پژوهش‌های خاک / الف / جلد 37 / شماره 1 بهار / 1402

10.22092/IJSR.2023.353179.578

بررسی اثر بیوچار ضایعات ساقه زرشک بر آبشویی نیترات از یک خاک لومی حاوی ماده آلی

حسین حمامی[1] علی شهیدی، و حنان حنفی

استادیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند؛ عضو گروه پژوهشی گیاه و تنش‌های محیطی؛ عضو گروه پژوهشی آبهای نامتعارف؛ ***hhammami@birjand.ac.ir***

دانشیار گروه علوم و مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند؛ ***ashahidi@birjand.ac.ir***

دانشجوی دکترای آبیاری و زهکشی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند؛ ***hannan.hanafi77@gmail.com***

ص 67 - 80

دریافت: **1399/11/21** و پذیرش: **1401/12/9**

چکیده

با توجه به آلودگی منابع آبی به آلاینده‌های مختلف مانند نیترات، استفاده از مواد اصلاح‌کننده نظیر بیوچار می‌تواند به عنوان راهکاری برای حل این مشکل محیط زیستی مورد توجه قرار گیرد. به منظور بررسی اثر بیوچار ضایعات ساقه زرشک بر آبشویی نیترات، آزمایشی به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال 1399 در آزمایشگاه خاک‌شناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند انجام شد. عامل‌های آزمایش شامل اندازه ذرات بیوچار در دو سطح (کمتر از 1 میلی‌متر و بزرگتر از 2/8 میلی‌متر (اندازه ذرات طبیعی)) و مقدار بیوچار در سه سطح (به مقدار 1%، 2% و 3% وزن خاک) بود. تیمار شاهد بدون بیوچار نیز برای مقایسه تیمارها با شاهد وجود داشت. بیوچار طی فرآیند تجزیه حرارتی (دمای 400 درجه سانتیگراد به مدت 6 ساعت) و در شرایط اکسیژن محدود تولید شد. گلدان‌ها تحت چرخه‌های مرطوب (ظرفیت مزرعه‌ای بعلاوه 20%) و خشک شدن (رطوبت پژمردگی دائم) قرارگرفته و غلظت نیترات در آب زهکش شده حاصل از آبیاری، در دو مرحله با فاصله شش هفته اندازه‌گیری شد. بیشترین و کمترین میزان آبشویی نیترات در نمونه‌گیری‌های انجام‌شده به ترتیب مربوط به تیمار شاهد بدون بیوچار و تیمار بیوچار با اندازه ذرات کمتر از 1 میلی‌متر به مقدار 1% وزنی بود. نتایج این پژوهش نشان داد که افزودن بیوچار به خاک در مقایسه با شاهد (بدون بیوچار) سبب کاهش آبشویی نیترات شد. تیمارهای بیوچار با اندازه ذرات کمتر از 1 میلی‌متر به مقدار 1%، 2% و 3% وزنی و بیوچار با اندازه ذرات طبیعی به مقدار 1%، 2% و 3% وزنی در مقایسه با شاهد در نمونه‌برداری دوم به ترتیب 83/6%، 82/4%، 76/8%، 81/7%، 64/2% و 60/2% درصد کاهش آبشویی را نشان دادند. افزون بر این، نتایج نشان داد که اثر بیوچار بر کاهش آبشویی نیترات در مورد ذرات با اندازه کمتر از 1 میلی‌متر بیشتر از ذرات بزرگتر از 2/8 میلی‌متر بود. با توجه به نتایج این پژوهش به نظر می‌رسد که کاربرد بیوچار ضایعات شاخه ناشی از برداشت زرشک می‌تواند سبب کاهش آبشویی نیترات و خطر انتقال آلودگی به سایر نقاط خاک شود.

واژه‌های کلیدی: آلاینده، آلودگی زه آب، مواد اصلاح کننده خاک

---

[1]. نویسنده مسئول، آدرس: *hhammami@birjand.ac.ir*

مقدمه

نیترات یک ماده شیمیایی با فرمول NO_3 است. نیترات اکسیدکننده‌ترین شکل نیتروژن است که در سیستم‌های طبیعی یافت می‌شود. نیترات یک ترکیب با بار منفی (آنیون) است که با یون‌های بار مثبت (کاتیون) ترکیب می‌شود و به صورت نمک‌های نیترات پتاسیم یا نیترات سدیم در می‌آید که به عنوان کود در کشاورزی به کار می‌رود. نیترات یکی از محلول‌ترین آنیون‌هایی است که شناخته شده است. نیترات به صورت نیترات سدیم و نیترات پتاسیم به عنوان کود کشاورزی به کار می‌رود. تولید صنعتی کودهای نیتروژنی توسط بشر از سال 1950 به طرز چشمگیری در سطح جهانی افزایش یافته است. در نتیجه افزایش جمعیت جهان، فشار به سیستم‌های کشاورزی و طبیعی برای افزایش تولید غذا به شدت افزایش یافته است. برای تأمین مواد غذایی مورد نیاز برای جمعیت در حال افزایش جهان سیستم‌های تک کشتی مبتنی بر مصرف کودهای شیمیایی و ارقام اصلاح‌شده با کودپذیری بالا گسترش یافته‌اند.

بنابراین هدرروی کودهای شیمیایی مورد استفاده به ویژه کودهای نیتروژنی و آلودگی منابع آب و خاک روی می‌دهد. تولید روزافزون کودهای شیمیایی در سراسر جهان از مهم‌ترین منابع افزایش نیتروژن در زمین است. فضولات انسانی و حیوانی، اکسیدهای نیتروژن ناشی از فعالیت‌های صنعتی و تثبیت نیتروژن اتمسفر توسط گیاهان خانواده حبوبات از جمله سایر منابع عمده افزاینده نیتروژن در زمین هستند. منابع آلی و غیر آلی نیتروژن طی فرایندهای معدنی شدن، هیدرولیز و نیتریفیکاسیون به نیترات تبدیل می‌شوند (فیلدز، 2004). در هر صورت کاربرد کودهای نیتراته در سیستم‌های کشاورزی به منظور دستیابی به عملکرد مطلوب به عنوان یک ضرورت شناخته شده است که در نتیجه آن آلودگی آب و خاک روی می‌دهد. به عنوان مثال در یک گزارش میزان آبشویی نیترات در یک سامانه زراعی معمول 25 تا 90 کیلوگرم در هکتار در سال عنوان شده است (باسو و ریتچ، 2005). یا به عبارتی دیگر حدود 50 درصد کودهای نیتروژنه مورد استفاده در سیستم های کشاورزی توسط گیاه جذب نشده و به هدر می‌رود. محققان ثابت کرده‌اند که در مناطق با ورودی نیتروژن زیاد و خاک‌های با زهکشی خوب، آب‌های زیرزمینی در معرض خطر تجمع نیترات می‌باشند (نولان و همکاران، 2002؛ ریفنگ و همکاران، 2014). نیترات در بسیاری از فرآیندهای صنعتی تولید شده و به محیط خاک، آب و هوا به عنوان آلاینده وارد می‌شود.

نیترات یک ماده مهم برای تغذیه گیاهان محسوب می‌شود ولی از نظر سلامت جامعه یک آلاینده‌ی مهم است. نیترات و فسفات، مواد مغذی مهمی برای رشد جلبک‌ها بوده و در نتیجه یکی از مسبب‌های اصلی تولید بو و رنگ در دریاچه‌های پشت سدها هستند (چن و همکاران، 2007).

نیترات به مقدار کم توسط گیاه جذب می‌شود. یون نیترات دارای بار منفی است که توسط ذرات رس خاک که آن‌ها هم عمدتاً دارای بار منفی هستند، جذب نمی‌شود و در نتیجه توسط آب باران و یا آب آبیاری شسته شده و از دسترس ریشه دور می‌شوند (تایلووا و همکاران، 2005؛ گولسبای، 2000). بنابراین مستقیماً وارد آب‌های سطحی و زیرزمینی خواهد شد. ممکن است نیترات به مقدار زیادی در خاک و منابع آب وجود داشته باشد، اما غلظت طبیعی آن در منابع آب زیرزمینی معمولاً کمتر از 10 میلی‌گرم در لیتر (معادل 0/16 میلی اکی والان در لیتر) است. غلظت بیشتر نیترات در منابع آب، اغلب دلالت بر تخلیه مستقیم نیترات موجود در کودها و آلودگی ناشی از ترکیبات آلی (فاضلاب و پساب‌ها) داشته و در نتیجه نشان‌دهنده آلودگی آب است. سازمان بهداشت جهانی *(WHO)* حداکثر مجاز غلظت نیترات در آب شرب را 50 میلی‌گرم در لیتر تعیین نموده است (سازمان بهداشت جهانی، 2004).

غلظت زیاد نیترات در آب آشامیدنی، تأثیر زیادی در افزایش خطر ابتلا به بیماری‌های خطرناک برای انسان از جمله دیابت، سرطان غدد لنفاوی، سرطان روده بزرگ و عوارض جانبی برای تولیدمثل خواهد داشت و گاهی منجربه مرگ می‌شود (برندر و همکاران، 2004 ؛ وارد و همکاران، 2005). علاوه بر این، آبشویی املاح مختلف نیتروژن دار منجر به کاهش کارایی کودهای نیتروژنی در تولید محصولات زراعی می‌شود. برای حل این مشکل، ایجاد شرایطی برای حفظ نیتروژن در لایه سطحی خاک نظیر استفاده از کودهای کنترل رهش (گنتیل و همکاران، 2009) و یا افزایش سطوح جاذب املاح در خاک (لمان و همکاران، 2003) مورد توجه محققین است.

چگونگی اثر کودهای کنترل رهش بر کاهش آبشویی در شرایط آبشویی شدید به خوبی شناخته‌شده نیست ولی استفاده از بیوچار به عنوان افزایش‌دهنده‌ی سطوح جاذب می‌تواند نقش تأثیرگذاری در این زمینه ایفا کند (هالیستر و همکاران، 2013؛ ژانگ و همکاران، 2015). بیوچار محصول تجزیه‌ی حرارتی موادی نظیر چوب، برگ گیاهان، باقیمانده‌های کشاورزی و کود حیوانی در یک فضای بسته‌ی فاقد اکسیژن یا دارای اکسیژن محدود و تحت حرارت زیاد است. بیوچار مقاومت زیادی در برابر تجزیه داشته و توانایی بسیار زیادی در جذب یون‌ها در مقایسه با سایر اشکال مواد آلی خاک دارا است (لیانگ و همکاران، 2006؛ لمان، 2007). سطح ذرات خاک، پارامتر فیزیکی مهمی است که نگهداری آب در خاک، ظرفیت نگهداری عناصر غذایی، تهویه و فعالیت میکروبی خاک را کنترل می‌کند (ون- ژوئیتن و همکاران، 2009؛ برانتلی و همکاران، 2015). تخلخل و توزیع اندازه منافذ خاک در ایجاد فضایی برای حفظ مواد مغذی مؤثر است. سطح ویژه زیاد 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 می‌دهد (لی و همکاران، 2014). بیوچار منجر به افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک می‌شود و در نتیجه منجر به کاهش آبشویی عناصر غذایی می‌گردد (سایدت و همکاران، 2021). علاوه بر این کاهش اثر منفی تنش خشکی در نتیجه کاربرد بیوچار تأیید شده است (اگرا و همکاران، 2016؛ آر و همکاران، 2017؛ پاتچ و همکاران، 2018). نتایج بررسی‌های متعدد نشان داده است که کاربرد بیوچار نه تنها سبب کاهش آبشویی نیترات و ممانعت از انتشار آلودگی نیترات به سایر نقاط می‌شود بلکه سبب افزایش حضور نیتروژن در محدوده رشد ریشه گیاه می‌شود (ون- ژوئیتن و همکاران، 2009؛ لی و همکاران، 2014؛ برانتلی و همکاران، 2015؛ حیدر و همکاران، 2017؛ چنگ و همکاران، 2017؛ دمیرتاژ و همکاران، 2018). از سوی دیگر بهبود شرایط برای فعالیت میکروارگانیسم ها در خاک در حضور بیوچار سبب افزایش فعالیت باکتری های موثر در تولید نیترات می‌شود (ون- ژوئیتن و همکاران، 2009؛ برانتلی و همکاران، 2015). بنابراین کاربرد بیوچار از جنبه‌های مختلف بیولوژیکی و اکولوژیکی سبب بهبود شرایط خاک می‌شود.

کشت زرشک در خراسان جنوبی قدمتی بیش از 200 سال دارد (کافی و همکاران، 2004). سطح زیر کشت زرشک در استان خراسان جنوبی حدود 11 هزار هکتار با تولید سالانه 9200 تن میوه خشک است (رادمهر، 2010). یکی از روش‌های بسیار متداول در برداشت زرشک به دلیل سخت بودن برداشت، هرس و برداشت زرشک با شاخه است که این شاخه‌ها پس از برداشت زرشک به عنوان ضایعات دور ریخته می‌شوند. با توجه به اینکه ضایعات برداشت محصول زرشک (ناشی از هرس سالیانه) بسیار زیاد است (حدود 36 تن در سال از کل باغات زرشک استان خراسان جنوبی). بنابراین بخش زیادی از شاخه‌های زرشک به عنوان ضایعات یا سوزانده شده و یا دور ریخته می‌شود بنابراین از این ضایعات می‌توان برای تولید بیوچار استفاده کرد. از سوی دیگر با توجه به کمبود نیتروژن خاک‌های کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک کاربرد کودهای مختلف شیمیایی و

آلی به منظور تأمین نیاز گیاهان کشت شده در این مناطق گسترش یافته است. علاوه بر این با وجود کم آبی شدیدی منطقه متاسفانه هنوز سیستم آبیاری در اغلب نقاط استان خراسان جنوبی و بیرجند بصورت غرقابی شدید (آبیاری بسیار سنگین) با مدار 14 تا 20 روزه است. بنابراین استفاده از این نوع بیوچار که از ضایعات شاخ ها و برگ ها زرشک تهیه می شود می تواند علاوه بر بهبود نگهداری آب در خاک های منطقه و افزایش ماده آلی خاک به کاهش آبشویی عناصر غذایی مانند نیتروژن کمک کند. لذا به منظور استفاده مطلوب از ضایعات شاخه‌های زرشک و ارزیابی اثر بیوچار زرشک در کاهش آبشویی نیترات از یک خاک لومی در بازه زمانی 3 ماهه این مطالعه انجام شد.

مواد و روش‌ها

ساقه‌های ناشی از برداشت و جمع آوری زرشک (به نوعی برای برداشت گیاه هرس می‌شود) از باغ دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند تهیه‌شد (برگ از ساقه ها جدا شد). ساقه ها در شرایط سایه قرار داده‌شده تا خشک شوند (پاییز سال 1398). بیوچار از ساقه‌های دورریز زرشک در دمای بالا درون کوره (400 درجه سانتیگراد) و طی فرآیند تجزیه حرارتی در شرایط اکسیژن محدود طی مدت زمان 6 ساعت تهیه شد (شکل 1). بیوچار تهیه‌شده از الک دارای مش 18 (اندازه سوراخ‌ها 1 میلی‌متر) عبور داده شد و بخش‌های عبور کرده به عنوان تیمار دارای اندازه ذرات کمتر از 1 میلی‌متر استفاده شد. بخش باقیمانده با الک دارای مش 7 (اندازه سوراخ‌ها 2/8 میلی‌متر) غربال شده و بخش باقیمانده بر روی این مش به عنوان تیمار دارای اندازه ذرات طبیعی بیشتر از 2/8 میلی‌متر استفاده شد.

خاک مورد استفاده در این تحقیق از لایه سطحی (0 تا 20 سانتی‌متر) نهالستان دانشگاه بیرجند تهیه شد و سپس در سایه خشک شده و از الک 2 میلی‌متری عبور داده شدند. میزان آب مورد نیاز در ظرفیت زراعی خاک در آزمایشگاه تعیین شد. به این منظور ابتدا میزان آب مورد نیاز برای حالت اشباع محاسبه شد. ابتدا ظرف توزین شد و سپس 100 گرم خاک خشک (72 ساعت در آون خشک شده بود) به ظرف منتقل شد و آب برای ایجاد گل اشباع به خاک اضافه شد (گل دارای سطح براق بوده و پس از ایجاد شیار روی آن، با ضربه های آهسته به ظرف شیار بسته می‌شد). ظرف حاوی گل اشباع توزین شده و سپس به مدت 48 ساعت در درون آون با دمای 80 درجه قرار داده شد و دوباره توزین شد. به این طریق میزان آب مورد نیاز برای ایجاد حالت اشباع محاسبه شد. در یک ظرف زهکش‌دار میزان آب مورد نیاز برای ایجاد حالت اشباع به خاک اضافه شد و ظرف با فاصله هر 12 ساعت توزین شد تا زمانی که در 3 مرتبه اندازه‌گیری وزن ثابت شد. سپس میزان آب مورد نیاز برای ایجاد ظرفیت زراعی محاسبه شد (کلوت، 1986؛ رومانو و سانتینی؛ 2002).

خصوصیات خاک و ماده آلی اضافه شده به خاک، مورد استفاده برای انجام آزمایش به ترتیب در جدولهای 1 و 2 نشان داده شده است. خصوصیات بیوچار نیز در جدول 3 نشان داده شده است. درصد ذرات و بافت خاک به روش هیدرومتری، جرم مخصوص ظاهری خاک به روش استوانه، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع خاک و بوسیله دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی، کربن آلی به روش اکسیداسیون مرطوب (والکلی و بلک، 1934)، نیتروژن خاک به روش کجلدال، فسفر به روش رنگ سنجی با دستگاه اسپکتوفوتومتر (السن و همکاران، 1954)، منیزیم، کلسیم، پتاسیم، روی، آهن و منگنز با استفاده از دستگاه جذب اتمی و سطح ویژه بیوچار بوسیله روش *BET* اندازه‌گیری و تعیین شدند.

جدول 1- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

درصد ذرات اولیه			کلاس بافتی خاک	جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (دسی زیمنس بر متر)	pH خمیر اشباع	کربن آلی (%)	نیتروژن خاک (%)	فسفر قابل‌جذب	پتاسیم قابل‌جذب
رس (%)	سیلت (%)	شن (%)							(میلی‌گرم بر کیلوگرم)	
13/3	42/6	44/1	لوم	1/38	2/58	7/3	0/511	/53	11/01	285/4

جدول 2- برخی ویژگی‌های خاک برگ پوسیده شده به عنوان منبع ماده آلی خاک

قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع (دسی زیمنس بر متر)	pH خمیر اشباع	کربن آلی (%)	نیتروژن	نسبت کربن به نیتروژن	پتاسیم	منیزیم	کلسیم	فسفر
					(میلی‌گرم بر کیلوگرم)			
0/24	7/58	5/88	0/74	7/95	78/00	50/00	45/70	23/20

جدول 3- برخی ویژگی‌های بیوچار تولید شده از شاخه‌های زرشک در دمای 400 درجه سانتی‌گراد

قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع (دسی زیمنس بر متر)	سطح ویژه (مترمربع بر گرم)	pH خمیر اشباع	کربن آلی (%)	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	منیزیم	کلسیم	روی	آهن	منگنز
							(میلی‌گرم بر کیلوگرم)				
3/4	216/9	3/7	72/4	22/3	11/01	958/8	232/5	1469/6	3/11	33/79	20/99

آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در انتهای سال 1398 و ابتدای سال 1399 در آزمایشگاه خاک‌شناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند انجام شد. عامل‌های آزمایش شامل اندازه ذرات بیوچار در دو سطح (کمتر از 1 میلی‌متر و بیشتر از 2/8 میلی‌متر (اندازه ذرات طبیعی)) و مقدار بیوچار در سه سطح (به مقدار 1، 2 و 3 درصد وزنی) بود. از تیمار شاهد بدون بیوچار برای مقایسه تیمارها با شاهد استفاده شد. نتایج آنالیز یک درصد ماده آلی با هدف ایجاد منبع نیتروژنی برای تولید نیترات (خاک برگ کاملاً پوسیده)، به طور یکنواخت با یک کیلوگرم خاک مخلوط شده و به هر واحد آزمایشی که شامل گلدان پلاستیکی زهکش‌دار به حجم یک لیتر بود، اضافه گردید (مجموعاً 21 گلدان) (شکل 2). گلدان‌ها در اسفند ماه 1398 آماده شده و آبیاری به صورت مداوم و هر دو هفته به وسیله آب مقطر و به میزان 20 درصد بیشتر از ظرفیت زراعی انجام شد.

نمونه‌برداری‌ها در دو مرحله و در 21 فروردین‌ماه و اول خردادماه 1399 با فاصله شش هفته انجام شد (شکل 3). میزان نیترات آب زهکش شده به وسیله دستگاه پالین تست 7100 مورد ارزیابی قرار گرفت (شکل 4). به این منظور ابتدا نیترات به کمک پودر نیترات (بر پایه روی) احیا شده و سپس با استفاده از قرص نیترات لخته سازی در داخل لوله آزمایش مخصوص انجام شد. بدین منظور 20 میلی‌لیتر نمونه به لوله نیترات منتقل شد. سپس یک پیمانه پودر نیتراتست و یک قرص سالم نیتراتست به لوله نیترات اضافه گردید و پس از بستن درب آن به مدت یک دقیقه هم زده شد. سپس یک دقیقه به حال خود رها شد و دوباره 3 تا 4 بار لوله وارونه گردید تا به لخته سازی کمک شود. لوله به مدت 5 دقیقه به حال خود رهاشده تا رسوب کامل مشاهده شود. سپس از محلول شفاف 10 میلی‌لیتر را به یک سل منتقل کرده و یک عدد قرص نیتریکول را خرد کرده و به آن اضافه

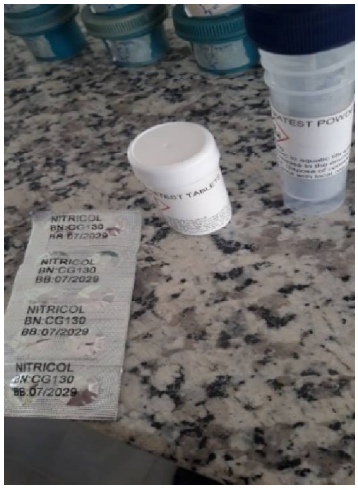
می‌کنیم و هم می‌زنیم و اجازه می‌دهیم تا تغییر رنگ به صورت کامل و یکنواخت ظاهر شود. این کار به بیش از 10 دقیقه زمان نیاز دارد. سپس طیف‌سنج را برای قرائت نیترات تنظیم کرده و محتوای نیترات نمونه‌ها بر حسب میلی‌گرم بر لیتر قرائت شد (وگنر، 1972).

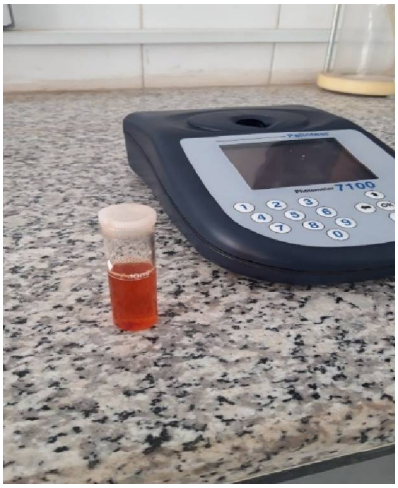
تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها بصورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی به همراه شاهد مستقل و با استفاده از نرم‌افزار *SAS 9.4* انجام شد. آزمون مقایسه میانگین بر اساس *LSD* محافظت شده انجام شد. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار *Excel* استفاده شد.

شکل 1- نمونه‌های بیوچار تهیه‌شده: شکل سمت راست) اندازه ذرات کمتر از 1 میلی‌متر؛ شکل سمت چپ) اندازه ذرات بیشتر از 2/8 میلی‌متر

شکل 2- گلدان‌های مورد استفاده برای انجام آزمایش (شکل سمت راست) و نمونه‌های جمع‌آوری شده از زهکش گلدان‌ها (شکل سمت چپ)

شکل 3- نمونه‌های جمع‌آوری شده از زهکش گلدان‌ها





شکل 4- دستگاه مورد استفاده برای تعیین نیترات نمونه‌های آب (پالین تست 7100)

نتایج و بحث

آزمایش بصورت فاکتوریل با تیمار شاهد آنالیز شد. نتایج آزمایش نشان داد که تیمارهای آزمایشی در هر دو مرحله نمونه‌برداری اثر معنی‌داری بر غلظت نیترات در آب زهکش شده دارند ($P<0/001$) (جدول 4). علاوه بر این نتیجه مقایسه تیمارها با شاهد در هر دو مرحله نمونه‌برداری نیز نشان‌دهنده اثر معنی‌دار تیمارها در مقایسه با شاهد بود ($P<0/01$) (جدول 4). اندازه ذرات و مقدار بیوچار در اندازه‌گیری اول در سطح 5 درصد معنی‌دار بودند در حالی که این نوع تیمارها در اندازه‌گیری دوم در سطح 1 درصد معنی‌دار بودند. اثر متقابل اندازه ذرات در مقدار بیوچار در اندازه‌گیری اول معنی‌دار نبود. در حالی که این اثر در اندازه‌گیری دوم معنی‌دار بود ($P<0/001$) (جدول 4).

نتایج سایر بررسی‌ها نیز نشان داده است که کاربرد بیوچارهای مختلف باعث کاهش آبشویی نیترات می‌گردد که این نتایج به دلیل سطح ویژه فوق‌العاده زیاد و ظرفیت جذب آنیونی بسیار بالای بیوچار بویژه در شرایط تهیه بیوچار در دماهای بالا است به دلیل افزایش نسبت کربن به نیتروژن و همچنین محتوای بالایی از کاتیون های مختلف در ترکیب بیوچار است (جدول 3) (داونی و همکاران، 2007؛ ون- ژوئیتن و همکاران، 2009؛ لارید و همکاران، 2010؛ لی و همکاران، 2014؛ برانتلی و همکاران، 2015؛ حیدر و همکاران، 2017؛ چنگ و همکاران، 2017؛ دمیرتاژ و همکاران، 2018). بطور کلی خصوصیات خاک نظیر اسیدته، ظرفیت تبادل کاتیونی و آنیونی و همچنین ظرفیت بافری خاک تحت تأثیر کاربرد بیوچار قرار می‌گیرد که میزان تأثیر بیوچار به ماده خام، شرایط دمایی و فقدان یا کمبود اکسیژن و همچنین مقدار کاربرد بیوچار وابسته است (لهمن و جوزف، 2009؛ سایدت و همکاران، 2021).

جدول 4- میانگین مربعات اثر تیمارهای آزمایش بر میزان نیترات آبشویی شده

منبع تغییرات	درجه آزادی	میزان نیترات نمونه‌برداری اول (میلی‌گرم بر لیتر)	میزان نیترات نمونه‌برداری دوم (میلی‌گرم بر لیتر)
تیمارها	6	100128/96 ***	126318/30 ***
مقایسه تیمارها با شاهد	1	540833/53 ***	685100/64 ***
اندازه ذرات	1	19012/50 *	32004/50 ***
مقدار بیوچار	2	16334/72 *	14691/17 ***
اندازه ذرات * مقدار بیوچار	2	4129/17 ns	5711/17 ***
خطا	12	2663/49	254/13
ضریب تغییرات (%)	--	20/62	6/44

به ترتیب *** معنی‌داری در سطح احتمال 0/1 درصد، * معنی‌داری در سطح احتمال 5 درصد، ns غیر معنی داری را نشان می‌دهند.

افزودن بیوچار به خاک دارای بافت رسی به میزان 20 گرم در کیلوگرم باعث افزایش سطح ویژه خاک از 130 به 150 مترمربع شد (لارید و همکاران، 2010). علاوه بر این بیوچار به دلیل نسبت بالای کربن به نیتروژن دارای قدرت جذب آنیونی زیادی است (هالیستر و همکاران، 2013؛ لی و همکاران، 2014؛ ژانگ و همکاران، 2015) که باعث جذب آنیون‌های مختلف نظیر نیترات می‌شود و در نتیجه آبشویی آنیون‌های دارای حلالیت بالا

در آب نظیر نیترات را به میزان زیادی کاهش می‌دهد. کاهش آبشویی ترکیبات فسفاته نیز در نتیجه کاربرد بیوچار گزارش شده است (لایرد و همکارن، 2010؛ ژانگ و همکاران، 2021). کاربرد بیوچار منجر به کاهش آبشویی نیترات و فسفات شده و در نتیجه باعث بهبود حاصلخیزی خاک شد و در نهایت رشد بهتر گیاهان کشت شده را با بهبود خصویات رشدی سبب شد (ژانگ و همکاران، 2021). کاهش آبشویی نیترات در آزمایش‌های گلخانه‌ای (نلسون و همکاران، 2011؛ برون و همکاران، 2012؛ هایدر و همکاران، 2015) و مزرعه‌ای (هایدر و همکاران، 2016؛ هان و همکاران، 2016) گزارش شده است. کاهش آبشویی نیترات و در نتیجه افزایش میزان نیتروژن در دسترس ریشه گیاه به دلیل کاربرد بیوچار در خاک گزارش شده است. به عنوان مثال نتایج بررسی 4 ساله‌ای نشان داد که کاربرد بیوچار نه تنها باعث افزایش میزان نیترات در دسترس گیاه (کاهش آبشویی) می‌شود بلکه سبب افزایش محتوای رطوبت خاک نیز می‌گردد (هایدر و همکاران، 2017). افزودن بیوچار به خاک نه تنها باعث کاهش آبشویی نیترات می‌شود بلکه با رهاسازی تدریجی نیترات میزان فراهمی آن را برای جذب به وسیله ریشه افزایش می‌دهد بنابراین گیاه در طول دوره رشد با کمبود نیتروژن به مقدار کمتری مواجه می‌شود. البته در ابتدای دوره رشد ممکن است کمبود نیتروژن شدیدتر باشد بنابراین مدیریت کود دهی در این دوره از رشد گیاه باعث ممانعت از کاهش عملکرد گیاه زراعی می‌شود (هایدر و همکاران، 2017).

مقایسه میانگین محتوای نیترات نمونه‌های آب زهکش شده با توجه به عدم معنی‌داری اثر متقابل اندازه ذرات در مقدار بیوچار در اندازه‌گیری اول (جدول 4) مقایسه میانگین اثرات ساده اندازه ذرات و مقدار بیوچار بررسی شد (جدول های 5 و 6). نتایج مقایسه میانگین داده‌های حاصل از نمونه‌برداری اول ناشی از اثر اندازه ذرات در جدول 5 نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود اثر اندازه ذرات در هر دو نوبت نمونه‌بردای بر آبشویی نیترات کاهشی و معنی‌دار در مقایسه با شاهد بدون بیوچار است. بیش‌ترین و کم‌ترین میزان آبشویی در نمونه‌برداری اول به ترتیب مربوط به تیمار شاهد و تیمار بیوچار با اندازه ذرات کمتر از 1 میلی‌متر مشاهده شد. البته میزان آبشویی اختلافی معنی‌دار را ناشی از اندازه ذرات در نمونه‌برداری اول نشان نداد (جدول 5). اندازه ذرات کمتر از 1 و بیشتر از 2/8 میلی‌متر به ترتیب منجر به کاهش آبشویی به میزان 76/3 و 66/2 در مقایسه با شاهد در نمونه‌برداری اول شدند. در نمونه برداری دوم علاوه بر اختلاف تیمارها با شاهد، بین اندازه ذرات نیز اختلاف معنی‌داری مشاهده شد و کاهش 80/9 و 68/7 درصدی میزان آبشویی به ترتیب در اندازه ذرات کمتر از 1 میلی متر و بیشتر از 2/8 میلی متر مشاهده شد.

جدول 5- مقایسه میانگین اثر اندازه ذرات بر میزان نیترات آبشویی شده

تیمارها	میزان نیترات نمونه‌برداری اول (میلی‌گرم بر لیتر)	میزان نیترات نمونه‌برداری دوم (میلی‌گرم بر لیتر)
شاهد	643/33 ^{a}	690/33 ^{a}
کمتر از 1 میلی‌متر	152/22 ^{b}	131/67 ^{c}
بیشتر از 2/8 میلی‌متر	217/22 ^{b}	216/00 ^{b}
LSD 5%	68/43	21/14

وجود حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح 5 درصد است.

نتایج مقایسه میانگین اثر مقدار کاربرد بیوچار بر میزان آبشویی نیترات در جدول 6 نشان داده شده است. بطور کلی با نتایج مقایسه میانگین نشان داد که کمترین مقدار آبشویی در کاربرد مقدار 1 درصد وزنی بیوچار در مقایسه با شاهد به میزان 79/7و 82/6 درصد به ترتیب در نمونه برداری اول و دوم مشاهده شد. افزایش مقدار وزنی بیوچار منجر به کاهش توان ممانعت کنندگی بیوچار در آبشویی نیترات شد و این وضعیت در هر دو نوبت اندازه‌گیری مشاهده شد. از آنجا که کاربرد بیوچار ممکن است سبب کاهش در دسترس قرار گرفتن نیترات برای گیاه شود بنابراین مقدار کمتر بیوچار باعث کاهش خطر افت عملکرد گیاه زراعی بویژه در ابتدای دوره رشد می‌شود (هایدر و همکاران، 2017). با وجود اینکه کاربرد بیوچار سبب کاهش آبشویی نیترات و همچنین افزایش محتوای رطوبت خاک شد ولی کاهش عملکرد گیاه ذرت و جو را باعث شد بنابراین مقدار بیوچار و کود دهی در شرایط استفاده از بیوچار به عنوان عوامل بسیار مهم و تأثیر گذار در عملکرد گیاهان زراعی محسوب می‌شوند (هایدر و همکاران، 2017).

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل اندازه ذرات در مقدار بیوچار بر میزان نیترات در نمونه‌برداری دوم نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین کاربرد و عدم کاربرد بیوچار زرشک بر آبشویی نیترات وجود دارد (جدول 7).

جدول 6- مقایسه میانگین اثر مقدار بیوچار بر میزان نیترات آبشویی شده

تیمارها	میزان نیترات نمونه‌برداری اول (میلی‌گرم بر لیتر)	میزان نیترات نمونه‌برداری دوم (میلی‌گرم بر لیتر)
شاهد	643/33 ^{a}	690/33 ^{a}
1 درصد وزنی	130/83 ^{c}	120/00 ^{d}
2 درصد وزنی	188/33 ^{bc}	184/17 ^{c}
3 درصد وزنی	235/00 ^{b}	217/33 ^{b}
LSD 5%	72/58	22/42

وجود حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح 5 درصد است.

جدول 7- مقایسه میانگین اثر متقابل اندازه ذرات و مقدار بیوچار بر میزان نیترات آبشویی شده در نمونه برداری دوم

اندازه ذرات	مقدار بیوچار	میزان نیترات نمونه‌برداری دوم (میلی‌گرم بر لیتر)
شاهد بدون بیوچار	صفر	690/33 ^{a}
اندازه ذرات کمتر از 1 میلی‌متر	1 درصد وزنی	113/33 ^{d}
	2 درصد وزنی	121/67 ^{d}
	3 درصد وزنی	160/00 ^{c}
اندازه ذرات بیشتر از 2/8 میلی‌متر	1 درصد وزنی	126/67 ^{d}
	2 درصد وزنی	246/67 ^{b}
	3 درصد وزنی	274/67 ^{b}

وجود حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح 5 درصد است.

در تیمارهای بیوچار با اندازه ذرات کمتر از 1 میلی‌متر به مقدار 1 درصد وزنی، بیوچار با اندازه ذرات کمتر از 1 میلی‌متر به مقدار 2 درصد وزنی، بیوچار با اندازه ذرات کمتر از 1 میلی‌متر به مقدار 3 درصد وزنی، بیوچار با اندازه ذرات طبیعی به مقدار 1 درصد وزنی، بیوچار با اندازه ذرات طبیعی به مقدار 2 درصد وزنی و بیوچار با اندازه ذرات طبیعی به مقدار 3 درصد وزنی در مقایسه با شاهد به ترتیب 83/6، 82/4، 76/8، 81/7، 64/2 و 60/2 درصد کاهش آبشویی نیترات مشاهده شد که در مقایسه با شاهد همگی کاهش معنی‌دار را نشان دادند. بطور کلی بیشترین میزان کاهش آبشویی در اندازه ذرات کمتر از 1 میلی‌متر مشاهده شد (جدول 7). در مجموع تفاوت معنی‌داری بین مقدار 1 و 2 درصد وزنی در اندازه ذرات کمتر از 1 میلی متر و 1 درصد وزنی در ذرات بیشتر از 2/8 میلی متر مشاهده نشد. علاوه بر این بین غلظت های 2 و 3 درصد وزنی با اندازه ذرات بیشتر از 2/8 میلی‌متر نیز تفاوت معنی‌داری با یکدیگر مشاهده نشد. بر اساس نتایج این آزمایش می‌توان بیان داشت که حداقل در طی سه ماه اثرات پایدار بیوچار زرشک بر کاهش آبشویی نیترات مشاهده می‌شود.

نتیجه‌گیری کلی

به طور کلی نتایج این بررسی نشان داد که افزودن بیوچار به خاک در هر سه سطح و هر دو اندازه ذرات موجب کاهش معنی‌دار آبشویی نیترات در مقایسه با عدم کاربرد بیوچار به عنوان شاهد گردید. در بین تیمارها، کاربرد بیوچار زرشک با اندازه کمتر از 1 میلی‌متر و مقدار 1 درصد وزنی منجر به کمترین میزان آبشویی نیترات شد. بر این اساس و به طور قطعی می‌توان دریافت که افزودن بیوچار به خاک موجب کاهش آبشویی نیترات از خاک می‌شود و این اثر حداقل برای سه ماه پایدار بوده است. قابلیت جذب آنیونی و سطح ویژه‌ی بالای بیوچار از جمله دلایل اصلی برای جذب یون‌های نیترات و نگهداری آن در خاک می‌باشند. در تحقیق حاضر افزایش مقدار بیوچار تأثیری بر افزایش کارکرد بیوچار در جلوگیری از آبشویی نیترات نداشت. کاهش تاثیر حجم‌های بیش تر بیوچار در ممانعت از آبشویی نیترات ممکن است به دلیل بافت نسبتاً سبک خاک و همچنین افزایش منافذ درشت خاک در این تیمارها باشد که منجر به افزایش محتوای نیترات آبشویی شده باشد. با این وجود بین تیمار حجم‌های بالای بیوچار و تیمار شاهد باز هم مقدار آبشویی نیترات کاهش معنی‌داری را نشان می دهد. علاوه بر این بطور کلی اندازه ذرات کوچک‌تر بیوچار کارآیی بیش‌تری در ممانعت از آبشویی نیترات در مقایسه با ذرات درشت داشت که می توان این رویداد را مربوط به افزایش منافذ درشت خاک دانست. افزایش سطح جذب ذرات کوچک‌تر بیوچار نسبت به ذرات بزرگ‌تر باعث اثر بازدارندگی بیشتر آن‌ها بر آبشویی نیترات گردیده است. با توجه به استفاده از ضایعات زرشک به عنوان بیوچار، به نظر می‌رسد که کاربرد بیوچار زرشک نه تنها می‌تواند خطر انتقال آلودگی نیترات به سایر نقاط را کاهش دهد بلکه می‌تواند به عنوان یک راهکار اقتصادی و دوستدار محیط زیست برای کاهش آلودگی آب و خاک به نیترات نیز مورد استفاده قرار گیرد.

فهرست منابع:

1. *Are, K. S., Adelana, A. O., Fademi, I. O., Aina, O. A. 2017. Improving physical properties of degraded soil: Potential of poultry manure and biochar. Agriculture and Natural Resources, 51(6), 454-462.*
2. *Basso, B., and J.T. Ritchie. 2005. Impact of compost, manure and inorganic fertilizer on nitrate leaching and yield for a 6-year maize- alfalfa rotation in Michigan. Agric. Ecosyst. Environ. 108: 329–341.*

3. *Brantley, K.E., Brye, K.R., Savin, M.C., and D.E. Longer. 2015. Biochar source and application rate effects on soil water retention determined using wetting curves. Open. J. Soil. Sci. 5:1–10.*
4. *Brender, J.D., Olive, J.M., Felkner, M. Suarez, L. Marckwardt, W., and K.A. Hendricks. 2004. Dietary nitrites and nitrates, nitrosatable drugs, and neural tube defects. Epidemiology. 15:330–336.*
5. *Bruun, E.W., Ambus, P., Egsgaard, H., and H. Hauggaard-Nielsen. 2012. Effects of slow and fast pyrolysis biochar on soil C and N turnover dynamics. Soil. Biol. Biochem. 46:73–79.*
6. *Chen, X.M., Wu, H.S. and F. Wo. 2007. Nitrate vertical transport in the main paddy soils of Tai Lake region, China. Geoderma. 142:136–141.*
7. *Cheng, H., Jones, D. L., Hill, P., Bastami, M. S., Tu, C. L. 2018. Influence of biochar produced from different pyrolysis temperature on nutrient retention and leaching. Archives of Agronomy and Soil Science, 64(6), 850-859.*
8. *Demiraj, E., Libutti, A., Malltezi, J., Rroço, E., Brahushi, F., Monteleone, M., Sulçe, S. 2018. Effect of organic amendments on nitrate leaching mitigation in a sandy loam soil of Shkodra district, Albania. Italian Journal of Agronomy, 13(1), 93-102.*
9. *Downie, A., Van Zwieten, L., Doughty, W., and F. Joseph. 2007. Nutrient retention characteristics of chars and the agronomic implications. In Proceedings, International Agrichar Iniative Conference, 30th April-2nd May.*
10. *Fields, S. 2004. Global nitrogen: cycling out of control. Environ. Health. Perspect. 112:557–563.*
11. *Gentile, R., Vanlauwe, B., van Kessel, C., and J. Six. 2009. Managing N availability and losses by combining fertilizer-N with different quality residues in Kenya. Agric. Ecosyst. Environ. 131:308–314.*
12. *Goolsby, D.A. 2000. Mississippi basin nitrogen flux believed to cause Gulf hypoxia. Eos, Transactions American Geophysical Union, 81:321–327.*
13. *Greenberg, A., and A. Eaton. 2005. Standard Methods for Examination of Water and Waste Water. American Public Health Association.*
14. *Han, F., Ren, L., and X.C. Zhang. 2016. Effect of biochar on the soil nutrients about different grasslands in the Loess Plateau. Catena. 137:554–562.*
15. *Haider, G., Koyro, H.W., Azam, F., Steffens, D., Müller, C., and C. Kammann. 2015. Biochar but not humic acid product amendment affected maize yields via improving plant-soil moisture relations. Plant. Soil. 395:141–157.*
16. *Haider, G., Steffens, D., Müller, C., and C.I. Kammann. 2016. Standard extraction methods may underestimate nitrate stocks captured by field-aged biochar. J. Environ. Qual. 45:1196–1204.*
17. *Haider, G., Steffens, D., Moser, G., Müller, C., and Kammann, C.I. 2017. Biochar reduced nitrate leaching and improved soil moisture content without yield improvements in a four-year field study. Agric. Ecosyst. Environ. 237:80–94.*
18. *Hollister, C.C., Bisogni, J.J., and J. Lehmann. 2013. Ammonium, nitrate, and phosphate sorption to and solute leaching from biochars prepared from corn stover and oak wood. J. Environ. Qual. 42:137–144.*
19. *Kafi, M., and A. Balandari. 2004. Barberry (Berberis vulgaris): Production and processing. Ferdowsi University Press, Mashhad, Iran.*
20. *Knowles, O.A., Robinson, B.H., Contangelo, A. and L. Clucas. 2011. Biochar for the mitigation of nitrate leaching from soil amended with biosolids. Sci. Total Enviorn. 409:3206–3210.*

21. *Laird, D.A., Fleming, P., Davis, D.D., Horton, R., Wang, B., and D.L. Karlen. 2010. Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil. Geoderma. 158:443–449.*
22. *Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Kinyang, J., Grossman, J., O'Neill, B. Skjemstard, J.O., Thies, J. Luiza, F.J., Peterson, J., and E.G. Neves. 2006. Black carbon increases CEC in soils. Soil. Sci. Soc. Am. J. 70:1719–1730.*
23. *Lie, J.H., Lv, G.H., Bai, W.B., Liu, Q., Zhang, Y.C., and J.Q. Song. 2014. Modification and use of biochar from wheat straw (Triticum aestivum L.) for nitrate and phosphate removal from water. Desalination. Water. Treat. 57:4681–4693.*
24. *Lehmann, J. 2007. Bio-energy in the black. Front. Ecol. Environ. 5: 381–387.*
25. *Lehmann, J., da Silva, J.P., Steiner, C.J., Nehls, T., Zech, W., and B. Glaser. 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.*
26. *Lehmann, J., & Joseph, S. (Eds.). 2015. Biochar for environmental management: science, technology and implementation. Routledge.*
27. *Nelson, N.O., Agudelo, S.C., Yuan, W., and J. Gan. 2011. Nitrogen and phosphorus availability in biochar-amended soils. Soil Sci. 176: 218–226.*
28. *Nolan, B.T., Hitt, K.J., and B.C. Ruddy. 2002. Probability of nitrate contamination of recently recharged groundwaters in the conterminous United States. Environ. Sci. Technol. 36: 2138–2145.*
29. *Ogura, T., Date, Y., Masukujane, M., Coetzee, T., Akashi, K., Kikuchi, J. 2016. Improvement of physical, chemical and biological properties of aridisol from Botswana by the incorporation of torrefied biomass. Scientific reports, 6(1), 28011.*
30. *Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanabe, F. S., Dean, L. A. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. Circular, Vol 939 (p. 19). Washington, DC: US Department of Agriculture.*
31. *Paetsch, L., Mueller, C. W., Kögel-Knabner, I., Von Lützow, M., Girardin, C., Rumpel, C. 2018. Effect of in-situ aged and fresh biochar on soil hydraulic conditions and microbial C use under drought conditions. Scientific reports, 8(1), 6852.*
32. *Radmehr, A. 2010. Results of sampling survey of garden product in 2009. Ministry of Agriculture, Tehran, Iran.*
33. *Ri-Feng, K., Zhang, N.M., Jing, S., Li, B., and C.G. Zhang. 2014. Effects of biochar-based fertilizer on soil fertility, wheat growth and nutrient absorption. Soil. Fertilizers. 6:33-38.*
34. *Siedt, M., Schäffer, A., Smith, K. E., Nabel, M., Roß-Nickoll, M., van Dongen, J. T. 2021. Comparing straw, compost, and biochar regarding their suitability as agricultural soil amendments to affect soil structure, nutrient leaching, microbial communities, and the fate of pesticides. Science of the Total Environment, 751, 141607.*
35. *Troeh, F. R and L.M. Thompson. 2005. Soils and Soil Fertility, Blackwell Publishing, Iowa, US.*
36. *Tylova, M.E., Lorenzen, B., Brix, H., and O. Votrubova. 2005. The effects of NH_4 and NO_3 on growth, resource allocation and nitrogen uptake kinetics of Phragmites australis and Glyceria maxima. Aquat. Bot. 81:326–342.*
37. *Van Zwieten, V.L., Singh, B., Joseph, S., Kimber, S., Cowie, A., and Y.K. Chan. 2009. Biochar and emissions of non-CO2 greenhouse gases from soil. In: Lehmann, J., Joseph, S. (Eds.), Biochar for Environmental Management Science and Technology. Earthscan Press, UK, PP. 227–249.*
38. *Walkley, A., Black I.A. 1934. An examination of the Degtjareff Method for Determining Soil Organic Matter, and a proposed Modification of the Chromic Acid Titration Method. Soil Science, 37(1): 29-38*

39. *Ward, M.H., deKok, T.M., Levallois, P., Brender, J., Gulis, G., Nolan, B.T., and J. VanDerslice. 2005. Drinking-Water Nitrate and Health Recent Findings and Research Needs. Environ. Health. Perspect. 113: 1607–1614.*
40. *Wegner, T. N. 1972. Simple and sensitive procedure for determining nitrate and nitrite in mixtures in biological fluids. J. dairy sc. 55: 642-644.*
41. *WHO, 2004. Guidelines for Drinking Water Quality. 3rd Ed, Vol. 1, Recommendations. Geneva: World Health Organization.*
42. *Zhang A.P., Liu, R.L., Gao, J., Zhang, Q.W., Xiao, J.N., Chen, Z., Yang, S.Q., Hui, J.Z., and L.Z. Yang. 2015. Effects of Biochar on Nitrogen Losses and Rice Yield in Anthropogenic alluvial Soil Irrigated with Yellow River Water. J. Agro-Environ. Sci. 33:2395–2403.*
43. *Zhang, C., Huang, X., Zhang, X., Wan, L., Wang, Z. 2021. Effects of biochar application on soil nitrogen and phosphorous leaching loss and oil peony growth. Agricultural Water Management, 255, 107022.*

Investigation of the Effects of Barberry Stems Biochar on Nitrate Leaching from a Loam Soil Containing Organic Matter

H. Hammami,[1] A. Shahidi, and Hannan Hanafi

Assistant Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.

Member of the Plant and Environmental Stresses Research Group, University of Birjand, Birjand, Iran. Member of the Unconventional Water Research Group, University of Birjand, Birjand, Iran.

E-mail: hhammami@birjand.ac.ir

Associate Professor and Member of the Unconventional Water Research Group Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.

E-mail: ashahidi@birjand.ac.ir

PhD student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran. E-mail:hannan.hanafi77@gmail.com

Received: February,2021, and Accepted: February,2023

Abstract

Due to the pollution of water resources by various pollutants such as nitrate, the use of amendments such as biochar can be considered as an approach to solve this environmental problem. To investigate the effect of barberry stem biochar on nitrate leaching, a research was conducted using a factorial and completely randomized design in 2021, in the soil laboratory of the Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran. Experimental factors were particle size of biochar at two levels (less than 1 mm, more than 2.8 mm) and biochar volume in three rates (1, 2, and 3 mm on weight basis). Biochar was produced during the thermal decomposition process under limited oxygen conditions (400 ^{0}C for 6 h). The pots were subjected to wet cycles (field capacity plus 20%) and drying (permanent wilting moisture) and the nitrate concentration in the drained water from irrigation was measured in two stages with an interval of six weeks. The highest and lowest nitrate leaching rates in the samples were observed in the control treatment without biochar and biochar with particle size less than 1 mm at the rate of 1% by weight, respectively. The results of this study showed that addition of the biochar to the soil significantly reduced nitrate leaching compared to the control without biochar. At the two measuring times, biochar treatments with particle size of less than 1 mm and 1%, 2% and 3%, biochar with natural particle sizes of 1%, 2%, and 3% showed decrease in nitrate leaching by, respectively, 83.6%, 82.4%, 76.8%, 81.7%, 64.2%, and 60.2 % compared to the treatment without biochar. Moreover, the results showed that biochar particles less than 1 mm had more effects on reducing nitrate leaching than biochar particles more than 2.8 mm. According to the results of this study, it seems that application of barberry branch waste biochar left after harvesting can reduce nitrate leaching and the risk of transmitting contamination to other soil.

***Keywords**: Pollutant, Contaminated drainage water, Soil amendments*

[1]. *Corresponding author: E-mail: hhammami@birjand.ac.ir*