

Investigating the Effect of Biochar and Hydrochar (Sugar Cane Bagasse) on Yield, Water Productivity and Nitrogen Leaching in Maize Cultivation

MARYAM KAZEMIZADEH¹, ABDALI NASERI^{*}, ABDOLRAHIM HOOSHMAND¹, MONA GOLABI¹, MOUSA MESKARBASHI²

1. Irrigation and Drainage Engineering, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Khuzestan, Iran.

2. Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Khuzestan, Iran.

(Received: May. 4, 2019- Revised: Aug. 21, 2019- Accepted: Dec. 25, 2019)

ABSTRACT

In the modern world, it is necessary to have a sustainable agricultural system in which natural resources are utilized and at the same time does not make any harmful to the environment. Nitrogen leaching is one of the most important problems in intensive farming for high crop production. Application of organic matter leads to reduce chemical inputs and achieve sustainable agricultural goals. Application of modified materials such as biochar and hydrochar can play an important role in creating optimal conditions for growth, increasing plant yield and reducing water consumption, as well as reducing nitrate leaching. In the present study, the effect of biochar and hydrochar, derived from sugar cane bagasse, on crop yield, water productivity and nitrogen leaching in maize cultivation under two irrigation levels of full and deficit (up to 30%) and two fertilization levels of 200 and 160 kg/ha of nitrogen for each source of urea, biochar and hydrochar were investigated. Adding biochar and hydrochar to the soil increased the yield and water productivity and reduced drainage outflow and nitrogen leaching. In contrast to hydrochar, biochar has a more effective role for the above mentioned parameters due to its high porosity and specific surface area. In comparison with urea application, using biochar and hydrochar at the optimum moisture conditions reduced drainage outflow 9.2 and 3.1% and nitrogen leaching 2.6 and 3.4%, respectively. Therefore, the use of biochar and hydrochar could be considered as an effective solution to reduce the negative effects of agriculture.

Keywords: Biochar, Hydrochar, Nitrogen leaching, Water productivity

بررسی تأثیر بیوچار و هیدروچار (باگاس نیشکر) بر عملکرد، بهره‌وری آب و آبشویی نیتروژن در کشت ذرت

مریم کاظمی زاده^۱، عبدعلی ناصری^{۲*}، عبدالرحیم هوشمند^۱، منا گلایی^۱، موسی مسکرباشی^۲

۱. گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۲. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۲/۱۴ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۵/۳۰ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۱۰/۴)

چکیده

در جهان امروزی نیاز به سیستم کشاورزی پایداری که در آن منابع زیست‌محیطی مورد استفاده قرار گیرد و در عین حال هیچ آسیبی به محیط‌زیست وارد نسازد، بسیار حیاتی است. هدرروی نیتروژن از مهم‌ترین مشکلات کشاورزی متراکم و پر تولید است. کاربرد منابع آلی موجب کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی و تحقق اهداف کشاورزی پایدار می‌شود. کاربرد مواد اصلاح‌کننده نظیر بیوچار و هیدروچار در ایجاد شرایط بهینه رشد و افزایش عملکرد گیاه و کاهش آب مصرفی و همچنین کاهش آبشویی نیترات نقش به‌سزایی می‌تواند ایفا کند. در تحقیق حاضر تأثیر بیوچار و هیدروچار حاصل از باگاس نیشکر بر عملکرد محصول و بهره‌وری آب و آبشویی نیتروژن در کشت ذرت تحت دو سطح آبیاری کامل و کم‌آبیاری (به‌اندازه ۳۰ درصد) و دو سطح کوددهی ۲۰۰ و ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن برای هر کدام از منابع اوره، بیوچار و هیدروچار بررسی شد. افزودن بیوچار و هیدروچار به خاک موجب افزایش عملکرد محصول، و بهره‌وری آب و کاهش میزان زه‌آب خروجی و آبشویی نیتروژن از خاک شد. بیوچار در مقایسه با هیدروچار به دلیل تخلخل بالا و سطح ویژه بیشتر نقش مؤثرتری بر هریک از پارامترهای فوق داشت. با کاربرد بیوچار و هیدروچار در شرایط مطلوب رطوبتی در مقایسه با کاربرد اوره میزان زه‌آب خروجی به‌ترتیب ۹/۲ و ۳/۱ درصد کاهش داشت و میزان کاهش آبشویی نیتروژن نیز به‌ترتیب برابر ۶/۲ و ۳/۴ درصد بود. بنابراین استفاده از بیوچار و هیدروچار می‌تواند به‌عنوان یک راهکار مؤثر برای کاهش اثرات منفی کشاورزی مطرح باشد.

واژه‌های کلیدی: بیوچار، هیدروچار، آبشویی نیتروژن، بهره‌وری آب.

مقدمه

امروزه کشاورزان برای بالا بردن میزان تولیدات خود به‌منظور تأمین و عرضه غذای موردنیاز جمعیت رو به رشد با مصرف زیاد کودهای شیمیایی به‌ویژه کودهای نیتروژن، موجبات رشد سریع و پرثمر گیاهان زراعی را فراهم می‌سازند. بنابراین هدرروی نیتروژن از مهم‌ترین مشکلات کشاورزی فشرده و پر تولید محسوب می‌شود. در یک سیستم کشاورزی معمول میزان آبشویی نیترات ۲۵ تا ۹۰ کیلوگرم در هکتار در سال گزارش شده است (Basso and Ritchie, 2005). در جهان امروزی نیاز به سیستم کشاورزی پایداری که در آن منابع زیست‌محیطی مورد استفاده قرار گیرد و در عین حال هیچ آسیبی به محیط‌زیست وارد نسازد، بسیار حیاتی است. در سال‌های اخیر به جنبه‌های کیفی خاک و افزایش تولید گیاهان زراعی با استفاده از بقایای گیاهی، کودهای سبز و منابع آلی به‌عنوان منابع تأمین‌کننده مواد آلی خاک و عناصر غذایی گیاهان توجه بسیاری شده است (Kumar and

Goh, 2000). پس بایستی با کاربرد منابع آلی موجب کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی و تحقق اهداف کشاورزی پایدار بود. از جمله این منابع آلی می‌توان بیوچار و هیدروچار را نام برد. بیوچار حاصل فرآیند گرماکافت ترکیبات زائد آلی مانند بقایای گیاهان زراعی و جنگلی و فضولات دامی در شرایط بدون اکسیژن یا اکسیژن محدود و دمای بالا است که سبب تشکیل مقداری ترکیبات کربنی فرار و همچنین مقداری ترکیبات کربن باقیمانده و خاکستر می‌شود؛ اما حرارت دادن زیست‌توده گیاهی یا مواد دیگر در یک محیط سرپسته تحت‌فشار و در حضور آب و در دمایی بین ۱۸۰ تا ۲۵۰ درجه سلسیوس منجر به تولید زغال هیدروچار و مواد آلی محلول می‌شود (Zhang et al., 2019). سطح ویژه بالای بیوچار نقش به‌سزایی در کاهش آبشویی نیترات و بهبود ظرفیت حفظ مواد غذایی ایفا می‌کند (Zhang et al., 2014; Li et al., 2016). همچنین افزودن بیوچار به خاک موجب نگهداشت نیترات در خاک و کاهش معنی‌دار آن در محلول خاک می‌شود

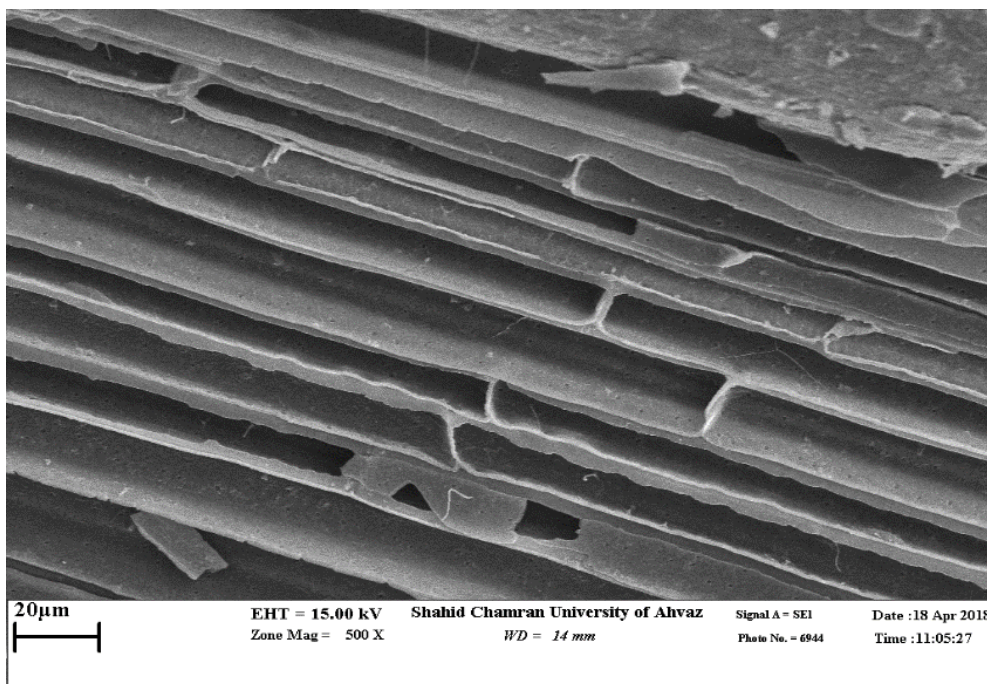
مواد و روش‌ها

هدف از انجام این مطالعه، در واقع بهبود مدیریت آب و کود نیتروژن و همچنین ایجاد سیستم‌هایی مناسب به منظور جایگزین و یا ترکیب کردن منابع آلی (بیوچار و هیدروچار حاصل از باگاس نیشکر) با کودهای شیمیایی در تولید ذرت بود. به منظور تهیه بیوچار ابتدا باگاس نیشکر چندین مرتبه با آب شسته و در هوای آزاد خشک شد. پس از آسیاب کردن، در ظروف درپوش‌دار ریخته شد و در کوره به مدت چهار ساعت با نرخ افزایش ۲۰ درجه سلسیوس بر دقیقه قرار گرفت. کوره در دمای ۳۰۰ درجه سلسیوس بر دقیقه تنظیم و باگاس در این دما به بیوچار تبدیل شد (Divband Hafshejani et al., 2015). برای تهیه هیدروچار نیز باگاس شسته شده، در هوای آزاد خشک و سپس آسیاب شد. در مرحله بعدی باگاس در ظروف درپوش‌دار مخصوص ریخته و در اتوکلاو از جنس فولاد ضدزنگ به همراه آب دیونیزه در درجه حرارت ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ تا ۶ ساعت حرارت داده شد. بعد از این مرحله و رسیدن دمای ظرف به دمای اتاق، پس از عبور محتویات از کاغذ صافی، ذرات جامد با آب دیونیزه شستشو و سپس در آن به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک گردید (Fang et al., 2015). برای تعیین درصد عناصر نیتروژن، کربن و هیدروژن از دستگاه تحلیل عنصری مدل ELIII-vario elemental ساخت کشور آلمان در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه شهید چمران اهواز استفاده شد. EC و pH بیوچار و هیدروچار نیز در عصاره ۱:۲۰ اندازه‌گیری و سطح ویژه بیوچار و هیدروچار نیز از روش جذب متیلن‌بلو تعیین شد (Divband Hafshejani et al., 2015). نتایج حاصل از این اندازه‌گیری‌ها در جدول (۱) آورده شده است. برای بررسی ساختار بیوچار و هیدروچار باگاس نیشکر از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی (Leo 1455 VP) ساخت کشور آلمان استفاده گردید. تصاویر بیوچار و هیدروچار گرفته شده توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی با بزرگ‌نمایی ۵۰۰ در شکل (۱) آورده شده است.

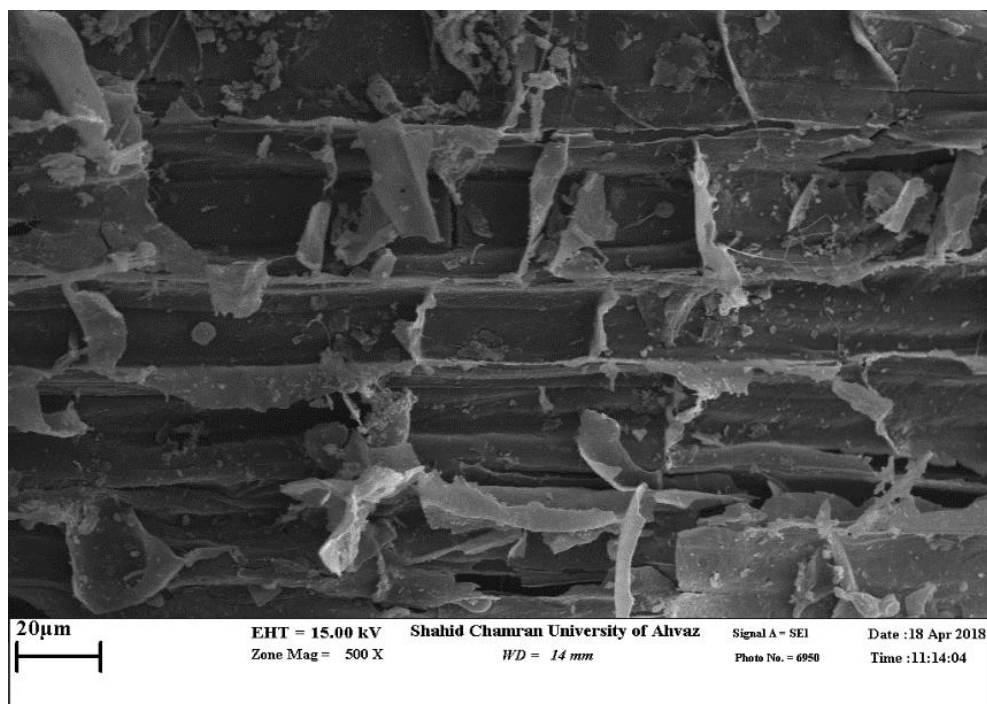
جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بیوچار و هیدروچار

هیروچار	بیوچار	خصوصیات
۵۴/۲۹	۶۴/۴۱	کربن (%)
۰/۴۹	۰/۵۵	نیتروژن (%)
۴/۳۱	۴/۷۶	هیدروژن (%)
۴/۷۲	۴/۸۱	pH
۳/۵۷	۳/۸۵	EC (dS/m)
۳۴/۸۹	۴۰/۶۴	سطح ویژه (m ² /g)

(Khademi et al., 2011; Knowles et al., 2011). بیوچار نه تنها سبب بهبود ویژگی‌های خاک می‌شود، بلکه به دلیل دارا بودن ساختار متخلخل، سطح ویژه زیاد و بارهای منفی سطحی، شرایط بهینه برای رشد گیاه را نیز فراهم می‌سازد (Abbaspoor et al., 2018). افزودن بیوچار و هیدروچار در خاک با بافت سبک سبب تغییرات مثبت در برخی خصوصیات فیزیکی خاک از جمله وزن مخصوص ظاهری، تخلخل کل و درصد رطوبت خاک در مکش-های مختلف می‌شود و هیدروچار در ایجاد این تغییرات توان بیشتری نسبت به بیوچار دارد (Nikravesht et al., 2018). همچنین کاربرد هیدروچار در خاک‌های شنی باعث بهبود ظرفیت نگهداشت آب و ظرفیت تبادل کاتیونی در خاک می‌شود (Röhrdanz et al., 2016). استفاده از بیوچار می‌تواند کربن آلی خاک، وضعیت مواد مغذی خاک، ظرفیت آب خاک، و عملکرد محصول را بهبود بخشد و به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک کند (Agegehu et al., 2016). هیدروچار نیز بسته به نوع خاکی که به آن اضافه می‌شود مواد مغذی، کربن آلی و همچنین در صورت استفاده مناسب، باروری خاک را افزایش می‌دهد (Bento et al., 2019). بیوچار و هیدروچار به دلیل دارا بودن ظرفیت جذب بالا، شستشوی مواد مغذی مانند نیترات و فلزات سنگین را از خاک کاهش می‌دهند (Li et al., 2019). توجه به مدیریت آب و نیتروژن در مزرعه امری ضروری است زیرا آب و نیتروژن به عنوان دو پارامتر مهم مطرح می‌باشند که از یک سو عوامل اصلی دستیابی به حداکثر محصول می‌باشند و از سوی دیگر در آلودگی محیط‌زیست نقش به‌سزایی دارند. به منظور حفظ محیط‌زیست و توسعه کشاورزی پایدار، توجه به مصرف کودهای بیولوژیک و منابع آلی از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. در این راستا استفاده از بقایای محصولات کشاورزی می‌تواند به عنوان منبع کمکی کودهای آلی مورد استفاده قرار گیرد. امروزه در پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه کشاورزی تأثیر بیوچار و هیدروچار بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بررسی شده است. همچنین در سیستم‌های زراعی در استفاده از بیوچار و هیدروچار بر تثبیت کربن آلی در خاک به منظور کاهش گازهای گلخانه‌ای و همچنین حذف نیترات و فلزات سنگین از محلول‌های آبی آلوده تأکید شده است. البته مطالعات محدودی در زمینه تولید هیدروچار و بررسی تأثیر آن بر فعالیت‌های کشاورزی انجام شده است. هدف از پژوهش حاضر بررسی و مقایسه تأثیر بیوچار و هیدروچار تولیدی از باگاس نیشکر بر عملکرد، بهره‌وری آب و آبخشی نیترات در کشت ذرت در استان خوزستان است.



(الف)



(ب)

شکل ۱. تصویر بیوجار (الف) و هیدروچار (ب) با بزرگنمایی ۵۰۰

جدول (۲) آورده شده است؛ که در آن وزن مخصوص ظاهری ذرات به روش استوانه، بافت خاک به روش هیدرومتری (Ming *et al.*, 2012)، کربن آلی به روش والکی بلک (Mosaddeghi *et al.*, 2010)، نیتروژن کل به روش کج‌دال (Santibáñez *et al.*, 2007)، pH و EC هم در عصاره ۱۰ گرم خاک به ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر (Ming *et al.*, 2012) اندازه‌گیری شد. رقم مورداستفاده ذرت میان‌رس هیبرید ۷۰۴ سینگل کراس بود که در ۱۵ مرداد

آزمایش‌ها به صورت تیمارهای صحرایی و در لایسیمترهایی به ارتفاع ۱/۲ و قطر ۰/۸ متر در مزرعه تحقیقاتی شماره (۲) دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز به صورت طرح آزمایشی فاکتوریل و در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. مشخصات جغرافیایی این محل ۴۸ درجه و ۴۰ دقیقه شرقی و ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی و ارتفاع آن از سطح دریا ۲۲/۵ متر است. ویژگی‌های خاک مورداستفاده در لایسیمترها در

TDR از معادله بیلان رطوبت آب در خاک استفاده شد (در سطح محدود نیم مترمربعی در یک لایسیمتر برای هر تیمار، استفاده از روش اندازه‌گیری وزنی مقدور نبود). بنابراین با استفاده از رابطه (۲) و با توجه به تفاضل آب ورودی و خروجی به لایسیمتر، برنامه-ریزی آبیاری انجام شد.

$$\Delta S = (I + P) - D - ET_c \quad (\text{رابطه ۲})$$

که در این رابطه ET_c : تبخیر-تعرق گیاه ذرت، I : عمق آب آبیاری، P : ارتفاع بارندگی، D : ارتفاع زه آب و ΔS : اختلاف رطوبت حجمی در شروع و انتهای دوره موردنظر برحسب میلی‌متر می‌باشد. در این معادله علاوه بر ΔS مجهول دیگری (ET_c) وجود داشت. اما در شرایط عدم دسترسی به داده‌های دقیق لایسیمتری می‌توان از روش فائو-پنمن-مانتیت به‌عنوان روش استاندارد، برای ارزیابی نتایج تجربی استفاده کرد. نتایج تحقیق انجام شده توسط (Shokri et al., 2016) نشان داد که مقادیر برآورد تبخیر-تعرق با کاربرد روش آلن پروت در تشت تبخیر در مقایسه با مقادیر روش فائو-پنمن-مانتیت به‌عنوان روش مبنا برای تعیین تبخیر-تعرق گیاه مرجع دارای نتایج قابل قبولی است. بنابراین با کاربرد تشت تبخیر مقدار تبخیر-تعرق گیاه ذرت مشخص شد. عمق آب زهکشی نیز با نصب ظروف مدرجی در محل خروجی لوله‌های زهکش قبل از هر آبیاری و با اندازه‌گیری حجمی زه آب و تقسیم آن بر مساحت لایسیمترها محاسبه شد. کل آب موردنیاز برای آبیاری در طول فصل کشت برای تیمار شاهد برابر ۱۰۵۰۰ مترمکعب در هکتار محاسبه شد.

۹۷ به‌صورت تابستانه کشت شد. میزان بارندگی در طول فصل کشت ۲۱۵ میلی‌متر بود. زه آب به‌وسیله لوله‌ی متصل به کف لایسیمتر، به محل اندازه‌گیری هدایت می‌شد.

فاکتورهای آزمایش در این تحقیق شامل دو سطح آب آبیاری (SMD ۱۰۰٪ و SMD ۷۰٪) و دو سطح مصرفی برای هر کدام از منابع نیتروژن شامل اوره، بیوچار و هیدروچار (۱۶۰ و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار) بود. با این تفاسیر مجموع کل تیمارها ۳۶ تیمار شد. تا زمان استقرار کامل گیاه، تمام تیمارها یکسان آبیاری (SMD) و پس از آن تیمارهای کم‌آبیاری نیز تا پایان فصل رشد ذرت اعمال شدند. عمق آب آبیاری با هدف جایگزین کردن رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه تا ظرفیت زراعی برای تیمار شاهد (SMD ۱۰۰٪ و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن به‌صورت اوره در هکتار) محاسبه و ۷۰ درصد آن مقدار به تیمار کم‌آبیاری داده شد. حجم آب مصرفی موردنیاز برای تیمار شاهد با فرض راندمان آبیاری ۱۰۰٪ از رابطه (۱) محاسبه شد:

$$V = (F_c - \theta_i) \times D_{root} \times A \quad (\text{رابطه ۱})$$

که V : حجم آب آبیاری برای تیمار شاهد برحسب مترمکعب، F_c : رطوبت حجمی خاک در حد ظرفیت زراعی، θ_i : رطوبت حجمی خاک قبل از آبیاری، D_{root} : عمق توسعه ریشه برحسب متر و A : مساحت آبیاری شده برحسب مترمربع است. آبیاری بعد از تخلیه ۴۰ درصدی ظرفیت زراعی در تیمار شاهد انجام می‌گرفت و زمان آبیاری تیمار شاهد و سایر تیمارها یکسان بود. برای تعیین رطوبت خاک به‌منظور برنامه‌ریزی زمان آبیاری (بعد از تخلیه ۴۰ درصدی ظرفیتی زراعی)، به خاطر نبود دستگاه

جدول ۲. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

pH	EC (dS/m)	کربن آلی (%)	ازت کل (%)	رس (%)	سیلت (%)	شن (%)	چگالی ظاهری (g/cm ³)	ظرفیت زراعی (%)	نقطه پژمردگی (%)
۷/۶۵	۳/۶۱	۰/۳۹	۰/۱۱	۲۱	۵۲/۸	۲۶/۲	سیلتی-لوم ۱/۳۹	۳۴	۱۸

به‌ترتیب ۲/۶ و ۲/۹ گرم از این مواد در هر ۱۰۰ گرم خاک اضافه شد. همچنین برای تیمارهایی که بایستی معادل ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن از طریق هریک از منابع بیوچار یا هیدروچار تامین شود به‌ترتیب ۲/۱ و ۲/۳ گرم از این مواد در هر ۱۰۰ گرم خاک اضافه شد. برای ارزیابی عملکرد محصول هم‌زمان با تشکیل لایه سیاه در قاعده دانه‌ها، برداشت به‌صورت دستی در ۲۶ آذر ۹۷ صورت گرفت و عملکرد دانه با رطوبت ۱۴ درصد تعیین شد. بهره‌وری آب نیز با استفاده از رابطه (۳) محاسبه شد (Mojaddam and Modhej, 2012). میزان تجمعی زه آب در طول فصل کشت

در کاربرد بیوچار و هیدروچار نیز با داشتن درصد نیتروژن هریک از این دو نوع ماده آلی و معادل‌سازی آن‌ها برحسب کود نیتروژن، مقادیر کاربردی آن‌ها برای عمق ۱۰-۰ cm خاک با در نظر گرفتن چگالی ظاهری خاک (۱/۳۹ g/cm³) برای هر لایسیمتر به قطر ۰/۸ متر محاسبه شد. مقدار درصد نیتروژن بیوچار و هیدروچار تولیدی از باگاس نیشکر با استفاده از دستگاه تحلیل عنصری به‌ترتیب برابر ۰/۵۶ و ۰/۴۹ تعیین شد. بنابراین برای تیمارهایی که بایستی معادل ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن از طریق هر یک از منابع بیوچار یا هیدروچار تامین شود

می‌دهد و باعث کاهش عملکرد دانه می‌شود (Oikeh *et al.*, 1998). از طرف دیگر کمبود آب و نیتروژن از طریق کاهش شاخص سطح برگ باعث کاهش فتوسنتز، کاهش تعداد دانه در بلال و در نهایت کاهش عملکرد دانه می‌شود (Sinclair *et al.*, 1990). اثر اصلی نیتروژن در افزایش عملکرد دانه از طریق تعداد دانه است (Uhart and Andrade, 1995). با کاربرد بیوچار و هیدروچار به جای کود اوره در شرایط مطلوب، عملکرد دانه ذرت افزایش معنی‌داری داشت که این افزایش برای بیوچار و هیدروچار به ترتیب ۳/۸ و ۱/۸ درصد بود (جدول ۴). افزایش عملکرد در اثر کاربرد بیوچار و هیدروچار در خاک می‌تواند به دلیل اثرات مستقیم (عناصر غذایی موجود در زیست توده که طی فرایند تجزیه حرارتی به بیوچار و هیدروچار تبدیل شده) و غیرمستقیم (بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک) آن‌ها باشد (Major *et al.*, 2010). اختلاف معنی‌دار در افزایش عملکرد با کاربرد بیوچار در تحقیقات زیادی از جمله (Gavili *et al.*, 2016) و Inal *et al.* (2015) گزارش شده است. از آن‌جا که کربن دارای ماهیت بسیار متخلخل و قدرت نگهداشت مواد مغذی و رطوبت بالا می‌باشد، کاربرد بیوچار و هیدروچار نقش اساسی در بهبود خصوصیات خاک دارد (Nikravesh *et al.*, 2018). بیوچار و هیدروچار به دلیل افزایش مواد آلی خاک، باعث افزایش خلل و فرج و بهبود ساختمان خاک و همچنین افزایش ظرفیت نگهداشت آب می‌شوند. در این تحقیق مشاهده شد که با کاربرد بیوچار نسبت به هیدروچار میزان عملکرد دانه اندکی بیشتر است. در واقع سطح ویژه بیوچار بیشتر از هیدروچار (جدول ۲) و همچنین سطح بیوچار نسبت به هیدروچار دارای خلل و فرج درشت‌تر به صورت حفره‌های لانه زنبوری بود (شکل ۱)؛ بنابراین با کاربرد بیوچار در مقایسه با هیدروچار، میزان جذب و زمان نگهداشت آب و نیترات در خاک و در نهایت عملکرد گیاه افزایش می‌یابد.

مشخص و نیتروژن کل زه‌آب نیز با دستگاه کج‌دال اندازه‌گیری شد. تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS 22 انجام و مقایسه میانگین‌ها براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

(رابطه ۳)

$$\text{عملکرد دانه (کیلو گرم در هکتار)} = \frac{\text{کل حجم آب مصرفی (متر مکعب در هکتار)}}{\text{بهره‌وری آب (کیلو گرم بر متر مکعب)}}$$

بحث و نتایج

اثر سطوح مختلف آبیاری، کوددهی و کاربرد منابع مختلف نیتروژن بر عملکرد، بهره‌وری آب، زه‌آب خروجی و آبشویی نیتروژن در کشت ذرت بررسی شد (جداول ۳ و ۴). بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف آبیاری، کوددهی و کاربرد منابع مختلف نیتروژن و برهم‌کنش متقابل دو فاکتور آبیاری و کوددهی بر عملکرد دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. اما برهم‌کنش متقابل سطوح مختلف کوددهی و کاربرد منابع مختلف نیتروژن و برهم‌کنش سه فاکتور کوددهی، آبیاری و منابع مختلف نیتروژن بر عملکرد دانه تاثیر معنی‌داری نداشت. بیشترین و کمترین مقدار میانگین عملکرد به ترتیب به تیمارهای I₁B₁ و I₂H₂ اختصاص داشت. با ایجاد تنش خشکی ۳۰ درصدی در تیمارهای با کاربرد منابع مختلف نیتروژن، عملکرد محصول کاهش چندانی نداشت (حدود ۰/۲ تا ۲ درصد). اما در شرایط مطلوب آبیاری با کاهش نیتروژن به میزان ۴۰ کیلوگرم در هکتار با کاربرد منابع مختلف، مقدار کاهش عملکرد حدود ۰/۵ تا ۲/۶ درصد بود. این در حالی است که در شرایط تنش رطوبتی ملایم (I₂) با افزایش مقدار نیتروژن مصرفی تا حدی کاهش عملکرد محصول را می‌توان جبران کرد. کمبود آب در مرحله رویشی و زایشی، تعداد دانه و در مرحله پر شدن دانه، وزن دانه را کاهش

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس عملکرد، بهره‌وری آب، زه‌آب خروجی و آبشویی نیتروژن در کشت ذرت

میانگین مربعات					
منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه (kg/ha)	بهره‌وری آب (kg/m ³)	زه‌آب خروجی (mm)	آبشویی نیتروژن (kg/ha)
تکرار	۲	۱۰۶۲/۱۹ns	ns	ns/۳۰	۰/۰۴*
سطوح آبیاری	۱	۳۴۴۱۷۷/۷۸*	۰/۱۳*	۲۹۱۴/۲۰*	۳۳۵/۹۰*
سطوح کوددهی	۱	۵۰۷۸۹۳/۷۸*	۰/۰۱*	۱۱۰۷/۰۶*	۴۳۷/۶۱*
منابع نیتروژن	۲	۲۲۴۳۶۷/۰۳*	*	۱۰۵۷/۷۸*	۱۰/۸۳*
سطوح آبیاری × سطوح کوددهی	۱	۹۴۲۴۹/۰۰*	*	ns۶/۵۰۲	*
سطوح آبیاری × منابع نیتروژن	۲	۳۱۱۸۹/۵۳*	۰/۴۶*	۱۴/۱۷*	۰/۰۴*
سطوح کوددهی × منابع نیتروژن	۲	۱۰۸۱۵/۱۹ns	ns	۱۷/۳۴*	۰/۰۳ns
سطوح آبیاری × سطوح کوددهی × منابع نیتروژن	۲	۴۵۳۸/۲۵ns	ns	۱۱/۷۰*	۰/۰۱ns
خطا	۲۲	۳۳۱۳/۴۱	.	۱/۶۱۰	۰/۰۱
ضریب تغییرات (/)		۲/۴	۱۷	۰/۰۹	۰/۲۳

ns. فاقد اثر معنی‌دار، * معنی‌دار در سطح پنج درصد

دو فاکتور آبیاری و کوددهی بر میزان زه آب خروجی در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود. با کاربرد بیوچار و هیدروچار در شرایط مطلوب رطوبتی در مقایسه با کاربرد اوره میزان زه آب خروجی به ترتیب ۹/۲ و ۳/۱ درصد کاهش داشت و میزان کاهش آبهویی نیتروژن نیز به ترتیب برابر ۶/۲ و ۳/۴ درصد بود. در شرایط تنش رطوبتی، کاهش میزان آب مصرفی باعث کاهش زه آب خروجی و کاهش آبهویی نترات شد. همچنین با کاهش میزان اوره در شرایط مطلوب رطوبتی (I1N2) میزان آبهویی نیتروژن حدود ۲۵ درصد کاهش داشت و این در حالی است که در تیمارهای (I1B2) و (I1H2) مقدار این کاهش به ترتیب برابر ۲۷ و ۲۶ درصد بود. بیوچار در مقایسه با هیدروچار در کاهش زه آب خروجی و آبهویی نیتروژن به دلیل سطح ویژه بیشتر و اندازه خلل و فرج بزرگتر، نقش مؤثرتری داشت. در پژوهش انجام شده توسط Ghorbani et al. (2015) نیز افزودن بیوچار به خاک موجب کاهش معنی دار آبهویی نترات شد.

براساس نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف آبیاری، کوددهی، کاربرد منابع مختلف نیتروژن و برهم کنش متقابل آن‌ها جز برهم کنش متقابل دو فاکتور کوددهی و کاربرد منابع مختلف نیتروژن و برهم کنش متقابل سه فاکتور آبیاری، کوددهی و کاربرد منابع مختلف نیتروژن بر بهره‌وری آب در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود. بهره‌وری آب با کاربرد هر سه منبع نیتروژن، در شرایط تنش ملایم رطوبتی افزایش داشت. اما در شرایط تنش رطوبتی، با کاهش ۴۰ کیلوگرم بر هکتار نیتروژن در هر سه منبع کاربردی بهره‌وری آب به دلیل کاهش عملکرد محصول، کاهش پیدا کرد. بهره‌وری آب در شرایط مطلوب رطوبتی (I1) با کاربرد بیوچار و هیدروچار در مقایسه با تیمار شاهد (I1N1) به ترتیب ۴/۸ و ۲/۴ درصد افزایش یافت. نتایج مشابهی نیز توسط Gavili et al. (2016) با کاربرد بیوچار حاصل از کود گاوی در کشت اسفناج در شرایط گلخانه گزارش شده است. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطوح مختلف آبیاری، کوددهی، کاربرد منابع مختلف نیتروژن و برهم کنش متقابل آن‌ها جز برهم کنش متقابل

جدول ۴. مقایسه میانگین‌های عملکرد، بهره‌وری آب، زه آب خروجی و آبهویی نیتروژن در تیمارهای مختلف در کشت ذرت

تیمار	عملکرد دانه (kg/ha)	بهره‌وری آب (kg/m ³)	زه آب خروجی (mm)	آبهویی نیتروژن (kg/ha)
I1N1	۸۸۴۲/۶۷ ^{CDE}	۰/۸۴ ^{FG}	۱۶۰/۵۰ ^A	۲۷/۶۴ ^A
I2N1	۸۸۲۵/۰۰ ^{DE}	۱/۲۴ ^A	۱۴۶/۹۳ ^C	۲۱/۶۴ ^D
I1N2	۸۷۹۷/۶۷ ^E	۰/۸۴ ^G	۱۵۴/۹۰ ^B	۲۰/۷۵ ^E
I2N2	۸۵۲۰/۳۳ ^F	۱/۱۹ ^B	۱۳۵/۷۰ ^E	۱۴/۸۱ ^H
I1B1	۹۱۸۱/۰۰ ^A	۰/۸۸ ^E	۱۴۵/۸۰ ^C	۲۵/۹۲ ^C
I2B1	۹۱۱۲/۳۳ ^A	۱/۲۰ ^B	۱۲۷/۵۳ ^G	۱۹/۷۱ ^F
I1B2	۸۹۴۴/۳۳ ^{BC}	۰/۸۵ ^{EF}	۱۳۲/۸۷ ^F	۱۸/۹۰ ^G
I2B2	۸۷۶۰/۰۰ ^E	۱/۱۶ ^C	۱۱۶/۸۷ ^I	۱۲/۷۳ ^J
I1H1	۹۰۰۱/۳۳ ^B	۰/۸۶ ^D	۱۵۵/۵۰ ^B	۲۶/۷۱ ^B
I2H1	۸۸۰۸/۰۰ ^E	۱/۲۰ ^B	۱۳۵/۹۰ ^E	۲۰/۶۲ ^E
I1H2	۸۸۷۷/۳۳ ^{CD}	۰/۸۴ ^{EF}	۱۴۳/۳۰ ^D	۱۹/۷۲ ^F
I2H2	۸۴۴۵/۳۳ ^F	۱/۱۵ ^C	۱۲۱/۹۷ ^H	۱۳/۵۹ ^I

بر اساس آزمون دانکن ارقامی که در هر ردیف دارای حروف مشترک می‌باشند، از نظر آماری در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی داری ندارند.

و آبهویی نیتروژن در کشت ذرت داشت. افزودن بیوچار و هیدروچار به خاک موجب افزایش عملکرد محصول، و بهره‌وری آب و کاهش میزان زه آب خروجی و آبهویی نیتروژن از خاک شد. بیوچار و هیدروچار به دلیل افزایش مواد آلی خاک، باعث افزایش خلل و فرج و بهبود ساختمان خاک می‌شوند. همچنین به دلیل قابلیت جذب آنیونی و سطح ویژه بالا، ظرفیت نگهداشت آب و نترات در خاک را افزایش می‌دهند. البته بیوچار در مقایسه با هیدروچار به دلیل تخلخل بالا و سطح ویژه بیشتر نقش مؤثرتری

نتیجه‌گیری

در این تحقیق تاثیر بیوچار و هیدروچار (باگاس نیشکر) بر عملکرد، بهره‌وری مصرف آب و آبهویی نیتروژن در کشت ذرت مورد بررسی قرار گرفت. دو سطح آبیاری کامل و کم آبیاری (به اندازه ۳۰ درصد) و دو سطح کوددهی ۲۰۰ و ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن برای هر کدام از منابع اوره، بیوچار و هیدروچار مورد آزمایش قرار گرفت. براساس نتایج به دست آمده کاربرد بیوچار و هیدروچار تاثیر مثبتی بر عملکرد، بهره‌وری مصرف آب

به منظور بررسی عملکرد محصول، بهره‌وری آب و آبشویی نیترات، بیوچار یا هیدروچار به صورت ترکیب با کود اوره مصرف شود.

بر هریک از پارامترهای فوق داشت. بنابراین استفاده از بیوچار و هیدروچار به عنوان یک راهکار موثر برای کاهش اثرات منفی تنش رطوبتی می‌تواند مطرح باشد و در نهایت توصیه می‌شود که

REFERENCES

- Abbaspoor, F., Asghari, H.R., Rezvani Moghadam, P., Abbas Dokht, H., and Shabahang, J. (2018). Biochar and fertilizer effects on some soil properties and yield and quality characteristics of (*Nigella sativa L*) under water shortage. *Water Research in Agriculture*. 32(3), 441-457. (In Farsi)
- Agegnehu, G., Bass, A. M., Nelson, P. N., and Bird, M. I. (2016). Benefits of biochar, compost and biochar-compost for soil quality, maize yield and greenhouse gas emissions in a tropical agricultural soil. *Science of the Total Environment*. 543, 295-306.
- Basso, B., and Ritchie, J. T. (2005). Impact of compost, manure and inorganic fertilizer on nitrate leaching and yield for a 6-year maize-alfalfa rotation in Michigan. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 108(4), 329-341.
- Bento, L. R., Castro, A. J. R., Moreira, A. B., Ferreira, O. P., Bisinoti, M. C., and Melo, C. A. (2019). Release of nutrients and organic carbon in different soil types from hydrochar obtained using sugarcane bagasse and vinasse. *Geoderma*. 334, 24-32.
- Divband Hafshejani, L., Naseri, A., Hooshmand, A., Abbasi, F., and Soltani, Mohammadi. A. (2015). Effect of sugarcane bagasse biochar application on chemical properties a sandy loam soil. *Journal of Irrigation Sciences and Engineering*. 40(1), 63-72. (In Farsi)
- 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.
- Gavili, E., Mousavi, A. A., and Kamgar, A. A. (2016). Effect of cow manure and moisture stress on growth characteristics and water use efficiency spinach in greenhouse conditions. *Water Research in Agriculture*. 30(2), 243-259. (In Farsi)
- Ghorbani, M., Asadi, H., and Abrishamkesh, S. (2015). Impact biochar of rice crust on nitrate leaching in a clay soil. *The Iranian Journal of Soil Research*. 29(4), 427-434. (In Farsi)
- Inal, A., Gunes, A., Sahin, O. Z. G. E., Taskin, M. B., and Kaya, E. C. (2015). Impacts of biochar and processed poultry manure, applied to a calcareous soil, on the growth of bean and maize. *Soil Use and Management*. 31(1), 106-113.
- Khademi, A., Fekri, M., Naseri, A., and Mahmoodabadi, M. (2018). The effect of different pistachio wastes biochar application on some fertility properties of a loam soil. *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 50(1), 231-246. (In Farsi)
- Knowles, O. A., Robinson, B. H., Contangelo, A., and Clucas, L. (2011). Biochar for the mitigation of nitrate leaching from soil amended with biosolids. *Science of the Total Environment*. 409(17), 3206-3210.
- Kumar, K., and Goh, K.M. (2000). Crop residue and management practice: effects on soil quality, soil nitrogen dynamics, crop yield, and nitrogen recovery. *Advances of Agronomy*. 68: 197-319.
- Li, J. H., Lv, G. H., Bai, W. B., Liu, Q., Zhang, Y. C., and Song, J. Q. (2016). Modification and use of biochar from wheat straw (*Triticum aestivum L.*) for nitrate and phosphate removal from water. *Desalination and Water Treatment*. 57(10), 4681-4693.
- Li, Y., Tsend, N., Li, T., Liu, H., Yang, R., Gai, X., ... and Shan, S. (2019). Microwave assisted hydrothermal preparation of rice straw hydrochars for adsorption of organics and heavy metals. *Bioresource Technology*. 273, 136-143.
- Major, J., Lehmann, J., Rondon, M., and Goodale, C. (2010). Fate of soil-applied black carbon: downward migration, leaching and soil respiration. *Global Change Biology*. 16(4), 1366-1379.
- Mojaddam, M., and Modhej, A. (2012). Effect of nitrogen levels on water use efficiency, yield and yield components of corn grain in optimum conditions and drought stress. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 10 (3), 546-554. (In Farsi)
- Mosaddeghi, M. R., Sinegani, A. S., Farhangi, M. B., Mahboubi, A. A., and Unc, A. (2010). Saturated and unsaturated transport of cow manure-borne *Escherichia coli* through in situ clay loam lysimeters. *Agriculture, ecosystems & environment*. 137(1-2), 163-171.
- Nikraves, I., Boroomandnasab, S., Naseri, A., and Mohamadi, A. S. (2018). Investigating the effect of wheat straw biochar and hydrochar on physical properties of a Sandy Loam soil. *Journal of Water and Soil*. 32(2), 387-397. (In Farsi)
- Oikeh, S. O., Kling, J. G., and Okoruwa, A. E. (1998). Nitrogen fertilizer management effects on maize grain quality in the West African moist savanna. *Crop Science*. 38(4), 1056-1161.
- Röhrdanz, M., Rebling, T., Ohlert, J., Jasper, J., Greve, T., Buchwald, R. and Wark, M. (2016). Hydrothermal carbonization of biomass from landscape management-Influence of process parameters on soil properties of hydrochars. *Journal of environmental managemen*. 173, 72-78.
- Santibáñez, C., Ginocchio, R., and Varnero, M. T. (2007). Evaluation of nitrate leaching from mine tailings amended with biosolids under Mediterranean type climate conditions. *Soil Biology and Biochemistry*. 39(6), 1333-1340.
- Shokri, S., Hooshmand, A., and Ghorbani, M. (2016).

- Estimate of evaporation pan coefficient to calculate reference plant evapotranspiration in Ahvaz region. *Journal of Irrigation Sciences and Engineering*. 40(1), 1-12. (In Farsi)
- Sinclair, T. R., Bennett, J. M., and Muchow, R. C. (1990). Relative sensitivity of grain yield and biomass accumulation to drought in field-grown maize. *Crop Science*. 30(3), 690-693.
- Uhart, S. A., and Andrade, F. H. (1995). Nitrogen deficiency in maize: II. Carbon-nitrogen interaction effects on kernel number and grain yield. *Crop Science*. 35(5), 1384-1389.
- Zhang, A. P., Liu, R. L., Gao, J., Zhang, Q. W., Xiao, J. N., Chen, Z., ... and Yang, L. Z. (2014). Effects of biochar on nitrogen losses and rice yield in anthropogenic-alluvial soil irrigated with Yellow river water. *Journal of Agro-Environment Science*. 33(12), 2395-2403.
- Zhang, Z., Zhu, Z., Shen, B., and Liu, L. (2019). Insights into biochar and hydrochar production and applications: A review. *Energy*. 171, 581-598.
- Zhi-Ming, Q. I., Shao-Yuan, F. E. N. G., and Helmers, M. J. (2012). Modeling cadmium transport in neutral and alkaline soil columns at various depths. *Pedosphere*. 22(3), 273-282.