تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۲، شماره ۸، آبان ۱۴۰۰ (ص ۲۲۳۶-۲۲۲۷)
DOI: 10.22059/ijswr.2021.324437.668984
(علمی - پژوهشی)

Evaluation of Nitrate Leaching from the Soil with the Application of Sugarcane Bagasse Biochar and Slow-release Fertilizer

YASHAR SHAHBAZI [1], SEYED MAJID MIRLATIFI[1*], ALIREZA HASSANOGHLI[2]

1. Department of Water Management and Engineering, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
2. Department of Irrigation and Drainage, Agricultural Engineering Research Institute; Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

(Received: May. 26, 2021- Revised: July. 29, 2021- Accepted: Aug. 2, 2021)

ABSTRACT

Nitrate is one of pollutants which is mainly caused by agricultural activities which contaminates groundwater and surface water and threatens human health. Chemical fertilizers which are used in large quantities in agriculture are one of the sources of nitrate in the soil. The purpose of this study was to investigate the effects of the application of different levels of sugarcane bagasse biochar (SBB) and slow-release fertilizer (sulfur-coated urea) on nitrate leaching through a soil profile. A greenhouse experiment with tomato crop grown on a soil mixed with four concentration levels of SBB treatments, including zero percent of soil weight (0B), one percent of soil weight (1B), two percent of soil weight (2B), and three percent of soil weight (3B) and two types of nitrogen fertilizer including conventional urea (CU) and sulfur-coated urea (SCU) fertilizers was performed with three replications. The crop was grown in drained lysimeters and irrigated by surface method. The amount of nitrate was monitored at 5 different times during the tomato growing season. The results showed that nitrate leaching from the lysimeters decreased as the percentage of biochar levels increased. Leaching nitrogen from treatments with biochar levels of 1B, 2B and 3B and with the application of CU fertilizer were 6.2%, 10.1% and 18.3%, respectively and with the application of SCU fertilizer were 8.6%, 22.7% and 24.14%, respectively, less than that of the zero level biochar treatments. The highest and lowest levels of nitrate leaching occurred from lysimeters filled with soil without biochar (0B) and with the application of CU (2307 mg), and from treatment 3B with the application of SCU (1659 mg), respectively. According to the results obtained, application of SBB reduced nitrate leaching from the soil profile and as a result of using SCU fertilizer instead of CU fertilizer, this reduction effect was significant.

Keywords: Biochar, Nitrate Leaching, Sulfur Coated Urea, Slow-Release Fertilizer, Sugarcane Bagasse.

* Corresponding Author's Email: mirlat_m@modares.ac.ir

بررسی میزان آبشویی نیترات از خاک با کاربرد بیوچار باگاس نیشکر و کود کندرها

یاشار شهبازی[۱]، سید مجید میرلطیفی[۱*]، علیرضا حسن‌اقلی[۲]

۱. گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۲. بخش تحقیقات آبیاری و زهکشی، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی؛ سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۳/۵- تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۵/۷- تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۵/۱۱)

چکیده

یکی از آلاینده‌هایی که به طور عمده از فعالیت‌های کشاورزی ناشی می‌شود، نیترات است که به آب‌های زیرزمینی و سطحی انتقال یافته و سلامت انسان‌ها را تهدید می‌کند. از منابع ورود نیترات به خاک، کودهای شیمیایی است که در بخش کشاورزی در مقادیر بالا مصرف می‌شوند. هدف از این پژوهش، بررسی تاثیر افزودن مقادیر مختلف بیوچار حاصل از باگاس نیشکر، در کنار کاربرد کود کندرها (اوره با پوشش گوگردی)، بر میزان آبشویی نیترات از نیمرخ خاک می‌باشد. بدین منظور در آزمایشی با کشت گیاه گوجه‌فرنگی، چهار سطح تیمار بیوچار شامل صفر درصد وزنی بیوچار (0B)، یک درصد وزنی (1B)، دو درصد وزنی (2B) و سه درصد وزنی (3B) در خاک سطحی و دو نوع کود اوره معمولی و کود اوره با پوشش گوگردی (SCU) لحاظ شد که در مجموع ۸ تیمار را شامل بود که در سه تکرار اجرا شد. کشت محصول در ستون‌های خاک زهکش‌دار و به روش آبیاری غرقابی انجام گرفت. میزان نیتروژن نیتراتی ($N\text{-}NO_3$) خروجی طی دوره رشد گیاه در ۵ مرحله اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که با افزایش درصد وزنی بیوچار خاک سطحی، میزان آبشویی نیترات از ستون‌های خاک در ترکیب سطوح بیوچار 1B، 2B و 3B با کاربرد کود اوره معمولی به ترتیب ۶/۲، ۱۰/۱ و ۱۸/۳ درصد، و در کاربرد کود SCU به ترتیب ۸/۶، ۲۲/۷ و ۲۴/۱۴ درصد نسبت به تیمارهای بدون بیوچار کاهش یافت. بیشترین میزان آبشویی نیترات در خاک بدون بیوچار با کاربرد کود اوره معمولی و به میزان متوسط ۲۳۰۷ میلی‌گرم، و کمترین مقدار آن در کاربرد بیوچار سه درصد وزنی به همراه کود SCU به مقدار ۱۶۵۹ میلی‌گرم، اتفاق افتاد. با توجه به نتایج پژوهش، کاربرد بیوچار حاصل از باگاس نیشکر باعث کاهش آبشویی نیترات از نیمرخ خاک شد که در صورت استفاده از کود SCU به جای کود اوره معمولی، این اثر کاهشی معنی‌دار می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آبشویی نیترات، اوره با پوشش گوگردی، بیوچار، باگاس نیشکر، کود کندرها

مقدمه

فراهم کردن مواد غذایی مورد نیاز جمعیت جهان، بدون تهدید سلامت جانداران و محیط‌زیست از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. یکی از تهدیدهای زیست‌محیطی مرتبط با افزایش تولید محصولات کشاورزی، تأثیر کودهای نیتروژن معدنی است (Skowronska & Filipek, 2014). برای افزایش تولید در واحد سطح، از کود اوره به عنوان یک منبع تغذیه‌ای مهم برای رشد گیاه به مقدار قابل‌توجهی استفاده می‌شود و کاربرد این کود در داخل کشور، بیش از ۹۰ درصد کودهای نیتروژنی را به خود اختصاص داده است (Malakouti, 2016). کود اوره به عنوان یک کود نیتروژنی از حلالیت بالایی برخوردار است و باعث انتقال نیترات (NO_3^-) به منابع آبی می‌شود. افزایش غلظت نیترات در آب‌های زیرزمینی و سطحی که در نهایت وارد چرخه تغذیه جانداران می‌شود، باعث بیماری مت‌هموگلوبینمیا در نوزادان، سرطان معده و نیز سقط جنین در انسان و دام می‌شود (Francis & Haynes, 1991; Smika *et al.*, 1997; Tesoriero & Voss, 1997)، همچنین اتریفیکایسون آب، کمبود اکسیژن، آلودگی آب‌های زیرزمینی، افزایش سمیت برای ارگانیسم‌های اعماق دریا و آبزیان، جزو اثرات منفی ناشی از مقدار زیاد نیتروژن در آب است (Zhu *et al*, 2019). بنابراین نیترات در حالی که نقش به سزایی در افزایش عملکرد گیاه ایفا می‌کند، به عنوان یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های آب شناخته شده و وجود آن در منابع آبی باعث بروز مشکلات زیست‌محیطی می‌گردد. از این رو بررسی میزان غلظت نیترات در منابع آب و خاک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

کارایی جذب گیاهی نیتروژن در شرایط ایران به دلایل متعددی پائین می‌باشد، از این رو لازم است استفاده از روش‌های

* نویسنده مسئول: mirlat_m@modares.ac.ir

موثر برای افزایش راندمان جذب نیتروژن مورد توجه قرار گیرد. از راه‌های افزایش کارایی مصرف نیتروژن و کاهش آبشویی نیترات که در تحقیقات داخل کشور هم به آن پرداخته شده، استفاده از کودهای کُندرها مانند اوره با پوشش گوگردی[۱] (SCU) است. این نوع کود با ایجاد یک لایه پوشش گوگردی بر روی سطح دانه‌های کود اوره تهیه شده که باعث می‌شود نفوذ آب به داخل کود اوره به صورت تدریجی صورت گیرد و با توجه به انحلال تدریجی و آزادسازی آهسته، نیتروژن به کندی در اختیار گیاه قرار گیرد (Malakouty, 2016).

برای انتخاب مناسب‌ترین کود نیتروژنه که از حداکثر کارایی زراعی برخوردار باشد، آزمایشاتی در ۱۴ منطقه کشور در ۲۲ مزرعه با خصوصیات فیزیکوشیمیایی مختلف در سال زراعی ۸۴-۱۳۸۳ انجام شد. طبق مشاهدات در بهترین شرایط زارعین پیشرو (اوره با سه تقسیط)، جایگزینی SCU به‌جای یک‌سوم اوره پایه، کارایی زراعی را ۱۲ درصد افزایش داد (Malakouti *et al.*, 2008). در بررسی دیگری، کاربرد کود SCU اگرچه در مراحل اولیه باعث رشد رویشی مناسبی در نیشکر شد، اما نتوانست نیتروژن را در حد مورد نیاز گیاه در تمام فصل رشد مهیا کند و عملکرد کمتری از تیمار کاربرد کود سولفات آمونیوم در چهار قسط حاصل شد. بهتر بود که نوعی از SCU استفاده می‌شد که نیتروژن را آهسته‌تر آزاد می‌کرد یا در زمان دیرتری از آن استفاده می‌شد (Gascho & Snyder, 1976).

امروزه برای بهبود کارایی کاربرد کود و افزایش عملکرد محصول از اصلاح کننده‌های آلی تهیه شده از بقایای گیاهی نیز در خاک استفاده می‌شود. در بسیاری از مناطق، از دست رفتن حاصلخیزی خاک به دلیل استفاده بیش از حد از مواد شیمیایی کشاورزی رخ داده است که با اثرات منفی زیست‌محیطی در منابع خاک و آب همراه است (Foley *et al.*, 2005; Robertson & Swinton, 2005). از بقایای گیاهی تولید شده در کشور ایران که مدیریت آن با مشکل روبرو است، باگاس نیشکر در استان خوزستان می‌باشد که باعث مشکلاتی در منطقه شده است. باگاس یک ماده لیگنوسلولزی است که از تفاله نیشکر به دست می‌آید و به‌طور عمده از سلولز، همی سلولز و لیگنین تشکیل شده است (Fangkum & Reungsang, 2011). یکی از راهکارهای مفید استفاده از بقایای گیاهی، تبدیل آن‌ها به بیوچار یا زغال زیستی است که باعث کاهش آبشویی نیترات از نیمرخ خاک و افزایش نگهداشت نیتروژن در محدوده توسعه ریشه می‌شود (Knowles *et al.*, 2011). بیوچار، حاصلِ تجزیه حرارتی (حداکثر تا ۷۰۰ درجه سلسیوس) مواد آلی در شرایط اکسیژن محدود است. این فرآیند نمونه‌ی پیشرفته‌ی تهیه زغال توسط بشر می‌باشد (Harris, 1999).

در آزمایشی برای ارزیابی اثرات سطوح مختلف بیوچار پوسته برنج (۰، ۱ و ۳ درصد وزنی) و دو سطح کمپوست بر آبشویی نیترات در دو نوع خاک لوم شنی و رسی در شرایط گلخانه ای و چرخه‌های خشک و مرطوب، مشاهده شد که بیشترین میزان آبشویی نیترات مربوط به تیمار حاوی کمپوست بدون بیوچار و کمترین میزان آبشویی مربوط به تیمار بیوچار بدون کمپوست بود (Ghorbani *et al.*, 2019). در مطالعه‌ای بر روی ستون‌های خاک با استفاده از چهار سطح بیوچار کاه گندم با مقادیر صفر، ۰/۵، ۱، ۲ و ۴ درصد وزنی که با خاک ترکیب شد، نتایج نشان داد که کاهش آبشویی نیترات در هر چهار سطح معنی‌دار بوده که مقدار تلفات تجمعی نیترات زهاب خروجی از ۱۳/۲ تا ۲۹/۷ درصد در مقایسه با تیمار شاهد کاهش یافت (Sun *et al.*, 2017). در پژوهشی که در یک خاک لومی با سه سطح کربن آلی خاک و چهار سطح بیوچار ساقه ذرت (صفر، ۵، ۱۰ و ۲۰ گرم بیوچار در کیلوگرم خاک هوا خشک) انجام شد، استفاده از بیوچار با میزان ۲۰ گرم در کیلوگرم خاک در مقدار پایین کربن آلی، میزان آبشویی نیترات را تا ۳۰ درصد کاهش داد (Kanthle *et al.*, 2016). طی آزمایشی که برای بررسی آبشویی نیترات از ستون خاک شنی با دو نوع بیوچار چوب فلفل برزیلی و پوست بادام زمینی انجام شد، نتایج حکایت از آن داشت که میزان آبشویی نیترات در هر دو نوع بیوچار تا ۳۴ درصد نسبت به خاک اصلی کاهش یافت (Yao *et al.*, 2012). بیوچار ظرفیت بالایی را برای جذب یون‌ها در مقایسه با دیگر اشکال مواد آلی خاک دارا می‌باشد (Liang *et al.*, 2006; Lehmann, 2007). از آنجا که تخلخل و توزیع اندازه منافذ خاک در ایجاد فضایی برای حفظ مواد مغذی مؤثر است، سطح ویژه بالای بیوچار، فضای لازم برای تجمع کاتیون‌ها و آنیون‌ها و پیوند آنها با عناصر و فلزات خاک را فراهم کرده و ظرفیت حفظ مواد غذایی خاک را بهبود می‌بخشد (Li et al., 2016). بنابراین افزودن بیوچار به خاک می‌تواند یک گزینه موثر مدیریتی برای کاهش آبشویی مواد غذایی در تولیدات کشاورزی باشد (Laird *et al.*, 2010). در بیشتر مطالعات انجام گرفته پیشین، تاثیر کاربرد بیوچار بر آبشویی نیترات، همراه با کودهایی با حلالیت بالا بررسی شده است که معمولا در این تحقیقات، بیوچارهای مورد استفاده از مواد خام اولیه با فراوانی کم تولید شده‌اند و در عمل، دسترسی چندانی به آنها وجود ندارد.

---

[۱] Sulphur Coated Urea

در این تحقیق، ضایعات حاصل از کشت نیشکر (باگاس) در استان خوزستان مورد بررسی قرار گرفت که با توجه به فراوانی قابل‌توجه در منطقه به دلیل انباشت زیاد و خطر آتش‌سوزی این ضایعات در محل تجمع آنها، باعث ایجاد آلودگی‌های زیست‌محیطی در جو و منابع آبی محلی شده که از این نظر باگاس نیشکر به عنوان یک گزینه مناسب برای تبدیل به محصول مفیدی چون بیوچار می‌باشد. هدف از این تحقیق، کاربرد بیوچار باگاس نیشکر توأم با جایگزینی کود کندرها به جای کودهای معمولی می‌باشد که در راستای اثر بخشی بیشتر بر کاهش آلودگی نیترات ناشی از آبشویی منابع شیمیایی نیتروژن مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در راستای مشاهده و کنترل همه عوامل موثر بر پدیده‌ها، در قالب تحقیقات ستونی خاک در گلخانه تحقیقاتی واقع در دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس انجام شد. ستون‌های خاک از نوع زهکش‌دار و استوانه‌ای شکل به قطر ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۰۰ سانتی‌متر بودند که بر روی پایه‌های فلزی قرار داشتند. خاک مورد نظر از محل مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس تهیه و ابتدا هواخشک شده و سپس از الک عبور داده شد. ستون‌های خاک به ترتیب با ۲۵ سانتی‌متر شن و گراول در کف و تا ارتفاع ۶۰ سانتی‌متری از خاک، بدون اجرای عملیات تراکمی پُر شدند. برخی خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک در آزمایشگاه تخصصی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی تعیین شد که در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است. برای اجرای تحقیق، از گیاه گوجه‌فرنگی برای کشت در ستون‌های خاک استفاده شد.

جدول ۱- خصوصیات شیمیایی خاک

ECe (دسی زیمنس بر متر)	کربن آلی (O.C)	آهک (TNV)	pH	آنیون‌ها (میلی‌اکی‌والانت بر لیتر)			جمع آنیون‌ها	کاتیون‌ها (میلی‌اکی‌والانت بر لیتر)			جمع کاتیون‌ها
				SO_4^{-2}	Cl^-	HCO_3^-		Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	
۱/۶۲	۰/۸۳	۹/۸۵	۷/۸	۲/۸۸	۳/۷۵	۹/۵	۱۶/۱۳	۵/۰۱	۹/۲۵	۳/۸	۱۸/۰۶

میزان کاتیون‌ها و آنیون‌ها در عصاره اشباع خاک اندازه‌گیری شده است. غلظت اولیه نیترات در عصاره اشباع خاک ۴۹ میلی‌گرم بر لیتر بود.

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی خاک

نوع خاک	درصد شن	درصد سیلت	درصد رس	ظرفیت زراعی FC (درصد حجمی)	پژمردگی دائم PWP (درصد حجمی)	جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتیمتر مکعب)
لوم شنی	۷۱	۱۴	۱۵	۲۰	۹	۱/۴۸

آزمایش به صورت فاکتوریل با دو عامل بیوچار و کود در قالب طرح کاملا تصادفی انجام گرفت. عامل بیوچار شامل کاربرد صفر درصد وزنی بیوچار (0B)، یک درصد وزنی (1B)، دو درصد وزنی (2B) و سه درصد وزنی (3B) در خاک سطحی بود. عامل کود در دو نوع کود اوره معمولی و کود اوره با پوشش‌گوگردی لحاظ شد که در مجموع شامل ۸ تیمار با سه تکرار بود و در ۲۴ ستون خاک اجرا شد. بیوچار باگاس نیشکر پس از انجام آزمون‌هایی در درجه حرارت‌های مختلف، در نهایت در دمای ۴۰۰ درجه سیلسیوس (در شرایط اکسیژن محدود، به مدت ۴ ساعت و در کوره الکتریکی) تولید شد و سپس از الک یک میلی‌متری عبور داده شد. برای تعیین خصوصیات فیزیکی و ظاهری بیوچار باگاس نیشکر از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی[1] (SEM) با بزرگنمایی ۳۵۰، ۲۵۰۰ و ۱۰۰۰۰ برابر استفاده شد (شکل ۱)، برای تعیین مقادیر برخی عناصر موجود در بیوچار از دستگاه تحلیل عنصری استفاده شد (جدول ۳). ارتفاع ستون خاک ۶۰ سانتی‌متر بود که بیوچار طبق تیمارهای انتخابی (سطوح صفر، یک، دو و سه درصد وزنی)، در عمق ۲۵ سانتی‌متر فوقانی با خاک ترکیب شد و سپس کشت گیاه در تاریخ ۱۳۹۷/۶/۴ انجام گرفت. در هر ستون خاک دو عدد نشا گوجه‌فرنگی کشت شد و برای دو هفته آبیاری سبک صورت گرفت و بعد از اینکه بوته ها مستقر شدند یک نشا حذف شده و تیمارهای کودی اعمال شد. کود اوره معمولی در سه مرحله از دوره کشت (اوایل کشت، زمان گلدهی و زمان میوه دهی)، و معادل ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار (۱۳۸ کیلوگرم نیتروژن در هکتار)(Peyvast, 2002) به ستون‌های خاک داده شد. کود کندرهای اوره با پوشش گوگردی با دارا بودن ۳۵ درصد نیتروژن، به مقداری معادل همان مقدار نیتروژن، یکبار در ابتدای فصل کشت داده شد. در طول دوره آزمایش آبشویی، میوه گوجه‌فرنگی نیز از تاریخ ۱۳۹۷/۹/۶ تا آخرین دوره اندازه‌گیری نیترات، جمع‌آوری شد و برای بررسی عملکرد گوجه‌فرنگی، وزن میوه در بوته برای هر ستون خاک ثبت شد.

[1] Scanning Electron Microscope

عمق آبیاری (I_g) با توجه به رابطه ۱ به میزان ۸/۵ سانتی-متر و به طور یکسان برای همه ستون‌های خاک با دور آبیاری یک هفته صورت گرفت که از این میزان آبیاری تقریبا به مقدار ۳۰ درصد (۲/۶ سانتی‌متر) به آبشویی اختصاص داده شد.

$$I_g = (\theta_{FC} - \theta_{pwp}) \times D_{rz} \times 1/3 \quad \text{(رابطه ۱)}$$

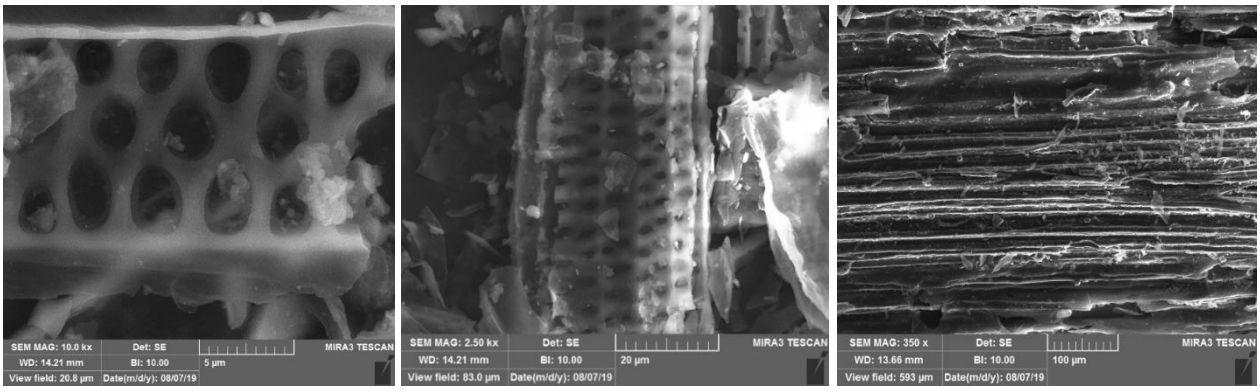
در این رابطه؛ θ_{FC} و θ_{pwp}: به ترتیب درصد رطوبت حجمی ظرفیت زراعی و پژمردگی دائم و D_{rz}: عمق ستون خاک به سانتی-متر می‌باشد، و عدد ۱/۳ برای ۳۰ درصد آبیاری بیشتر در رابطه قرار داده شد. برای اندازه‌گیری نیترات، در هر آبیاری از زه‌آب همه ستون‌های خاک نمونه‌برداری انجام گرفت و در ظرف‌های پلاستیکی تمیز و درب‌دار جمع‌آوری شده و به آزمایشگاه تخصصی مؤسسه تحقیقات فنی مهندسی کشاورزی انتقال داده و در یخچال نگهداری شد. غلظت نیترات نمونه‌های برداشته شده به صورت تجمعی در انتهای هر دوره (۵ دوره اندازه‌گیری)، در تاریخ‌های ۹۷/۶/۲۳، ۹۷/۷/۲۱، ۹۷/۸/۱۳، ۹۷/۹/۴ و ۹۷/۱۰/۳ با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. مقدار نیتروژن نیتراتی (NO_3-N) زه‌آب خروجی از نیمرخ خاک ۶۰ سانتی‌متری با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد:

$$L_{NO3} = DP \times C \quad \text{(رابطه ۲)}$$

که در این رابطه؛ L_{NO3}: مقدار نیترات آبشویی شده (میلی-گرم)، DP: مقدار آب نفوذ یافته (لیتر) و C: غلظت نیترات در آب (میلی‌گرم بر لیتر) می‌باشد. داده‌ها با آزمون LSD در سطح ۵ درصد و با استفاده از نرم افزار آماری SAS تجزیه و تحلیل شد.

جدول ۳- برخی عناصر و خصوصیات شیمیایی بیوچار مورد استفاده

درصد کربن	درصد نیتروژن	درصد هیدروژن	ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) (سانتی-مول بر کیلوگرم)	pH	EC (دسی‌زیمنس بر متر)
۵۵/۷۳	۲/۶۶	۳/۲۸	۱۲۷/۲	۷/۴	۰/۹۶



ج) بزرگنمایی ۱۰۰۰۰ برابر ب) بزرگنمایی ۲۵۰۰ برابر الف) بزرگنمایی ۳۵۰ برابر

شکل ۱- تصاویر SEM بیوچار باگاس نیشکر

نتایج و بحث

نتایج مربوط به تاثیر افزودن مقادیر مختلف بیوچار باگاس نیشکر و مصرف کودهای نیتروژنی اوره معمولی و اوره با پوشش گوگردی بر میزان آبشویی نیترات و همچنین عملکرد گوجه‌فرنگی، بررسی شد. نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که تاثیر تیمارهای مختلف بر روی آبشویی نیترات و عملکرد محصول در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شدند (جدول ۴).

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس مقادیر نیترات خروجی از ستون خاک و عملکرد گوجه‌فرنگی

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		آبشویی نیترات	عملکرد گوجه‌فرنگی
تیمار	۷	۱۶۴۸۱۰/۱*	۸۶۷۹/۳ *
بیوچار	۳	۲۶۶۲۶۸/۶ **	۱۷۰۷۶/۱۱ **
کود	۱	۲۹۴۸۱۶/۶ *	۸۸۱۶/۷ ns
بیوچار × کود	۳	۲۰۰۱۵/۹ ns	۲۳۶/۸ ns
خطای آزمایش	۱۶	۴۸۹۵۵/۱	۳۱۰۳/۷
ضریب تغییرات	-	۱۱/۰۹	۱۶/۲۸

**، *، ns به ترتیب نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، ۵ درصد و عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

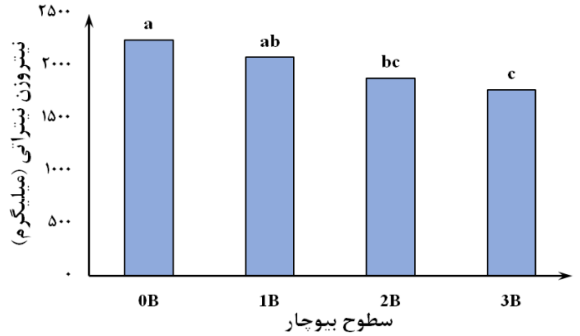
تاثیر بیوچار و کود بر آبشویی نیترات

اثر اصلی بیوچار و کود به طور معنی‌داری بر روی میزان نیترات خروجی از زهکش‌ها تاثیر داشتند و به ترتیب در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد معنی‌دار شدند، اما اثر متقابل بیوچار در کود بر روی میزان نیترات آبشویی شده معنی‌دار نبود. در بررسی تاثیر عامل بیوچار، مقایسه میانگین‌های نیترات خروجی طبق شکل ۲ نشان داد که سطح بیوچار ۳ درصد و ۲ درصد وزنی خاک بدون توجه به عامل کود نسبت به سطح بدون بیوچار، کاهش معنی‌داری را از لحاظ آبشویی در سطح احتمال پنج درصد داشتند. بررسی مقادیر نشان می‌دهد که افزایش هر واحد درصد وزنی بیوچار به خاک بدون توجه به عامل کود، به طور میانگین منجر به کاهش آبشویی تجمعی نیترات به اندازه ۱۶۲/۳ میلی‌گرم شده است (شکل ۲). همچنین در بررسی تاثیر عامل کود، کاربرد کود اوره با پوشش گوگردی بدون توجه به عامل بیوچار، به طور میانگین منجر به کاهش آبشویی نیترات به میزان ۱۰/۷ درصد نسبت به اوره معمولی شد (شکل ۳).

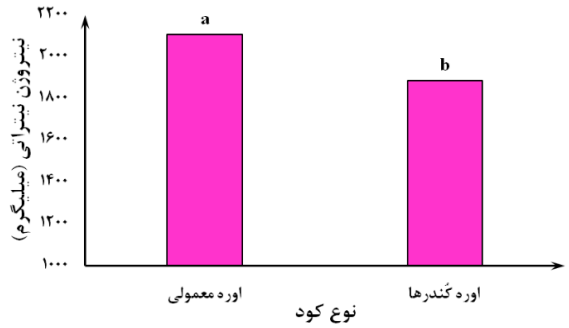
با توجه به شکل ۴ که مربوط به بررسی اثرات جداگانه استفاده از کودهای اوره و SCU در مقابل مقادیر بیوچار شده است، می‌توان دریافت که سطوح بیوچار در استفاده از کود اوره با پوشش گوگردی کاهش بیشتری از لحاظ آبشویی نیـترات را داشتند. این نتایج نشان می‌دهد که عامل بیوچار در کاربرد اوره معمولی برای کاهش آبشویی نیترات تاثیر کمتری داشته، ولی کاربرد کود اوره با پوشش گوگردی باعث می‌شود که عامل بیوچار عملکرد بهتری برای جذب و کاهش نیترات خروجی با زه‌آب داشته باشد. این اثر می‌تواند به دلیل انتشار آهسته و تدریجی نیتروژن توسط کود SCU باشد که در اثر جذب و نگهداشت آن توسط بیوچار و مصرف تدریجی توسط گیاه، باعث می‌شود که در کاهش آبشویی نیترات به مراتب بهتر عمل کند.

مقایسه مقادیر میانگین‌ها نشان می‌دهد که در کاربرد کود اوره، میزان نیترات خروجی به همراه زه‌آب ستون‌های خاک در سطوح بیوچار ۱، ۲ و ۳ درصد وزنی خاک به ترتیب ۶/۲، ۱۰/۱ و ۱۸/۳ درصد نسبت به خاک بدون بیوچار کاهش یافت که فقط در سطح بیوچار ۳ درصد وزنی معنی‌دار بود (شکل ۴). نتایج تحقیقی نیز نشان داد که آبشویی نیترات در کاربرد کود از منبع اوره و با مقادیر بیوچار کاه ذرت ۲ و ۴ درصد وزنی خاک به ترتیب ۱۸/۸ و ۱۹/۵ درصد کاهش یافت (Xu *et al.*, 2016). همچنین نتایج دیگر محققین که بر روی آبشویی در ستون‌های خاک انجام شده است، در مقدار ۲ درصد وزنی بیوچار باعث کاهش ۱۱ درصد آبشویی نیتروژن از خاک شده است (Laird *et al.*, 2010). با توجه به ساختار متخلخل بیوچار باگاس نیشکر (شکل ۱) می‌توان دریافت کرد که بیوچار باعث جذب و نگهداشت آب و همچنین مواد غذایی شده است که منجر به کاهش آبشویی نیترات می‌شود.

در این تحقیق و در کاربرد کود اوره با پوشش گوگردی (SCU)، میزان نیتـرات خروجی توسط زه‌آب در سطوح صفر، ۱، ۲ و ۳ درصد وزنی بیوچار به ترتیب با کاهشی به میزان ۵/۲، ۱۳/۴، ۲۶/۷ و ۲۸/۱ درصد در مقایسه با تیمار خاک با کود اوره معمولی و بدون بیوچار، همراه بود. در تحقیقی که بر روی آبشویی نیترات در کاربرد کود اوره با پوشش گوگردی انجام شد، کود SCU آبشویی نیترات را تا ۹/۹۴ درصد نسبت به اوره معمولی کاهش داد (Zareabyaneh & Bayatvarkeshi, 2015). بیشترین میزان آبشویی نیترات در تیمار اوره معمولی و بدون بیوچار با مقدار ۲۳۰۷ میلی‌گرم و کمترین میزان آبشویی نیترات در تیمار بیوچار ۳ درصد وزنی در کاربرد اوره با پوشش گوگردی با میزان ۱۶۵۹ میلی‌گرم اتفاق افتاد.



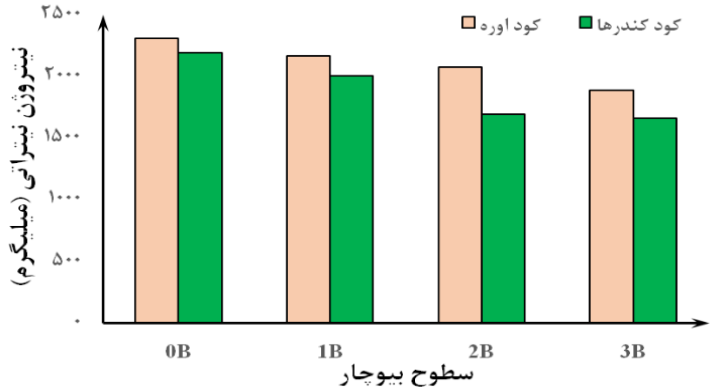
شکل ۲- تاثیر عامل بیوچار بر تغییرات آبشویی نیترات برای کل فصل



شکل ۳- تاثیر عامل کود بر تغییرات آبشویی نیترات برای کل فصل

در کاربرد بیوچار با استفاده از کود اوره معمولی و با توجه به حلالیت بالای اوره، سطح ۳ درصد وزنی کاهش قابل توجهی نسبت به بقیه سطوح نشان داده است که می‌تواند به دلیل ظرفیت بیشتر در نگهداشت آب و مواد غذایی باشد که توانسته برای مدت زمان بیشتری نیترات را در خود نگه دارد تا توسط گیاه بهتر جذب شود. همچنین با استفاده از کود اوره با پوشش گوگردی، ملاحظه

می‌شود که اثر کاهشی نیتروژن نیتراتی به صورت قابل‌توجهی در سطح ۲ درصد نیز قابل مشاهده است (شکل ۴). این اثر ممکن است به دلیل خاصیت کندرهایی کود SCU باشد که تیمار سطح ۲ درصد وزنی بیوچار هم توانسته فرصت بهتری برای جذب و نگهداشت آب و مواد غذایی از خود نشان دهد. زمان ماند بیشتر نیتروژن در خاک می‌تواند باعث شود فعل و انفعالات سطوح بیوچار از طریق جذب آمونیوم و نیترات به صورت بهتری صورت گیرد که در کود اوره معمولی به علت انحلال سریع کود و آبشویی آن، امکان تبادلات بیشتر برای جذب نیترات و آمونیوم از طریق بیوچار می‌تواند کمتر شود.



شکل ۴- تغییرات آبشویی نیترات در کاربرد دو نوع کود اوره معمولی و اوره با پوشش گوگردی (SCU)

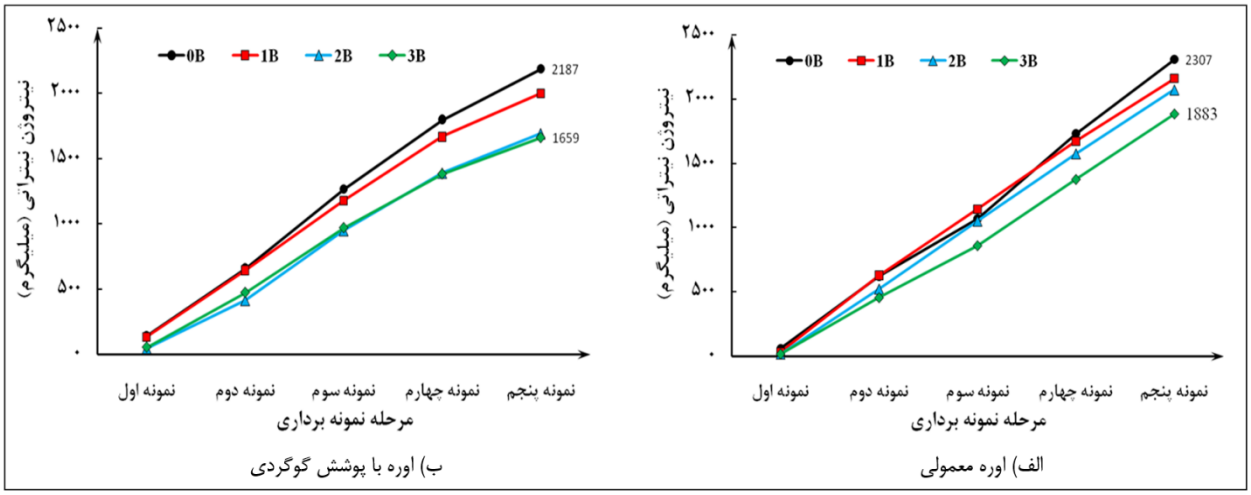
طی آزمایشی محققین دریافتند که بیوچار می‌تواند نگهداشت نیتروژن و آب قابل دسترس را افزایش دهد، بهره‌وری آب را بهبود بخشد و میزان آبشویی نیتروژن را کاهش دهد. در این آزمایش که بر روی بررسی تاثیر بیوچار مخلوط کاه و کود مرغی بر تغییرات آبشویی نیترات در ستون‌های خاک با قطر ۳۰ و ارتفاع ۳۵ سانتیمتری انجام گرفت، مشاهده شد که تیمار خاک اصلاح شده با بیوچار در مقایسه با تیمار خاک بدون بیوچار، میزان آبشویی نیترات را تا ۳۵ درصد کاهش داد و میزان آب قابل دسترس را به اندازه ۲۰ درصد (اینچ بر فوت) نسبت به تیمار خاک بدون بیوچار افزایش داد (Ahmed *et al.*, 2019). در تحقیق حاضر بررسی روند آبشویی نیترات تجمعی در دوره‌های مختلف آبیاری در شکل ۵ نیز نشان می‌دهد که در سطوح بیوچار ۲ و ۳ درصد وزنی خاک همواره میزان نیترات خروجی در طول دوره آزمایش کمتر از سطح یک درصد و سطح بدون بیوچار بوده است. بنابراین می‌توان دریافت که بیوچار از همان مراحل ابتدایی دوره آزمایش باعث جذب و نگهداشت نیترات شده است و این اثر کاهشی در طول دوره آزمایش پایدار بوده است. این پایداری و کاهش موثر در طول دوره آزمایش در اثر کاربرد کود کندرها بیشتر بوده است.

طبق مطالعات دیگری، اصلاح خاک با بیوچار می‌تواند باعث افزایش هدایت هیدرولیکی یا باعث ایجاد جریان ترجیحی در اطراف ذرات بزرگتر شود و منجر به افزایش آبشویی نیترات شود. از طرفی افزودن بیوچار به خاک منجر به افزایش ظرفیت نگهداشت آب می‌گردد و این ممکن است آبشویی نیترات را کاهش دهد. همچنین بیوچار ممکن است زمان باقی ماندن نیترات در خاک را افزایش دهد که این به نوبه خود فرصت بیشتری برای جذب گیاه را فراهم می‌کند (Clough *et al.*, 2013). در پژوهشی ملاحظه شد که کاربرد بیوچار حاصل از هرس درختان میوه، تأثیر معنی‌داری بر هدایت هیدرولیکی اشباع و غیر اشباع خاک نداشت و تنها باعث افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک در پتانسیل‌های نزدیک به نقطه اشباع گردید (Castellini *et al.*, 2015). به طور کلی نقش یک بیوچار در کاهش آبشویی نیترات به ظرفیت جذب نیترات، میزان کاربرد بیوچار، ویژگی‌های هیدرولیکی خاک، آبیاری، نوع خاک و تقاضای نیتروژن گیاه بستگی دارد (Clough *et al.*, 2013).

تاثیر بیوچار و کود بر عملکرد گوجه‌فرنگی

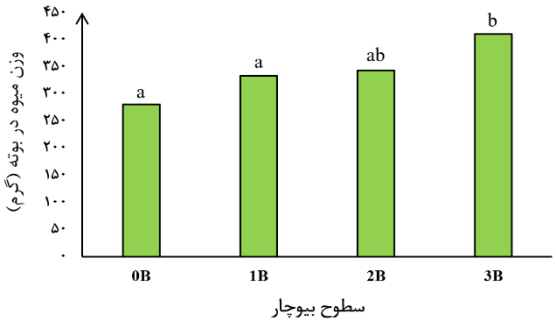
در بررسی عملکرد گوجه‌فرنگی، تیمارهای اعمال شده از لحاظ آماری تاثیر معنی‌داری بر روی محصول داشت (جدول ۴). با توجه به جدول تجزیه واریانس، اثر اصلی بیوچار بر عملکرد گوجه‌فرنگی از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد، اما اثر اصلی کود و همچنین اثر متقابل بیوچار و کود بر روی عملکرد گوجه فرنگی تاثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۴). همه سطوح بیوچار بر روی عملکرد گوجه‌فرنگی تاثیر مثبتی داشته و باعث افزایش آن شدند. در بین سطوح بیوچار تنها بیوچار ۳ درصد وزنی در سطح آماری ۵ درصد، نسبت به تیمارهای بیوچار صفر و یک درصد معنی‌دار شد. با توجه به شکل ۶، میزان محصول به ازای افزایش یک درصد بیوچار، ۴۰ گرم در هر بوته افزایش یافته است. بیشترین مقدار

متوسط وزن میوه گوجه‌فرنگی در تیمار بیوچار ۳ درصد و کود اوره معمولی ۳ تقسیط به وزن ۴۳۱ گرم در بوته و کمترین میزان وزن گوجه‌فرنگی در تیمار بیوچار صفر درصد و کود SCU به وزن ۲۶۷ گرم در بوته ثبت شد. این افزایش عملکرد محصول در سطوح بالاتر بیوچار می‌تواند به دلیل خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بیوچار به دلیل جذب و نگهداشت مواد غذایی از جمله نیتروژن باشد که باعث شده جذب توسط گیاه با سهولت انجام بگیرد. کود اوره با پوشش گوگردی اثر کاهشی ناچیزی بر روی عملکرد محصول داشت ولی این کاهش عملکرد از لحاظ آماری معنی‌دار نبود. با این حال میزان عملکرد گوجه‌فرنگی تیمار کود SCU + بیوچار ۳ درصد نسبت به تیمار اوره معمولی + بدون بیوچار، افزایش معنی‌داری داشته است. علت کاهش جزئی عملکرد در کود SCU شاید به دلیل نوع استفاده آن به صورت یکباره در ابتدای کشت باشد که می‌تواند تناسب کمتری با میزان تقاضای گیاه در مراحل مختلف کشت داشته باشد، ولی به نظر می‌رسد با استفاده از بیوچار و خاصیت نگهداشت آب و مواد غذایی، این اثر بهبود یافته است و از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشود.



شکل ۵- روند آبشویی نیترات در دو نوع کود: الف) اوره معمولی ب) اوره با پوشش گوگردی.

در طی آزمایشی، استفاده از بیوچار تهیه شده از پوشال نیشکر در دمای ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد به خاک باعث بهبود کارایی مصرف نیتروژن و در نتیجه باعث افزایش عملکرد محصول گندم شد، بطوریکه سطح بیوچار ۲ درصد وزنی، عملکرد دانه و زیست توده شاخه را به ترتیب ۲۷ و ۱۶ درصد افزایش داد، که همچنین منجر به پنجه زنی بیشتر و تعداد سر در مقایسه با خاک اصلاح نشده و بدون بیوچار شد (Abbruzzini *et al.*, 2019). در بررسی دیگر که روی گوجه‌فرنگی انجام شده است، نتایج نشان داد که بیوچار در دسترس بودن و جذب مواد مغذی ضروری را افزایش داده و همچنین عناصر سمی را به حداقل می‌رساند، بدین منظور که در اثر استفاده از ۵ و ۱۰ تن در هکتار بیوچار به خاک آلوده به فلزات سنگین، عملکرد گوجه‌فرنگی به ترتیب ۲۰ و ۳۰ درصد نسبت به خاک اصلاح نشده با بیوچار به طور معنی‌داری افزایش یافت (Almaroai *and* Eissa, 2020). همچنین طی یک آزمایش طولانی مدت به منظور تعیین اثر بیوچار بر عملکرد محصول، مشاهده شد که عملکرد سالانه گندم زمستانه یا ذرت تابستانه به دنبال استفاده از بیوچار به طور قابل‌توجهی افزایش نیافت، در حالی که عملکرد تجمعی طی ۴ فصل رشد به طور چشمگیری افزایش یافت (Liang *et al.*, 2014).



شکل ۶- تاثیر عامل بیوچار بر روی عملکرد گوجه‌فرنگی

به طور کلی، محصولات اصلی مهم مانند برنج، گندم، ذرت و سویا با افزودن بیوچار، به طور متوسط افزایش قابل‌توجهی در بهره‌وری محصول، تقریباً به میزان ۱۹ درصد نشان داده‌اند (Jeffery *et al.*, 2015). یکی از مکانیسم‌های اصلی که بیوچار از طریق آن عملکرد محصول را بهبود می‌بخشد، می‌تواند pH بالا و اثر آهکی آن باشد (Jeffery *et al.*, 2011)، که به نوبه خود باعث بهبود دسترسی و استفاده از مواد مغذی (به طور عمده فسفر و نیتروژن) می‌شود و برخی از عناصر سمی برای رشد گیاه مانند

Al^{3+} و Mn^{2+} را کاهش می‌دهد. همچنین، بخش معدنی بیوچار، پایه‌های آزاد مانند K^{+}، Ca^{2+} و Mg^{2+} را به محلول خاک اضافه می‌کند و مواد مغذی را به اشکال موجود برای جذب گیاه به راحتی فراهم می‌کند (Lehmann *et al.*, 2003). در مجموع، روش های مختلفی وجود دارد که بیوچار ممکن است بر تأمین آب خاک و نگهداری و رساندن مواد مغذی به گیاه تأثیر بگذارد، بنابراین تأثیرات مثبتی بر رشد گیاه و عملکرد دانه و میوه دارد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، به منظور بررسی اثر ترکیب خاک با بیوچار و استفاده از کود کندرها بر آبشویی نیترات در حضور کشت گیاه گوجه‌فرنگی، چهار سطح بیوچار حاصل از باگاس نیشکر و دو نوع کود اوره معمولی و کود اوره با پوشش گوگردی مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که انتقال نیترات به زیر ناحیه توسعه ریشه گیاه رابطه مستقیمی با سطح بیوچار دارد و با افزایش سطوح بیوچار، انتقال نیترات به عمق خاک کاهش می‌یابد. همچنین کاربرد بیوچار همراه با کود اوره با پوشش گوگردی به دلیل رهاسازی آهسته نیتروژن، تاثیر بیوچار در جذب و نگهداشت نیترات را بهبود بخشید و باعث کاهش نیترات خروجی از ستون-های خاک شد. نتایج نشان داد که بیشترین میزان آبشویی در تیمار بیوچار صفر درصد و اوره معمولی (۳ تقسیط)، به میزان ۲۳۰۷ میلی‌گرم و کمترین میزان آبشویی در تیمار بیوچار ۳ درصد و کود SCU (یکبار به‌صورت پایه) به مقدار ۱۶۵۹ میلی‌گرم اتفاق افتاد که کاهش ۲۸ درصدی را به همراه داشت. همچنین در بررسی تاثیر تیمارهای اعمال شده بر عملکرد گوجه‌فرنگی، نتایج مثبتی حاصل شد. بیشترین مقدار متوسط وزن میوه گوجه-فرنگی در تیمار بیوچار ۳ درصد و کود اوره معمولی ۳ تقسیط به وزن ۴۳۱ گرم در بوته و کمترین میزان وزن گوجه‌فرنگی در تیمار بیوچار صفر درصد و کود SCU به وزن ۲۶۷ گرم در بوته ثبت شد.

با توجه به نتایج به دست آمده، بیوچار قابلیت کاهش آبشویی نیترات را دارا بوده و علاوه بر آن، جایگزینی کود اوره با پوشش گوگردی به جای اوره معمولی، این روند کاهشی آبشویی نیترات را به طور قابل‌توجهی تقویت نمود. در پژوهش حاضر، میزان آلودگی ناشی از انتقال نیترات به زیر عمق ۶۰ سانتی‌متری خاک (عمق توسعه ریشه گیاه گوجه‌فرنگی)، در سطوح بالاتر بیوچار و کاربرد کود SCU کاهش یافت و همچنین اثرات مثبتی بر عملکرد محصول مشاهده شد. هدف اصلی این تحقیق، استفاده از روش‌هایی برای کاهش آلودگی نیترات بدون اثرات منفی بر عملکرد گیاه و یا خصوصیات خاک بود. بنابراین استفاده از ضایعات نیشکر به عنوان ماده اولیه تولید بیوچار با توجه به فراوانی آن می‌تواند نسبت به گزینه‌های دیگر، برتری داشته باشد. البته پیشنهاد می‌شود تحقیقات بیشتری در بررسی اثرات بلند مدت کاربرد بیوچار روی آبشویی نیترات و همچنین تاثیرات جانبی آن بر روی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (از جمله تجمع و نگهداشت فلزات سنگین در خاک) صورت گیرد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

Abbruzzini, T. F., Davies, C. A., Toledo, F. H., & Cerri, C. E. P. (2019). Dynamic biochar effects on nitrogen use efficiency, crop yield and soil nitrous oxide emissions during a tropical wheat-growing season. *Journal of environmental management*, *252*, 109638.

Ahmed, R., Li, Y., Mao, L., Xu, C., Lin, W., Ahmed, S., & Ahmed, W. (2019). Biochar Effects on Mineral Nitrogen Leaching, Moisture Content, and Evapotranspiration after 15N Urea Fertilization for Vegetable Crop. Agronomy, 9(6), 331.

Almaroai, Y. A., & Eissa, M. A. (2020). Effect of biochar on yield and quality of tomato grown on a metal-contaminated soil. *Scientia Horticulturae*, *265*, 109210.

Castellini, M., Giglio, L., Niedda, M., Palumbo, A. D., & Ventrella, D. (2015). Impact of biochar addition on the physical and hydraulic properties of a clay soil. *Soil and Tillage Research*, 154, 1-13.

Clough, T.J., Condron, L.M., Kammann, C. and Müller, C. (2013). A review of biochar and soil nitrogen dynamics. *Agronomy*, 3(2): 275-293.

Fangkum, A. and Reungsang, A. (2011). Biohydrogen production from sugarcane bagasse hydrolysate by elephant dung: Effects of initial pH and substrate concentration. *International Journal of Hydrogen Energy*, 36(14): 8687-8696.

Francis G.S., and Haynes R.J. (1991). The leaching and chemical transformation of surface-applied urea under flood irrigation. Fert. Res., (28): 139-146.

Foley, J.A., Defries, R., Asner, G.P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S.R., Chapin, F.S., Coe, M.T., Daily, G.C. and Gibbs, H.K. (2005). REVIEW global consequences of land use.

Gascho, G. and Snyder, G. (1976). Sulfur-coated Fertilizers for Sugarcane: I. Plant Response to Sulfur-coated Urea 1. *Soil Science Society of America Journal*, 40(1): 119-122.

Ghorbani, M., Asadi, H., & Abrishamkesh, S. (2019). Effects of rice husk biochar on selected soil properties and nitrate leaching in loamy sand and clay soil. *International soil and water conservation research*, 7(3), 258-265.

Harris, P. (1999). On charcoal. *Interdisciplinary Science Reviews*, 24(4): 301-306.

Jeffery, S., Verheijen, F. G., van der Velde, M., &

Bastos, A. C. (2011). A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agriculture, ecosystems & environment*, *144*(1), 175-187.

Jeffery, S., Bezemer, T. M., Cornelissen, G., Kuyper, T. W., Lehmann, J., Mommer, L., ... & van Groenigen, J. W. (2015). The way forward in biochar research: targeting trade-offs between the potential wins. *Gcb Bioenergy*, *7*(1), 1-13.

Kanthle, A.K., Lenka, N.K., Lenka, S. and Tedia, K. (2016). Biochar impact on nitrate leaching as influenced by native soil organic carbon in an Inceptisol of central India. *Soil and Tillage Research*, 157: 65-72.

Knowles, O., Robinson, B., 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.

Laird, D., Fleming, P., Wang, B., Horton, R. and Karlen, D. (2010). Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. *Geoderma*, 158(3-4): 436-442.

Lehmann, J. (2007). Bio-energy in the black. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(7): 381-387.

Lehmann, J., JR, J.P.S., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W., Glaser, B., (2003). Nutrient availability and leaching in an archaeological anthrosol and a ferralsol of the central amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. Plant Soil 249, 343–357.

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.

Liang, F., LI, G. T., LIN, Q. M., & ZHAO, X. R. (2014). Crop yield and soil properties in the first 3 years after biochar application to a calcareous soil. *Journal of Integrative Agriculture*, *13*(3), 525-532.

Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Kinyangi, J., Grossman, J., O'neill, B., Skjemstad, J.O., Thies, J., Luizão, F.J. and Petersen, J. (2006). Black carbon increases cation exchange capacity in soils. *Soil Science Society of America Journal*, 70(5): 1719-1730.

Malakouti, M., Bai, B.A., Shahabi, A., Siavashi, K., Vakil, R., Ghaderi, J., Shahabifar, J., Majidi, A., Jafar, N.A. and Dehghani, F. (2008). Comparison of complete and sulfur coated urea fertilizers with pre-plant urea in increasing grain yield and nitrogen use efficiency in wheat.

Malakouti, M. (2016). Optimal recommendations for fertilizer use for agricultural products in Iran (3th ed.). Tehran: moballeghan publishing. (in Farsi)

Peyvast, G. (2002) Vegetable production (2th ed.). Tehran: Agricultural Science. (in Farsi)

Robertson, G.P. and Swinton, S.M. (2005). Reconciling agricultural productivity and environmental integrity: a grand challenge for agriculture. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 3(1): 38-46.

Skowroñska, M. and Filipek, T. (2014). Life cycle assessment of fertilizers: a review. *International Agrophysics*, 28(1).

Smika D.E., Heermanm D.F., Duke H.R., and Bathchelder A.R. (1997). Nitrate-N percolation through irrigated sandy soil as different by water management. Agronomy Journal, 69(4): 623-626.

Sun, H., Lu, H., Chu, L., Shao, H. and Shi, W. (2017). Biochar applied with appropriate rates can reduce N leaching, keep N retention and not increase NH3 volatilization in a coastal saline soil. *Science of the Total Environment*, 575: 820-825.

Tesoriero A.J., and Voss F.D. (1997). Predicting of elevated nitrate concentration in the Puget Sound Basin: implication for susceptibility and vulnerability. Ground water, 35(6): 1029-1040.

Xu, N., Tan, G., Wang, H. and Gai, X. (2016). Effect of biochar additions to soil on nitrogen leaching, microbial biomass and bacterial community structure. *European Journal of Soil Biology*, 74: 1-8.

Yao, Y., Gao, B., Zhang, M., Inyang, M. and Zimmerman, A.R. (2012). Effect of biochar amendment on sorption and leaching of nitrate, ammonium, and phosphate in a sandy soil. *Chemosphere*, 89(11): 1467-1471.

Zareabyaneh, H. and Bayatvarkeshi, M. (2015). Effects of slow-release fertilizers on nitrate leaching, its distribution in soil profile, N-use efficiency, and yield in potato crop. *Environmental earth sciences*, 74(4): 3385-3393.

Zhu, Y.Y., Tang, W.Z., Jin, X., Shan, B.Q., (2019). Using biochar capping to reduce nitrogen release from sediments in eutrophic lakes. Sci. Total Environ. 646, 93-104.