جمله ژانگ و همکاران (2011) و کائو و هریس (2010) گزارش شده است. بیسلی و همکاران (2010) در آزمایشی نشان دادند که کاربرد ده

نیکل در لیتر محلول غذایی سبب کاهش غلظت منگنز و مس در اندام هوایی شده ولی غلظت روی در اندام هوایی افزایش یافته است. پولیک (1999) مشاهده کرد که افزایش سطوح نیکل از صفر به 168 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک غلظت آهن را در اندام هوایی کاهش داد. در مورد تأثیر نیکل بر غلظت روی اندام هوایی گزارش‌های متفاوتی توسط پولیک و همکاران (1999) و پارديا و همکاران (2003) ارائه شده است. مطابق با جدول آنالیز واریانس 3، اثر سطوح بیوپچار بر وزن خشک، قرائت کلروفیل متر و شاخص سطح برگ از لحاظ آماری معنی‌دار می‌باشد اما اثر سطوح نیکل و برهمکنش سطوح بیوپچار و سطوح نیکل بر پارامترهای نامبرده معنی‌دار نمی‌باشد. نتایج نشان داد با افزایش سطوح بیوپچار کاربردی عدد قرائت شده با کلروفیل متر (درجه سبزی) به طور معنی‌داری افزایش یافت افزودن 2 و 4 درصد بیوپچار نسبت به شاهد به ترتیب 9/1 و 10/2 درصد عدد قرائت شده با کلروفیل متر را افزایش داد همچنین افزودن سطح 2 و 4 درصد بیوپچار به خاک تفاوت معنی‌داری بر قرائت کلروفیل متر ذرت ایجاد نکرد (جدول 5).

داده‌های جدول 4 حاکی از این مطلب می‌باشد که کاربرد نیکل سبب کاهش معنی‌دار غلظت آهن و منگنز اندام هوایی ذرت نسبت به شاهد گردید بدین ترتیب که بین سطح 50 میلی‌گرم نیکل بر کیلوگرم خاک و شاهد تفاوت معنی‌داری از نظر تأثیر بر غلظت آهن وجود نداشت و کاربرد 100 میلی‌گرم نیکل بر کیلوگرم خاک نسبت به شاهد میانگین غلظت آهن را 18/6 درصد کاهش داد. افزودن سطوح 50 و 100 میلی‌گرم نیکل بر کیلوگرم خاک از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری بر غلظت منگنز اندام هوایی ایجاد نکرد و کاربرد 100 میلی‌گرم نیکل بر کیلوگرم خاک سبب کاهش 21 درصدی غلظت منگنز نسبت به شاهد گردیده است. همچنین برهمکنش مثبت و معنی‌داری بین سطوح بیوپچار و سطوح نیکل بر غلظت آهن و منگنز اندام هوایی وجود دارد به طوری که کاربرد 100 میلی‌گرم و 4 درصد بیوپچار بصورت توأم، نسبت به سطح 50 میلی‌گرم نیکل بدون کاربرد بیوپچار، غلظت آهن و منگنز در اندام هوایی را به ترتیب معادل 34 و 35 درصد کاهش داد. سبیر و همکاران (2011) گزارش کردند که کاربرد 17، 51 و 68 میکرومول

جدول 5- اثر کاربرد بیوپچار و نیکل بر قرائت کلروفیل متر، وزن خشک و شاخص سطح برگ ذرت

میانگین	سطح نیکل (میلی‌گرم بر کیلوگرم)			سطوح بیوپچار (درصد)
	100	50	0	
درجه سبزی				
46/56A	46/5 <sup>b</sup>	46/53 <sup>b</sup>	46/66 <sup>b*</sup>	0
50/84B	50/66 <sup>a</sup>	50/86 <sup>a</sup>	51 <sup>a</sup>	2
51/28 B	50/88 <sup>a</sup>	51/2 <sup>a</sup>	51/88 <sup>a</sup>	4
	49/34A	49/53A	49/84A	میانگین
شاخص سطح برگ				
3/99 B	3/51 <sup>c</sup>	4/27 <sup>bc</sup>	4/18 <sup>bc</sup>	0
4/49 B	4/5 <sup>ab</sup>	4/55 <sup>ab</sup>	4/42 <sup>bc</sup>	2
5/1 A	5/04 <sup>ab</sup>	5/4 <sup>a</sup>	4/86 <sup>ab</sup>	4
	4/35 A	4/74 A	4/49 A	میانگین
وزن خشک (گرم در گلدان)				
9/25 C	8/85 <sup>c</sup>	9/23 <sup>de</sup>	9/69 <sup>cde</sup>	0
10/57 B	10/13 <sup>b-e</sup>	10/56 <sup>abcd</sup>	11/03 <sup>abc</sup>	2
11/56 A	11/2 <sup>abc</sup>	11/49 <sup>ab</sup>	12 <sup>a</sup>	4
	10/06 A	10/42 A	10/9 A	میانگین

\* میانگین‌هایی که در هر ردیف یا ستون در یک حرف بزرگ یا کوچک مشترک و اعدادی در بدنه جدول در یک حرف کوچک از لحاظ آماری با آزمون دانکن در سطح 5 درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

افزایش آن شد. مطابق با جدول شماره 5، بیوپچار کاربردی به طور معنی‌داری میانگین شاخص سطح برگ ذرت را نسبت به شاهد افزایش داده است اما بین سطح 2 درصد بیوپچار و تیمار شاهد، اختلاف معنی‌داری وجود نداشت

برک و همکاران (2014) طی آزمایشی با کاربرد صفر، 5 و 10 تن در هکتار بیوپچار بستر مرغ بر کشت پنبه در دو سال متوالی مشاهده کردند که بیوپچار در سال اول سبب کاهش قرائت کلروفیل متر و در سال دوم سبب

که دامنه غلظت نیکل بین 0/08 تا 9/3 میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک گیاه بود، این دامنه نزدیک به دامنه غلظت نیکل گیاه در خاک‌های غیر آلوده می‌باشد.

### نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که کاربرد غلظت‌های مختلف نیکل سبب افزایش غلظت نیکل اندام هوایی ذرت گردید اما سطوح نیکل کاربردی اثر سمی و سوء بر گیاه ذرت نداشت. افزودن نیکل به خاک سبب کاهش غلظت آهن و منگنز اندام هوایی ذرت شد که با توجه به اینکه وزن خشک ذرت تحت تأثیر نیکل کاربردی قرار نگرفته است، می‌توان گفت که نیکل از جذب آهن و منگنز توسط ذرت جلوگیری کرده است و به رابطه تنازعی بین نیکل با آهن و منگنز اشاره نمود. سطوح بیوچار به کار رفته به طور معنی‌داری غلظت آهن، منگنز و روی اندام هوایی ذرت را کاهش داده است با توجه به اینکه تحقیقات زیادی تأیید کرده‌اند که کاربرد بیوچار در خاک سبب افزایش pH خاک می‌گردد بنابراین شاید بتوان دلیل کاهش غلظت آهن، روی و منگنز در اثر کاربرد بیوچار را با افزایش pH خاک مرتبط دانست. سطوح بیوچار به کار رفته به طور معنی‌داری غلظت نیکل اندام هوایی ذرت را کاهش داده‌اند، بیوچار به دلیل داشتن ظرفیت تبادل کاتیونی زیاد سبب جذب و تثبیت نیکل در خاک شده است به همین دلیل کاربرد بیوچار به طور معنی‌داری غلظت نیکل اندام هوایی ذرت را کاهش داده است. بیوچار به عنوان یک ماده اصلاحی در کاهش غلظت و جذب عناصر سنگین توسط گیاهان می‌تواند مؤثر باشد جهت تأیید نتایج بدست آمده پیشنهاد می‌گردد جهت شناخت چگونگی تأثیر بیوچار بر کاهش غلظت نیکل در گیاه، پژوهشی در مورد سینتیک آزاد سازی نیکل و توزیع شکل‌های شیمیایی نیکل تحت تأثیر بیوچار در خاک انجام گیرد.

بدین صورت که افزودن 4 درصد بیوچار نسبت به تیمار شاهد شاخص سطح برگ ذرت را 27/8 درصد افزایش داد. شاخص سطح برگ ابزار مناسبی برای تولید گیاه و قابلیت استفاده از نور محسوب می‌شود با افزایش شاخص سطح برگ و جذب بیشتر تشعشع خورشیدی، فتوسنتز بیشتری انجام و در نهایت عملکرد ماده خشک افزایش می‌یابد می‌باشد (قنبری و همکاران، 2013). افزودن بیوچار سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی ذرت گردید، به طوری که کاربرد سطح 2 و 4 درصد بیوچار نسبت به شاهد به ترتیب 16 و 28 درصد وزن خشک اندام هوایی ذرت را افزایش داد، از آنجایی که افزودن بیوچار به خاک سبب بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک می‌گردد و بهبود این خصوصیات خاک تأثیر مثبت در رشد گیاه دارد بنابراین افزودن بیوچار به خاک سبب بهبود رشد، افزایش شاخص زردی و افزایش سطح برگ ذرت شده است. کارتر و همکاران (2013) سطوح 25، 50 و 150 بیوچار حاصل از برنج را بکار بردند و عنوان کردند که بیومس، ارتفاع و تعداد برگ‌های کاهو و کلم پیچ تحت تأثیر بیوچار افزایش یافت. با افزایش سطوح نیکل غلظت آن در اندام هوایی ذرت افزایش یافت و ماکزیمم غلظت نیکل در سطح 100 میلی‌گرم بر کیلوگرم نیکل ایجاد شد که معادل 6/47 میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد در حالی که این مقدار نیز کمتر از حدی است که بتواند تأثیر منفی بر وزن خشک، شاخص سطح برگ و درجه سبزی ایجاد کند. مترزیک و همکاران (2002) اثر سطوح مختلف نیکل صفر، 10، 40 و 60 میلی‌گرم بر کیلوگرم را بر قسمت‌های خوراکی کاهو، اسفناج، کدو سبز و لوبیا بررسی نمودند آنها غلظت نیکل را در سطوح مختلف و گیاهان مختلف بین 0/09 تا 3/7 میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش کردند، داده‌های مربوط به غلظت نیکل در بافت‌ها و منابع مورد آزمایش نشان داد

### فهرست منابع:

1. افراسیابی، ب. ا. ادهمی، و ا. اولیایی. 1396. تأثیر دما بر بیوچارهای تولید شده در دماهای مختلف بر قابلیت جذب کادمیم یک خاک آهکی در شرایط رطوبتی مختلف در طی زمان. نشریه خاک آب و خاک. 3 (30): 821-812.
2. رجبی، ح. 1393. اثر بیوچار تفاله پسته، لجن فاضلاب، و کود شیمیایی برزیست فراهمی و جذب نیتروژن و فسفر بوسیله اسفناج. پایان نامه کارشناسی ارشد، بخش علوم خاک، دانشگاه شیراز.
3. زلفی باوریانی، م. ع. م. رونقی، ن. کریمیان، ر. قاسمی، ج. یثیری. 1395. اثر بیوچار تهیه شده از کود مرغی در دماهای متفاوت بر ویژگی‌های شیمیایی یک خاک آهکی. نشریه علوم آب و خاک. 1 (21): 33-25.



4. متانت، ک. 1392. اثر چهار اسید آلی بر گیاه پالایی سرب و نیکل بوسیله گیاه ذرت. پایان نامه کارشناسی ارشد، بخش علوم خاک، دانشگاه شیراز.

5. Beesley, L., E. Moreno-Jimene and J. L. Gomez-Eyles. 2010. Effects of biochar and greenwaste compost amendments on mobility, bioavailability and toxicity of inorganic and organic contaminants in a multi-element polluted soil. *Environ. Pollut.* 158: 2282-2287.
6. Bouyoucos, C. J. 1962. Hydrometer method for making particle size analysis of soils. *Agron*, 54 (5): 462-465.
7. Bremner, J. M. 1996. *Methods of Soil Analysis*. In: Sparks, D. L. (Eds). Third ed, Am . Soc .Argon. Madison, WI. PP: 1085- 1122.
8. Burke.J. M., D. E. Longer., D. M. Oosterhuis., E. M. Kawakami, and D. A. Loka. 2014. The effect of biochar source on cotton seedling growth and development and association with conventional fertilizers. *Inter. J. Plant and Soil Sci.* 3: 995-1008.
9. Carter, S., S. Shackley. S. Sohi, T. B. Suy, and S. Haefele. 2013. The impact of biochar application on soil properties and plant growth of pot grown Lettuce (*Lactuca sativa*) and Cabbage (*Brassica chinensis*). *Agron.* 3: 404-418.
10. Chen, C., D. Huang, and J. Liu. 2009. Functions and toxicity of nickel in plants: recent advances and future prospects. *Clean-Soil, Air, Water.* 37: 4-5. 304-313.
11. Cui, L., G. Pan, L. Li, and A. Chang. 2012. The reduction of wheat uptake in contaminated soil via biochar amendment: A two-Year field. *Biores.* 7: 5666-5676.
12. Cao, X., and W. Harris. 2010. Properties of dairy-manure-derived biochar pertinent to its potential use in remediation. *Biores. Technol.* 101: 5222-5228.
13. Duka, M. H., S. Gu. and Hagan, E.B. 2011. Biochar production potential in Ghana. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 8(15): 3539-3551.
14. Davis, R. D., PH. T. Beckett, and E. Wolan. 1978. Critical levels of 20 potentially toxic elements in barley. *Plant Soil.* 49: 395- 404.
15. Ghanbari, A.A., M. R. Shakiba, M. Toorchi, and R. Choukan. 2013. Nitrogen changes in the leaves and accumulation of some minerals in the seeds of red, white and Chitti beans (*Phaseolus vulgaris*) under water deficit conditions. *Australian J. Crop Sci.*7: 706-712.
16. Hossain. M. K., V. Strezov, K. Y. Chan, and P. F. Nelson. 2010. Agronomic properties of wastewater sludge biochar and bioavailability of metals in production of cherry tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Chem.* 78: 1167- 1171.
17. Houben, D., L. Evrard, and P. Sonnet. 2013. Beneficial effects of biochar application to contaminated soils on the bioavailability of Cd, Pb and Zn and the biomass production of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Biom. and Boen.*57:196-204
18. Inal, A., A. Gunes, O. Sahin, M. B. Taskin, and E. C. Kaya. 2015. Impacts of biochar and processed poultry manure, applied to a calcareous soil, on the growth of bean and maize. *Soil Use Manag.* 31: 106–113
19. Khanmohammadi, Z., M. Afyuni, and M. R. Mosaddeghi. 2017. Effect of Sewage Sludge and its Biochar on Chemical Properties of Two Calcareous Soils and Maize Shoot Yield. *Agronomy and Soil Sci*, 30: 198-212.
20. Lehmann, J., M. C. Rillig, J. Thies, C. A. Masiello, W. Hockaday. and D. Crowley. 2011. Biochar effects on soil biota. A review, *Soil Biol. Biochem.* 43: 1812–1836.
21. Liang, B., J. Lehmann, D. Solomon, J. Kinyangi, J. Grossman, B. Neill, Skjemstad, J. O J. Thies, F. J. Luizao, J. Petersenand E. G Neves. 2006. Black Carbon Increases Cation Exchange Capacity in Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70 (5): 1719-1730.
22. Lindsay, W. L. and W. A. Norvell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42 (3): 421-428.

23. Loppert, R. H. and D. L. Suarez. 1996. Carbonate and gypsum. p. 437- 474. In D. L. Sparks et al. (ed.) *Methods of Soil Analysis. Part 3*, SSSA, ASA, Madison, WI.
24. Mendez, A., A. J. Gomez Paz-Ferreiro, and G. Gasco. 2012. Effects of sewage sludge biochar on plant metal availability after application to a Mediterranean soil. *Chem.* 89: 1354–1359.
25. Mendez, A., J. Paz-Ferreiro, F. Araujo, and G. Gascoba. 2014. Biochar from pyrolysis of deinking paper sludge and its use in the treatment of a nickel polluted soil. *J. Analytical App. Pyrol.* 107: 46–52.
26. Matraszek, R., M. Szymaska, and M. Wroblewska. 2002. Effect of nickel on yielding and mineral composition of the selected vegetables. *Hort. Cultus*, 1: 13-22.
27. Nelson, D. W. and L. E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. In Sparks, D. L. (ed.) *Methods of soil analysis. Part 3*. 3rd ed. SSSA, ASA Madison, WI. PP: 961-1010.
28. Namgay, T., B. Singh, and B. P. Singh. 2010. Influence of biochar application to soil on the availability of As, Cd, Cu, Pb, and Zn to maize (*Zea mays* L.). *Soil Res.* 48: 638–647.
29. Pardia, B. K., I. M. Chhibba, and V. K. Nayar. 2003. Influence of nickel contaminated soils on fenugreek growth and mineral composition. *Scien. Hort.* 98: 133-119.
30. Pulik, Z. 1999. Influence of nickel contaminated soils on lettuce and tomatoes. *Scien. Hort.* 83: 243-250.
31. Rajkovich, S., Enders, A., Hanley, K., Hyland, C., Zimmerman, A. R. and Lehmann, J. 2011. Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biochars with varying properties to a temperate soil. *Biol. and Fert. of Soil*, 48(3): 271-284.
32. Rathor, G., N. Chopra, and T. Adhikari. 2014. Effect of variation in Nickel concentration on growth of maize plant: A comparative overview for pot and hoagland culture. *Res. J. Chem. Sci.* 10: 30-32.
33. Rhoades, J. D. 1996. Salinity: Electrical Conductivity and Total Dissolved Solids. In: *Methods of Soil Analysis, Chemical Method*, Soil Sci. Soc. Am. and Am. Soc. Agron, Madison, WI. PP: 417-435.
34. Rooney, C. P., F. J. Zhao, and S. P. McGrath. 2007. Phytotoxicity of nickel in a range of European soils: Influence of soil properties, Ni solubility and speciation. *Environ. Pollut.* 145: 596-605.
35. Sabir, M., U. Sabir, and A. Ghafoor. 2011. Growth and metal ionic composition of *Zea mays* as affected by nickel supplementation in the nutrient solution. *International J. Agri. Biol.* 13:186-190.
36. Summer, M. E. and W. P. Miller. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficients. In Sparks, D. L. (ed.) *Methods of soil analysis. part 3*. 3rd. SSSA, ASA Madison, WI. PP: 1201-1229.
37. Zhang, X., H. Wang, L. He, K. Lu, A. Sarmah, J. Li., S. Nathi., J. Pei, and H. Huang. 2013. Using biochar for remediation of soils contaminated with heavy metals and organic pollutants. *J. Environ. Sci. Pollut. Res. Inter.* 20: 8472-8483.

## Effect of Biochar and Nickel Levels on Concentration of Nickel and Some Micronutrients in Corn

**T. Rahimi, A. Moezzi<sup>1</sup>, and S. Hojatti**

Graduated PhD Student, Dept. of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz; E-mail: tayebe\_rahimi@yahoo.com

Associate Professor, Dept. of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz; E-mail: Moezzi251@gmail.com

Associate Professor, Dept. of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz; E-mail: S.hojati@scu.ac.ir

Received: July, 2018 and Accepted: December, 2018

### Abstract

Biochar is an absorbent material that can reduce the availability of heavy metals. A greenhouse experiment was carried out in factorial arrangement using completely randomized design to examine the influence of biochar, nickel (Ni) and their interaction on the growth and concentration of Ni and some micronutrients in corn grown on a calcareous soil. Treatments consisted of three biochar levels (0, 2, and 4 % w/w) and three Ni levels (0, 50 and 100 mg/kg soil as nickel sulfate) in three replicates. The results indicated that biochar significantly increased corn dry weight, chlorophyll index, and LAI. However, nickel application had no significant effect on the dry weight of corn. Biochar application significantly decreased Ni concentration in corn aerial part by 33%. Increasing Ni levels increased concentration of this element in corn shoot. Zinc, Mn, and Fe concentration significantly decreased with biochar application. Ni application decreased Fe and Mn concentration in corn. Considering the positive role of biochar on dry weight, chlorophyll greenness, and LAI, and decreasing Ni concentration in corn aerial part, it can be suggested that biochar application might be useful in soils contaminated with Ni.

**Keywords:** Heavy metal, Organic amendments, Nickel contamination

---

<sup>1</sup> Corresponding author: Soil Science Department, Faculty of Agricultural, Shahid Charan University of Ahvaz