

## اثر لجن فاضلاب و بیوچار آن بر آبشویی نیترات از ستون‌های دو خاک تحت کشت ذرت

زهرا خان‌محمدی<sup>۱</sup>، مجید افیونی<sup>۲</sup>، محمد رضا مصدقی<sup>۳</sup>

۱ و ۲- به ترتیب دانش‌آموخته دکتری و استادگروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

### چکیده

بیوچار یک ماده جامد غنی از کربن است که طی فرآیند پیرولیز زیتوده در شرایط عدم حضور و یا حضور جزئی اکسیژن تولید می‌شود. این پژوهش با هدف بررسی اثر لجن فاضلاب و بیوچار آن بر آبشویی نیترات از ستون‌های دو خاک آهکی فلاورجان (لوم رسی) و زیار (لوم) تحت کشت ذرت بررسی شد. مقادیر کاربرد لجن فاضلاب (S) ۱۰، ۲۰ و ۴۰ مگاگرم در هکتار (به ترتیب تیمار S<sub>1</sub>، S<sub>2</sub> و S<sub>3</sub>) بود. بیوچار (B) نیز در مقادیر نظیر ۷/۳، ۱۴/۵ و ۲۹ مگاگرم در هکتار (B<sub>1</sub>، B<sub>2</sub> و B<sub>3</sub>) اعمال شد. در طول دوره رشد ذرت ۶ مرتبه آبیاری انجام شده و پس از هر آبیاری غلظت نیترات زه‌آب اندازه‌گیری شد. در هر دو خاک کاربرد لجن فاضلاب و بیوچار سبب کاهش مقدار تجمع نیترات زه‌آب شد که می‌تواند به دلیل نسبت بیشتر C/N در خاک‌های پس از برداشت این تیمارها نسبت به تیمار شاهد باشد. بر اساس منحنی‌های رخنه، غلظت نیترات زه‌آب در تیمارهای S کمتر از تیمارهای B بود.

واژه‌های کلیدی: لجن فاضلاب، بیوچار، آبشویی نیترات

### مقدمه

بیوچار<sup>۱</sup> یک ماده جامد غنی از کربن و مقاوم در برابر تجزیه زیستی<sup>۲</sup> است که طی فرآیند پیرولیز<sup>۳</sup> زیتوده<sup>۴</sup> در شرایط عدم حضور و یا حضور جزئی اکسیژن تولید می‌شود. در سال‌های اخیر استفاده از بیوچار برای ترسیب کربن در خاک‌ها و جبران نقش انسان در خروج دی‌اکسیدکربن (CO<sub>2</sub>) و نیز به دلیل آثار مثبت آن در کشاورزی به عنوان یک اصلاح‌کننده خاک مورد توجه قرار گرفته است (لمان و ژوزف، ۲۰۰۹). ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی بیوچار عمدتاً متأثر از نوع ماده آلی و شرایط فرآیند پیرولیز (دما و زمان) است. این ویژگی‌ها بر واکنش‌هایی که بیوچار در محیط کاربرد آن به جا می‌گذارد تأثیرگذار است (چان و زو، ۲۰۰۹).

بیوچار از راه افزایش نگهداشت عناصر غذایی برای گیاه و جلوگیری از آبشویی آن‌ها می‌تواند باعث پیش‌گیری از انتقال این عناصر به منابع آب زیرزمینی شود. گزارش شده است که استفاده از بیوچار می‌تواند منجر به کاهش آبشویی نیترات در خاک شود (نولس و همکاران، ۲۰۱۱ لمان و همکاران، ۲۰۰۳). پژوهش دینگ و همکاران (۲۰۱۰) نشان داد که کاربرد بیوچار بامبو در ستون‌های خاک سبب کاهش تلفات تجمع نیتروژن آمونیومی از راه آبشویی می‌شود. ازوما و همکاران (۲۰۱۱) پژوهشی را با هدف بررسی اثر دمای پیرولیز بیوچار افاقیا (۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ درجه سلسیوس) بر ویژگی‌های هیدرولیکی و جذب نیترات در یک خاک شنی انجام دادند. نتایج غلظت تجمع نیترات نشان داد که تیمار دارای بیوچار تولیدی در دمای ۳۰۰ درجه سلسیوس بیش‌ترین نگهداشت نیترات را دارد. این پژوهش‌گران بیان نمودند که نسبت بیشتر C/N در تیمار

- 1- Biochar
- 2- Biodegradation
- 3- Pyrolysis
- 4- Biomass

بیوپچار تولیدی در دمای ۳۰۰ درجه سلسیوس سبب افزایش آلی شدن نیتروژن شده، و در نتیجه مقدار کمتری نیتروژن از طریق نیتریفیکاسیون به نیترات تبدیل می‌شود.

امروزه تولید انبوه پس‌مانده‌های آلی مانند لجن فاضلاب پیامدهای مشکل‌ساز کوتاه و درازمدتی را برای کشاورزان و سلامت محیط زیست ایجاد کرده است. چالش مهم در ارتباط با مدیریت مؤثر لجن فاضلاب در قالب یک روش قابل قبول زیست-محیطی و اقتصادی می‌تواند به شکل تبدیل پیرولیتیک لجن فاضلاب به بیوپچار و کاربرد بیوپچار آن در کشاورزی باشد. با توجه به تعداد کم پژوهش‌های انجام‌شده درباره اثر بیوپچارها بر آب‌شویی نیترات در ایران، این پژوهش با هدف بررسی اثر مقادیر مختلف لجن فاضلاب و بیوپچار آن بر میزان آب‌شویی نیترات در ستون‌های خاک با دو بافت مختلف انجام شد.

### مواد و روش‌ها

نمونه‌هایی از دو خاک آهکی با رده‌بندی Typic Haplocambids و بافت‌های لوم رسی و لوم به ترتیب از مناطق فلاورجان و زیار در استان اصفهان تهیه شدند (جدول ۱). خاک‌ها ابتدا هوا-خشک شده و سپس برای حفظ خاکدانه‌ها و حداقل تخریب واحدهای ساختمانی در پژوهش گلخانه‌ای، از الک ۶ میلی‌متری عبور داده شدند. بیوپچار لجن فاضلاب در دمای ۳۰۰ درجه سلسیوس تهیه شد (خان‌محمدی و همکاران، ۲۰۱۵). برخی از ویژگی‌های لجن فاضلاب و بیوپچار آن در جدول ۱ نشان داده شده است. سپس لجن فاضلاب (S) در مقادیر ۱۰، ۲۰ و ۴۰ مگاگرم در هکتار با خاک‌ها مخلوط شد و به ترتیب با نمادهای S<sub>1</sub>، S<sub>2</sub> و S<sub>3</sub> بیان شدند. از آن‌جا که فرآیند پیرولیز سبب کاهش جرم بیوپچار نسبت به لجن فاضلاب می‌شود (حدود ۲۸ درصد از لجن فاضلاب تبدیل به فاز مایع و گاز می‌شود) و به منظور داشتن نتایج قابل مقایسه، میزان کاربرد بیوپچار (B) نظیر مقادیر کاربردی لجن فاضلاب به ترتیب ۷/۳، ۱۴/۵ و ۲۹ مگاگرم در هکتار در نظر گرفته شد که با نمادهای B<sub>1</sub>، B<sub>2</sub> و B<sub>3</sub> بیان شد. یک تیمار شاهد (C) نیز برای هر خاک در نظر گرفته شد. سپس لوله‌های پلی‌اتیلن با قطر داخلی ۲۱/۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر با خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب و بیوپچار به صورت جداگانه و در سه تکرار پر شدند؛ به گونه‌ای که ارتفاع ستون‌های خاک ۵۰ سانتی‌متر شد. برای ایجاد شرایط زه‌کشی، انتهای هر ستون سنگ‌ریزه و شن به ضخامت ۳ سانتی‌متر قرار گرفت. برای پایش مقدار آب خاک در طول پژوهش گلخانه‌ای، از روش انعکاس‌سنجی زمانی<sup>۱</sup> (TDR) استفاده شد. به این منظور میله‌های دستگاه TDR درون سوراخ‌های ایجادشده در ستون‌ها و در عمق‌های ۱۰، ۲۵ و ۴۰ سانتی‌متری خاک قرار گرفتند. در ابتدا ستون‌ها برای رسیدن به رطوبت گنجایش مزرعه (FC) آبیاری شدند. سپس در هر ستون سه عدد بذر گیاه ذرت (Single Cross ۷۰۴) کشت شد. پس از رسیدن به مرحله دو برگگی گیاه ذرت به یک عدد در هر ستون کاهش یافت. در نهایت گیاهان ذرت در هر ستون به مدت ۷۸ روز پس از جوانه‌زنی رشد کردند. برنامه آبیاری ستون‌ها شامل مقدار و زمان آبیاری بر اساس اندازه‌گیری‌های دستگاه TDR و با رسیدن رطوبت ستون خاک به ۷۰ درصد گنجایش مزرعه انجام شد.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد بررسی پیش از کشت، لجن فاضلاب و بیوپچار.

ویژگی	واحد	خاک فلاورجان	خاک زیار	لجن فاضلاب	بیوپچار
رس	%	۳۰/۲	۱۵/۷	-	-
شن	%	۲۲/۲	۴۲/۸	-	-
سیلت	%	۴۷/۶	۴۱/۵	-	-
بافت	-	لوم رسی	لوم	-	-
pH	-	۷/۵	۷/۶	۶/۸	۸/۲
رسانایی الکتریکی	dS m <sup>-1</sup>	۰/۵۰	۰/۴۶	۲/۲۰	۰/۵۲
گنجایش تبادل کاتیونی	cmolc kg <sup>-1</sup>	۱۵/۸	۱۳/۱	۹۹/۳	۱۹۱/۸
نیتروژن معدنی*	mg kg <sup>-1</sup>	-	-	۳۷۸۵	۲۸۳/۸

1- Time domain reflectometer

در طول دوره رشد ذرت، حجم آب ورودی و زه آب خروجی از ستون‌ها و غلظت نیترات در زه آب، اندازه‌گیری شد. به منظور اندازه‌گیری غلظت نیترات در زه آب جمع‌آوری شده از روش استاندارد اسپکتروفتومتری استفاده شد (آرم‌استرانگ، ۱۹۶۳). تجزیه آماری این پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی و به صورت فاکتوریل اجرا شد. تیمارها شامل دو نوع خاک (فلاورجان و زیار)، دو نوع کود آلی (لجن فاضلاب و بیوچار) و چهار سطح کاربرد (۰، ۱، ۲ و ۳) بودند.

### نتایج و بحث

در هر دو خاک در تمام زه‌آب‌های جمع‌آوری شده، کاربرد لجن فاضلاب و بیوچار سبب کاهش معنی‌دار مقدار تجمع نیترات در زه آب شد (شکل ۱). دلیل این یافته می‌تواند نسبت بیش‌تر کربن به نیتروژن (C/N) در خاک‌های پس از برداشت تیمارهای لجن فاضلاب و بیوچار نسبت به تیمار شاهد باشد (جدول ۲). در طول دوره رشد گیاه تیمارهای لجن فاضلاب و بیوچار سبب افزایش آلی شدن نیتروژن و در نتیجه کاهش غلظت نیترات زه آب شده‌اند. در تمام تیمارهای خاک فلاورجان، مقدار تجمع نیترات بیش‌تر از تیمارهای خاک زیار بود. این مساله می‌تواند به دلیل مقدار بیش‌تر رس و گنجایش تبادل کاتیونی (CEC) خاک فلاورجان نسبت به خاک زیار باشد که سبب دفع و خروج بیش‌تر آنیون نیترات از خاک شده است (جدول ۱). ساختمان‌سازی بهتر و خصوصیات فیزیکی بهتر خاک فلاورجان نیز می‌تواند سبب ایجاد جریان‌های ترجیحی و خروج سریع‌تر نیترات در این تیمار شده باشد. اختلاف مقدار تجمع نیترات تیمارهای لجن فاضلاب نسبت به تیمار شاهد در مقایسه با اختلاف مقدار تجمع نیترات تیمارهای بیوچار و تیمار شاهد بیش‌تر بود (شکل ۱). ژنگ و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که کاربرد بیوچار تولیدشده از نی در خاک تیمار شده با کود نیترات پتاسیم سبب کاهش مقدار تجمع نیترات زه آب نسبت به تیمار شاهد می‌شود. این پژوهش‌گران دلیل این یافته را افزایش نگهداشت آب در خاک و افزایش آلی شدن نیتروژن بیان نمودند.

به طور کلی بر اساس منحنی‌های رخنه نیترات و نیز مقدار تجمع نیترات، غلظت نیترات زه آب در تیمارهای لجن فاضلاب کم‌تر از تیمارهای بیوچار بود (شکل ۲) که می‌تواند به دلایل زیر باشد: ۱) بررسی مقادیر اندازه‌گیری شده نیترات و آمونیوم در لجن فاضلاب و بیوچار نشان داد که مقدار نیترات لجن فاضلاب کم‌تر از بیوچار است، در حالی که مقدار آمونیوم لجن فاضلاب بسیار بیش‌تر از بیوچار است. در واقع مقدار کم‌تر نیترات لجن فاضلاب می‌تواند دلیلی بر غلظت کم‌تر نیترات زه آب در تیمارهای لجن فاضلاب نسبت به تیمارهای بیوچار باشد (جدول ۱، ۲) مقدار بیش‌تر گنجایش تبادل کاتیونی (CEC) بیوچار نسبت به لجن فاضلاب نیز می‌تواند به غلظت بیش‌تر نیترات زه آب تیمارهای بیوچار نسبت به تیمارهای لجن فاضلاب کمک نماید (جدول ۱، ۳) احتمالاً سطوح جذب بیوچار برای آنیون‌ها از جمله نیترات کم‌تر از لجن فاضلاب است که سبب غلظت بیش‌تر نیترات زه آب در تیمار بیوچار نسبت به لجن فاضلاب شده است. همچنین بررسی منحنی‌های رخنه نیترات در تمام تیمارها نشان داد که خروج زود هنگام (در حدود ۰/۱ تعداد حجم آب منفذی)، بیان‌گر جریان ترجیحی در هر دو خاک است که سبب بیش‌ترین غلظت نیترات در زه آب شده است. پس از این مقدار، غلظت نیترات زه آب کم شده و خروج آن تدریجی‌تر شده است (کاهش شیب منحنی رخنه) (شکل ۲).

جدول ۲- مقایسه میانگین تاثیر نوع تیمار اصلاحی بر ویژگی‌های شیمیایی خاک‌ها پس از برداشت.

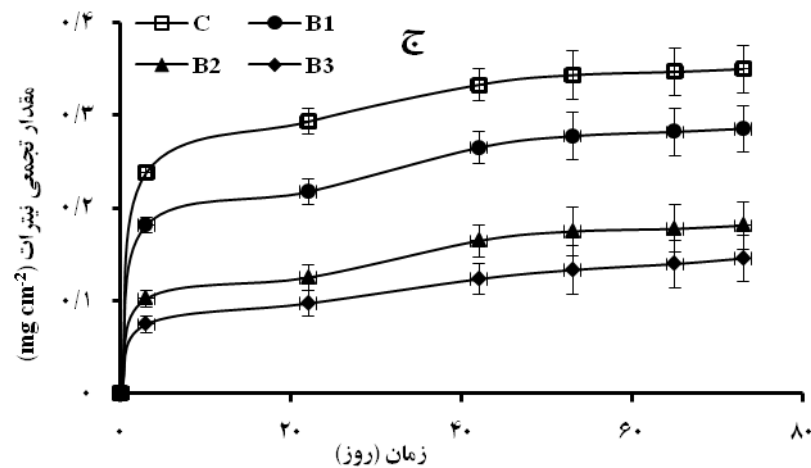
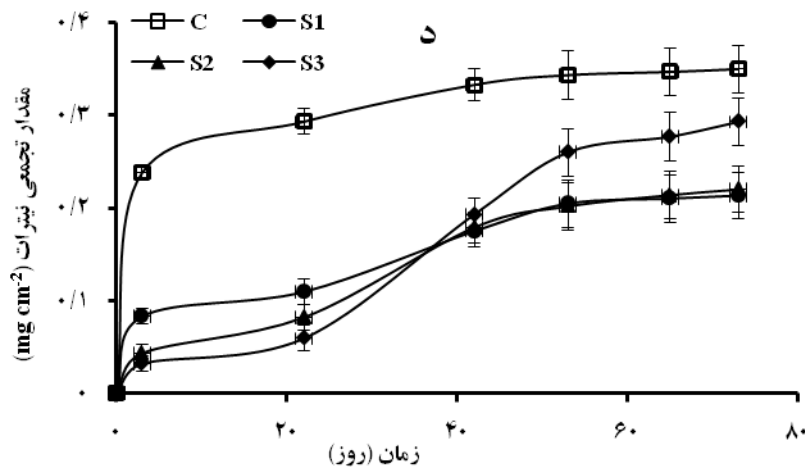
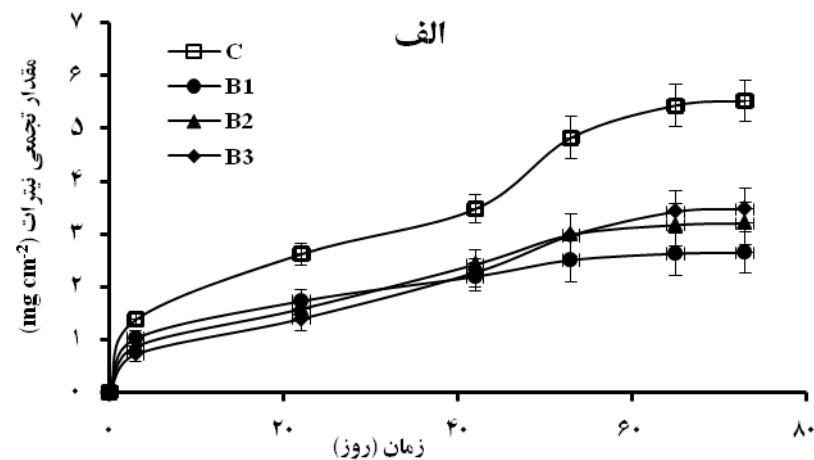
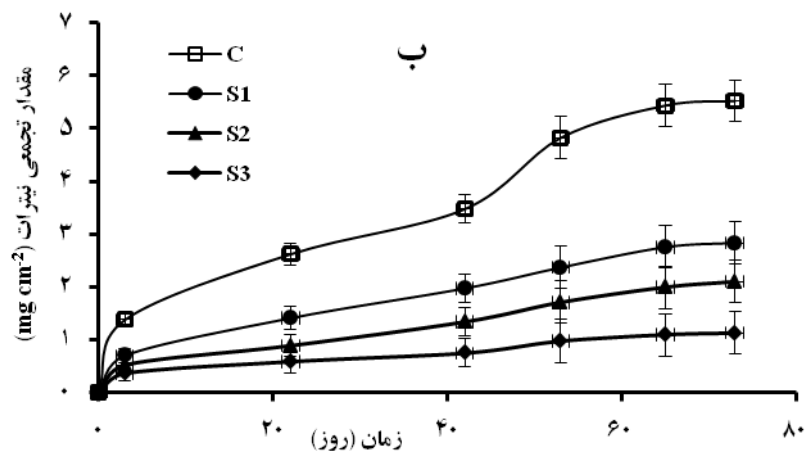
ویژگی شیمیایی خاک	واحد	شاهد	لجن فاضلاب	بیوچار
TN	kg 100kg <sup>-1</sup>	۰/۰۸۵ <sup>b</sup>	۰/۰۹۱ <sup>a</sup>	۰/۰۸۴ <sup>b</sup>
TOC	kg 100kg <sup>-1</sup>	۰/۰۶۶ <sup>b</sup>	۰/۰۷۶ <sup>a</sup>	۰/۰۷۶ <sup>a</sup>
C/N	-	۸/۰ <sup>c</sup>	۸/۵ <sup>b</sup>	۹/۲ <sup>a</sup>

TN نیتروژن کل، TOC کربن آلی کل، C/N نسبت کربن به نیتروژن

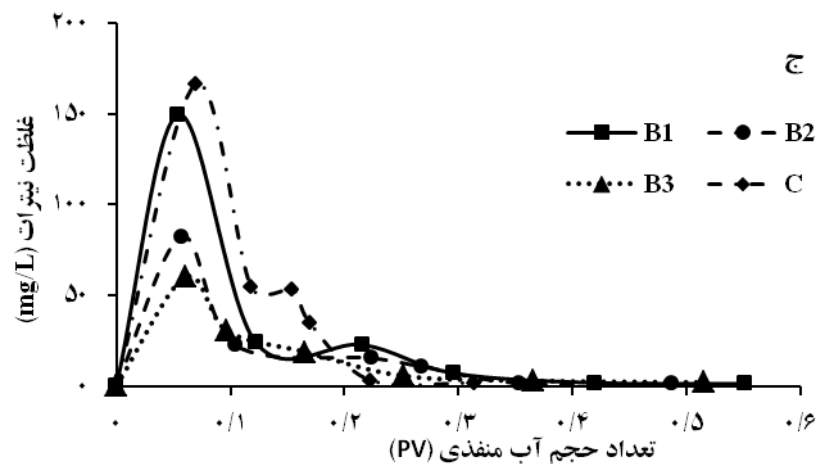
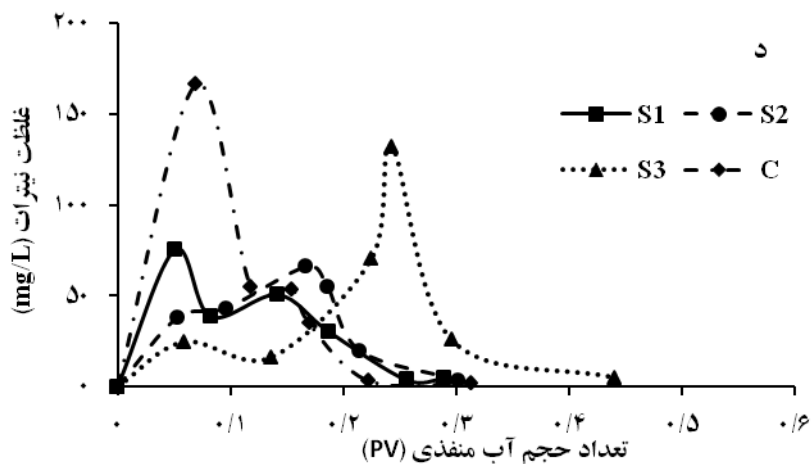
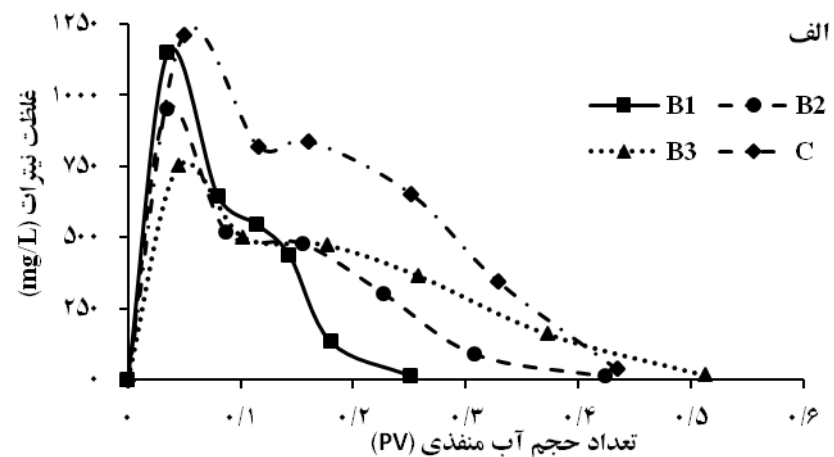
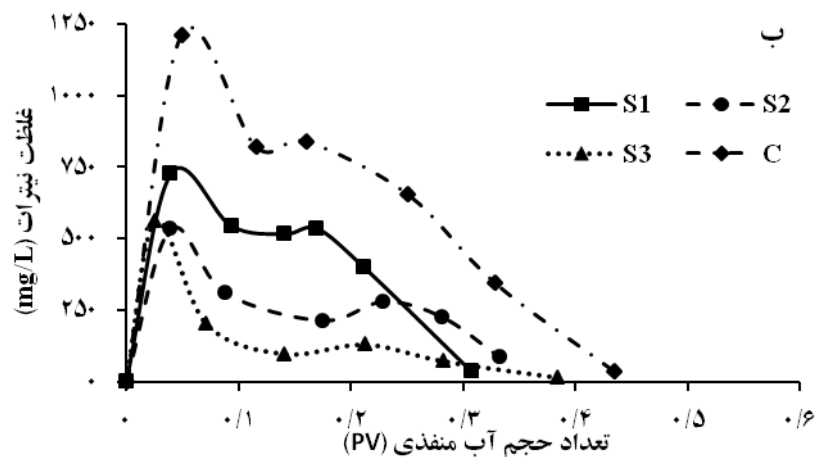


**پانزدهمین کنگره علوم خاک ایران**  
محور مقاله: آلودگی خاک      ۶ تا ۸ شهریور ۱۳۹۶





شکل ۱- مقدار تجمعی نیترات خروجی در تیمارهای C (شاهد)، S1 (لجن فاضلاب ۱۰ مگاگرم در هکتار)، S2 (لجن فاضلاب ۲۰ مگاگرم در هکتار)، S3 (لجن فاضلاب ۴۰ مگاگرم در هکتار)، B1 (بیوجار ۷/۵ مگاگرم در هکتار)، B2 (بیوجار ۱۴/۵ مگاگرم در هکتار) و B3 (بیوجار ۲۹ مگاگرم در هکتار)، الف و ب) خاک فلاورجان، ج و د) خاک زیار (به تفاوت مقیاس محورهای مقدار تجمعی نیترات زه آب در دو خاک توجه شود). خطوط عمودی روی مقادیر اندازه گیری شده نیترات در هر دوره نشان دهنده LSD است.



شکل ۲- منحنی رخنه نیترات در تیمارهای C (شاهد)، S1 (لجن فاضلاب ۱۰ مگاگرم در هکتار)، S2 (لجن فاضلاب ۲۰ مگاگرم در هکتار)، S3 (لجن فاضلاب ۴۰ مگاگرم در هکتار)، B1 (بیوجار ۷/۵ مگاگرم در هکتار)، B2 (بیوجار ۱۴/۵ مگاگرم در هکتار) و B3 (بیوجار ۲۹ مگاگرم در هکتار، الف و ب) خاک فلاورجان، ج و د) خاک زیبار (به تفاوت مقیاس محورهای غلظت نیترات در دو خاک توجه شود).



بررسی منحنی رخنه نیترات خاک زیار در تیمار لجن فاضلاب ۴۰ مگاگرم در هکتار نشان داد که در دوره چهارم آبیاری، غلظت نیترات زه آب افزایش یافته است (شکل ۲). با توجه به مقدار زیاد لجن فاضلاب این تیمار و نیز مقدار کم تر نیترات خاک زیار (در مقایسه با خاک فلاورجان) تبدیل تدریجی آمونیوم به نیترات (به اندازه ۵۰ میلی گرم در لیتر) در این تیمار آشکار شده است. با در نظر گرفتن مقدار زیاد آمونیوم لجن فاضلاب (حدود ۹۷ درصد نیتروژن معدنی) و امکان فرآیند نیتریفیکاسیون، می توان نتیجه گیری کرد که علی رغم کم تر بودن غلظت نیترات در تیمارهای لجن فاضلاب نسبت به بیوچار در دوره آزمایش، امکان ورود نیترات به خاک در تیمارهای لجن فاضلاب در درازمدت وجود دارد. از سوی دیگر مقدار آمونیوم بیوچار بسیار کم تر از لجن فاضلاب است و احتمالاً در درازمدت نقش بسیار کم تری در ورود نیترات به خاک دارد (جدول ۱).

#### منابع

- Armstrong F.A.J. 1963. Determination of nitrate in water by ultraviolet spectrophotometry. *Analytical Chemistry*. 35: 1292.
- Chan K.Y. and Xu Z. 2009. Biochar: nutrient properties and their enhancement. PP. 67–84. In: Lehmann J., Joseph S. (Eds.), *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. Earthscan, London.
- Ding Y., Liu Y.X., Wu W.X., Shi D.Z., Yang M. and Zhong Z.K. 2010. Evaluation of biochar effects on nitrogen retention and leaching in multi-layered soil columns. *Water Air Soil Pollution*. 213: 47–55.
- Khanmohammadi Z., Afyuni M. and Mosaddeghi M.R. 2015. Effect of pyrolysis temperature on chemical and physical properties of sewage sludge biochar. *Waste Management and Research*. 33: 275–283.
- Knowles O.A., Robinson B.H., Contangelo A. and Clucas L. 2011. Biochar for the mitigation of nitrate leaching from soil amended with biosolids. *Science of the Total Environment*. 409: 3206–3210.
- Lehmann J., da Silva Jr J.P., Steiner C., Nehls T., Zech W. and 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.
- Lehmann J. and Joseph S. 2009. Biochar for environmental management: An introduction. PP. 1–12. In: Lehmann J. and Joseph S. (Eds.), *Biochar for Environmental Management, Science and Technology*; Earthscan: London, UK.
- Uzoma K.C., Inoue M., Andry H., Zahoor A. and Nishihara E. 2011. Influence of biochar application on sandy soil hydraulic properties and nutrient retention. *Journal of Food, Agriculture and Environment*. 9(3–4): 1137–1143.
- Zheng H., Wang Z., Deng X., Herbert S. and Xing B. 2013. Impacts of adding biochar on nitrogen retention and bioavailability in agricultural soil. *Geoderma* 206: 32–39.

### Effect of sewage sludge and its biochar on nitrate leaching in two soils' columns under corn plantation

Z. Khanmohammadi<sup>1</sup>, M. Afyuni<sup>2</sup> and M. R. Mosaddeghi<sup>2</sup>

1 and 2- Former PhD Student and Professor, Respectively, Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology

#### Abstract

Biochar is a carbon-rich solid material that is produced during pyrolysis process under partial or no oxygen condition. The objective of this study was to determine the effect of sewage sludge and its biochar on nitrate leaching through two calcareous soils under corn plantation in a column experiment. The soils were mixed with sewage sludge (S) at the rates of 10, 20 and 40 Mg ha<sup>-1</sup> (S1, S2 and S3 treatments, respectively). The biochar (B) was applied at corresponding rates of 7.3, 14.5 and 29 Mg ha<sup>-1</sup> (B1, B2 and B3). Concentration of nitrate in the leachate of the soil columns was monitored after six irrigations during the corn growth. In both soils sewage sludge and biochar applications decreased the cumulative nitrate leaching compared with the control. This is probably due to the higher post-harvest soil C/N ratio in the sewage sludge and biochar treatments. The breakthrough curves showed lower NO<sub>3</sub><sup>-</sup> concentration in the leachate of sewage sludge treatments compared to biochar treatments.

**Keywords:** Sewage sludge, Biochar, Nitrate leaching.