

اثر کود فسفر و ترکیب‌های هیدروکسید دوگانه لایه‌ای بر پایه بیوجار و هیدروچار بر ماده خشک و غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم گیاه ذرت

یاسر عظیم زاده^۱، نصرت اله نجفی^{۲*}، عادل ریحانی تبار^۳، شاهین اوستان^۴ و علیرضا ختائی^۵

۱. دانشجوی دکتری علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، ایران

۲. دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، ایران

۳. دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، ایران

۴. استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، ایران

۵. استاد گروه شیمی کاربردی، دانشکده شیمی، دانشگاه تبریز، ایران

تاریخچه مقاله	چکیده
دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۰۱ پذیرش نهایی: ۱۳۹۷/۰۹/۱۲	بیوجار و هیدروچار مواد جامد کربنی هستند که از کربونیزه شدن زیست توده‌های آلی تولید می‌شوند. بیوجار با گرماکافت زیست توده‌های خشک اما هیدروچار با کربونیزه شدن گرمایی زیست توده‌های خشک و یا مرطوب تولید می‌شود. در این پژوهش، بعد از تولید بیوجار و هیدروچار از چوب سیب، با ترسیب ذرات هیدروکسید دوگانه لایه‌ای (LDH) بر روی سطوح بیوجار و هیدروچار، به ترتیب ترکیب‌های LDH-بیوجار و LDH-هیدروچار ساخته شد و هر گرم از این ترکیب‌ها به ترتیب با ۵۱ و ۴۷ (میلی‌گرم فسفر بارگذاری شد (LDH-P-بیوجار و LDH-P-هیدروچار). سپس با استفاده از یک آزمایش گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با ۳ تکرار، اثر بیوجار، هیدروچار، LDH، LDH-بیوجار، LDH-هیدروچار، LDH-P-بیوجار و LDH-P-هیدروچار در حضور و عدم حضور کود مونوکلسیم فسفات بر وزن شاخساره و ریشه خشک، غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم شاخساره و غلظت فسفر و پتاسیم ریشه ذرت بررسی شد. نتایج نشان داد که بیوجار نسبت به هیدروچار دارای درصد عملکرد و خاکستر، pH و EC بیشتری بود و غلظت عناصر مورد بررسی به جز نیتروژن در بیوجار بیشتر از هیدروچار بود. با مصرف کود فسفر در خاک، وزن شاخساره و ریشه خشک در تمام سطوح اصلاحگر به جز LDH-P-بیوجار و LDH-P-هیدروچار نسبت به تیمار بدون اصلاحگر افزایش یافت. بیشترین وزن شاخساره و ریشه خشک گیاه در تیمارهای LDH-P-بیوجار و LDH-P-هیدروچار و کم‌ترین وزن شاخساره و ریشه خشک در حضور LDH به دست آمد. مصرف کود فسفر در حضور LDH-بیوجار و LDH-هیدروچار باعث افزایش معنادار غلظت فسفر شاخساره و ریشه ذرت شد اما بر غلظت
کلمات کلیدی: بیوجار، ذرت فسفر، کربنیزه شدن، هیدروچار، هیدروکسید دوگانه لایه‌ای	
*عهده‌دار مکاتبات Email: n-najafi@tabrizu.ac.ir	

نیترژن و پتاسیم شاخساره اثر معنادار نداشت و غلظت پتاسیم ریشه را در حضور بیوجار و LDH-بیوجار و در شاهد کاهش داد. بیشترین غلظت فسفر شاخساره و ریشه و بیشترین غلظت نیترژن شاخساره در دو تیمار LDH-P-بیوجار و LDH-P-هیدروچار مشاهده شد. کود فسفر با بیوجار، هیدروچار، LDH-بیوجار و LDH-هیدروچار در افزایش وزن شاخساره و ریشه خشک و غلظت فسفر شاخساره و ریشه گیاه برهم کنش هم‌افزایی ولی با LDH، LDH-P-بیوجار و LDH-P-هیدروچار برهم کنش ناهمسازی داشت. بنابراین، مصرف بیوجار، هیدروچار، LDH-بیوجار و LDH-هیدروچار به همراه کود فسفر و ترکیب‌های LDH-P-بیوجار و LDH-P-هیدروچار بدون مصرف کود فسفر برای کشت ذرت در شرایط مشابه می‌تواند پیشنهاد شود.

و هیدروچار^۱ به‌عنوان جاذب‌های ارزان، دوست‌دار محیط زیست و با کارایی قابل قبول برای حذف انواع آلاینده‌ها از آب مورد توجه قرار گرفته‌اند (۳۹). بیوجار ماده جامد سیاه‌رنگ کربنی است که از حرارت دادن زیست‌توده خشک در شرایط اکسیژن کم و یا بدون اکسیژن در دمای ۴۰۰ تا ۷۰۰ درجه سلسیوس و طی فرآیندی به نام گرماکافت^۲ تولید می‌شود (۳۸). هیدروچار، یک ماده جامد قهوه‌ای با ویژگی‌هایی مشابه لیگنیت^۳ می‌باشد که از حرارت دادن زیست‌توده خشک و یا مرطوب در داخل یک سامانه بسته، در حضور یک مایع (عمدتاً آب)، در فشار ۱۰ تا ۳۰ بار و دمای ۱۸۰ تا ۲۳۰ درجه سلسیوس در طی فرآیندی به نام کربونیزه شدن گرماآبی (HTC)^۴ تولید می‌شود (۸). تاکنون بیوجار و هیدروچار برای حذف آلاینده‌های آنیونی و کاتیونی از آب مورد استفاده قرار گرفته‌اند (۳۹) اما به‌علت غالب بودن بار منفی در سطوح آن‌ها، کارایی چندانی در جذب آنیون‌ها از جمله فسفات ندارند (۴۵). با این حال، در چند سال اخیر پژوهشگران با استفاده از روش‌های مختلف و با ایجاد تغییراتی در سطوح بیوجار و هیدروچار توانسته‌اند ظرفیت آن‌ها را برای جذب آنیون‌ها از جمله فسفات

مقدمه

منابع معدنی کودهای فسفوری (سنگ فسفات) منابعی تجدیدناپذیر بوده و در جهان رو به اتمام است. از طرف دیگر، فسفر یک عنصر غذایی ضروری برای گیاهان محسوب می‌شود و با افزایش روزافزون جمعیت جهان و افزایش تقاضا برای تولید محصولات کشاورزی، نیاز به این عنصر غذایی در کشاورزی روزبه‌روز در حال افزایش است (۶). بنابراین، با اتمام منابع سنگ‌های فسفاتی جهان در سال‌های آینده، استفاده از منابع جایگزین برای تولید کودهای فسفر اهمیت ویژه‌ای خواهد داشت. هر سال مقدار بسیار زیادی فسفر از طریق پساب‌های کشاورزی، صنعتی و شهری وارد محیط زیست شده و منجر به آلودگی محیط زیست و مختل شدن بوم‌نظام‌های آبی می‌شود. فسفر موجود در این آب‌های حاوی فسفر را می‌توان بازیابی و دوباره مورد استفاده قرار داد (۴۵). تاکنون روش‌های مختلفی برای بازیابی فسفر از آب‌های آلوده استفاده شده‌اند که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به روش جذب سطحی اشاره کرد. با این حال، بسیاری از جاذب‌های پیشنهاد شده به‌علت‌های مختلف از جمله کارایی کم، گران بودن و دشواری بازیابی و استفاده مجدد، در عمل چندان مورد توجه قرار نگرفته‌اند (۶ و ۴۵). در سال‌های اخیر، بیوجار

1- Biochar and hydrochar

2- Pyrolysis

3- Lignite

4- Hydrothermal carbonization, HTC

علاوه بر آن، تبدیل زیست توده به هیدروچار و به ویژه بیوچار باعث ترسیب کربن^۶ اتمسفر می شود (۱۶). بیوچار و هیدروچار می توانند با افزایش پایداری خاکدانه های خاک، ظرفیت نگهداری رطوبت خاک را افزایش دهند (۱) و با افزایش تخلخل و تهویه خاک، مانع از تشکیل و انتشار گازهای گلخانه ای از جمله متان، اکسید نیتروژن و دی اکسید کربن شوند. همچنین، به علت سطح ویژه و ظرفیت تبادل کاتیونی نسبتاً زیاد، می توانند عناصر غذایی را در خاک نگهداری و از آبشویی و هدرروی آنها جلوگیری کرده (۱۹) و پویایی آلاینده ها را در خاک کاهش دهند. بدین ترتیب، بیوچار و هیدروچار می توانند با بهبود ویژگی های خاک، کارایی مصرف عناصر غذایی و کودها را افزایش دهند (۱۶ و ۳۱). کمبود ماده آلی در اغلب خاک های زراعی کشور ایران موجب کاهش کارایی کودهای شیمیایی در خاک شده و کشاورزان برای جلوگیری از کاهش عملکرد محصول به ناچار میزان مصرف کودهای شیمیایی عناصر غذایی پرمصرف از جمله نیتروژن، فسفر و پتاسیم را افزایش می دهند. نیتروژن، فسفر و پتاسیم به عنوان عناصر غذایی پرمصرف نقش اساسی در تغذیه و عملکرد گیاهان زراعی دارد (۱۴). با این حال، نتایج پژوهش های بلندمدت نشان می دهد که استفاده بیش از حد از کودهای شیمیایی باعث افزایش آلودگی خاک و آب، تخریب خاک و بهم خوردن تعادل ریزجانداران و گیاهان بومی خاک و تعادل عناصر غذایی قابل جذب گیاه در خاک شده و عملکرد گیاهان زراعی را کاهش می دهد (۱۲). بنابراین، با توجه به خطرهای زیست محیطی ناشی از مصرف زیاد کودهای شیمیایی و هزینه های زیاد آنها، بهتر است بخشی از کودهای شیمیایی با کودهای آلی جایگزین شود. بر همین اساس، امروزه پژوهشگران مصرف تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی را توصیه می - نمایند (۱۴ و ۳۰). برای مثال، احمدی نژاد و همکاران (۲) و جوانمرد و همکاران (۱۴) نشان دادند که مصرف توأم

افزایش دهند. به عنوان مثال، ژانگ و همکاران^۱ (۴۹)، لی و همکاران^۲ (۲۲) و وان و همکاران^۳ (۴۲) با تولید ذرات هیدروکسید دوگانه لایه ای (LDH) بر روی سطوح کربنی بیوچار و هیدروچار، ترکیب های LDH-بیوچار و LDH-هیدروچار تولید کرده و نتایج موفقیت آمیزی از مصرف این ترکیب ها در حذف آنیون ها از جمله فسفات از آب گزارش کرده اند. LDH ها ورقه های هشت وجهی شبه پروسیت با آنیون یا اکسی آنیون بین لایه ای می باشند که به علت داشتن بارهای مثبت زیاد، توانایی زیادی در جذب آنیون ها و اکسی آنیون ها دارند (۱۳). وان و همکاران (۴۲) گزارش کردند که ترکیب های LDH-بیوچار و LDH-هیدروچار بعد از جذب فسفر از آب، به علت داشتن مقدار نسبتاً زیاد فسفر می توانند به عنوان کود فسفر مورد استفاده قرار گیرند. بنابراین، با استفاده از LDH-بیوچار و LDH-هیدروچار می توان از یک طرف فسفر را از آب های آلوده جذب کرد و از طرف دیگر جاذب های بارگیری شده با فسفر را به عنوان کود فسفر به خاک اضافه کرد. با این کار علاوه بر بازیابی فسفر از آب و استفاده مجدد آن در خاک، بیوچار و هیدروچار به عنوان مواد کربنی با پایداری و اثر باقی مانده زیاد به خاک افزوده شده و کربن آلی خاک نیز افزایش می یابد. با توجه به نقش کربن آلی خاک در کیفیت خاک و تولید پایدار محصولات کشاورزی، توصیه شده است از بیوچار و هیدروچار برای افزایش ذخیره کربن آلی خاک و بهبود حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاهان استفاده شود (۱ و ۳۱). بیوچار و هیدروچار با بهبود ویژگی های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک، نقش مؤثری در افزایش حاصلخیزی خاک و افزایش رشد گیاه دارند. به عنوان مثال، یوزوما و همکاران^۵ (۴۱) افزایش حاصلخیزی خاک و رشد گیاه ذرت با مصرف بیوچار در خاک را گزارش کردند.

1- Zhang *et al.*2- Li *et al.*3- Wan *et al.*

4- Layered double hydroxide

5- Uzoma *et al.*

6- Carbon sequestration

فسفر (LDH-P-هیدروچار)، LDH-بیوچار، LDH-هیدروچار، بیوچار، هیدروچار و LDH بر وزن شاخساره و ریشه خشک، غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم شاخساره و غلظت پتاسیم و فسفر ریشه ذرت در حضور و عدم حضور کود فسفر بود.

مواد و روش‌ها

تولید مواد و ترکیب‌های مورد استفاده در این پژوهش

زیست‌توده مورد استفاده برای تولید بیوچار و هیدروچار شامل ضایعات چوب حاصل از هرس درختان سیب از یک باغ در شهرستان میاندوآب در استان آذربایجان غربی تهیه شد.

برای تولید بیوچار و هیدروچار، ابتدا زیست‌توده چوب سیب به ذرات حدود ۲ تا ۵ میلی‌متر خرد و هواخشک شد. سپس با آب مقطر و آب دیونیزه شسته شده و در داخل آون در دمای ۶۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت خشک شد. برای تولید بیوچار، زیست‌توده در حضور جریان گاز آرگون در دمای ۶۰۰ درجه سلسیوس، با متوسط سرعت افزایش دمای ۱۰ درجه سلسیوس بر دقیقه و به مدت یک ساعت گرم‌کافت آهسته شد (۴۳). برای تولید هیدروچار از رآکتور کربونیزه‌شدن گرم‌آبی استفاده شد (۳۶). برای این کار، ۲۰ گرم از زیست‌توده به همراه ۵۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر به درون مخزن رآکتور با قطر و ارتفاع به ترتیب ۱۰ و ۴۰ سانتی‌متر ریخته و درب آن محکم بسته شد. سپس مخلوط زیست‌توده و آب در دمای ۱۸۰ درجه سلسیوس و در فشار ۱۱ اتمسفر به مدت ۱۲ ساعت حرارت داده شد (کربونیزه‌شدن گرم‌آبی). سرعت متوسط افزایش دمای درون مخزن تا رسیدن به دمای ۱۸۰ درجه سلسیوس برابر با ۱۰ درجه سلسیوس بر دقیقه بود. بعد از اتمام واکنش با استفاده از کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲ بخش جامد هیدروچار از بخش مایع آن جدا شد (۴۹).

کودهای آلی و شیمیایی بیشترین تأثیر را بر افزایش رشد و عملکرد به ترتیب گندم و ذرت داشت.

ذرت از لحاظ میزان تولید در جهان بعد از گندم رتبه دوم و از لحاظ سطح زیر کشت بعد از گندم و برنج جایگاه سوم را دارد. این محصول مهم‌ترین ماده غذایی دنیا بعد از گندم و برنج محسوب می‌شود. در کشور ایران به دلیل آهکی و قلیایی بودن بیشتر خاک‌ها و رایج بودن تنش کم‌آبی، فسفر در خاک با کلسیم واکنش داده و به شکل‌های کم‌محلول تبدیل شده و از دسترس گیاه خارج می‌شود (۴۸). با توجه به اینکه ذرت یک گیاه پرنیاز می‌باشد، با کمبود فسفر قابل جذب گیاه ذرت در خاک، عملکرد آن کاهش می‌یابد. بنابراین، کمبود فسفر یکی از عوامل مهم محدودکننده کشت ذرت در ایران است (۴۸). در حالی که بیوچار و هیدروچار می‌تواند با افزایش کربن آلی و بهبود ویژگی‌های خاک، به‌طور مستقیم و غیرمستقیم فراهمی عناصر غذایی از جمله نیتروژن، فسفر و پتاسیم را افزایش داده و رشد گیاه را بهبود دهد (۳۱). به عنوان مثال، گزارش شده است که با مصرف بیوچار تولید شده از کود دامی در خاک، جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم به وسیله گیاه ذرت افزایش یافت (۴۱).

ریشه گیاه به علت برهم‌کنش مستقیم با عناصر، ریزجانداران و انواع ترکیب‌های آلی و معدنی در خاک، نقش تعیین‌کننده‌ای در رشد و عملکرد گیاه دارد. عناصر غذایی مورد نیاز گیاه ابتدا به وسیله ریشه‌های آن از خاک جذب و سپس به شاخساره منتقل و در اندام‌های مختلف گیاه توزیع می‌شود (۲۴). بنابراین، با بررسی تغییرات غلظت عناصر غذایی در ریشه و شاخساره گیاه می‌توان اطلاعات مفیدی از وضعیت تغذیه گیاه به دست آورد. با این حال، تاکنون اثر ترکیب‌های LDH-بیوچار و LDH-هیدروچار و همچنین اثر بیوچار و هیدروچار بر غلظت عناصر غذایی در ریشه و شاخساره گیاه ذرت بررسی نشده است. بنابراین، هدف از این پژوهش بررسی اثر ترکیب‌های LDH-بیوچار بارگیری‌شده با فسفر (LDH-P-بیوچار)، LDH-هیدروچار بارگیری‌شده با

مدت ۶ ساعت در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس حرارت داده شد. بعد از خشک شدن تا دمای اتاق، بوته دوباره به-دقت توزین و درصد خاکستر زیست توده، بیوجار و هیدروچار از رابطه (۲) محاسبه شد(۸):

$$\text{Ash (\%)} = (M_a/M_c) \times 100 \quad (2)$$

که در آن، M_a و M_c به ترتیب وزن خاکستر و وزن آون خشک زیست توده، بیوجار و یا هیدروچار بر حسب گرم می باشد. برای تعیین pH و EC از نسبت ۱:۲۰ (آب مقطر): (ماده خشک زیست توده، بیوجار یا هیدروچار) (۸) و به ترتیب از pH سنج HANNA مدل 209 pH و EC سنج RS232 مدل 8301 استفاده شد. برای تعیین غلظت عناصر فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، سدیم، آهن، منگنز، مس و روی در زیست توده، بیوجار و هیدروچار از روش هضم خشک استفاده شد (۸). نمونه های هضم شده از کاغذ صافی عبور داده شدند و غلظت سدیم و پتاسیم عصاره ها با دستگاه فلیم فتومتر مدل CORNING 410، فسفر با روش اسید آسکوربیک و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل SU6100 ساخت شرکت Philler Scientific آمریکا (۲۹) و غلظت کلسیم، منیزیم، آهن، منگنز، مس و روی با استفاده از دستگاه طیف سنج جذب اتمی مدل AA-6300 Shimadzu ژاپن اندازه گیری شد. غلظت نیتروژن زیست توده، بیوجار و هیدروچار با روش کج لادال (۱۵) تعیین شد.

بارگذاری فسفر بر روی ترکیب های LDH-

بیوجار و LDH-هیدروچار

برای بارگذاری فسفر بر روی ترکیب های LDH-بیوجار و LDH-هیدروچار، ۰/۱ گرم از هر ترکیب در داخل یک ارلن مایر ۱۰۰ میلی لیتری به ۵۰ میلی لیتر محلول ۰/۰۳ مولار کلرید پتاسیم حاوی ۲۰۰ میلی گرم فسفر بر لیتر افزوده شد و pH اولیه محلول با استفاده از محلول های ۰/۱ مولار هیدروکسید سدیم و اسید کلریدریک در ۳ تنظیم شد. سپس تعلیق ها به مدت ۲ ساعت با ۱۷۰ دور در دقیقه تکان داده شدند و با استفاده

برای تولید ترکیب های LDH-بیوجار و LDH-هیدروچار، مقدار ۱۰ گرم بیوجار و یا هیدروچار به ۱۰۰ میلی لیتر محلول حاوی ۰/۰۳ مول کلرید منیزیم و ۰/۰۱ مول کلرید آلومینیم افزوده شد و pH آن با استفاده از محلول ۱ مولار هیدروکسید سدیم به ۱۰ رسانده شد. سپس تعلیق های^۱ به دست آمده در دمای ۸۰ درجه سلسیوس به مدت ۳ روز مسن سازی^۲ شدند و سپس نمک های اضافی با استفاده از آب مقطر شسته شدند (۴۲ و ۴۹). برای تولید LDH یک محلول حاوی کلرید منیزیم و کلرید آلومینیم با نسبت مولی Mg:Al برابر ۳:۱ زیر اتمسفر N₂ به یک محلول حاوی هیدروکسید سدیم افزوده شد و pH آن با استفاده از محلول ۱ مولار هیدروکسید سدیم به ۱۰ رسانده شد. سپس نمک های اضافی شسته شدند و تعلیق باقی مانده، در دمای ۱۸۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت در شرایط گرمایی قرار داده شد (۲۶). ترکیب های LDH، LDH-بیوجار و LDH-هیدروچار تولید شده بعد از خشک شدن در دمای ۸۰ درجه سلسیوس در داخل آون، خرد شده و ازدو الک ۰/۵ و ۱ میلی متر عبور داده شد و از ذرات با اندازه ۰/۵ تا ۱/۰ میلی متر برای آزمایش استفاده شد (۵۰).

تعیین ویژگی های زیست توده، بیوجار و

هیدروچار تولید شده

عملکرد بیوجار و هیدروچار از رابطه (۱) محاسبه

شد (۸):

$$Y (\%) = (M_c/M_b) \times 100 \quad (1)$$

که در آن، M_c ، M_b و Y به ترتیب درصد عملکرد، وزن آون خشک بیوجار یا هیدروچار بر حسب گرم و وزن آون خشک زیست توده بر حسب گرم می باشد. برای اندازه گیری درصد خاکستر، ۵ گرم از نمونه آون خشک زیست توده، بیوجار و یا هیدروچار در داخل کروزه چینی ریخته شد و در داخل کوره الکتریکی به-

1- Suspension

2- Aging

نیتروژن، پتاسیم، آهن، منگنز، روی و مس به ترتیب به مقدار ۲۰۰، ۱۰۰، ۱۵، ۱۰، ۱۵ و ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم به ترتیب از منابع اوره، سولفات پتاسیم، سولفات آهن، سولفات منگنز، سولفات روی و سولفات مس در داخل آب مقطر حل و به خاک هر گلدان افزوده و خوب مخلوط شد. کود فسفر از منبع مونوکلسیم فسفات $(Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O)$ تهیه شده از شرکت مرک آلمان به صورت محلول در آب مقطر به تیمارهای دارای فسفر افزوده شد.

سپس ۸ عدد بذر جوانه‌دار شده ذرت (*Zea mays* L.) رقم سینگل کراس ۷۰۴ در هر گلدان کشت و بعد از ۱۰ روز به ۴ گیاه تنک شد. خاک همه گلدان‌ها با استفاده از آب مقطر، به روش وزنی آبیاری و در رطوبت ظرفیت مزرعه نگه داشته شد. ۱۰۰ روز پس از کاشت، گیاهان از محل طوقه قطع و ریشه‌ها به دقت از خاک هر گلدان جداسازی شد. سپس ریشه‌ها و شاخساره‌ها با استفاده از آب مقطر شسته و برای تعیین وزن ریشه و شاخساره خشک، در ۶۰ درجه سلسیوس به مدت ۷۲ ساعت در آون تهویه دار خشک و سپس توزین شد. ریشه‌ها و شاخساره‌های خشک شده خرد و الک شد. برای تعیین غلظت فسفر و پتاسیم از روش خشک‌سوزانی و حل کردن خاکستر در اسید استفاده شد (۴۴).

غلظت فسفر و پتاسیم در عصاره‌های گیاهی با همان روش‌های مورد استفاده برای تعیین غلظت عناصر در زیست‌توده، بیوجار و هیدروچار تعیین شد. برای تعیین غلظت نیتروژن شاخساره گیاه از روش کجلدال (۱۵) استفاده شد. فاکتور انتقال به عنوان شاخصی از توانایی گیاه در انتقال عناصر از ریشه به شاخساره، از تقسیم غلظت عنصر در شاخساره به غلظت عنصر در ریشه گیاه تعیین شد (۲۱).

از فیلترهای سرسرنگی با منافذ ۰/۲ میکرون صاف و غلظت فسفر در محلول به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر مدل SU6100 ساخت شرکت Philler Scientific آمریکا، به روش اسید آسکوربیک تعیین شد (۲۲). هریک از ترکیب‌های LDH-P-بیوجار و LDH-P-هیدروچار به اندازه بیشترین ظرفیت جذب با فسفر بارگذاری شدند؛ به طوری که یک گرم از ترکیب‌های LDH-P-بیوجار و LDH-P-هیدروچار به ترتیب با ۵۱ و ۴۷ میلی‌گرم فسفر بارگذاری شدند.

آزمایش گلخانه‌ای

اثر بیوجار، هیدروچار، LDH، LDH-P-بیوجار، LDH-هیدروچار، LDH-P-بیوجار و LDH-P-هیدروچار بر وزن شاخساره و ریشه خشک، غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم شاخساره و غلظت فسفر و پتاسیم ریشه ذرت با استفاده از یک آزمایش گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با ۳ تکرار بررسی شد. فاکتورهای آزمایش شامل هشت نوع ماده اصلاحگر افزوده شده به خاک شامل (بیوجار، هیدروچار، LDH، LDH-P-بیوجار، LDH-هیدروچار، LDH-P-بیوجار و LDH-P-هیدروچار و شاهد) و کود فسفر در ۲ سطح (صفر و ۸۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک) بود. خاک مورد مطالعه از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری یک مزرعه در ایستگاه تحقیقات کشاورزی خلعت‌پوشان دانشگاه تبریز ($38^{\circ}01'15.1''N$ و $46^{\circ}25'18.8''E$) نمونه برداری شد و برخی از ویژگی‌های آن با استفاده از روش‌های استاندارد متداول (۵ و ۳۲) تعیین شد (جدول ۱). این خاک آهکی بود و کمبود فسفر و مواد آلی داشت. دو کیلوگرم از خاک مذکور با ۲۰ گرم از بیوجار، هیدروچار، LDH، LDH-P-بیوجار، LDH-هیدروچار، LDH-P-بیوجار و LDH-P-هیدروچار مخلوط و به داخل گلدان‌های ۵ کیلوگرمی ریخته شد. سپس با استفاده از آب مقطر، رطوبت خاک به ظرفیت مزرعه‌ای رسانده و به مدت ۱۵ روزنگه‌داری شد. سپس کودهای

جدول (۱) برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه قبل از کاشت ذرت

Table (1) Some physical and chemical properties of the studied soil before the corn cultivation

مقدار Value	ویژگی Property	مقدار Value	ویژگی Property
4.8	فسفر قابل جذب (mg/kg) Available-P	لوم شنی Sandy loam	بافت Soil texture
188	پتاسیم قابل جذب (mg/kg) Available-K	Fine, mixed, active, mesic Typic Calcixerepts	طبقه‌بندی با Soil Taxonomy 2014
2.13	آهن قابل جذب (mg/kg) Available-Fe	7.59	pH گلی اشباع pH _e
0.65	روی قابل جذب (mg/kg) Available-Zn	2.57	قابلیت هدایت الکتریکی (dS/m) E _c
0.56	مس قابل جذب (mg/kg) Available-Cu	30.7	کربنات کلسیم معادل (Calcium (%)) carbonate equivalent
7.3	منگنز قابل جذب (mg/kg) Available-Mn	0.79	کربن آلی (%) Organic carbon
		0.05	نیترژن کل (%) Total N

اینکه در فرآیند گرماکافت نسبت به کربونیزه شدن گرمابی از دمای بیشتری استفاده شد، احتمال دارد شدت فرآیندهای کربونیزه شدن در بیوچار بیشتر از هیدروچار بوده (۳۸) و منجر به خروج درصد بیشتری از هیدروژن و اکسیژن از ساختار زیست توده شده است. در نتیجه، درصد عملکرد بیوچار کمتر ولی درصد خاکستر، pH و EC آن بیشتر از هیدروچار شده است.

pH و EC بیشتر بیوچار نسبت به زیست توده و هیدروچار به غلظت بیشتر عناصر قلیایی در بیوچار مربوط می‌باشد در حالی که هیدروچار به علت غلظت کمتر عناصر قلیایی و وجود برخی ترکیب‌های اسیدی در ساختار خود غالباً دارای pH اسیدی می‌باشد و به علت غلظت کم یون‌ها، EC آن کمتر از بیوچار می‌باشد. کمتر بودن عملکرد و بیشتر بودن pH و درصد خاکستر در بیوچار نسبت به هیدروچار را پژوهشگران دیگر نیز قبلاً گزارش کرده‌اند (۳۱ و ۳۸).

غلظت عناصر مورد بررسی در زیست توده، بیوچار و هیدروچار مورد بررسی در جدول ۳ نشان داده شده است. غلظت همه عناصر مورد مطالعه به جز نیترژن، در بیوچار بیشتر از زیست توده و هیدروچار بود.

مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. برای تحلیل آماری داده‌ها از نرم افزار SPSS و برای رسم نمودارها از نرم افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

ترکیب شیمیایی زیست توده، بیوچار و هیدروچار مورد مطالعه

وزن خشک (عملکرد)، درصد خاکستر، pH و EC زیست توده، بیوچار و هیدروچار مورد بررسی در جدول ۲ ارائه شده است. بیوچار نسبت به هیدروچار دارای درصد عملکرد کمتر ولی درصد خاکستر بیشتری بود. گرماکافت و کربونیزه شدن گرمابی با آبکافت و تجزیه سلولز، همی سلولز و بخشی از لیگنین، بخش زیادی از هیدروژن و اکسیژن را از ساختار زیست توده خارج می‌سازد. در نتیجه، ویژگی آروماتیکی کربن و پایداری ماده کربنی تولیدشده (بیوچار و هیدروچار) افزایش می‌یابد. علاوه بر آن، خروج بخش زیادی از اکسیژن و هیدروژن از ساختار زیست توده منجر به کاهش درصد عملکرد بیوچار و هیدروچار شده و با غلیظ شدن عناصر معدنی در بیوچار و هیدروچار، درصد خاکستر، pH و EC آن افزایش می‌یابد (۸). با توجه به

عظیم‌زاده و همکاران: اثر کود فسفر و ترکیب‌های هیدروکسید...

جدول (۲) عملکرد، درصد خاکستر، pH و EC در زیست‌توده، بیوچار و هیدروچار مورد بررسی

Table (2) The yield, ash percentage, pH, and EC of the studied biomass, biochar, and hydrochar

EC (dS/m)	pH	خاکستر (%)	عملکرد (g)	
0.11 ^b	6.57 ^b	1.22 ^c	-	زیست‌توده Biomass
0.19 ^a	9.52 ^a	7.53 ^a	23.1	بیوچار Biochar
0.08 ^c	5.84 ^c	1.45 ^b	55.1	هیدروچار Hydrochar

اعداد با حروف لاتین مشابه در هر ستون با آزمون چنددامنه‌ای دانکن تفاوت معنادار ندارند ($p < 0.05$).

Numbers followed by the same letters are not significantly different by Duncan multiple range test at $p < 0.05$

جدول (۳) غلظت عناصر غذایی در زیست‌توده، بیوچار و هیدروچار تولید شده (mg/kg)

Table (3) Nutrient concentration in the biomass, biochar, and hydrochar (mg/kg)

Zn	Cu	Mn	Fe	Na	Mg	Ca	K	P	N	
132.0 ^c	75.4 ^b	3.99 ^c	333.3 ^c	328.7 ^c	461.0 ^b	1641.0 ^b	581.7 ^c	147.3 ^c	0.35 ^a	زیست‌توده Biomass
275.2 ^a	421.7 ^a	23.0 ^a	906.8 ^a	1631.7 ^a	1008.6 ^a	5942.3 ^a	1777.3 ^a	395.0 ^a	0.16 ^b	بیوچار Biochar
235.2 ^b	88.3 ^b	9.74 ^b	454.1 ^b	393.3 ^b	463.1 ^b	1680.0 ^b	1140.0 ^b	178.7 ^b	0.36 ^a	هیدروچار Hydrochar

اعداد با یک حرف لاتین مشابه در هر ستون با آزمون چنددامنه‌ای دانکن تفاوت معنادار ندارند ($p < 0.05$).

Numbers followed by the same letters are not significantly different by Duncan multiple range test at $p < 0.05$

یارگیکوخلو و همکاران^۱ (۴۶) غلظت نیتروژن بیوچار تولید شده از چوب کاج در دمای ۶۰۰ درجه سلسیوس را برابر با ۰/۴ درصد گزارش کردند. بهشتی و علیخانی (۳) غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و سدیم در زیست‌توده کاه و کلش گندم را به ترتیب ۴/۷۳، ۱/۷۴، ۲/۴۳، ۱/۱۴، ۰/۷۶ و ۰/۵۲ گرم بر کیلوگرم گزارش کردند و نشان دادند که بعد از تبدیل زیست‌توده به بیوچار در دمای ۶۰۰ درجه سلسیوس، غلظت این عناصر در بیوچارهای تولید شده به ترتیب به ۴/۶۱، ۱/۹۸، ۲/۸۸، ۱/۹۳، ۱/۱۳ و ۰/۸۹ گرم بر کیلوگرم تغییر یافت.

اثر متقابل کود فسفر و نوع اصلاحگر افزوده شده

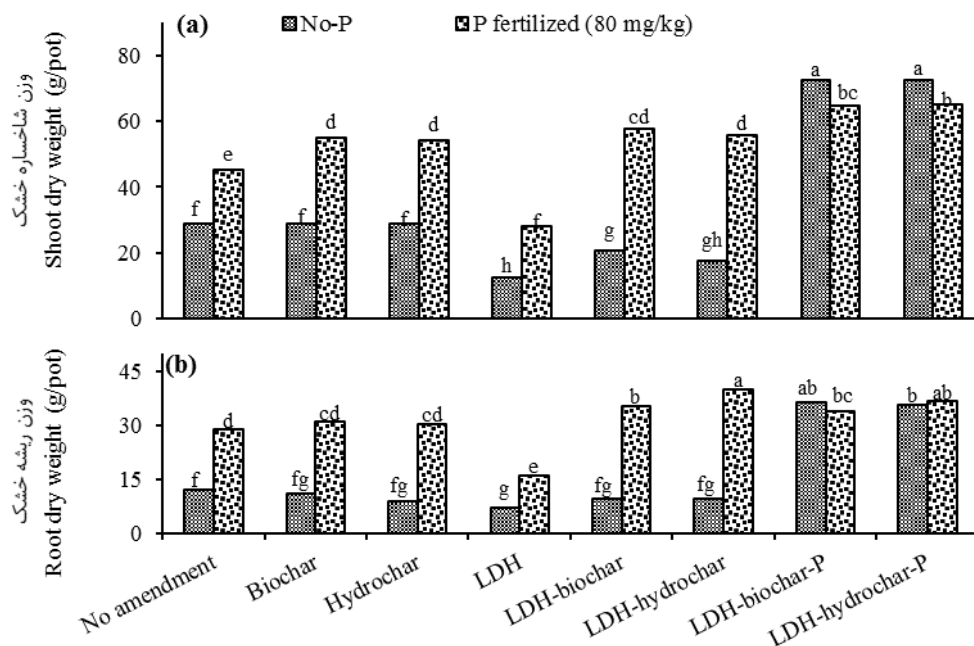
به خاک بر وزن شاخساره و ریشه خشک ذرت

مقایسه میانگین‌های وزن شاخساره و ریشه خشک ذرت برای اثر متقابل کود فسفر و نوع اصلاحگر افزوده شده به خاک در شکل ۱ ارائه شده است.

نتایج نشان داد که با مصرف کود فسفر در خاک، وزن شاخساره و ریشه خشک در تمام سطوح اصلاحگر

افزایش غلظت عناصر در بیوچار نسبت به زیست‌توده به تغلیظ این عناصر در بیوچار در طی فرآیند گرماکافت مربوط می‌باشد که با خروج اکسیژن و هیدروژن از زیست‌توده و کاهش عملکرد در بیوچار تغلیظ شده‌اند (۳۸). کاهش غلظت نیتروژن در بیوچار نسبت به زیست‌توده و هیدروچار به علت خروج آن از ساختار زیست‌توده به صورت گاز در طی فرآیند گرماکافت می‌باشد. نیتروژن در دماهای بالا معمولاً به صورت گازهای اکسید نیتروژن و یا ترکیب‌های با وزن مولکولی کم از زیست‌توده خارج می‌شود. به عنوان مثال، گزارش شده است که در فرآیند تبدیل کود مرغی به بیوچار، با رسیدن دمای گرماکافت به ۴۰۰ درجه سلسیوس بیش از ۵۶ درصد نیتروژن کود مرغی به صورت گازهای N_2O ، NO و NO_2 و یا به صورت ترکیب‌های آلی با وزن مولکولی کم از زیست‌توده خارج شد.

به همین علت پیشنهاد شده است که برای جلوگیری از هدرروی نیتروژن در بیوچار، از دماهای کمتری برای تولید بیوچار استفاده شود (۳۷).



شکل (۱) مقایسه میانگین‌های ماده خشک شاخساره (a) و ریشه (b) ذرت برای اثر متقابل کود فسفر و نوع اصلاحگر افزوده شده به خاک

Figure (1) Means comparison of the shoot (a) and root dry matter (b) of corn for P-fertilizer × amendment interaction

کم مصرف می‌باشد. نعیم و همکاران^۲ (۲۸) گزارش کردند که مصرف هم‌زمان کودهای NPK و بیوجار کلش گندم در افزایش رشد گیاه ذرت بسیار مؤثرتر از مصرف کودهای شیمیایی NPK و بیوجار به صورت تنها بود. شارما و همکاران^۳ (۳۵) در یک آزمایش ۲ ساله در مزرعه نشان دادند که وزن شاخساره و ریشه خشک گندم با مصرف بیوجار چوب و کودهای شیمیایی NPK در خاک افزایش یافت؛ اما بیشترین مقدار با مصرف هم‌زمان بیوجار و NPK به دست آمد. برهم‌کنش‌های هم‌افزایی کود فسفر با بیوجار و هیدروچار به بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک به وسیله بیوجار و هیدروچار و برهم‌کنش هم‌افزایی کود فسفر با LDH، LDH-بیوجار و LDH-هیدروچار احتمالاً به نقش این ترکیب‌ها در جذب و نگهداری فسفر افزوده شده به خاک و جلوگیری از تثبیت آن در خاک مربوط می‌باشد (۲۰ و ۴۱). رونقی و همکاران (۳۴) گزارش

به جز LDH-P-بیوجار و LDH-P-هیدروچار نسبت به تیمار بدون اصلاحگر افزایش یافت و وزن شاخساره و ریشه خشک در گلدان‌های حاوی LDH-P-بیوجار و LDH-P-هیدروچار نسبت به تیمار بدون اصلاحگر تفاوت معنادار نشان نداد و کود فسفر در حضور این دو اصلاحگر باعث کاهش وزن شاخساره خشک شد (شکل ۱). این نتایج نشان می‌دهد که در صورتی که به همراه بیوجار، هیدروچار، LDH، LDH-بیوجار و LDH-هیدروچار کود فسفر نیز به خاک افزوده شود می‌تواند رشد گیاه ذرت را افزایش داده و باعث افزایش ماده خشک آن شود اما در صورت مصرف LDH-P-بیوجار و LDH-P-هیدروچار نباید از کود فسفر استفاده شود زیرا بر رشد گیاه اثر منفی خواهد داشت.

این اثر منفی احتمالاً به علت زیادی فسفر و برهم خوردن تعادل عناصر غذایی در خاک و گیاه و اثرهای ناهمسازی^۱ فسفر با برخی عناصر غذایی از جمله عناصر غذایی

2- Naeem et al.
3- Sarma et al.

1-Antagonistic

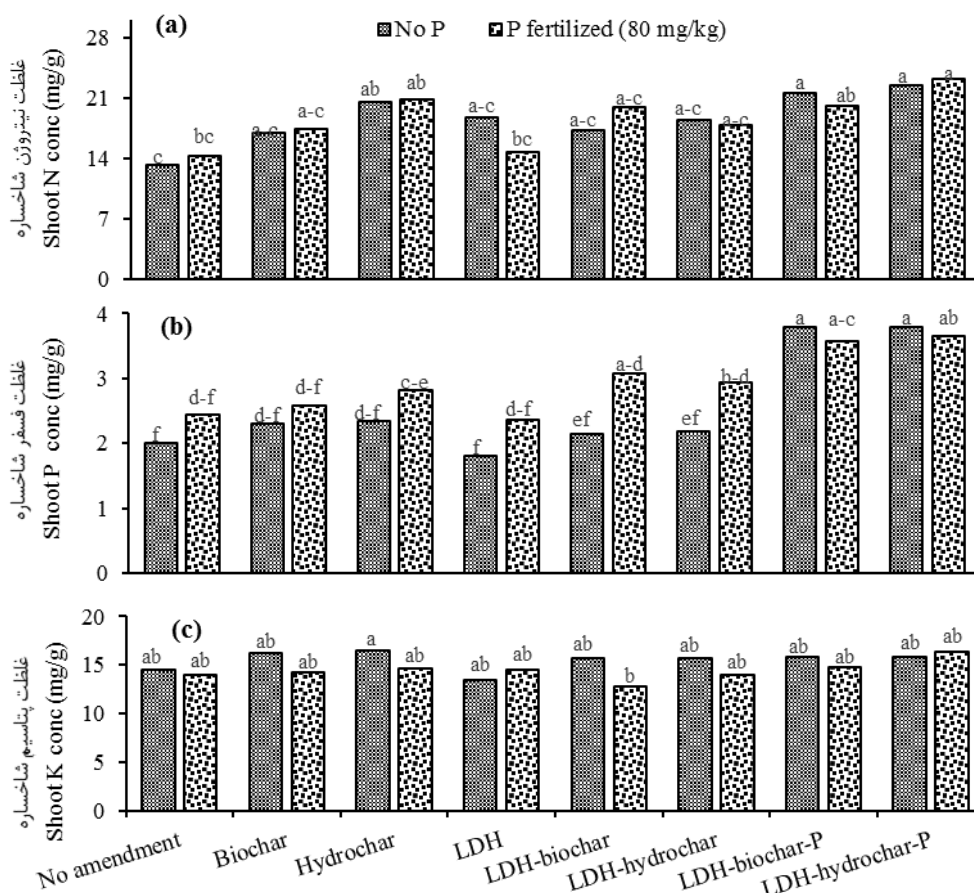
اثر متقابل کود فسفر و نوع اصلاحگر افزوده شده به خاک بر غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم شاخساره ذرت

مقایسه میانگین‌های غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم شاخساره ذرت برای اثر متقابل کود فسفر و نوع اصلاحگر افزوده شده به خاک در شکل ۲ ارائه شده است. نتایج نشان داد که مصرف کود فسفر در خاک بر غلظت نیتروژن و پتاسیم در تمام سطوح اصلاحگر اثر معنادار نداشت و غلظت فسفر شاخساره را تنها در دو تیمار LDH-بیوچار و LDH-هیدروچار به طور معنادار افزایش داد. عدم تأثیر معنادار کود فسفر بر غلظت نیتروژن و پتاسیم شاخساره ذرت به این علت است که با افزایش فسفر فراهم خاک، رشد گیاه (شکل ۱) و جذب فسفر، نیتروژن و پتاسیم به وسیله گیاه افزایش یافته و سرعت جذب این عناصر متناسب با سرعت رشد گیاه افزایش یافته است. چان و همکاران^۳ (۴) با بررسی اثر کود نیتروژن و بیوچار بر غلظت و جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم در گیاه تربچه مشاهده کردند که با مصرف کود نیتروژن و بیوچار در خاک، به علت افزایش متناسب سرعت جذب عناصر و سرعت رشد گیاه، غلظت برخی عناصر غذایی در گیاه کاهش یافت. مطلبی فرد و همکاران^۴ (۲۷) گزارش دادند که با مصرف ۶۰ میلی گرم فسفر بر کیلوگرم یک خاک آهکی غلظت نیتروژن غده‌های سیب‌زمینی کاهش یافت و غلظت پتاسیم تغییر معناداری نکرد. اثر مصرف کود فسفر بر افزایش معنادار غلظت فسفر شاخساره ذرت در حضور LDH-بیوچار و LDH-هیدروچار احتمالاً به نقش این دو ترکیب به عنوان تبادلگرهای آنیونی در خاک مربوط می‌شود. تقریباً ۷۵ تا ۹۰ درصد از فسفر افزوده شده به خاک به وسیله آهن، آلومینیم (در خاک‌های اسیدی) و کلسیم (در خاک‌های قلیایی) تثبیت می‌شود و با وجود مقدار نسبتاً زیاد فسفر در بسیاری از خاک‌ها، به دلیل تثبیت زیاد فسفر در خاک، بسیاری از خاک‌ها با کمبود فسفر قابل جذب گیاه مواجه می‌باشند (۱۲).

کردند که با مصرف ۸۰ میلی گرم فسفر بر کیلوگرم خاک، وزن شاخساره خشک ذرت به طور معنادار افزایش یافت. در شرایط بدون مصرف کود فسفر، بیوچار و هیدروچار بر وزن شاخساره و ریشه خشک ذرت اثر معنادار نداشتند اما بعد از مصرف کود فسفر در خاک، بیوچار و هیدروچار وزن شاخساره خشک را نسبت به تیمار بدون اصلاحگر به طور معنادار افزایش دادند (شکل ۱) که احتمالاً به مقدار عناصر غذایی کم بیوچار و هیدروچار و همچنین به افزایش احتمالی نسبت C/N خاک مربوط می‌باشد. کلووس و همکاران^۱ (۱۷) نشان دادند که بیوچار تولید شده از چوب به علت غلظت کم عناصر غذایی و افزایش نسبت C/N خاک، بر عملکرد خردل، جو و شبدر اثر معنادار نداشت. همچنین تامپورگ و همکاران^۲ (۴۰) گزارش کردند که بیوچار چوبی به علت درصد عناصر فراهم کم در ساختار خود بر عملکرد گندم اثر معنادار نداشت.

بیشترین وزن شاخساره و ریشه خشک گیاه در تیمارهای LDH-P-بیوچار و LDH-P-هیدروچار مشاهده شد که به علت رها شدن فسفر از این ترکیب‌ها به خاک و پاسخ گیاه به افزایش فسفر فراهم خاک در حضور این دو ترکیب می‌باشد. همچنین، کم‌ترین وزن شاخساره و ریشه خشک در حضور LDH به دست آمد که احتمالاً به اثرهای بازدارنده ناشی از حل‌پذیری ذرات LDH در خاک (۱۰) و در نتیجه آسیب رساندن به اجزای مختلف یاخته‌های گیاه و در نهایت محدودیت در جذب آب و عناصر غذایی مربوط می‌باشد. با این حال، بعد از مصرف کود فسفر در خاک، وزن شاخساره و ریشه تر و خشک گیاه در تیمار LDH به طور معنادار افزایش یافت. احتمالاً با مصرف کود فسفر در خاک و با تبادل آنیون‌های کلرید در بین لایه‌های ذرات LDH با آنیون‌های فسفات، پایداری ذرات LDH در خاک افزایش یافته (۱۷) و اثرهای بازدارنده آن بر رشد ریشه کاهش یافته است (۲۰).

3- Chan *et al.*4- Motalebifard *et al.*1- Kloss *et al.*2- Tammeorg *et al.*



شکل (۲) مقایسه میانگین‌های غلظت نیتروژن (a)، فسفر (b) و پتاسیم (c) در شاخساره ذرت برای اثر متقابل کود فسفر و نوع اصلاحگر افزوده شده به خاک

Figure (2) Means comparison of the concentrations of N (a), P (b) and K (c) in corn shoot for P-fertilizer × amendment interaction

غلظت فسفر شاخساره ذرت در حضور LDH-P-بیوجار و LDH-P-هیدروچار و همچنین بیشتر بودن غلظت فسفر شاخساره در دو تیمار LDH-P-بیوجار و LDH-P-هیدروچار نسبت به تیمار بدون اصلاحگر و به‌ویژه نسبت به دو تیمار LDH-بیوجار و LDH-هیدروچار در شرایط بدون مصرف کود فسفر در خاک نشان‌گر نقش کودی LDH-P-بیوجار و LDH-P-هیدروچار در خاک و رهاشدن فسفر موجود در این ترکیب‌ها به خاک می‌باشد.

حاتمی و همکاران^۱ (۱۱) و اورارت و همکاران^۲ (۷) با بررسی امکان مصرف به‌ترتیب Zn/Al-LDH و

با توجه به خالی بودن مکان‌های جذبی ترکیب‌های LDH-بیوجار و LDH-هیدروچار، احتمالاً این ترکیب‌ها در خاک به‌عنوان تبادلگرهای آنیونی، با جذب و نگهداری فسفر از تثبیت فسفر در خاک جلوگیری کرده و فسفر مورد نیاز گیاه را به تدریج در اختیار آن قرار داده‌اند و علاوه بر آن، با ممانعت از افزایش یک‌باره غلظت فسفر در خاک و گیاه، از به هم خوردن تعادل عناصر غذایی در خاک و گیاه و بروز برهم‌کنش‌های ناهمسازی بین فسفر و سایر عناصر کاسته‌اند. حلاج‌نیا و همکاران (۱۰) نشان دادند که Mg/Al-LDH با آنیون بین‌لایه‌ای کلرید می‌تواند به‌عنوان تبادلگر آنیونی با جذب و نگهداری نیترات، از آتشویی نیترات از خاک جلوگیری کند. عدم تأثیر معنادار مصرف کود فسفر بر

1- Hatami

2- Everaert *et al.*

سرعت رشد شاخساره متناسب با سرعت جذب عناصر افزایش یافته است. علاوه بر آن، ممکن است بیوچار و هیدروچار بر غلظت این عناصر در بخشی از گیاه مانند ساقه، برگ و یا خوشه اثر معنادار داشته است اما با توجه به اینکه در این پژوهش کل شاخساره گیاه با هم برای تعیین غلظت عناصر استفاده شد، این اثر قابل تفکیک نبود. به عنوان مثال، منجیو و همکاران^۳ (۲۵) گزارش کردند که مصرف بیوچار در خاک باعث افزایش معنادار غلظت نیتروژن ساقه، پوسته و مغز بادام‌زمینی شد اما بر غلظت فسفر ساقه، پوسته و مغز بادام‌زمینی اثر معنادار نداشت و با وجود اینکه بر غلظت پتاسیم پوسته و ساقه اثر معنادار نداشت اما باعث افزایش معنادار غلظت پتاسیم مغز بادام‌زمینی شد. شارما و همکاران^۴ (۳۵) نیز عدم تأثیر معنادار بیوچار چوب بر غلظت نیتروژن شاخساره گندم را گزارش کردند.

اثر متقابل کود فسفر و نوع اصلاحگر افزوده شده

به خاک بر غلظت فسفر و پتاسیم ریشه ذرت

مقایسه میانگین‌های غلظت فسفر و پتاسیم ریشه ذرت برای اثر متقابل کود فسفر و نوع اصلاحگر افزوده شده به خاک در شکل ۳ ارائه شده است. مصرف کود فسفر در حضور LDH-بیوچار و LDH-هیدروچار باعث افزایش غلظت فسفر ریشه ذرت شد که احتمالاً به نقش این ترکیب‌ها به عنوان تبادلگرهای آنیونی در خاک مربوط می‌باشد. افزایش غلظت فسفر ریشه بعد از افزودن کود فسفر به خاک ممکن است به علت افزایش فسفر قابل جذب گیاه در خاک و جذب بیشتر فسفر به وسیله ریشه گیاه باشد. غلظت عناصر غذایی در گیاهان مختلف ممکن است بسته به مصرف یا عدم مصرف کودهای آلی و شیمیایی متفاوت باشد (۲۴). رفیعی و همکاران^۵ (۳۳) نشان دادند که با افزودن کود فسفر به خاک غلظت و جذب فسفر در شاخساره ذرت افزایش یافت.

Mg/Al-LDH حاوی آنیون بین‌لایه‌ای فسفات به عنوان کود فسفوری در خاک به این نتیجه رسیدند که این ترکیب‌ها بعد از افزودن به خاک می‌توانند فسفر خود را به خاک رها کرده و در اختیار گیاه قرار دهند. حییبی و همکاران (۹) نشان دادند که غلظت فسفر و پتاسیم شاخساره گیاه تاج‌خروس بعد از مصرف ۲ درصد وزنی بیوچار حاصل از کمپوست پسماند شهری به خاک افزایش یافت که به علت رهایش مستقیم مقادیری از این عناصر از بیوچار به خاک و همچنین به علت بهبود ویژگی‌های خاک به وسیله بیوچار بود.

غلظت نیتروژن و فسفر شاخساره در حضور LDH-

P-بیوچار و LDH-P-هیدروچار در مقایسه با تیمار بدون اصلاحگر به طور معنادار بیشتر بود که احتمالاً به رها شدن فسفر موجود در این ترکیب‌ها به خاک و برهم‌کنش‌های هم‌افزایی بین فسفر و نیتروژن مربوط می‌باشد. کویلراج و همکاران^۱ (۱۸) ترکیب Ni/Al-LDH را پس از بارگذاری با فسفر به عنوان منبع تأمین‌کننده فسفر در یک نوع جلبک سبز (کاهوی دریایی)^۲ به کار بردند. نتایج آنان نشان داد که در مقادیر یکسان فسفر، میزان رشد جلبک سبز در حضور LDH-P بیشتر از KH_2PO_4 و فاضلاب بود. نتایج گزارش‌های مختلف نشان می‌دهد که فسفر دارای برهم‌کنش‌های هم‌افزایی با عناصر غذایی پرمصرف از جمله نیتروژن می‌باشد (۲۴). به عنوان مثال، چان و همکاران (۴) با بررسی اثر کود نیتروژن و بیوچار بر غلظت و جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم در گیاه تربچه برهم‌کنش هم‌افزایی نیتروژن با فسفر را گزارش کردند.

غلظت فسفر و پتاسیم شاخساره در تیمارهای بیوچار و هیدروچار با تیمار بدون اصلاحگر تفاوت معنادار نشان نداد. با توجه به اینکه بیوچار و هیدروچار وزن شاخساره خشک گیاه را به طور معنادار افزایش دادند (شکل ۱)، عدم تأثیر معنادار بیوچار و هیدروچار بر غلظت فسفر و پتاسیم شاخساره گیاه ممکن است به این علت باشد که

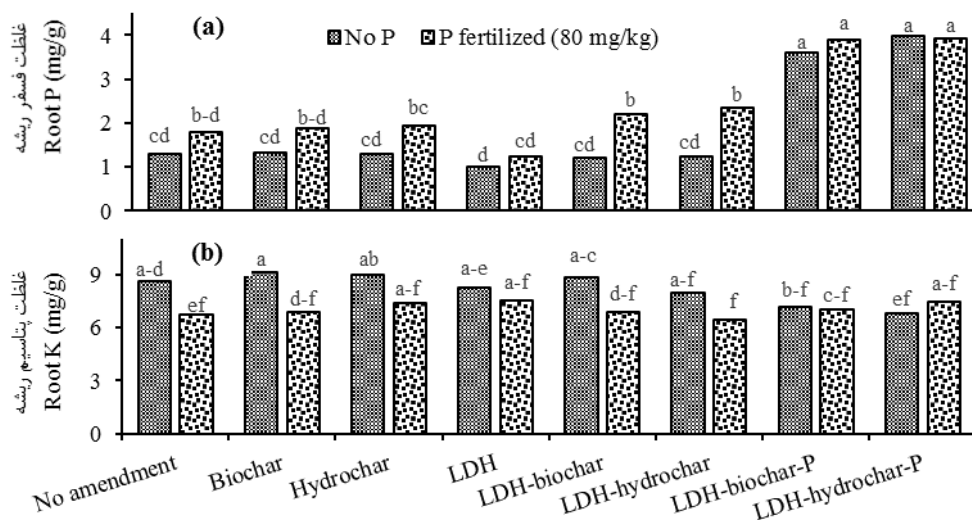
3- Mengyu *et al.*

4- Sarma

5- Rafiee

1- Koilraj *et al.*

2- *Ulva lactuca*



شکل (۳) مقایسه میانگین‌های غلظت فسفر (a) و پتاسیم (b) در ریشه ذرت برای اثر متقابل کود فسفر و نوع اصلاحگر افزوده شده به خاک

Figure (3) Means comparison of the concentrations of P (a) and K (b) in corn root for P-fertilizer x amendment interaction

گذشت زمان به‌طور آهسته و تدریجی انجام می‌گیرد. بر همین اساس، آنان بیان کردند که می‌توان از این ترکیب‌ها به‌عنوان کود کندرهای فسفوری در خاک‌ها استفاده کرد.

رهایش کند فسفر از ترکیب‌های LDH-P-بیوچار و LDH-P-هیدروچار نه تنها از تثبیت و هدرروی فسفر در خاک جلوگیری می‌کند بلکه با جلوگیری از افزایش یک‌باره غلظت فسفر فراهم خاک، از برهم خوردن تعادل عناصر غذایی و برهم‌کنش‌های ناهمسازی بین فسفر و سایر عناصر غذایی در خاک جلوگیری می‌کند. به‌عنوان مثال، اورارت و همکاران (۷) گزارش کردند که فسفر موجود در Mg/Al-LDH در یک خاک آهکی دچار کمبود فسفر به‌آهستگی آزاد شده و در اختیار گیاه قرار گرفت و به‌علت رهایش کند فسفر از این ترکیب، وزن خشک و غلظت فسفر در گیاه جو در تیمار Mg/Al-LDH-P نسبت به تیمار KH_2PO_4 بیشتر بود.

مصرف کود فسفر در تیمارهای بدون اصلاحگر، بیوچار و هیدروچار بر غلظت فسفر ریشه اثر معنادار نداشت. با افزودن کود فسفر به خاک، بر اثر افزایش فسفر قابل جذب گیاه در خاک، رشد ریشه و جذب فسفر

بیشترین غلظت فسفر ریشه ذرت در حضور LDH-P-بیوچار و LDH-P-هیدروچار به‌دست آمد و مصرف کود فسفر در حضور این دو ترکیب، تغییر معناداری در غلظت فسفر ریشه ایجاد نکرد که ممکن است به مقدار قابل توجه فسفر بارگذاری شده در این ترکیب‌ها مربوط باشد. نتایج پژوهش‌های مختلف نشان می‌دهد که فسفر بارگذاری شده بر روی ترکیب‌های LDH نه تنها قابلیت رهایش از این ترکیب‌ها را دارد بلکه رهایش فسفر از این ترکیب‌ها با الگوی رهایش کند انجام می‌شود. به‌عنوان مثال، حاتمی و همکاران (۱۱) با افزودن Zn/Al-LDH با آنیون بین‌لایه‌ای فسفات به یک خاک آهکی، آزادسازی فسفر از Zn/Al-LDH را با کود سوپرفسفات ساده مورد مقایسه قرار دادند و گزارش کردند که در ابتدا فسفر قابل جذب گیاه در خاک در تیمار سوپرفسفات ساده بیشتر از تیمار Zn/Al-LDH بود ولی با گذشت زمان، فسفر قابل جذب در تیمار Zn/Al-LDH بیشتر از سوپرفسفات ساده بود. آنان نتیجه گرفتند که Zn/Al-LDH برخلاف سوپرفسفات ساده فسفر را به‌یک‌باره و با الگوی انفجاری به خاک آزاد نمی‌کند بلکه رهایش فسفر از Zn/Al-LDH با

عظیم‌زاده و همکاران: اثر کود فسفر و ترکیب‌های هیدروکسید...

فسفر در خاک، فاکتور انتقال فسفر در تیمارهای LDH-P-بیوچار و LDH-هیدروچار به‌طور معنادار کمتر از تیمار بدون اصلاحگر بود.

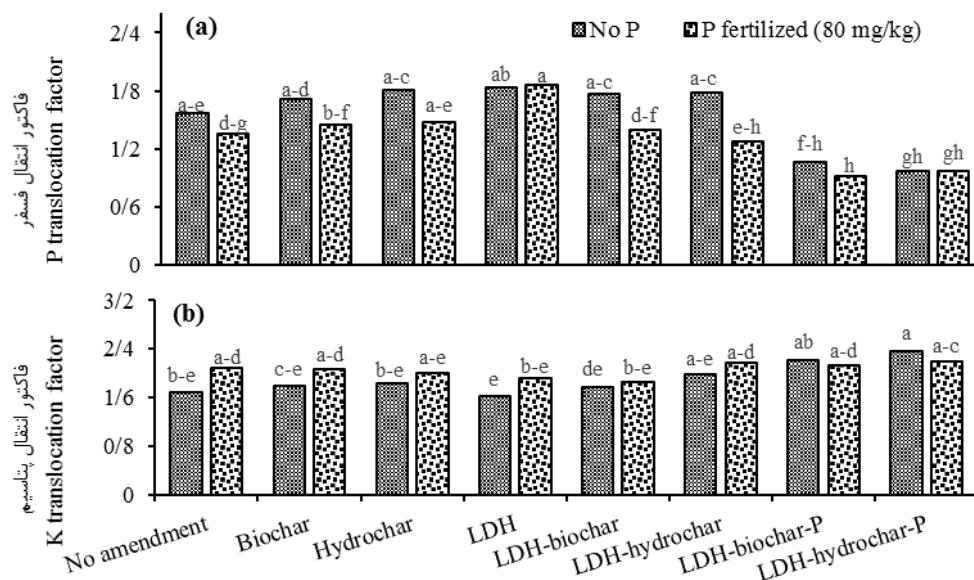
بنابراین، کاهش فاکتور انتقال فسفر در حضور LDH-بیوچار و LDH-هیدروچار بعد از مصرف کود فسفر و در حضور LDH-P-بیوچار و LDH-P-هیدروچار قبل از مصرف کود فسفر در خاک ممکن است به رهاسازی آهسته فسفر از این ترکیب‌ها به خاک مربوط باشد زیرا LDH-بیوچار و LDH-هیدروچار می‌توانند فسفر افزوده شده به خاک را جذب و مانند LDH-P-بیوچار و LDH-P-هیدروچار آن را به تدریج به محلول خاک رها کنند. مصرف کود فسفر در خاک علاوه بر کاهش فاکتور انتقال فسفر، باعث کاهش فاکتور انتقال کلسیم، منیزیم، آهن و روی در ذرت شد (داده‌ها ارائه نشده است). بنابراین، یکی از علت‌های کاهش فاکتور انتقال فسفر تشکیل پیوند بین فسفات و این فلزها در ریشه و کاهش انتقال آن‌ها از ریشه به شاخساره می‌باشد. علاوه بر آن، ممکن است فسفر رها شده از این ترکیب‌ها به تدریج در سطوح ریشه و منافذ آن به صورت ترکیب با کلسیم، منیزیم، آهن و روی رسوب یافته و در طی فرایند شستشوی ریشه کاملاً از پوست ریشه جدا نشده و به همین علت غلظت فسفر در ریشه بیشتر از مقدار واقعی تعیین شده باشد. یزدانی مطلق و همکاران (۴۷) نشان دادند که مصرف کود فسفر در خاک باعث کاهش فاکتور انتقال فسفر در برنج شد و با افزایش مقدار فسفر افزوده شده به خاک، فاکتور انتقال فسفر به مقدار بیشتری کاهش یافت. اگر فاکتور انتقال یک عنصر بزرگتر از ۱ باشد نشان می‌دهد که غلظت آن عنصر در شاخساره گیاه بیشتر از ریشه بوده است (۲۱). فاکتور انتقال فسفر در همه سطوح اصلاحگر به جز LDH-P-بیوچار و LDH-P-هیدروچار و فاکتور انتقال پتاسیم در همه سطوح اصلاحگر بزرگتر از ۱ بود (شکل ۴) که نشان می‌دهد فسفر و پتاسیم جذب شده به وسیله گیاه بیشتر به شاخساره گیاه منتقل شده است.

به‌وسیله ریشه افزایش می‌یابد (۳۴) و علی‌رغم افزایش جذب فسفر به‌وسیله ریشه، ممکن است بر اثر متناسب بودن سرعت افزایش رشد ریشه و جذب فسفر، غلظت فسفر در ریشه تغییر معناداری نداشته باشد. ملکی نارگ-موسی و بلوچی (۲۳) نشان دادند که مصرف کود فسفر در خاک بر غلظت فسفر دانه ذرت شیرین اثر معنادار نداشت. مصرف کود فسفر باعث کاهش معنادار غلظت پتاسیم در سطوح بدون اصلاحگر، بیوچار و LDH-بیوچار شد (شکل ۲). کاهش غلظت پتاسیم ریشه بر اثر افزودن کود فسفر به خاک ممکن است به علت افزایش رشد ریشه بر اثر افزایش فسفر قابل جذب گیاه در خاک و اثر رقت ناشی از آن باشد. چان و همکاران (۴) گزارش کردند که با افزودن کود نیتروژن به خاک به علت اثر رقت ناشی از افزایش وزن شاخساره گیاه جو، غلظت کلسیم و منیزیم شاخساره گیاه کاهش یافت.

به‌علت این که بین بیوچار و هیدروچار، LDH-بیوچار و LDH-هیدروچار و LDH-P-بیوچار و LDH-P-هیدروچار از نظر ساختاری شباهت‌های زیادی وجود داشت، وزن شاخساره و ریشه خشک و غلظت عناصر مورد بررسی در ریشه و شاخساره ذرت در تیمارهای بیوچار و هیدروچار، LDH-بیوچار و LDH-هیدروچار و LDH-P-بیوچار و LDH-P-هیدروچار به صورت دویبدو تفاوت معنادار نداشت (شکل‌های ۱ تا ۳).

اثر متقابل کود فسفر و نوع اصلاحگر افزوده شده به خاک بر نسبت غلظت فسفر و پتاسیم شاخساره به ریشه ذرت

مقایسه میانگین‌های نسبت غلظت فسفر و پتاسیم شاخساره به ریشه (فاکتور انتقال) برای اثر متقابل کود فسفر و نوع اصلاحگر افزوده شده به خاک در شکل ۴ ارائه شده است. نتایج نشان داد که مصرف کود فسفر در خاک در حضور LDH-بیوچار و LDH-هیدروچار باعث کاهش معنادار فاکتور انتقال فسفر شد و بر فاکتور انتقال فسفر در سایر سطوح اصلاحگر اثر معنادار نداشت (شکل ۴). علاوه بر آن، در شرایط بدون مصرف کود



شکل (۴) مقایسه میانگین‌های فاکتور انتقال فسفر (a) و پتاسیم (b) از ریشه به شاخساره ذرت برای اثر متقابل کود فسفر و نوع اصلاحگر افزوده شده به خاک

Figure (4) Means comparison of the translocation factor of P (a) and K (b) in corn for P-fertilizer x amendment interaction

نتیجه گیری

در این پژوهش بیوچار، هیدروچار، LDH و ترکیب‌های LDH-بیوچار و LDH-هیدروچار با موفقیت تولید و هر گرم از LDH-بیوچار و LDH-هیدروچار به ترتیب با ۵۱ و ۴۷ میلی گرم فسفر بارگذاری شد و با استفاده از یک آزمایش گلخانه‌ای، اثر هر یک از این ترکیب‌ها بر غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم در شاخساره و غلظت فسفر و پتاسیم در ریشه و شاخساره ذرت مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بیوچار نسبت به هیدروچار دارای درصد عملکرد و خاکستر، pH و EC بیشتری بود و غلظت عناصر مورد بررسی به جز نیتروژن در بیوچار بیشتر از هیدروچار بود. نتایج آزمایش گلخانه‌ای نشان داد که با مصرف کود فسفر در خاک، وزن شاخساره و ریشه خشک در تمام سطوح اصلاحگر به جز LDH-P-بیوچار و LDH-P-هیدروچار نسبت به تیمار بدون اصلاحگر افزایش یافت و کود فسفر در حضور این دو اصلاحگر باعث کاهش وزن شاخساره خشک شد. در شرایط بدون مصرف کود فسفر، بیوچار و

همچنین فاکتور انتقال پتاسیم در همه سطوح اصلاحگر بیشتر از فسفر بود که ممکن است به نیاز گیاه به پتاسیم برای انجام فعالیت‌های آنزیمی، تنظیم روابط آبی، انجام فتوسنتز و فرآیندهای انتقال در شاخساره مربوط باشد. این نتایج با گزارش‌های سایر محققان مطابقت دارد (۴۷).

بعد از مصرف کود فسفر در خاک، فاکتور انتقال فسفر در تیمار LDH به طور معنادار بیشتر از تیمار بدون اصلاحگر و در تیمار LDH-P-بیوچار به طور معنادار کمتر از تیمار بدون اصلاحگر بود. مصرف کود فسفر در خاک بر فاکتور انتقال پتاسیم در تمام سطوح اصلاحگر اثر معنادار نداشت که نشان می‌دهد فسفر نقش چندانی در نگهداشت پتاسیم در ریشه گیاه و یا انتقال آن از ریشه به شاخساره نداشته است. با این حال، یزدانی مطلق و همکاران (۴۷) گزارش کردند که مصرف کود فسفر باعث کاهش فاکتور انتقال پتاسیم در برنج شد. فاکتور انتقال پتاسیم در تیمار LDH-P-هیدروچار به طور معنادار بیشتر از تیمار بدون اصلاحگر بود (شکل ۴).

بر فاکتور انتقال پتاسیم اثر معنادار نداشت. همچنین، بیوجار، هیدروچار، LDH، LDH-بیوجار و LDH-بیوجار بر فاکتور انتقال فسفر و پتاسیم اثر معنادار نداشتند. فاکتور انتقال فسفر در همه سطوح اصلاحگر به-جز LDH-P-بیوجار و LDH-P-هیدروچار بزرگتر از ۱ و کوچکتر از فاکتور انتقال پتاسیم بود. کود فسفر با بیوجار، هیدروچار، LDH-بیوجار و LDH-هیدروچار در افزایش وزن شاخساره و ریشه خشک و غلظت فسفر ریشه و شاخساره برهم‌کنش هم‌افزایی ولی با LDH، LDH-P-بیوجار و LDH-P-هیدروچار برهم‌کنش ناهمسازی داشت. بنابراین، مصرف بیوجار، هیدروچار، LDH-بیوجار و LDH-هیدروچار به‌همراه کود فسفر برای کشت ذرت پیشنهاد می‌شود. با توجه به اینکه در حضور و عدم حضور کود فسفر، بیشترین غلظت فسفر ریشه و شاخساره ذرت در دو سطح LDH-P-بیوجار و LDH-P-هیدروچار به‌دست آمد، مصرف ترکیب‌های LDH-بیوجار و LDH-هیدروچار بارگیری‌شده با فسفر بدون مصرف کود فسفر برای کشت ذرت پیشنهاد می‌شود.

هیدروچار بر وزن شاخساره و ریشه خشک ذرت اثر معنادار نداشتند اما بعد از مصرف کود فسفر در خاک، بیوجار و هیدروچار وزن شاخساره خشک را نسبت به تیمار بدون اصلاحگر به‌طور معنادار افزایش دادند. بیشترین وزن شاخساره و ریشه خشک گیاه، بیشترین غلظت فسفر شاخساره و ریشه و بیشترین غلظت نیتروژن در تیمارهای LDH-P-بیوجار و LDH-P-هیدروچار و کم‌ترین وزن شاخساره و ریشه خشک در حضور LDH به‌دست آمد. کود فسفر غلظت فسفر ریشه را در حضور LDH-بیوجار و LDH-هیدروچار افزایش ولی غلظت پتاسیم ریشه را در حضور بیوجار و LDH-بیوجار و در شاهد کاهش داد. همچنین، مصرف کود فسفر در خاک باعث افزایش معنادار غلظت فسفر شاخساره در دو تیمار LDH-بیوجار و LDH-هیدروچار شد و بر غلظت فسفر شاخساره در سایر سطوح اصلاحگر و بر غلظت نیتروژن و پتاسیم شاخساره در تمام سطوح اصلاحگر اثر معنادار نداشت. مصرف کود فسفر در خاک فاکتور انتقال فسفر را در حضور LDH-بیوجار و LDH-هیدروچار به‌طور معنادار کاهش داد اما در هیچ یک از سطوح اصلاحگر

منابع

1. 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: 183-191.
2. Ahmadinejad, R., Najafi, N., Aliasghar zad, N., and Oustan, S. 2013. Effects of organic and nitrogen fertilizers on water use efficiency, yield and the growth characteristics of wheat. *Water and Soil Science-University of Tabriz*, 23(2): 177-197. (in Persian with English abstract)
3. Beheshti, M. and Alikhani, H. 2016. Quality variations of biochar generated from wheat straw during slow pyrolysis process at different temperatures. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 26(2): 189-201. (in Persian with English abstract)
4. Chan, K.Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A., and Joseph, S. 2008. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. *Soil Research*, 45(8): 629-634.

5. Dane, J.H., and Topp, G.C. 2002. Methods of soil analysis. Part 4. Physical methods. ASA-CSSA-SSSA Publisher, USA, pp: 1663.
6. Desmidt, E., Ghyselbrecht, K., Zhang, Y., Pinoy, L., Van der Bruggen, B., Verstraete, W., Rabaey, K., and Meesschaert, B. 2015. Global phosphorus scarcity and full-scale P-recovery techniques: a review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 45: 336-384.
7. Everaert, M., Warrinnier, R., Baken, S., Gustafsson, J.P., De Vos, D., and Smolders, E. 2016. Phosphate-exchanged Mg–Al layered double hydroxides: A new slow release phosphate fertilizer. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 4: 4280-4287.
8. Fang, J., Gao, B., Chen, J., and Zimmerman, A.R. 2015. Hydrochars derived from plant biomass under various conditions: Characterization and potential applications and impacts. *Chemical Engineering Journal*, 267: 253-259.
9. Habibi, H., Motesarezadeh, B., and Alikhani, H. 2017. Effect of biochar and biological treatments on nutrient elements content (P, K, Ca, Mg, Fe and Mn) of *Amaranthus* in oil polluted soil. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 48(2): 369-384. (in Persian with English abstract)
10. Halajnia, A., Oustan, S., Najafi, N., Khataee, A., and Lakzian, A. 2016. Effects of Mg-Al layered double hydroxide on nitrate leaching and nitrogen uptake by maize in a calcareous soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 47: 1162-1175.
11. Hatami, H., Fotovat, A., and Halajnia, A. 2018. The effect of layered double hydroxide with phosphate as the interlayer anion on the availability of phosphorus in a calcareous soil. *Journal of Water and Soil-Ferdowsi University of Mashhad*, 32(1): 45-57. (in Persian with English abstract)
12. Havlin, J.L., Beaton, J.D., Tisdale, S.L., and Nelson, W.L. 2005. Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management. 7th Edition, Pearson Educational, Inc., Upper Saddle River, New Jersey.
13. Islam, M. and Patel, R. 2010. Synthesis and physicochemical characterization of Zn/Al chloride layered double hydroxide and evaluation of its nitrate removal efficiency. *Desalination*, 256: 120-128.
14. Javanmard, J., Mustafavi, S.H., and Khezri, A. 2014. Improvement of chemical fertilizers efficiency and the possibility of reduction of their application by using bio-fertilizers in the production of maize (*Zea mays* cv. SC704). *Research in Crop Ecosystems*, 1(4): 83-93. (in Persian with English abstract)
15. Jones Jr, J.B. 2001. Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. CRC press, Boca Raton, FL, USA, pp: 384.
16. Kibue, G.W. 2018. Use of biochar for increased crop yields and reduced climate change impacts from agricultural ecosystems: Chinese farmers perception and adoption strategy. *African Journal of Agricultural Research*, 13: 1063-1070.

17. Kloss, S., Zehetner, F., Wimmer, B., Buecker, J., Rempt, F., and Soja, G. 2014. Biochar application to temperate soils: effects on soil fertility and crop growth under greenhouse conditions. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 177(1): 3-15.
18. Koilraj, P., Antonyraj, C.A., Gupta, V., Reddy, C.R.K., and Kannan, S. 2013. Novel approach for selective phosphate removal using colloidal layered double hydroxide nanosheets and use of residue as fertilizer. *Applied Clay Science*, 86: 111-118.
19. Laird, D. and Rogovska, N. 2015. Biochar effects on nutrient leaching. *Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation*, 2: 521-542.
20. Lehmann, J., Rillig, M.C., Thies, J., Masiello, C.A., Hockaday, W.C., and Crowley, D. 2011. Biochar effects on soil biota—a review. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(9): 1812-1836.
21. Lentz, R. and Ippolito, J. 2012. Biochar and manure affect calcareous soil and corn silage nutrient concentrations and uptake. *Journal of Environmental Quality*, 41(4): 1033-1043.
22. Li, R., Wang, J.J., Zhou, B., Awasthi, M.K., Ali, A., Zhang, Z., Gaston, L.A., Lahori, A.H., and Mahar, A. 2016. Enhancing phosphate adsorption by Mg/Al layered double hydroxide functionalized biochar with different Mg/Al ratios. *Science of the Total Environment*, 559: 121-129.
23. Maleki Narg, M.M. and Balouchi, H.R. 2013. Effects of Nitrogen and Phosphorus chemical and biological fertilizers on yield and yield components of sweet corn (*Zea mays var saccharata*). *Journal of Plant Production*, 20(2): 37-57. (in Persian with English abstract)
24. Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Second Edition. Academic Press, USA, pp: 889.
25. Mengyu, G., Jinfeng, Y., Zhide, D., Jiahui, M., and Yahao, Z. 2017. Impact of application of biochar and biochar-based fertilizer on peanuts nutrient absorption and yield. *Advances in Engineering*, 126: 151-155.
26. Mohammadi, M., Bahmanyar, M., Sadeghzadeh, F., and Biparva, P. 2016. Synthesis of Mg/Al layered double hydroxide (LDH) nanoplates for efficient removal of nitrate from aqueous solutions. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 8: 1058-1071.
27. Motalebifard, R., Najafi, N., and Oustan, S. 2016. Effects of zinc and phosphorus on nutrients, starch and reducing sugar concentrations of potato tubers under with or without water deficit stress. *Journal of Water and Soil- Ferdowsi University of Mashhad*, 30(2): 497-510. (in Persian with English abstract)
28. Naeem, M.A., Khalid, M., Aon, M., Abbas, G., Amjad, M., Murtaza, B., Khan, W.U.D., and Ahmad, N. 2018. Combined application of biochar with compost and fertilizer improves soil properties and grain yield of maize. *Journal of Plant Nutrition*, 41 (1): 112-122.

29. Murphy, J. and Riley, J.P. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, 27: 31-36.
30. Najafi, N. 2016. Management of nitrogen nutrition of hydroponics and greenhouse plants. Forth National Congress of Hydroponics and Greenhouse Products, 5-7 September, Vali-e-Asr Rafsanjan University, Iran. (in Persian with English abstract)
31. Novak, J.M., Spokas, K.A., Cantrell, K.B., Ro, K.S., Watts, D.W., Glaz, B., Busscher, W.J., and Hunt, P.G. 2014. Effects of biochars and hydrochars produced from lignocellulosic and animal manure on fertility of a Mollisol and Entisol. *Soil Use and Management*, 30: 175-181.
32. Page, A.L., Miller, R.H., and Keeney, D.R. 1982. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. ASA-CSSA-SSSA Publisher, Madison, Wisconsin, USA, pp: 1143.
33. Rafiee, M., Nadian, H.A., Nour-mohammadi, G., and Karimi, M. 2004. Effects of drought stress, phosphorous and zinc application on concentration and total nutrient uptake by corn (*Zea mays* L.). *Iranian Journal of Agricultural Science*, 35(1): 235-243. (in Persian with English abstract)
34. Ronaghi, A., Chakerolhoseini, M.R., and Karimian, N. 2002. Growth and chemical composition of corn as affected by phosphorus and iron. *Journal of Water and Soil Science (Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)*, 6(2): 53-66. (in Persian with English abstract)
35. Sarma, B., Gogoi, N., Bharali, M., and Mali, P. 2017. Field evaluation of soil and wheat responses to combined application of hardwood biochar and inorganic fertilizers in acidic sandy loam soil. *Explorations in Agriculture*, (36): 1-13.
36. Schneider, D., Escala, M., Supawittayayothin, K., and Tippayawong, N. 2011. Characterization of biochar from hydrothermal carbonization of bamboo. *International Journal of Energy and Environment*, 2(4): 647-652.
37. Song, W. and Guo, M. 2012. Quality variations of poultry litter biochar generated at different pyrolysis temperatures. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 94: 138-145.
38. 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. *Chemical Engineering Journal*, 240: 574-578.
39. Takaya, C., Fletcher, L., Singh, S., Anyikude, K., and Ross, A. 2016. Phosphate and ammonium sorption capacity of biochar and hydrochar from different wastes. *Chemosphere*, 145: 518-527.
40. Tammeorg, P., Simojoki, A., Mäkelä, P., Stoddard, F.L., Alakukku, L., and Helenius, J. 2014. Short-term effects of biochar on soil properties and wheat yield formation with meat bone meal and inorganic fertiliser on a boreal loamy sand. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 191: 108-116.

41. Uzoma, K., 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(2): 205-212.
42. Wan, S., Wang, S., Li, Y., and Gao, B. 2017. Functionalizing biochar with Mg–Al and Mg–Fe layered double hydroxides for removal of phosphate from aqueous solutions. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 47:246-253.
43. Wang, S., Gao, B., Zimmerman, A.R., Li, Y., Ma, L., Harris, W.G., and Migliaccio, K.W. 2015. Physicochemical and sorptive properties of biochars derived from woody and herbaceous biomass. *Chemosphere*, 134: 257-262.
44. Westerman, R.L. 1990. *Soil Testing and Plant Analysis*. Soil Science Society of America, USA.
45. Xu, K., Lin, F., Dou, X., Zheng, M., Tan, W., and Wang, C. 2018. Recovery of ammonium and phosphate from urine as value-added fertilizer using wood waste biochar loaded with magnesium oxides. *Journal of Cleaner Production*, 187: 205-214.
46. Yargicoglu, E.N., Sadasivam, B.Y., Reddy, K.R., and Spokas, K. 2015. Physical and chemical characterization of waste wood derived biochars. *Waste Management*, 36: 256-268.
47. Yazdani Motlag, N., Reyhanitabar, A., and Najafi, N. 2014. Effects of combined application of Nitrogen and Phosphorus on their, and as well on Potassium uptake by rice plant under flooded vs. non-flooded conditions. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 44(2): 183-192.
48. Zarei, M., Saleh-Rastin, N., Alikhani, H.A., and Aliasgharzadeh, N. 2006. Responses of lentil to co-inoculation with phosphate-solubilizing rhizobial strains and arbuscular mycorrhizal fungi. *Journal of Plant Nutrition*, 29: 1509-1522.
49. Zhang, M., Gao, B., Fang, J., Creamer, A.E., and Ullman, J.L. 2014. Self-assembly of needle-like layered double hydroxide (LDH) nanocrystals on hydrochar: characterization and phosphate removal ability. *RSC Advances*, 4 (53): 28171-28175.
50. Zhang, M., Gao, B., Yao, Y., Xue, Y., and Inyang, M. 2012. Synthesis of porous MgO-biochar nanocomposites for removal of phosphate and nitrate from aqueous solutions. *Chemical Engineering Journal*, 210: 26-32.