مجلهٔ جنگل ایران، انجمن جنگلبانی ایران
سال شانزدهم، شمارهٔ ۱، بهار ۱۴۰۳
ص ۱۲۰-۱۰۳
مقاله پژوهشی

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22034/ijf.2023.374195.1906

تأثیر اصلاح‌کننده‌های مختلف خاک بر آبشویی نیترات در نهال‌های گلدانی شیردار (*Acer cappadocicum* Gled.)

سلیمه رحیم‌نژاد[۱]، سید محمد حجتی[۲*]، حامد اسدی[۳]، حمید جلیلوند[۲] و مجتبی محمودی[۴]

[۱] دانشجوی دکتری رشتهٔ علوم و مهندسی جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
[۲] استاد گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
[۳] استادیار گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
[۴] دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

(تاریخ دریافت ۱۴۰۱/۹/ ۷؛ تاریخ پذیرش ۱۴۰۲/۵/۲۸)

چکیده

مقدمه: نیترات (NO_3^-) ترکیبی مهم در تغذیهٔ گیاه محسوب می‌شود که آبشویی مقادیر زیاد آن افزون‌بر کاهش بارخیزی خاک ممکن است سلامت محیط زیست را با خطر مواجه کند. این پژوهش با هدف بررسی اثر بیوچار پوستهٔ برنج و انواع مختلف کود به‌صورت خالص و آمیخته بر آبشویی نیترات از خاک نهال‌های گلدانی شیردار انجام گرفت.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش از نوزده تیمار با سه تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی استفاده شد که شامل: پوستهٔ برنج به مقدار ۰/۵ و ۱ درصد حجمی خاک، بیوچار پوستهٔ برنج ۰/۵، ۱ و ۲ درصد حجمی خاک، کود گاوی ۰/۷۵ و ۱/۲۵ درصد حجمی خاک، کود شیمیایی در دو سطح ۱. سوپرفسفات‌تریپل ۲۵، سولفات آمونیوم ۱۸/۷۵ و سولفات پتاسیم ۱۸/۷۵ و۲. سوپرفسفات‌تریپل ۵۰، سولفات آمونیوم ۳۷/۵ و سولفات پتاسیم ۳۷/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک، تیمار خاک بستر کاشت(شاهد)و ترکیب تیمارها بود.غلظت نیترات به روش اسپکتروفتومتری تعیین شد. تجزیه‌وتحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزار R و مقایسهٔ میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن انجام گرفت.

یافته‌ها: بیشترین غلظت نیترات آب زهکشی در مرحلهٔ اول در تیمار کود شیمیایی سطح ۲، مرحله‌های دوم و چهارم در ترکیب کود شیمیایی سطح ۱ و کود گاوی ۰/۷۵ درصد حجمی خاک و مرحلهٔ سوم در تیمار کود گاوی ۰/۷۵ درصد حجمی خاک مشاهده شد.بیشترین مقدار pH آب زهکشی در مرحلهٔ اول در ترکیب تیمار کود شیمیایی سطح ۱ و بیوچار ۰/۵ درصد،در مرحله‌های دوم و سوم

نتیجه‌گیری: در تیمار خاک بستر کاشت و در مرحلهٔ پنجم در تیمار کود شیمیایی سطح ۱ و بیوچار ۰/۵ درصد مشاهده شد.

نتایج این پژوهش نشان داد که افزودن بیوچار سبب کاهش هدایت الکتریکی و غلظت نیترات و افزایش pH آب زهکشی می‌شود. بنابراین با توجه به اثر مفید بیوچار در کاهش آبشویی نیترات و شوری خاک که بدون تردید اثرات مثبت زیست‌محیطی خواهد داشت، توصیه می‌شود از بیوچار پوستهٔ برنج برای تولید نهال در نهالستان‌های جنگلی استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: بیوچار، پوستهٔ برنج، کود شیمیایی، کود گاوی، نهالستان لاجیم.

*نویسنده مسئول شمارهٔ تماس: ۰۹۱۱۷۴۳۴۹۱۰ ایمیل: s_m_hodjati@yahoo.com

مقدمه

نیترات (NO^-_3) ترکیبی مهم در تغذیهٔ گیاه محسوب می‌شود که آبشویی مقادیر زیاد آن افزون‌بر کاهش بارخیزی خاک ممکن است سلامت محیط زیست و کیفیت حیات موجودات را با خطر مواجه کند. نظر به اینکه این آنیون اغلب توسط کلوییدهای خاک جذب نمی‌شود، آلودگی آب به نیترات در بسیاری از مناطق مشکلی جدی به شمار می‌رود. بنابراین مصرف مقادیر زیاد نیتروژن به‌صورت کود شیمیایی، سبب افزایش هدرروی آن و سرانجام آلودگی منابع زیست‌محیطی می‌شود (Zendehbad et al., 2022). سازمان بهداشت جهانی بیشینهٔ غلظت مجاز نیترات در آب آشامیدنی را ۵۰ میلی‌گرم در لیتر تعیین کرده است (WHO, 2017). کودها مقادیر زیادی مواد غذایی دارند که با تأثیر بر متابولیسم نهال موجب افزایش رشد و عملکرد بهتر گیاه می‌شوند. کود شیمیایی به‌دلیل آزادسازی سریع یون‌های نیترات و آمونیوم و کودهای حیوانی به‌دلیل داشتن مقادیر زیاد نیتروژن که در مدت زمان کمی مصرف و به آمونیوم و سپس نیترات تبدیل می‌شود، سبب افزایش غلظت نیترات در آب زهکشی می‌شوند. اصلاح خاک با استفاده از کود دامی راهکار مفیدی برای کاهش مصرف کود شیمیایی و بهبود سامانه‌های کشاورزی محسوب می‌شود (Moradi -Ghahderijani et al., 2017). افزایش تولید در واحد سطح، کاهش هزینه‌های تولید و بیشتر بودن کارایی مصرف نهاده‌ها، بدون وارد شدن آسیب به خاک، آب، محیط زیست و کیفیت محصول، اهداف اصلی هر نظام کشاورزی است (Mengistu et al., 2017). استفاده از کود دامی با افزایش نیتروژن، فسفر، پتاسیم و کربن آلی خاک، سبب افزایش حاصلخیزی خاک و بهبود عملکرد نهال‌ها می‌شود. بیوچار (زغال زیستی)، محصول تجزیهٔ زی‌توده‌هایی مانند چوب، برگ گیاهان، باقی‌مانده‌های کشاورزی و کود در فضای بستهٔ بدون اکسیژن تحت حرارت زیاد است (Ghorbani & Ahmadi, 2017). بیوچار اصلاح‌کنندهٔ ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک به شمار می‌رود (Behnam et al., 2015; Amirahmadi et al., 2020). هدف‌های استفاده از بیوچار عبارت است از اصلاح خاک، مدیریت ضایعات آلی، ایجاد تعادل اقلیمی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای. Hassanpoor et al. (2022) در پژوهشی به این نتیجه رسیدند که کاربرد بیوچار مخروط کاج و شلتوک برنج در دو خاک قلیایی (لوم شنی و لوم رسی) برخی ویژگی‌های شیمیایی و حاصلخیزی خاک را بهبود بخشید. همچنین نتایج نشان داد که کاربرد بیوچار اندکی pH خاک را کاهش و هدایت الکتریکی خاک را افزایش داد. در پژوهشی Divband Hafshejani et al. (2015) به این نتیجه رسیدند که بیوچار پوستهٔ برنج سبب افزایش معنی‌دار هدایت الکتریکی و کاهش معنی‌دار اسیدیتهٔ خاک می‌شود. بیوچار با جذب سیالات و مواد ریز، آب را تصفیه می‌کند و همچنین سبب کاهش آبشویی و در نتیجه افزایش بازده استفاده از کودهای شیمیایی در خاک می‌شود. در پژوهشی Ghorbani et al. (2014) به این نتیجه رسیدند که افزایش مصرف بیوچار به‌طور معنی‌داری موجب کاهش بیشتر آبشویی می‌شود. همچنین استفاده از سوپرجاذب‌ها موجب کاهش ۵۰ درصدی مقدار آب مصرفی و همچنین دفعات آبیاری بر رشد گونهٔ بنه (*Pistscia atlantica* Desf.) شد (Banjshafiei et al., 2012). یافته‌های Zunqi et al. (2017) شامل استفاده از بیوچار ۲ و ۴ درصد روی شست‌وشوی نیتروژن، تصعید آمونیاک و عملکرد کود اوره در دو نوع خاک متفاوت (خاک لوم و ماسه‌ای)، نشان از ۸/۸۳ تا ۹/۰۶ درصد بهبود استفاده از کود اوره در خاک ماسه‌ای داشت و در خاک‌های لومی اثر استفاده از بیوچار ۲ تا ۴ درصد، سبب بهبودِ ۲۹ و ۲۸ درصدی شست‌وشوی نیتروژن و تبخیر آمونیاک شد. در پژوهشی دیگر، Yuan et al. (2018) دربارهٔ کارایی بیوچار اصلاح‌شدهٔ صنوبر در حذف نیترات و فسفات

نتیجه گرفتند که بیوچار اصلاح‌شدهٔ صنوبر بیشترین کارایی را در حذف نیترات و فسفات داشت. pH بهینه در جذب نیترات ۶ و در جذب فسفات کمتر از ۶ یعنی محیط اسیدی بود. بیشترین ظرفیت جذب نیترات و فسفات به‌ترتیب ۸۹/۵۸ و ۴۹/۵۹ میلی‌گرم بر گرم به‌دست آمد و در مدت ۲۴ ساعت به تعادل رسید. Hossein Nejad Mir et al. (2021) در پژوهشی به بررسی مقدار غلظت نیترات آب زهکشی خروجی در خاک تحت تأثیر کاربرد بیوچار ذرت علوفه‌ای پرداختند. نتایج نشان داد که کاربرد بیوچار تجمع نیترات در خاک را نسبت به تیمار شاهد افزایش داد و سبب کاهش آبشویی نیترات شد. Shahbazi et al. (2021) در پژوهشی به این نتیجه رسیدند که کاربرد بیوچار حاصل از باگاس نیشکر سبب کاهش آبشویی نیترات از نیمرخ خاک می‌شود. Azizi et al. (2022) در پژوهشی دریافتند که استفاده از بیوچار نیشکر سبب کاهش آب زهکشی خروجی و آبشویی نیترات نسبت به تیمار شاهد شد. در پژوهش بلندمدتی در طی سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۹، نشان دادند که استفاده از بیوچار موجب کاهش تلفات نیتروژن، بهبود حاصلخیزی، افزایش کربن آلی و تثبیت نیتروژن خاک می‌شود (Peng et al., 2021). افرای شیردار (*Acer cappadocicum* Gled) از خانوادهٔ *Aceraceae* است. این گونه از شرق آسیا تا ایران، ترکیه و گرجستان و کشورهای جنوب شرق اروپا پراکنش دارد. درختان شیردار در ایران در سراسر جنگل‌های شمال و در ارتفاعات مختلف جنگل از جلگه تا ارتفاعات فوقانی یافت می‌شوند. این گونه به لحاظ اکولوژیکی (سازگاری با سرما و خشکی)، حفاظتی (تثبیت خاک و جلوگیری از فرسایش خاک) و اقتصادی دارای اهمیت است و نهال‌های آن به‌منظور جنگلکاری و احیای عرصه‌های جنگلی مخروبهٔ شمال کشور در نهالستان‌ها تولید می‌شود (Asgharpour et al., 2018). توان تولید جنگل‌های طبیعی در بهترین شرایط بیشتر از حدود ۳ تا ۶ متر مکعب در هکتار در سال نخواهد بود. این مقدار رویش نمی‌تواند پاسخگوی نیازهای روزافزون جامعه در زمان حال و آینده باشد. بنابراین برای تأمین نیازهای چوبی، جنگلکاری اجتناب‌ناپذیر است (Heydarian et al., 2015). برای جنگلکاری اقتصادی، داشتن نهالستان با شرایط مطلوب و مدیریت مناسب با هدف تولید نهال‌هایی با کیفیت و کمیت خوب بسیار ضروری است (Fazlolahi Mohammadi et al., 2012). برخی عوامل بر مقدار تولید کمی و کیفی نهال در نهالستان‌ها تأثیرگذارند که از مهم‌ترین آنها می‌توان به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بستر کاشت اشاره کرد (Tabari et al., 2007). استفاده از کودهای شیمیایی در بهبود مقدار عناصر غذایی، بافت خاک و اندام گیاه و همچنین دستیابی به تولید مطلوب‌تر محصول مؤثر است (Hoff& Rambal, 2003)، اما امروزه به‌دلیل محدودیت‌های محیط زیستی، آلودگی آب‌های زیرزمینی و نیز کاهش کیفیت خاک‌ها ناشی از استفاده درازمدت از کودهای شیمیایی، باید روش‌های دیگری برای بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک‌ها، افزایش کمیت و کیفیت نهال‌های تولیدی و کاهش آلودگی‌های محیط زیستی در نظر گرفته شود (Ferretti et al., 2018). برنج در بیش از ۷۵ کشور جهان، مادهٔ غذایی مهمی است (Nabavi et al., 2020). همراه برنج سه فراوردهٔ جانبی شامل سبوس برنج، پوستهٔ شلتوک و ساقه تولید می‌شود. در استان مازندران ۷۲ نوع محصول کشاورزی کشت و تولید می‌شود که از آن میان برنج با یک میلیون و ۳۰۰ هزار تن رتبهٔ اول کشور را دارد (Mirzapour et al., 2021). ضایعاتی که در مرحله‌های مختلف به‌ویژه پس از برداشت برنج تولید می‌شود، توجه ویژه به ترویج مدیریت ضایعات محصول‌های کشاورزی و کاهش آنها را ضرورت می‌بخشد. یکی از راه‌های استفاده از ضایعات برنج کاربرد آن به‌صورت

مخلوط با خاک‌های زراعی یا به‌عنوان بیوچار برای کشت نهال‌های جنگلی و اصلاح خاک نهالستان است.

با توجه به اینکه عناصر تغذیه‌ای به‌تدریج توسط گیاهان جذب می‌شوند، بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک موجب افزایش رشد، زی‌توده، زنده‌مانی و بازده نهال می‌شود. ازآنجا که خاک‌ها، مهم‌ترین منبع غذایی گیاهان هستند و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آنها، نقش مؤثری در استقرار و گسترش نهال‌های جنگلی دارند، به‌کار بردن روش‌های اصلاحی خاک ضروری است. هدف این پژوهش بررسی اثر بیوچار بر اسیدیته و هدایت الکتریکی آب زهکشی و مقایسهٔ آن با دیگر شیوه‌های اصلاح و تقویت خاک بر آبشویی نیترات در خاک نهالستان با بافت رسی روی گونهٔ شیردار است. همچنین از بیوچار می‌توان برای اصلاح خاک آلوده از مناطق معدن‌کاوی‌شده برای جذب فلزات سنگین سرب و کادمیوم (Tavakoli et al., 2019; Amirahmadi et al., 2020) در تولید نهال گلدانی نیز استفاده کرد.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ پژوهش

این پژوهش در نهالستان لاجیم واقع در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۴ دقیقه و ۴۶ ثانیهٔ شمالی و طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۰۱ دقیقه و ۰۷ ثانیهٔ شرقی در ارتفاع ۹۶۵ متری از سطح دریا، در ناحیهٔ البرز مرکزی و تحت مدیریت ادارهٔ کل منابع طبیعی استان مازندران در شهرستان سوادکوه انجام گرفت. میانگین بارندگی سالیانه ۸۷۸/۴ میلی‌متر و میانگین دمای سالیانه ۱۴/۹ درجهٔ سانتی‌گراد است. شیب عمومی منطقه ۲۰ درصد، مقدار pH ۷/۵ و بافت خاک لومی رسی است (Ghesemi aghbash & berg, 2020).

شیوهٔ اجرای پژوهش

پس از انتخاب زمین و تهیهٔ نمونهٔ خاک و انتقال به آزمایشگاه خاک‌شناسی، تجزیه‌وتحلیل لازم انجام گرفت و براساس نتایج آنالیز خاک، تیمارها مشخص و نقشهٔ طرح آماده شد. در این تحقیق از ۱۲۰ گلدان پلاستیکی به ابعاد ۳۵ در ۳۸ سانتی‌متر استفاده شد. در کف هر گلدان به اندازهٔ ۱ سانتی‌متر از ارتفاع گلدان سنگریزه برای زهکشی بهتر و خروج آب استفاده شد؛ سپس تا ارتفاع ۹ سانتی‌متری از خاک بستر نهالستان (خاک شاهد) و بقیهٔ فضای خالی گلدان تا عمق ۲۲ سانتی‌متری با مخلوط خاک و تیمارهای مدنظر پر شد. در این تحقیق از نوزده تیمار استفاده شد که در جدول ۱ آمده است.

مشخصات شیمیایی بیوچار، پوستهٔ برنج و کود گاوی استفاده‌شده در این پژوهش در جدول ۲ ارائه شده است. همچنین به‌منظور بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بستر کاشت، ویژگی‌های فیزیکی درصد رطوبت به روش وزنی، چگالی ظاهری به روش کلوخه (Jafarihaghighi, 2003)، بافت خاک به روش هیدرومتری، اسیدیتهٔ خاک به‌روش پتانسیومتری، هدایت الکتریکی به روش هدایت‌سنجی، کربن آلی به روش والکلی- بلاک (Nelson & Sommers, 1983)، نیتروژن به روش کجلدال (Anonymous, 1980)، فسفر قابل جذب به روش اولسن (Olsen et al., 1954) و پتاسیم به روش عصاره‌گیری با استات آمونیم اندازه‌گیری شد (جدول ۳) (Jafarihaghighi, 2003).

تصویر میکروسکوپ الکترونی توسط دستگاه FESEM نشان می‌دهد که بیوچار پوستهٔ برنج در سطح نانومتری و نانوذرات دارای راه‌های نفوذ و سطح شنی مناسبی است که می‌تواند منبع نفوذ گازها، آنیون‌ها و کاتیون‌ها باشد (شکل ۱- الف). کروماتوگرام عناصر بیوچار پوستهٔ برنج توسط دستگاه مذکور نشان می‌دهد که بیشترین عناصر بیوچار پوستهٔ برنج را کربن و اکسیژن تشکیل می‌دهد (شکل ۱ب). نحوهٔ تهیهٔ بیوچار در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۱- تیمارهای استفاده‌شده در آزمایش

Table 1. Treatments used in the experiment

ردیف Row	نوع تیمار Treatment	واحد Unit	مقدار Amount	تیمار
1	خاک بستر کاشت Planting soil	-	-	1
2	پوستهٔ برنج Rice husk	درصد حجمی Percentage volume	1	2
		درصد حجمی Percentage volume	0.5	3
3	بیوچار پوستهٔ برنج Rice husk biochar	درصد حجمی Percentage volume	2	4
		درصد حجمی Percentage volume	1	5
		درصد حجمی Percentage volume	0.5	6
4	کود گاوی Cow manure	درصد حجمی Percentage volume	1.25	7
		درصد حجمی Percentage volume	0.75	8
5	کود شیمیایی سوپرفسفات تریپل، سولفات آمونیوم و سولفات پتاسیم Triple super phosphate chemical fertilizer, ammonium sulfate and potassium sulfate	میلی‌گرم بر کیلوگرم mg/kg	37.5-37.5-50	9
		میلی‌گرم بر کیلوگرم mg/kg	18.75-18.75-25	10
6	کود گاوی و پوستهٔ برنج Cow manure and Rice husk	درصد حجمی - درصد حجمی Percentage volume- Percentage volume	1.25-1	11
		درصد حجمی - درصد حجمی Percentage volume- Percentage volume	0.75-0.5	12
7	کود گاوی و بیوچار پوستهٔ برنج Cow manure and Rice husk biochar	درصد حجمی -درصد حجمی Percentage volume- Percentage volume	1.25-1	13
		درصد حجمی - درصد حجمی Percentage volume- Percentage volume	0.75-0.5	14
8	کود گاوی و کود شیمیایی سوپرفسفات‌تریپل و سولفات آمونیوم و سولفات پتاسیم Cow fertilizers and chemical fertilizers of triple superphosphate, ammonium sulfate, and potassium sulfate	درصد حجمی – میلی‌گرم بر کیلوگرم mg/kg- Percentage volume	37.5-37.5-50-1.25	15
		درصد حجمی – میلی‌گرم بر کیلوگرم mg/kg- Percentage volume	18.75-18.75-25-0.75	16
9	کود شیمیایی سوپرفسفات تریپل، سولفات آمونیوم و سولفات پتاسیم و پوستهٔ برنج Chemical fertilizer triple super phosphate, ammonium sulfate and potassium sulfate and rice husk	میلی‌گرم بر کیلوگرم-درصد حجمی Percentage volume- mg/kg	37.5-37.5-50-1	17
		میلی‌گرم بر کیلوگرم-درصد حجمی Percentage volume- mg/kg	18.75-18.75-25-0.5	18
10	کود شیمیایی سوپرفسفات‌تریپل، سولفات آمونیوم و سولفات پتاسیم و بیوچارپوستهٔ‌برنج Triple super phosphate chemical fertilizer, ammonium sulfate and potassium sulfate and rice husk biochar	میلی‌گرم بر کیلوگرم-درصد حجمی Percentage volume- mg/kg	37.5-37.5-50-1	19

جدول ۲- مشخصات بیوچار، پوستهٔ برنج و کود گاوی استفاده‌شده در پژوهش

Table 2. Characteristics of biochar, rice husk and cow manure used in the research

نوع تیمار treatment	اسیدیته* pH	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)* Electrical conductivity (ds/m)	نیتروژن کل (درصد) Nitrogen (%)	فسفر (درصد) Phosphorus (%)	پتاسیم قابل جذب (غلظت) Potassium (ppm)	کربن آلی (درصد) Organic carbon (%)	مادهٔ آلی (درصد) Organic matter (%)
بیوچار پوستهٔ برنج Rice husk biochar	8.5	1.188	0.55	0.51	0.93	4.31	7.47
پوستهٔ برنج Rice husk	5.79	1.815	3.2	0.67	0.58	20.87	35.91
کود گاوی Cow manure	7.19	3.535	1.1	0.86	1.19	10.19	17.53

* عصاره‌گیری‌شده از محلول یک ۱ به ۲/۵ خاک به آب

جدول ۳- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک بستر کاشت

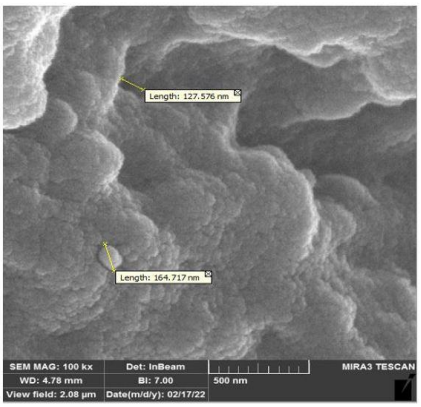
Table 3. Physical and chemical characteristics of planting soil

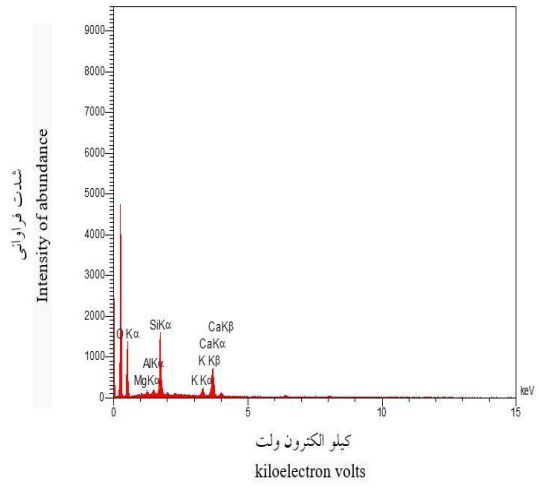
مواد خنثی‌شونده (درصد) Neutralizing substances (%)	اسیدیتهٔ خاک Soil acidity	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) Electrical conductivity (ds/m)	نیتروژن کل (درصد) Nitrogen (%)	فسفر قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم) Phosphorus (mg/kg)	پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم) Potassium (mg/kg)	کربن آلی (درصد) Organic carbon (%)	مادهٔ آلی (درصد) Organic matter (%)	لای (درصد) Silt(%)	رس (درصد) Clay(%)
10	7.66	0.34	0.1	13.1	268	1.29	2.23	32	31

جدول ۴- نحوهٔ تهیهٔ بیوچار پوستهٔ برنج

Table 4. How to prepare rice husk biochar

فرایند کربونیزاسیون Carbonization process		فرایند اکتیواسیون Activation process	
زمان شیبی فرایند Slope time of the process	۱/۵ ساعت 1.5 hours	زمان شیبی فرایند Slope time of the process	۱ ساعت 1 hours
زمان خطی فرایند Linear time process	۱ ساعت 1 hours	زمان خطی فرایند Linear time process	۱ ساعت 1 hours
بیشینهٔ دما Maximum temperature	۵۰۰ درجه 500 Degrees	دمای بخار Steam temperature	۸۰۰-۷۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد 700-800 degrees Celsius
شیب حرارتی Thermal gradient	پله‌ای به فاصلهٔ ۵۰ درجه A step at a distance of 50 degrees		





(الف) (ب)

شکل ۱- کروماتوگرام عناصر بیوچار پوستهٔ برنج

Figure 1. Chromatogram of the rice husk biochar elements

برای ایجاد شرایط بهتر و مطلوب‌تر زهکشی، کف هر گلدان (ابعاد ۳۸×۲۶×۳۵) به ضخامت ۱ سانتی‌متر با سنگریزه پر شد. سپس تا ارتفاع ۹ سانتی‌متری از خاک بستر نهالستان (خاک بستر کاشت) و بقیهٔ فضای خالی گلدان تا عمق ۲۲ سانتی‌متری با مخلوط خاک و تیمارهای مدنظر پر شد. زیر هر گلدان یک بطری تعبیه شد تا آب خروجی از زیر گلدان جمع‌آوری و غلظت نیترات آن اندازه‌گیری شود. سپس بذرهای انتخاب‌شده (مبدأ: نهالستان لاجیم، خلوص ۹۶/۷ درصد، قوهٔ نامیه ۴۰ درصد) برای اجرای آزمایش، در عمق مناسب (۷ تا ۹ سانتی‌متر) خاک در ۲۵ دی ۱۳۹۹ کشت شدند که پس از سبز شدن بذرها با عملیات تنک کردن چهار اصله نهال در سطحی معادل ۱۰۰ سانتی‌متر مربع برای رشد و نمو در گلدان‌ها نگهداری شدند.

به‌منظور جمع‌آوری آب زهکشی برای برآورد مقدار آبشویی نیترات، آبیاری نهال‌های گلدانی ۲۰ درصد بیشتر از مقدار آبیاری معمولی (به‌طور متوسط ۳/۵ لیتر) و در پنج مرحله (تاریخ نمونه‌برداری: مرحلهٔ اول ۲۲ اردیبهشت، مرحلهٔ دوم اول تیر، مرحلهٔ سوم اول مرداد، مرحلهٔ چهارم اول شهریور، مرحلهٔ پنجم اول مهر) انجام گرفت و پس از اندازه‌گیری حجم خروجی، نمونه‌ای از آب زهکشی هر گلدان به آزمایشگاه انتقال داده شد (Amirahmadi et al., 2019). شایان ذکر است که این اندازه‌گیری‌ها یک بار پیش از اضافه شدن کود نیترات آمونیوم (۳۷/۵ گرم بر کیلوگرم) و چهار بار بعد از اضافه شدن آن انجام گرفت. غلظت نیترات به روش اسپکتروفتومتری با طول موج UV (۲۲۰ تا ۲۷۵ نانومتر) اندازه‌گیری شد (Eaton et al., 2005). pH با دستگاه pH متر و شوری آب زهکشی با دستگاه EC سنج اندازه‌گیری شد (Waling et al., 1989).

روش تحلیل

برای تجزیه‌وتحلیل آماری پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها و همگنی واریانس داده‌ها، با استفاده از آزمون‌های Shapiro-wilk و Leven در سطح احتمال ۹۵ درصد، از روش تجزیهٔ واریانس یکطرفه (One way anova) در نرم‌افزار R استفاده شد. مقایسهٔ میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن انجام گرفت (Mesadaghi, 1998).

نتایج

نتایج تجزیهٔ واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تیمارهای مختلف بر شوری آب زهکشی در مرحله‌های اول، دوم و سوم در سطح احتمال ۹۹

درصد و همچنین شوری آب زهکشی مرحله‌های چهارم و پنجم در سطح احتمال ۹۵ درصد معنی‌دار شد. براساس مقایسهٔ میانگین‌ها بیشترین شوری آب زهکشی در تیمارهای کود شیمیایی و ترکیب کود شیمیایی و کود گاوی مشاهده شد. نتایج نشان داد که با افزودن کود شیمیایی شوری آب زهکشی در مراحل یک، دو، سه و پنج به‌ترتیب ۱۶۵/۹۴، ۱۶۹/۶۹، ۲۱۲/۹۶ و ۱۰۷/۵۷ درصد نسبت به تیمار خاک بستر کاشت افزایش و در مرحلهٔ چهارم کاهش یافت (جدول ۵).

جدول ۵- اثر تیمارهای بررسی‌شده بر شوری آب زهکشی در پنج مرحله

Table 5. Effect of investigated treatments on salinity of drainage water in five stages

نوع تیمار Treatments	سطح تیمار Treatment Level	شوری آب (دسی‌زیمنس بر متر) Water salinity (ds/m)				
		مرحلهٔ اول Phase1	مرحلهٔ دوم Phase2	مرحلهٔ سوم Phase3	مرحلهٔ چهارم Phase4	مرحلهٔ پنجم Phase5
خاک بستر کاشت Planting soil	-	0.958±0.008 d	0.66±0.028 e	0.54±0.014 d	1.33±0.11 a	0.66±0.035 ab
بیوچار پوستهٔ برنج Rice husk biochar	0.5	0.99±0.079 d	0.97±0.057 bcde	0.53±0.009 d	0.66±0.034 ab	0.67±0.015 ab
	1	1.347±0.004 bcd	0.85±0.011 bcde	0.63±0.014 bcd	0.83±0.031 ab	0.68±0.042 ab
	2	1.415±0.006 bcd	0.68±0.012 e	0.72±0.028 bcd	0.83±0.004 ab	0.75±0.023 ab
پوستهٔ برنج Rice husk	0.5	1.27±0.024 Cd	0.63±0.011 e	0.55±0.005 cd	0.32±0.022 b	0.66±0.015 ab
	1	1.7±0.012 abcd	0.77±0.0059 de	0.6±0.01 bcd	0.9±0.057 ab	0.9±0.051 ab
کود شیمیایی Chemical fertilizer	سطح ۱ Level 1	2.09±0.002 abc	0.83±0.005 cde	0.73±0.016 bcd	0.89±0.021 ab	0.96±0.019 ab
	سطح ۲ Level 2	2.5±0.012 a	1.78±0.0033 a	1.21±0.055 abc	1.13±0.016 a	1.31±0.032 ab
کود گاوی Cow manure	0.75	1.61±0.097 abcd	1.55±0.012 abc	1.12±0.048 abcd	0.69±0.02 ab	0.83±0.014 ab
	1.25	2.22±0.025 ab	1.59±0.084 abc	0.95±0.022 abcd	0.69±0.012 ab	0.99±0.019 ab
کود شیمیایی سطح ۱ Chemical fertilizer Level 1	بیوچار ۰/۵ Biochar 0.5	1.147±0.016 d	0.75±0.0064 de	0.55±0.002 d	0.68±0.036 ab	0.59±0.005 b
	کود گاوی ۰/۷۵ Cow 0.75	2.27±0.021 ab	1.63±0.06 ab	1.69±0.08 a	1±0.051 ab	1.02±0.034 ab
	پوستهٔ برنج ۰/۵ Rice husk 0.5	1.42±0.064 bcd	0.64±0.002 e	0.65±0.0024 bcd	0.76±0.032 ab	1.04±0.035 ab
کود شیمیایی سطح ۲ Chemical fertilizer Level 2	بیوچار ۱ Biochar 1	1.04±0.041 d	1.01±0.028 abcde	0.76±0.016 bcd	0.91±0.029 ab	0.76±0.015 ab
	کود گاوی ۰/۷۵ Cow 0.75	1.35±0.012 bcd	1.24±0.051 abcde	1.24±0.065 ab	1.21±0.075 a	1.04±0.035 ab
	پوستهٔ برنج ۱ Rice husk 1	1.65±0.01 abcd	0.79±0.01 de	0.66±0.018 bcd	0.77±0.044 ab	0.75±0.03 ab
کود گاوی ۰/۷۵ Cow manure 0.75	بیوچار ۰/۵ Biochar 0.5	1.16±0.065 cd	1.02±0.027 abcde	0.6±0.007 bcd	0.68±0.027 ab	0.79±0.034 ab
	پوستهٔ برنج ۰/۵ Rice husk 0.5	1.66±0.011 bcd	1.36±0.025 abcd	0.92±0.022 abcd	0.96±0.013 ab	0.76±0.058 ab
کود گاوی ۱/۲۵ Cow manure 1.25	بیوچار ۱ Biochar 1	1.18±0.039 cd	0.98±0.02 abcde	0.72±0.026 bcd	0.86±0.015 ab	0.86±0.02 ab
	پوستهٔ برنج ۱ Rice husk 1	2.37±0.011 a	1.23±0.037 abcde	1.01±0.021 abcd	1.37±0.024 a	1.37±0.005 a
	آمارهٔ F Statistics F	7.69**	7.02**	5.361**	1.972*	2.392*

*معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ درصد، ** معنی‌دار در سطح احتمال۹۹ درصد

حروف لاتین یکسان بیانگر نبود اختلاف معنی‌دار بین تیمارهاست.

*Significant at the 95% probability level, **Significant at the 99% probability level

The same Latin letters indicate the absence of significant differences between treatments.

نتایج نشان داد که تیمارهای مختلف بر pH آب زهکشی در مرحله‌های اول، دوم، سوم و پنجم در سطح احتمال ۹۹ درصد معنی‌دار شد. براساس مقایسهٔ میانگین‌ها، بیشترین مقدار pH آب زهکشی در مرحلهٔ اول در ترکیب تیمار کود شیمیایی سطح ۱ و بیوچار در مرحله‌های دوم و سوم در تیمار خاک بستر کاشت و در مرحلهٔ پنجم در تیمار کود شیمیایی و بیوچار ۰/۵ درصد مشاهده شد. همچنین اثر تیمار بر pH آب زهکشی در مرحلهٔ چهارم معنی‌دار نبود (جدول ۶).

جدول ۶- اثر تیمارهای بررسی‌شده بر اسیدیتهٔ آب زهکشی در پنج مرحله

Table 6. The effect of the investigated treatments on the pH of drainage water in five stages

نوع تیمار Treatments	سطح تیمار Level	اسیدیته pH				
		مرحلهٔ اول Phase1	مرحلهٔ دوم Phase2	مرحلهٔ سوم Phase3	مرحلهٔ چهارم Phase4	مرحلهٔ پنجم Phase5
خاک بستر کاشت Planting soil	-	7.55±0.012 c	8.27±0.014 a	7.94±0.012 a	7.97±0.014 a	7.57±0.011 b
بیوچار پوستهٔ برنج Rice husk biochar	0.5	7.98±0.035 abc	7.91±0.033 abc	7.63±0.004 ab	8.03±0.008 a	7.45±0.0038 b
	1	7.67±0.023 bc	7.78±0.003 bc	7.5±0.019 abc	7.65±0.012 a	7.45±0.0025 b
	2	7.71±0.011 bc	7.64±0.012 c	7.51±0.016 ab	7.78±0.051 a	7.57±0.024 b
پوستهٔ برنج Rice husk	0.5	7.66±0.013 bc	8.15±0.1 ab	7.66±0.015 ab	8.02±0.007 a	7.55±0.025 b
	1	7.59±0.044 c	8.15±0.015 ab	7.76±0.01 ab	8.2±0.017 a	7.53±0.009 b
کود شیمیایی Chemical fertilizer	سطح ۱ Level 1	7.87±0.005 bc	7.98±0.023 abc	7.57±0.004 ab	8±0.025 a	7.62±0.011 b
	سطح ۲ Level 2	7.77±0 c	7.67±0.008 c	7.46±0.008 bc	8.13±0.005 a	7.58±0.011 b
کود گاوی Cow manure	0.75	7.78±0.002 bc	7.88±0.012 abc	7.52±0.007 ab	7.93±0.025 a	7.63±0.005 ab
	1.25	8.03±0.001 abc	7.91±0.006 abc	7.54±0.001 ab	8.13±0.013 a	7.55±0.01 b
کود شیمیایی سطح ۱ Chemical fertilizer Level 1	بیوچار ۰/۵ Biochar 0.5	8.44±0.058 a	7.74±0.034 bc	7.62±0.004 ab	8.19±0.055 a	7.89±0.016 a
	کود گاوی ۰/۷۵ Cow 0.75	7.76±0.008 bc	7.67±0.005 c	7.31±0.03 bc	7.96±0.014 a	7.59±0.007 ab
	پوستهٔ برنج ۰/۵ Rice husk 0.5	7.94±0.025 abc	7.8±0.017 bc	7.56±0.0038 ab	8.04±0.015 a	7.64±0.009 ab
کود شیمیایی سطح ۲ Chemical fertilizer Level 2	بیوچار ۱ Biochar 1	8.15±0.01 ab	7.63±0.039 c	7.65±0.0034 ab	7.97±0.046 a	7.6±0.012 ab
	کود گاوی ۱/۲۵ Cow 1.25	7.84±0.01 bc	7.8±0.014 bc	7.07±0.056 c	7.8±0.02 a	7.65±0.015 ab
	پوستهٔ برنج ۱ Rice husk 1	7.81±0.016 bc	8.02±0.007 abc	7.59±0.011 ab	7.86±0.07 a	7.7±0.01 ab
کود گاوی ۰/۷۵ Cow manure 0.75	بیوچار ۰/۵ Biochar 0.5	7.93±0.02 abc	7.95±0.008 bc	7.63±0.013 ab	8.12±0.0068 a	7.47±0.01 b
	پوستهٔ برنج ۰/۵ Rice husk 0.5	7.68±0.033 bc	7.72±0.008 abc	7.46±0.021 bc	7.77±0.039 a	7.49±0.0075 b
کود گاوی ۱/۲۵ Cow manure 1.25	بیوچار ۱ Biochar 1	8.01±0.022 abc	7.93±0.01 abc	7.49±0.017 abc	8.11±0.004 a	7.5±0.008 b
	پوستهٔ برنج ۱ Rice husk 1	7.72±0.003 bc	7.92±0.009 abc	7.55±0.003 ab	8.02±0.012 a	7.52±0.007 b
آمارهٔ F Statistics F		4.021**	5.01**	4.085**	1.214ns	3.211**

** معنی‌دار در سطح احتمال۹۹ درصد، ns معنی‌دار نبودن

حروف لاتین یکسان بیانگر نبود اختلاف معنی‌دار بین تیمارهاست.

** Significant at the 99% probability level, ns of non-significance

The same Latin letters indicate the absence of significant differences between treatments.

نتایج تجزیهٔ واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تیمارهای مختلف بر نیترات آب زهکشی مرحله‌های اول، دوم، سوم و چهارم در سطح احتمال ۹۹ درصد معنی‌دار است. نتایج مقایسهٔ میانگین‌ها نشان داد که بیشترین غلظت نیترات آب زهکشی در مرحلهٔ اول در تیمار کود شیمیایی سطح ۲، مرحله‌های دوم و چهارم در ترکیب

کود شیمیایی و کود گاوی ۰/۷۵ درصد حجمی خاک و مرحلهٔ سوم در تیمار کود گاوی ۰/۷۵ درصد حجمی خاک مشاهده شد. همچنین نتایج نشان داد که افزودن بیوچار در همهٔ مراحل سبب کاهش نیترات آب زهکشی می‌شود. نتایج نیترات آب زهکشی کل نشان می‌دهد که ترکیب کود شیمیایی سطح ۱ و کود گاوی ۰/۷۵ درصد حجمی خاک سبب افزایش و بیوچار سبب کاهش آبشویی نیترات آب زهکشی در خاک شده است. مقایسهٔ میانگین‌ها نشان داد که بیشترین میانگین غلظت نیترات پنج مرحله نمونه‌برداری آب زهکشی در تیمار ترکیبی کود شیمیایی حداکثر و کود گاوی ۰/۷۵ درصد با مقدار ۴۰/۷۶ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده شد. همچنین در مرحلهٔ پنجم اختلاف معنی‌داری بین تیمارها از نظر غلظت نیترات مشاهده نشد (جدول ۷).

جدول۷- اثر تیمارهای بررسی‌شده بر غلظت نیترات آب زهکشی در پنج مرحله

Table 7. The effect of investigated treatments on nitrate concentration of drainage water in five stages

نوع تیمار Treatments	سطح تیمار Level	غلظت نیترات آب زهکشی (میلی‌گرم بر لیتر) Nitrate concentration in drainage water (mg/L)					
		مرحلهٔ اول Phase1	مرحلهٔ دوم Phase2	مرحلهٔ سوم Phase3	مرحلهٔ چهارم Phase4	مرحلهٔ پنجم Phase5	میانگین غلظت نیترات پنج مرحله Average nitrate concentration of five stages
خاک بستر کاشت Planting soil	-	59.2±0.065 Bcdef	19.64±0.156 cdefgh	0.58±0.028 ghi	3.47±0.137 abc	3.6±0.079 a	16.72±0.65 b
بایوچار پوستهٔ برنج Rice husk biochar	0.5	19.72±0.26 G	16.74±0.89 defgh	0.23±0.015 i	0.47±0.048 c	2.2±0.134 a	13.78±2.25 b
	1	39.17±0.98 Fg	20.65±0.57 cdefgh	4.04±0.167 def	0.84±0.073 bc	1.91±0.171 a	16.49±0.7 b
	2	42.46±1.39 Efg	13.93±0.129 fgh	3.22±0.302 efg	0.29±0.039 c	2.76±0.006 a	12.15±0.84 b
پوستهٔ برنج Rice husk	0.5	73.64±0.802 Abcd	15.39±0.53 cdefgh	0.19±0.005 i	0.73±0.086 bc	1.89±0.056 a	23.35±2.21 ab
	1	1.4372.05± Abcde	30.02±0.3 abcdef	5.57±0.034 cdef	1.57±0.101 bc	3.61±0.239 a	22.42±0.93 ab
کود شیمیایی Chemical fertilizer	سطح ۱ Maximum	84.1±0.44 ab	11.01±0.438 h	0.45±0.03 hi	2.3±0.161 abc	5.22±0.298 a	19.8±0.26 b
	سطح ۲ Minimum	90.2±0.12 A	24.26±0.5 bcdefg	21.59±1.36 abc	0.94±0.088 bc	3.28±0.252 a	28.78±1.23 ab
کود گاوی Cow manure	0.75	58.65±1.95 Bcdef	31.64±0.129 abcde	39.37±0.35 a	4.87±0.911 abc	3.01±0.134 a	23.2±2.63 ab
	1.25	62.71±0.89 Abcdef	46.4±0.76 ab	19.32±0.253 abc	0.6±0.082 bc	3.84±0.301 a	23.52±1.08 ab
کود شیمیایی سطح ۱ Chemical fertilizer Level 1	بیوچار ۰/۵ Biochar 0.5	64.15±1.6 Abcdef	19.14±0.426 efgh	0.43±0.026 hi	0.6±0.074 bc	3.08±0.157 a	15.39±1.12 b
	کود گاوی ۰/۷۵ Cow 0.75	77.2±1.28 Abcd	62.18±1.642 a	38.44±1.7 ab	21.23±0.759 a	0.83±0.077 a	40.76±3.32 a
	پوستهٔ برنج ۰/۵ Rice husk 0.5	49.59±2.47 Cdefg	11.66±0.088 gh	4.65±0.026 cdef	1.22±0.063 bc	4.38±0.326 a	14.01±0.85 b
کود شیمیایی سطح ۲ Chemical fertilizer Level 2	بیوچار ۱ Biochar 1	56.37±1.77 Bcdef	38.24±1.7 abc	8.72±0.025 bcde	1.53±0.27 bc	0.97±0.055 a	18.45±1.43 b
	کود گاوی ۱/۲۵ Cow 1.25	78.41±0.88 Abc	34.79±1.63 abcd	13.27±0.955 abcd	5.83±0.198 ab	2.1±0.059 a	30.09±1.8 ab
	پوستهٔ برنج۱ Rice husk 1	60.96±2.72 Abcdef	29.18±0.47 abcdef	1.49±0.031 fgh	2.12±0.043 abc	3.56±0.224 a	21.56±0.98 ab
کود گاوی ۰/۷۵ Cow manure 0.75	بیوچار ۰/۵ Biochar 0.5	22.16±0.56 G	33.96±1.21 cdefgh	0.68±0.02 ghi	0.86±0.087 bc	2.53±0.059 a	19.02±2.29 ab
	پوستهٔ برنج ۰/۵ Rice husk 0.5	85.74±0.38 Ab	26.99±1.17 bcdef	8.11±0.698 cdef	0.82±0.059 bc	3.52±0.247 a	23.4±0.78 b
کود گاوی ۱/۲۵ Cow manure 1.25	بیوچار ۱ Biochar 1	46.49±0.78 Defg	31.42±1.08 abcde	17.41±0.583 abc	2.14±0.15 abc	2.69±0.155 a	17±1.65 b
	پوستهٔ برنج ۱ Rice husk 1	81.53±0.365 Ab	20.61±1.25 cdefgh	4.49±0.377 def	1.49±0.167 bc	2.62±0.219 a	22.73±0.77 ab
	آمارهٔ F Statistics F	12.08**	9.643**	34.47**	4.586**	1.627ns	3.335**

** معنی‌دار در سطح احتمال۹۹ درصد، ns معنی‌دار نبودن

حروف لاتین یکسان بیانگر نبود اختلاف معنی‌دار بین تیمارهاست.

** Significant at the 99% probability level, ns of non-significance

The same Latin letters indicate the absence of significant differences between treatments.

نتایج تجزیهٔ واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تیمارهای مختلف بر مقدار آب زهکشی پنج مرحله و میانگین مقدار نیترات آب زهکشی دارای اثر معنی‌دار نبوده است (جدول ۸).

جدول ۸- اثر تیمارهای بررسی‌شده بر بر مقدار آب و میانگین مقدار نیترات آب زهکشی در پنج مرحله

Table 8. The effect of the investigated treatments on the amount of water and the average amount of nitrate in drainage water in five stages

نوع تیمار Treatments	سطح تیمار Level	مقدار آب زهکشی (لیتر) Nitrate concentration of drainage water					میانگین مقدار نیترات پنج مرحله آب زهکشی (گرم) Mean concentrationof nitrate in 5 stagesof drainage water (gr)
		مرحلهٔ اول Phase1	مرحلهٔ دوم Phase2	مرحلهٔ سوم Phase3	مرحلهٔ چهارم Phase4	مرحلهٔ پنجم Phase5	
خاک بستر کاشت Planting soil	-	0.2±0.08 A	0.15±0.03 a	0.58±0.07 a	0.15±0.03 a	0.48±0.03 a	86.51±0.071 a
بیوچار پوستهٔ برنج Rice husk biochar	0.5	0.53±0.01 A	0.36±0.01 a	0.69±0.04 a	0.45±0.08 a	0.4±0.04 a	39.38±0.01 a
	1	0.24±0.04 A	0.15±0.05 a	0.84±0.017 a	0.33±0.04 a	0.35±0.05 a	66.64±1.45 a
	2	0.39±0.08 A	0.06±0.02 a	0.67±0.03 a	0.15±0.02 a	0.4±0.02 a	62.68±1.72 a
پوستهٔ برنج Rice husk	0.5	0.38±0.04 A	0.26±0.01 a	0.75±0.08 a	0.56±0.12 a	0.36±0.02 a	99.77±0.68 a
	1	0.06±0.01 A	0.14±0.01 a	0.56±0.09 a	0.3±0.02 a	0.36±0.05 a	87.95±1.46 a
کود شیمیایی Chemical fertilizer	سطح ۱ Maximum	0.4±0.07 A	0.28±0.05 a	0.8±0.08 a	0.48±0.05 a	0.38±0.06 a	204.306±3.77 a
	سطح ۲ Minimum	0.33±0.07 A	0.15±0.02 a	0.94±0.01 a	0.31±0.01 a	0.56±0.007 a	70.43±2.26 a
کود گاوی Cow manure	0.75	0.25±0.07 A	0.11±0.05 a	0.68±0.06 a	0.4±0.06 a	0.63±0.007 a	140.02±1.39 a
	1.25	0.62±0.01 A	0.33±0.05 a	0.48±0.07 a	0.65±0.06 a	0.31±0.04 a	108.71±0.85 a
کود شیمیایی سطح ۱ Chemical fertilizer Level 1	بیوچار ۰/۵ Biochar 0.5	0.14±0.03 A	0.3±0 a	0.93±0.02 a	0.56±0.05 a	0.6±0 a	135.4±1.53 a
	کود گاوی ۰/۷۵ Cow 0.75	0.41±0.08 A	0.16±0.03 a	0.63±0.007 a	0.25±0.03 a	0.6±0.01 a	94.61±2.91 a
	پوستهٔ برنج ۰/۵ Rice husk 0.5	0.41±0.02 A	0.24±0.04 a	0.62±0.06 a	0.6±0.06 a	0.5±0.02 a	138.94±1.84 a
کود شیمیایی سطح ۲ Chemical fertilizer Level 2	بیوچار ۱ Biochar 1	0.36±0.08 a	0.28±0.01 A	0.68±0.07 a	0.53±0.06 a	0.38±0.01 a	58.64±0.96 a
	کود گاوی ۱/۲۵ Cow 1.25	0.13±0.04 A	0.11±0.02 a	0.5±0.04 a	0.33±0.1 a	0.6±0.02 a	123.8±0.56 a
	پوستهٔ برنج ۱ Rice husk 1	0.45±0.014 A	0.18±0.04 a	0.59±0.07 a	0.38±0.08 a	0.31±0.07 a	132.6±1.48 a
کود گاوی ۰/۷۵ Cow manure 0.75	بیوچار ۰/۵ Biochar 0.5	0.1±0.03 A	0.43±0.05 a	0.6±0.05 a	0.58±0.07 a	0.58±0.02 a	100.007±2.32 a
	پوستهٔ برنج ۰/۵ Rice husk 0.5	0.18±0.08 A	0.12±0.03 a	0.72±0.1 a	0.34±0.08 a	0.38±0.04 a	111.66±1.61 a
کود گاوی ۱/۲۵ Cow manure 1.25	بیوچار ۱ Biochar 1	0.4±0.08 A	0.36±0.01 a	0.55±0.03 a	0.38±0.05 a	0.48±0.04 a	92.66±1.365 a
	پوستهٔ برنج ۱ Rice husk 1	0.36±0.05 A	0.25±0.02 a	0.860.03 a	0.41±0.06 a	0.35±0.05 a	111.85±1.354 a
	آمارهٔ F Statistics F	1.16^{ns}	1.51^{ns}	0.87^{ns}	0.87^{ns}	1.49^{ns}	1.41^{ns}

ns معنی‌دار نبودن

حروف لاتین یکسان بیانگر نبود اختلاف معنی‌دار بین تیمارهاست.

ns of non-significance

The same Latin letters indicate the absence of significant differences between treatments.

بحث

افزودن کود شیمیایی به خاک سبب افزایش مقدار شوری آب زهکشی شد، درحالی که در تیمار بیوچار کمترین مقدار شوری آب زهکشی مشاهده شد. Najafi Ghairi (2014) در پژوهشی نتیجه گرفتند که اعمال بیوچار سبب افزایش معنی‌دار مادهٔ آلی و کاهش شوری آب می‌شود که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. در پژوهشی Ameloot et al. (2015) بیان کردند که مصرف بیوچار موجب نگهداشت بیشتر نیتروژن در خاک و کاهش شوری آب می‌شود و شدت آن به نوع مواد استفاده‌شده در تولید بیوچار و دمای تهیهٔ آن بستگی دارد. براساس تحقیقات، کاهش شوری آب و شست‌وشوی کمتر نیترات از خاک تیمارشده با بیوچار تهیه‌شده در دماهای کم را به وجود مقدار زیاد کربن تجزیه‌پذیر در این مواد نسبت دادند که سبب تجمع بیشتر نیترات در خاک شد (Ippolito et al., 2014).

نتایج نیترات آب زهکشی کل نشان داد که ترکیب تیمار کود شیمیایی در سطح ۱ و کود گاوی ۰/۷۵ درصد حجمی خاک سبب افزایش و کاربرد بیوچار سبب کاهش آبشویی نیترات آب زهکشی می‌شود. نتایج این پژوهش با یافته‌های Hossein et al. (2021)، Nejad Mir et al.، Shahbazi et al. (2021)، Azizi (2022) و Peng et al. (2021) مطابقت دارد. این محققان نیز کاهش آبشویی نیترات را در اثر استفاده از بیوچار گزارش کردند. دلیل این کاهش، سطح ویژهٔ بیشتر و جذب نیترات توسط بیوچار و نگهداری آن در خلل‌وفرج بیوچار است. کود شیمیایی به‌دلیل آزادسازی سریع یون‌های نیترات و آمونیوم و کودهای حیوانی به‌دلیل داشتن مقادیر زیاد نیتروژن که در مدت زمان کمی مصرف و به آمونیوم و سپس نیترات تبدیل می‌شود، سبب افزایش غلظت نیترات در آب زهکشی می‌شود. استفاده از بیوچار سبب افزایش معنی‌دار جذب عناصر غذایی (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) گیاه *Ocimum basilicum* L در خاک آهکی شد (Zahedifar & Najafian., 2017). بیوچار، چرخهٔ نیتروژن را کنترل می‌کند (Clough, 2013). Kazemizadeh et al. (2019) در تحقیقی گزارش دادند که بیوچار حاصل از باگاس نیشکر می‌تواند آبشویی نیترات از خاک را کاهش دهد. Li et al. (2020) دریافتند که بیوچار به‌دلیل دارا بودن ظرفیت جذب زیاد، شست‌وشوی عناصر غذایی مانند نیترات و فلزات سنگین در خاک را کاهش داد.

سطح ویژهٔ بالای بیوچار تأثیر بسزایی در کاهش آبشویی نیترات و بهبود ظرفیت حفظ مواد غذایی دارد (Li et al., 2016). همچنین افزودن بیوچار به خاک موجب نگهداشت نیترات در خاک و کاهش معنی‌دار آن در محلول خاک می‌شود (Khademi et al., 2019). آبشویی کمتر در خاک‌های دارای بیوچار ممکن است ناشی از عملکرد جذبی بیوچار (Mukherjee et al., 2014)، نرخ کاهش‌یافتهٔ نیتریفیکاسیون (Dempster et al., 2012)، جذب NH_4^+ در تبادل‌ها و نبود آن برای فرایند نیتریفیکاسیون (Chan et al., 2008)، تحرک نداشتن نیتروژن به‌دلیل غلظت زیاد ترکیبات فنولیک محلول که در مواد فرار بیوچار موجود است (Mukherjee et al., 2014) یا به‌دلیل جذب میکروبی نیتروژن معدنی و تبدیل آن به شکل آلی از راه جذب مداوم کربن آلی توسط سطح بیوچار (Guerena et al., 2013) باشد. در سال‌های اخیر بیوچار عامل اصلاح‌کننده برای بهبود خواص خاک، کاهش شست‌وشوی مواد مغذی و افزایش کارایی استفاده از نیتروژن در نظر گرفته شده است (Bu et al., 2020).

نتایج بررسی pH طی پنج مرحله نشان داد که افزودن بیوچار پوستهٔ برنج و پوستهٔ برنج در تیمارهای مختلف سبب افزایش pH شده است. Nigussie et al. (2012) در پژوهشی به این نتیجه رسیدند که بیوچار موجب افزایش pH و شوری آب زهکشی می‌شود. Masto et al. (2013) افزایش pH خاک (۹ درصد) و افزایش هدایت الکتریکی خاک (۵۰ درصد)

را بر اثر استفاده از بیوچار گزارش کردند که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. براساس پژوهش‌های Singh et al. (2010) مصرف بیوچار در خاک با تغییر خصوصیاتی مانند pH و قابلیت هدایت الکتریکی خاک همراه است. Sarfaraze et al. (2017) در پژوهشی به این نتیجه رسیدند که کاربرد بیوچار به‌طور چشمگیری pH خاک را کاهش می‌دهد. کاربرد بیوچار در خاک موجب بهبود خصوصیات شیمیایی خاک مانند pH، قابلیت هدایت الکتریکی، ظرفیت تبادل کاتیونی و عناصر قابل جذب خاک می‌شود. زغال زیستی pH خاک را قلیایی می‌کند (Cayuela, 2014).

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که با افزودن کود شیمیایی شوری آب زهکشی نسبت به تیمار خاک بستر کاشت افزایش و با افزودن بیوچار شوری کاهش یافت. همچنین بیشترین مقدار pH آب زهکشی در مرحله‌های اول و پنجم در ترکیب تیمار کود شیمیایی حداکثر و بیوچار ۰/۵ درصد مشاهده شد. شایان ذکر است که رابطهٔ بین اسیدیته زه‌آب و مقدار نیترات آبشویی‌شده (به‌همراه کاتیون‌های قلیایی مانند کلسیم و منیزیم و پتاسیم) باید به‌عنوان پیشنهاد پژوهش‌های آینده مدنظر قرار گیرد. آبشویی بیشتر نیترات به اسیدی شدن خاک منجر می‌شود، اما pH زه‌آب را افزایش می‌دهد (قلیایی می‌کند). نتایج میانگین غلظت نیترات پنج مرحله نمونه‌برداری آب زهکشی نیز نشان داد که ترکیب کود شیمیایی سطح ۱ و کود گاوی ۰/۷۵ درصد حجمی خاک سبب افزایش و بیوچار ۰/۵ درصد سبب کاهش آبشویی نیترات در خاک شده است. بنابراین با توجه به اثر مفید بیوچار در کاهش آبشویی نیترات و شوری خاک که بی‌گمان تأثیر مثبت زیست‌محیطی خواهد داشت توصیه می‌شود از بیوچار پوستهٔ برنج برای تولید نهال در نهالستان‌های جنگلی استفاده شود.

سپاسگزاری

از یکایک داوران ارجمند، کارگران و کارشناسان زحمتکش به‌ویژه مدیریت نهالستان لاجیم و ادارهٔ کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان مازندران- منطقهٔ ساری و سازمان تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی مازندران که در امور پشتیبانی، اجرا و ارزیابی این پژوهش به نویسندگان کمک کردند سپاسگزاری و تقدیر می‌شود. این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی انجام شده است.

References

Food and Agriculture Organization of the United Nations, (1980). Soil and Plant Testing and Analysis as a Basis of Fertilizer Recommendation, F.A.O. 250 p https://doi.org/10.1071/SR08036

Ameloot, N., Sleutel, S., Das, K.S., Kanagaratnam, J., & De Neve, S. (2015). Biochar amendment to soils with contrasting organic matter level: effects on N mineralization and biological soil properties. *Glob Chang. Biol. Bioenergy*, *7*, 135-144. https://doi.org/10.1111/gcbb.12119

Amir Ahmadi, E., Hojjati, S.M., Biparva, P., & Kammann, C. (2019). Effect of zeolite on nitrate leaching, aggregate stability and growth of Chestnut-leaved oak (*Quercus castaneifolia C. A. Mey*.) seedlings. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, *27*, 258-271. https://doi.org/10.22092/IJFPR.2019.120632 (In Persian)

Amir Ahmadi, E., Hojjati, S.M., Kammann, C., Ghorbani M., & Biparva, P., (2020). The potential effectiveness of biochar application to reduce soil Cd bioavailability and encourage Oak seedling growth. *Applied Sciences*, *10*, 3410. https://doi.org/ 10.3390/app10103410

Asgharpour, A., Azadfar, d., & Saeedi., Z. (2018). Drought tolerance assessment of milkweed maple seedlings (*Acer cappadocicum Gled*). *Journal of Plant Research*, *30*(1), 11-1. https://doi.org/20.1001.1.23832592.1396.30.1.1.0 (In Persian)

Azizi, A., Soltani Mohammadi, A., Naseri, A., & Hassan Aghli, A. (2022). Investigating the effect of frankincense fertilizers, bagasse and sugarcane biochar on yield, water use efficiency and nitrogen leaching in summer corn cultivation in Ahvaz. *Iran Irrigation and Drainage Journal*, *16*(1), 109-118. (In Persian)

Banjshafiei, A., Eshaghi Rad, J., Alijanpour, A., & Pato, M. (2012). Effects of super-absorbent application and irrigation period on the growth of pistachioseedlings (Pistacia atlantica). *Iranian Journal of Forest*, *4*(2), 101-112. (In Persian)

Behnam, H., & Farkhian Firozi, A. (2015). The effect of biochar and sugarcane bagasse compost on some mechanical properties of soil. Journal of water and soil protection research, 23, 250-235. (In Persian)

Bu, X., Xue, J., Wu, Y. & Ma, W. (2020). Effect of Biochar on Seed Germination and Seedling Growth of Robinia pseudoacacia L. In Karst Calcareous Soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis, 51*(3), 352-363. https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1709484

Cayuela, M.L. (2014). Biochar's role in mitigating soil nitrous oxide emissions: A review and metaanalysis, Agriculture, *Ecosystems & Environment*, *191*, 5-16 .

Chan, K.Y., Zwieten, L.V., Meszaros, I., Downie, A., & Joseph, S. (2008) Using poultry litter biochars as soil amendments. *Australian Journal of Soil Research*, *46*, 437-444 https://doi.org/10.1071/SR08036

Clough, T.J., Condron, L.M., Kammann, C., & Muller, C. (2013). A review of biochar and soil nitrogen dynamics. *Agronomy Journal*, *3*(2), 275-293. https://doi.org/10.3390/agronomy3020275

Dempster, D.N., Gleeson, D.B., Solaiman, Z.I., Jones, D.L., & Murphy, D.V. (2012). Decreased soil microbial biomass and nitrogen mineralisation with Eucalyptus biochar addition to a coarse textured soil. *Plant and Soil*, *354*(1), 311-324.

Divband Hafeshjani, L., Naseri, A., Houshmand, A., Abbasi, F., & Soltani Mohammadi, A. (2015). Investigating the effect of using sugarcane bagasse biochar on the chemical properties of a sandy loam soil. *Irrigation Science and Engineering*, *40*(1), 63-72.

Eaton, A.D., Clesceri, L.S., Rice, E.W., & Greenberg, A.E. (2005). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st Edition. *American Public Health Association, Washington, D.C.*, 1368p.

Fazlolahi Mohammadi, M., Heshmat al-Waezin, S.M., trust, and Shirvani, A. Sepahvand, A. (2012). Evaluation of the quality and cost price of seedlings in public and private nurseries (case study: pine and fir seedlings in slum and police nurseries of Lorestan province). *Iranian Journal of Forest*, *4* (2), 134-123. (In Persian)

Ferretti, G., Keiblinger, K.M., Di Giuseppe, D., Faccini, B., Colombani, N., Zechmeister-Boltenstern, S., Coltorti, M., & Mastrocicco, M. (2018). Short-term response of soil microbial biomass to different chabazite zeolite amendments. *Pedosphere*, *28*(2), 277-287. https://doi.org/10.1016/S1002-0160(18)60016-5

Ghasemi aghbash, F., & berg, B. (2020). Comparsion of nutrient dynamics and decay rate of Christmas needles (*Picea abies Karst*) in the habitats of Strassan Sweden and Lajim Iran. *Ecology of Iranian forests. 7*(14), 101-110. (In Persian)

Ghorbani, M., Asadi, H., & Abrishamkosh, S. (2014). The effect of rice paddy husk biochar on nitrate leaching in a clay soil. *Soil Research Journal (Soil and Water Sciences)*, *29*(4), 434-427. https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.05.005 (In Persian)

Ghorbani, M., & Ahmadi, A. (2017). The effect of rice husk biochar on some soil physical properties and corn growth in a loamy soil. *Soil research (soil and water sciences)*, *32*(3),305-318. https://doi.org/10.30486/IJROWA.2022.1942099.1355 (In Persian)

Guerena, D., Lehmann, J., Hanley, K., Enders, A., Hyland, C., & Riha, S. (2013). Nitrogen dynamics following field application of biochar in a temperate North American maize-based production system. *Plant Soil*, *365*, 239–254.

Hassanpoor, I., Shirvani, M., Hajabbasi, M., & Majidi, M. (2022). Effect of Acidic Biochars on Some Chemical Properties and Nutrient Availabilities of Calcareous Soils. *Journal of Water and Soil Science*, *26*(2), 39-59. https://doi.org/20.1001.1.24763594.1401.26.2.12.1

Heydarian, N., Mohammadi Limaei, S., & Amirtimori, A. (2015). Investigating the efficiency of forest nurseries in the north of Iran using the method of data envelopment analysis. *Iranian Journal of Forest*, *7*(4), 557-570. (In Persian)

Hoff, C., & & Rambal, S. (2003). An examination of the interaction between climate, soil and leaf area index in a Quercus ilex ecosystem. *Annals of Forest Science*, *60*(2), 153-161. https://doi.org/ 10.1051/forest:2003008

Hossein Nejad Mir, A., Hashemi Gram Dareh, S. Liaqat, A., & Karimi, A. (2021). Investigating the amount of nitrate concentration of the drainage water coming out of the soil under the influence of the use of fodder corn biochar in bell pepper cultivation. *Iran Irrigation and Drainage Journal*, *15*(6),1338-1347. (In Persian)

Ippolito, J.A., Stromberger, M.E., Lentz, R.D., & Dungan, R.S. (2014). Hardwood biochar influences calcareous soil physicochemical and microbiological status. *Journal of Environmental Quality*, *43*, 681- 689. https://doi.org/ 10.2134/jeq2013.08.0324

Jafarihaghighi, M. (2003). Sampling and analysis of important physical and chemical soil analysis. *Neda Zoha press*, 236 p. (In Persian)

Kazemizadeh, M., Naseri, A., Houshman, A., Garabi, M., & Maskarbashi, M. (2020). Investigating the effect of biochar and hydrochar (*sugarcane bagasse*) on yield, water efficiency and nitrogen leaching in corn cultivation. *Iran water and soil research*, *51*(3), https://doi.org/753-761. 10.22059/IJSWR.2019.280248.668184 (In Persian)

Khademi Jolgenejad, A.B.O.L.F.A.Z.L., Fekri, M., & Mahmoodabadi, M. (2019). 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. https://doi.org/10.22059/IJSWR.2018.244637.667780 (In Persian)

Li, J.H., Lv, G.H., Bai, W.B., Liu, Q., Zhang, Y.C., & Song, J.Q. (2014). 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. https://doi.org/10.1080/19443994.2014.994104

Li, Y., Tsend, N., Li, T., Liu, H., Yang, R., Gai, X., Wang, H., & Shan, S. (2019). Microwave assisted hydrothermal preparation of rice straw hydrochars for adsorption of organics and heavy metals. *Bioresource Technology*, *273*, 136-143. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.10.056

Masto, R.E., Kumar, S., Rout, T., Sarkar, P., George, J., Ram, L. (2013). Biochar from water hyacinth (Eichornia crassipes) and its impact on soil biological activity. *Catena*, *111*, 64-71. https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.06.025

Mengistu, T., Gebrekidan, H., Kibret, K., Woldetsadik, K., Shimelis, B., & Yadav, H. (2017). The integrated use of excreta-based vermicompost and inorganic NP fertilizer on tomato (Solanum lycopersicum L.) fruit yield, quality and soil fertility. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, *6*, 63-77.

Mirzapour, V., Malakmohammadi, I., & Hosseini, S. (2021). Structural model of waste management extension and education in agricultural development of Mazandaran Province. *Agricultural Education Administration Research*, *13*(56), 9-32. (In Persian)

Moradi -Ghahderijani, M., Jafarian, S., & Keshavarz, H. (2017). Alleviation of water stress effects and improved oil yield in sunflower by application of soil and foliar amendments. *Rhizosphere, 4*, 54 –61. https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2017.06.002(In Persian)

Mukherjee, A., Lal, R., & Zimmerman, A.R. (2014). Effects of biochar and other amendments on the physical properties and greenhouse gas emissions of an artificially degraded soil. *Science of the Total Environment, 487*, 26-36. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.03.141

Nabavi, S.F., Yaghmaian Mahabadi, N., & Soltani, Sh. (2020). Assessment of land suitability for rice based on the FAO model and using fuzzy multi-criteria decision-making integrated techniques (case study: Amol Rice Research Institute, Mazandaran province). *Water and Soil*, *34*(4), 879-895. . https://doi.org/10.22067/JSW.V34I4.83830 (In Persian)

Nelson, D., & Sommers, L.E. (1982). Total carbon, organic carbon, and organic matter. *Methods of soil analysis: Part 2 chemical and microbiological properties*. *9*, 539-579. https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c29

Nigussie, A., Endalkachew, K., Mastawesha, M., & Gebermedihin, A. (2012). Effect of biochar application on soil properties and nutrient uptake of Lettuces (Lactuca sativa) grown in chromium polluted soils. *American -Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science, 12*, 369 –376.

Najafi Ghairi, M. (2015). The effect of using different biochars on some soil characteristics and the ability to absorb some nutrients in a calcareous soil. *Journal of Soil Research*, *29*(3), 358-351. . https://doi.org/10.22092/IJSR.2014.103501 (In Persian)

Olsen, S. R. (1954). Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. US Department of Agriculture, 19p.

Peng, J., Han, X., Li, N., Chen, k., Yang, J., Zhan, X., Luo, P., & Liu, N. (2021). Combined application of biochar with fertilizer promotes nitrogen uptake in maize by increasing nitrogen retention in soil. *Biochar journal*, pp367–379. https://doi.org/10.1007/s42773-021-00090-6

Sarfaraze, R., Shakoor, A., Abdullah, M., Arooj, A., Hussain, A., & Xing, sh. (2017). Impact of integrated application of biochar and nitrogen fertilizers on maize growth and nitrogen recovery in alkaline calcareous soil. *Soil Science and Plant Nutrition*, 1747-0765. https://doi.org/10.1080/00380768.2017.1376225 (In Persian)

Shahbazi, Y., Mirlatifi, S.M., & Hassan Aghli, A. (2021). Investigating the extent of nitrate leaching from soil using sugarcane bagasse biochar and frankincense fertilizer. *Iran water and soil research*, *52*(8), 2227-2236. https://doi.org/ 10.22059/IJSWR.2021.324437.668984 (In Persian)

Singh, B.P., Hatton, B.J., Singh, B., & Cowie, A.L. (2010). The role of biochar in reducing nitrous oxide emissions and nitrogen leaching from soil. *19th World congress of soil science, soil solutions for a changing world, Brisbane, Australia*, 1 –6.

Tabari, M., Saeidi, H.R., Alavi-Panah, K., Basiri, R., & Pourmadgidian, M.R. (2007). Growth and survival response of potted Cupressus sempervirens seedlings to different soils. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 8, 1309-1312 https://doi.org/10.3923/pjbs.2007.1309.1312

Tavakoli, M., Hojjati, S.M., & Kooch, Y. (2019). The Effect of Traditional Coal Mining on Soil Physical and Chemical Properties and Heavy Metals Concentrations in Lavij Forest. *Iranian Journal of Forest*, *11*(1), 81-93. (In Persian)

Waling, I., Van Vark, W., Houba, V.J.G., & Van der Lee, J.J. (1989). Soil and Plant Analysis, A Series of Ayllabi: *Part 7. Plant AnalysisProcedures, Wageningen Agriculture University, Wageningen*, 263 p.

Yuan, J.H., Xu, R.K., & Zhang, H. (2018). The forms of alkalis in the biochar produced from crop residues at different temperatures. *Bioresource technology*, *102*(3), 3488-3497. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.11.018

Zahedifar, M., & Najafian, S. (2017). Ocimum basilicum L. growth and nutrient status as influenced by biochar and potassium-nano chelate fertilizers. *Archives of Agronomy and Soil Science*, *63*(5),638-650. https://doi.org/10.1080/03650340.2016.1233323 (In Persian)

Zendehbad, M., Mostaghelchi, M., Mojganfar, M., Cepuder, P., & Loiskandl, W. (2022). Nitrate in groundwater and agricultural products: intake and risk assessment in northeastern Iran. *Environmental Science and Pollution Research*, *29*(52), 76603-76619. https://doi.org/10.1007/s11356-022-20831-9 (In Persian)

Zunqi, L., Tianyi, H., Ting, C., Tiexing, Y., Jun, M., & Wenfu, Ch. (2017). Effects of biochar application on nitrogen leaching, ammonia volatilization and nitrogen use efficiency in two distinct soils. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *17*(2), 515-528. https://doi.org/10.4067/S0718-95162017005000037

DOI: 10.22034/ijf.2023.374195.1906

Iranian Journal of Forest
Vol. 16, No. 1, Spring 2024
pp. 103-120
Research Article

The effect of different soil amendments on nitrate leaching in the soil of potted saplings *Acer cappadocicum* Gled

S. Rahimnejad[1], S.M. Hojjati[2*], H. Asadi[3], H. Jalilvand[2], and M. Mahmoudi[4]

[1]Ph.D. student Forest Sciences and Engineering Dept., Natural Resources Faculty, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
[2]prof., Forest Sciences and Engineering Dept., Natural Resources Faculty, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
[3]Assistant prof., Forest Sciences and Engineering Dept., Natural Resources Faculty, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
[4]Research Assistant prof., Soil and Water Research Department, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sari, Iran

(Receipt: 28 November 2022; accepted: 2023 August 19)

Abstract

Introduction: Nitrate (NO-3) is an important compound in plant nutrition. However, the leaching of large amounts of it can reduce soil fertility and endanger environmental health and quality of life.

Material and Methods: This study was conducted to investigate the effect of rice husk biochar and different types of pure and mixed fertilizers on nitrate leaching from the soil of one-year-old potted saplings of *Acer cappadocicum* Gled (with an average collar diameter of 17.3 mm and a height of 19.72 cm). This research was conducted in Lajim nursery, north of Iran, using 19 treatments with three replications in a completely randomized design. The treatments included rice husk at 0.5% and 1% by volume, biochar of rice husk at 0.5%, 1%, and 2% by volume, cow manure at 0.75% and 1.25% by volume, and chemical fertilizer at two levels: 1) triple superphosphate 25, ammonium sulfate 18.75, and potassium sulfate 18.75 mg per kilogram of soil and 2) triple superphosphate 50, ammonium sulfate 37.5, and potassium sulfate 37.5 mg per kilogram of soil. The soil treatment of the planting bed (control) and the combination of treatments were also included. To collect drainage water for measuring the amount of nitrate leaching, potted seedlings were irrigated 20% more than the normal irrigation amount, and samples were taken in five stages (from April to September, once before adding ammonium nitrate fertilizer and four times after its addition). In the laboratory, nitrate concentration was measured by the spectrophotometric method. Statistical analysis was performed using R software, and a comparison of means was performed using Duncan's test.

Results: According to the results, in the first stage of sampling, the highest concentration of nitrate in drainage water was observed in the chemical fertilizer level 2. In the second and fourth stages, it was observed in the combination of chemical fertilizer level 1 and 0.75% cow manure by volume, and in the third stage, it was observed in the treatment with 0.75% cow manure by volume. The highest pH value of the drainage water in the first stage of sampling was observed in the combination of chemical fertilizer level 1 and 0.5% biochar. In the second and third sampling stages, the control showed the highest pH value. In the fifth stage, the result was the same as the first stage. Also, the combination of chemical fertilizer level 1 and 0.75 percent cow manure caused an increase of 204, and 0.5% biochar caused a total decrease of 39.4 mg/liter of nitrate leaching.

Conclusion: The results of this research showed that the application of biochar causes a decrease in electrical conductivity and nitrate concentration and an increase in the pH of drainage water. Therefore, considering the beneficial effect of biochar in reducing nitrate leaching and soil salinity, which will definitely bring positive environmental effects, it is recommended to use rice husk biochar to produce seedlings in forest nurseries.

Keywords: Biochar, Rice husk, Chemical fertilizer, Cow manure, Nursery lajeim.

* Corresponding author Tel:+989117434910 Email: s_m_hodjati@yahoo.com